

# **Interacção da radiação com a matéria e a concepção de um detector em Física de Altas Energias**

**(o ATLAS como exemplo de uma experiência do LHC)**

Ana Henriques

CERN

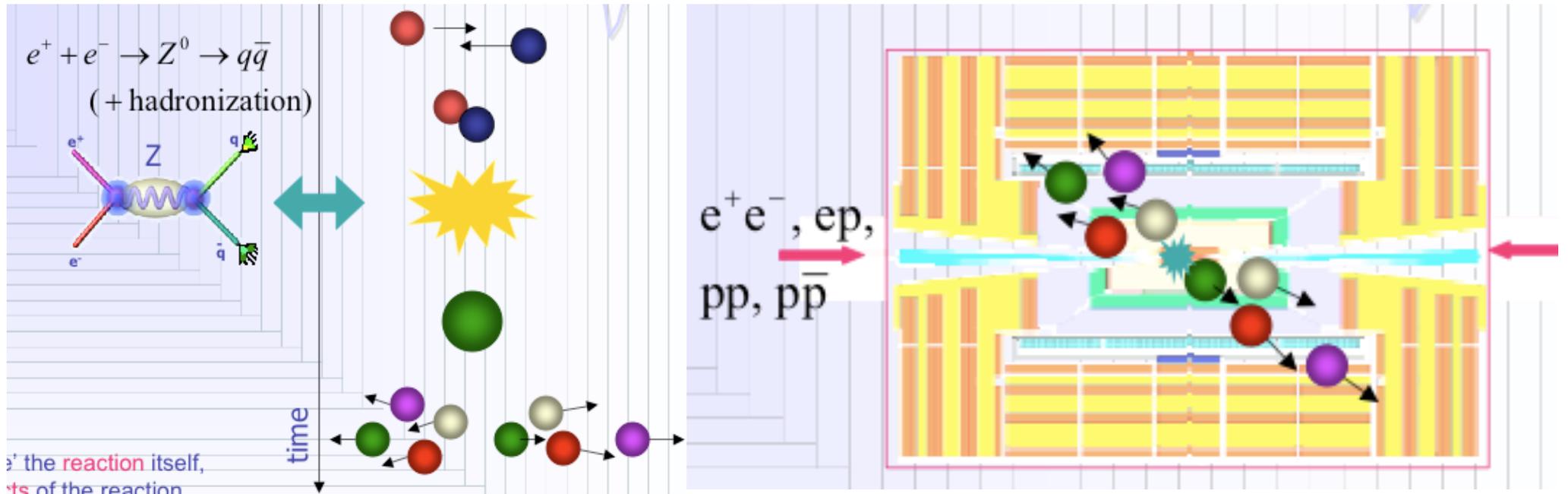
# Sumário

- 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?

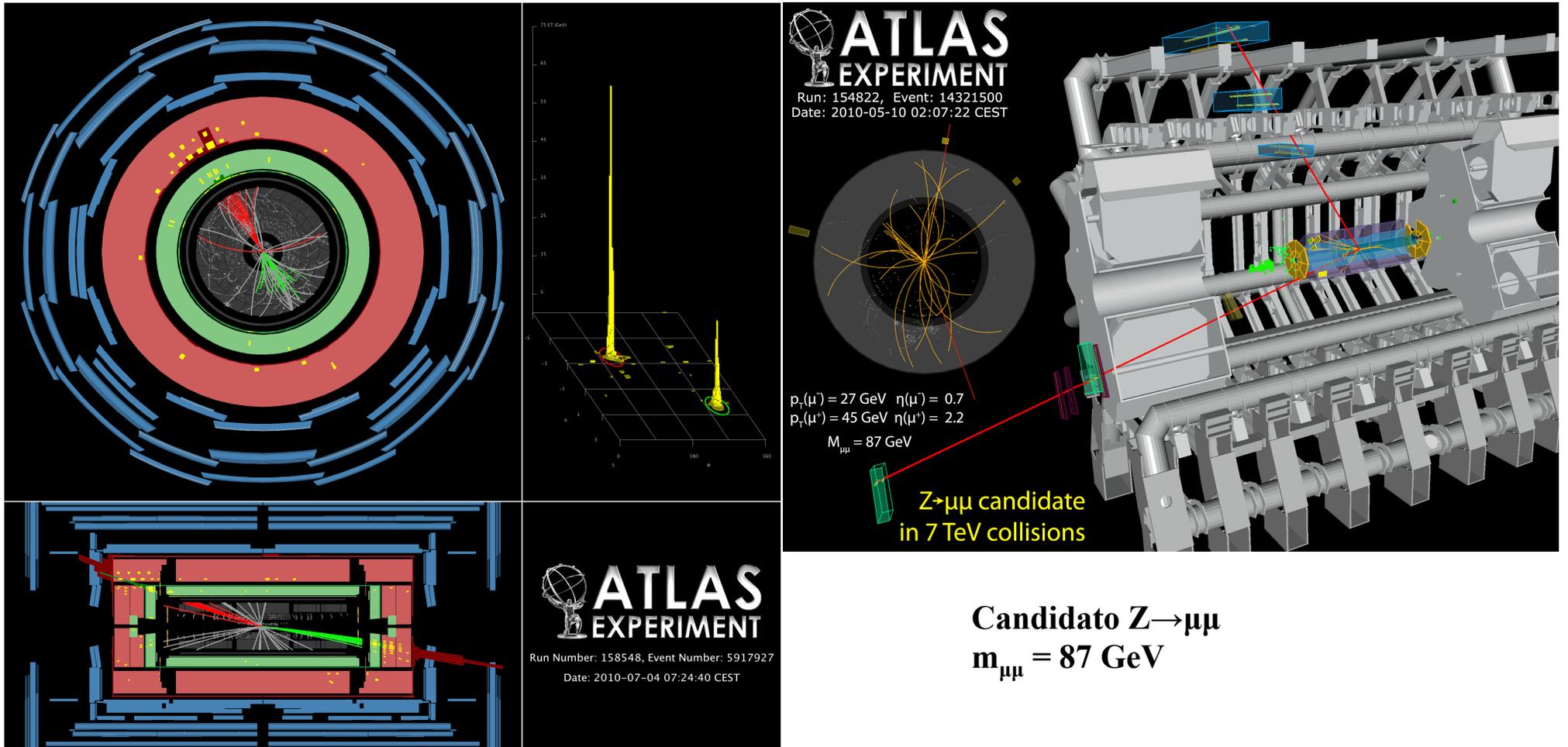
- Partículas carregadas :  $e^+$ ,  $e^-$ ,  $p$ ,  $\pi^\pm$ ,  $\mu^\pm$
- Partículas neutras:  $\gamma$ ,  $n$ ,  $\pi^0$ ,  $\nu$
- Partículas com semi-vida muito curta não são observadas de forma directa, o que detectamos serão os produtos da sua desintegração (muito frequente em experiências de 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, fótons,...)** que vão ser detectadas através da sua interação com a matéria que constitui as várias partes do detector .

Eventos produzidos no ATLAS (no acelerador LHC na colisão de 2 prótons de 3.5TeV+3.5TeV  
(1TeV =10<sup>12</sup> electrão Volt)



Produção de 2 jactos ( $m_{jj} = 2.55 \text{ TeV}$ )

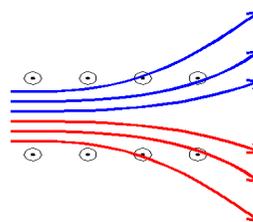
## Qual a função de um detector numa experiência de Física de altas energias?

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 trajetória 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 é possível utilizando vários sub-detectores complementares**

# Princípios de detecção

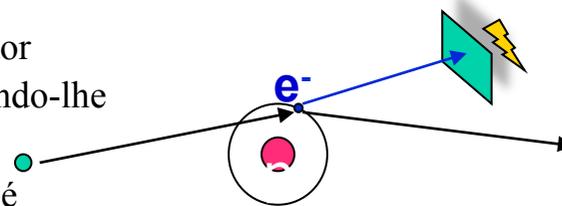
Só é possível medir as características duma partícula se elas interagirem com o material do detector => criar um sinal mensurável (sinal eléctrico, luminoso, ...)

As partículas carregadas ( $e^+$ , ...) vão interagir por:

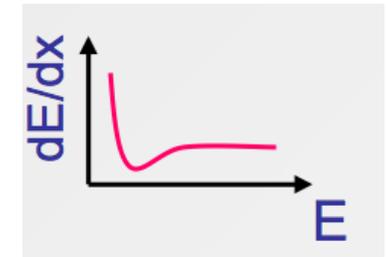
## • Ionização

Colisão com um electrão do átomo do material absorvedor transferindo-lhe parte da sua energia incidente e arrancando-lhe um electrão => **produção e detecção de carga**

O número de colisões e a consequente perda de energia é Proporcional à densidade de electrões do meio. Dominante a baixa Energia (E).

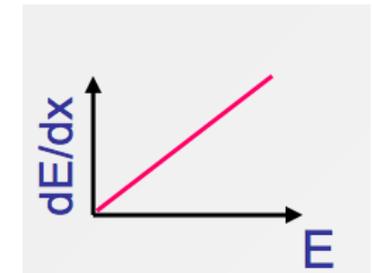
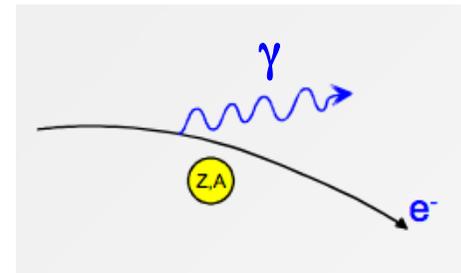


fórmula de “Bethe-Bloch”



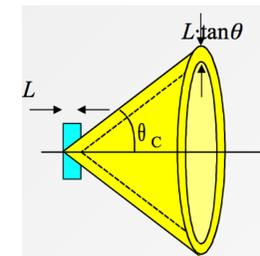
## • Excitação

Excitação do material absorvedor com libertação de fótons que vão transportar parte da energia da partícula incidente => **Produção e detecção de luz proporcional E incidente**



## • Emissão de luz de Cherenkov

Se a velocidade ( $\beta$ ) da partícula carregada incidente no material absorvedor  $> c/n$  ( $c$ = velocidade da luz no vazio ;  $n$ = índice de refração do meio). A luz produzida é emitida com um ângulo  $\cos \Theta = 1/n\beta$ .



$$\cos \theta_C = \frac{1}{n\beta}$$

## • Dispersão-mudança de direcção (“Coulomb scattering”),...

# Interacção das partículas neutras (fotões)

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

**γ**

- Photoelectric effect
- Compton effect
- Pair production  
 $E_\gamma \geq 2 \times 511 \text{ keV}$

**Photo-electric effect:** (alrea)

$\gamma + \text{atom} \rightarrow \text{atom}^+ + e^-$

**Compton scattering:**

$E'_\gamma = E_\gamma \frac{1}{1 + \epsilon(1 - \cos\theta_\gamma)}$   
 $E_e = E_\gamma - E'_\gamma$

$\gamma + e \rightarrow \gamma' + e'$

**Pair production:**

$\gamma + \text{nucleus} \rightarrow e^+ e^- + \text{nucleus}$

Absorção de um fotão por um electrão (ligado) de um átomo do meio absorvedor e a consequente libertação de um electrão  
A probabilidade é proporcional a  $E^{-3}$  ;  $Z^5$

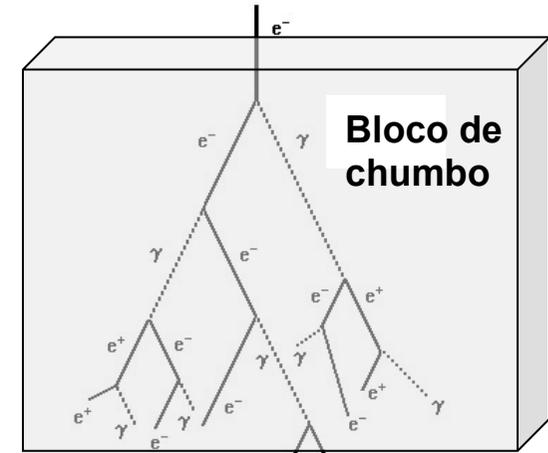
Dispersão (mudança de direcção) de um fotão por um electrão (quase livre) de um átomo do detector  
A probabilidade é proporcional a densidade do material ( $Z$ )

Transformação de um fotão num par de  $e^+e^-$  na presença de um núcleo atómico do detector.  
A probabilidade aumenta com  $Z$  ;  $E$

Ana Henriques/CERN

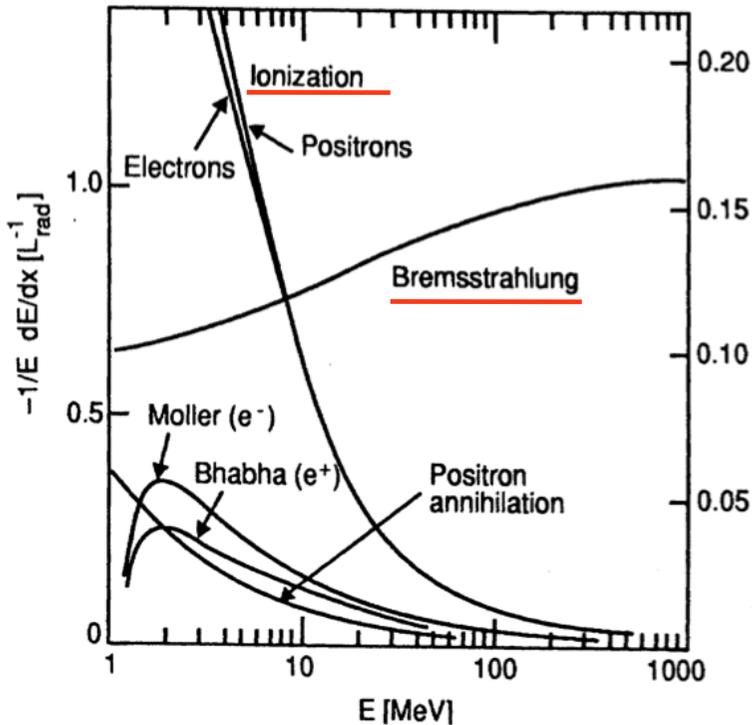
# Desenvolvimento de uma Cascata electromagnética

- Pode ser iniciada por um  $\gamma$  ou um  $e^+e^-$
- Para  $E > E_c$  (energia crítica,  $E_c=550/Z$ ): multiplicação de uma cascata por “pair production” ( $\gamma \rightarrow e^+e^-$ ) e “Bremsstrahlung”
- Para  $E < E_c$ : absorção das partículas geradas na cascata por Ionização, efeito Compton e fotoeléctrico
- O número de partículas gerada  $N \propto E_{\text{incidente}}$  com uma flutuação  $\sigma = \sqrt{N}$

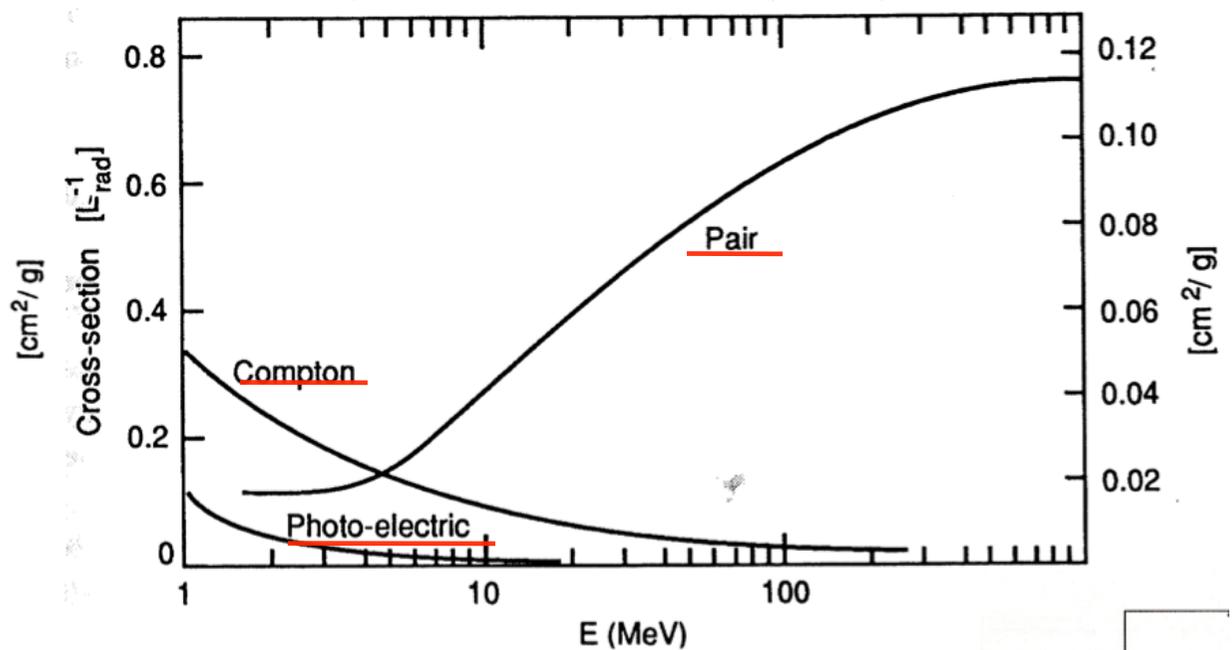


• A resolução da energia detectada =  $\frac{\sigma(E)}{E} \approx \frac{\sigma(N)}{N} \approx \frac{1}{\sqrt{N}} \approx \frac{1}{\sqrt{E}}$

(Interação de  $e^\pm$  em Pb;  $Z=82$ )



Interação de fótons em Pb ( $Z=82$ )



## Interacção das partículas hadrónicas carregadas ( $p, \pi^+, k^+$ ) ou neutras ( $n$ )

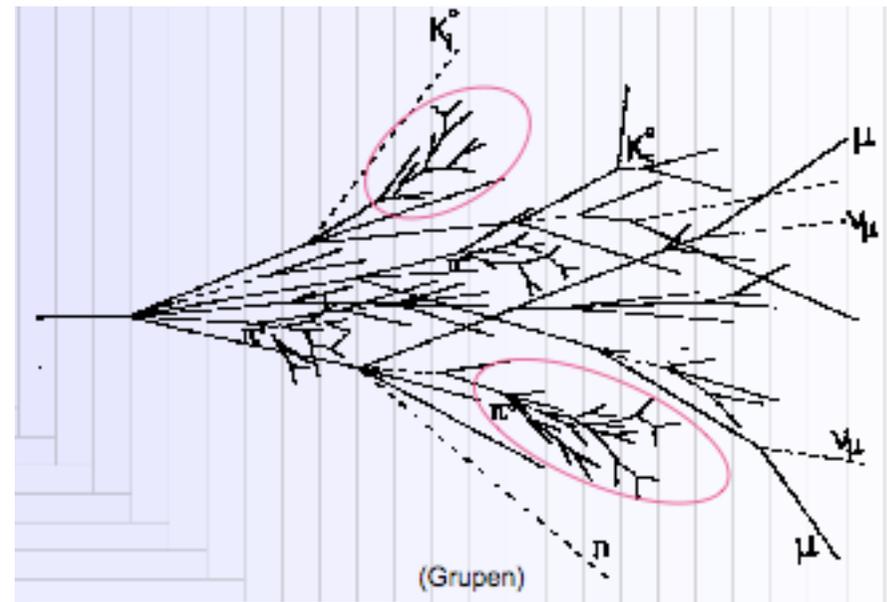
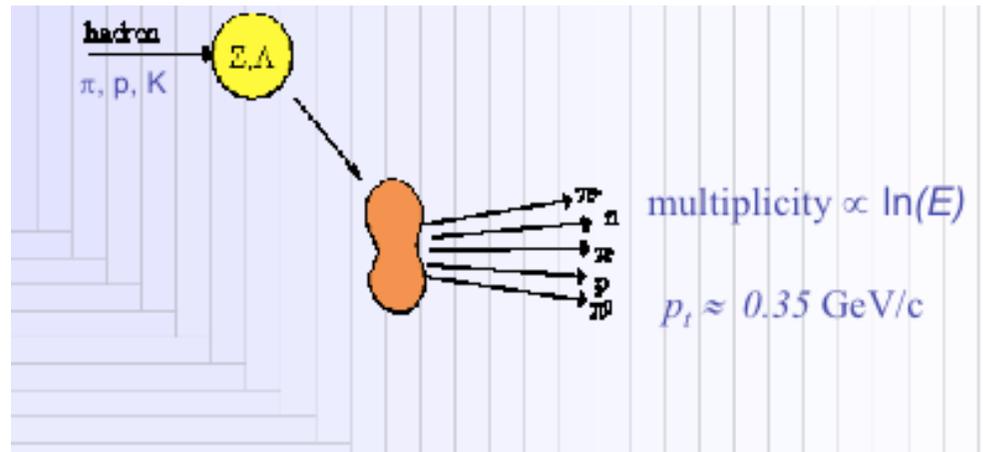
A interacção de hadrões energéticos (neutros e carregados) com a matéria é determinada por processos inelásticos, i.e., excitação nuclear que leva à fragmentação do núcleo e produção de partículas secundárias neutras e carregadas ( $n, \pi^{+-0}, \mu, \nu, \dots$ )

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

⇒ Formação de uma cascata hadrónica de partículas

A resolução em energia vai estar limitada pelas flutuações evento a evento dos vários processos envolvidos no desenvolvimento da cascata hadrónica :

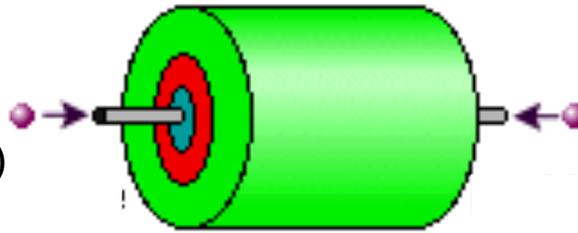
- $E_{\text{invisível}}$  necessária para fragmentar o núcleo.
- flutuações da componente electromagnética (formação de  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  ;  $\langle \text{fracção } \pi^0 \rangle \sim 0.1 \log(E)$ )
- Energia não detectada por certas partículas ( $\mu$ s, neutrinos,...)



cascata hadrónica

# As componentes de um detector num colisionador de partículas

Partícula incidente  
(ex: no LHC Protão (7 TeV))



Protão (7 TeV)

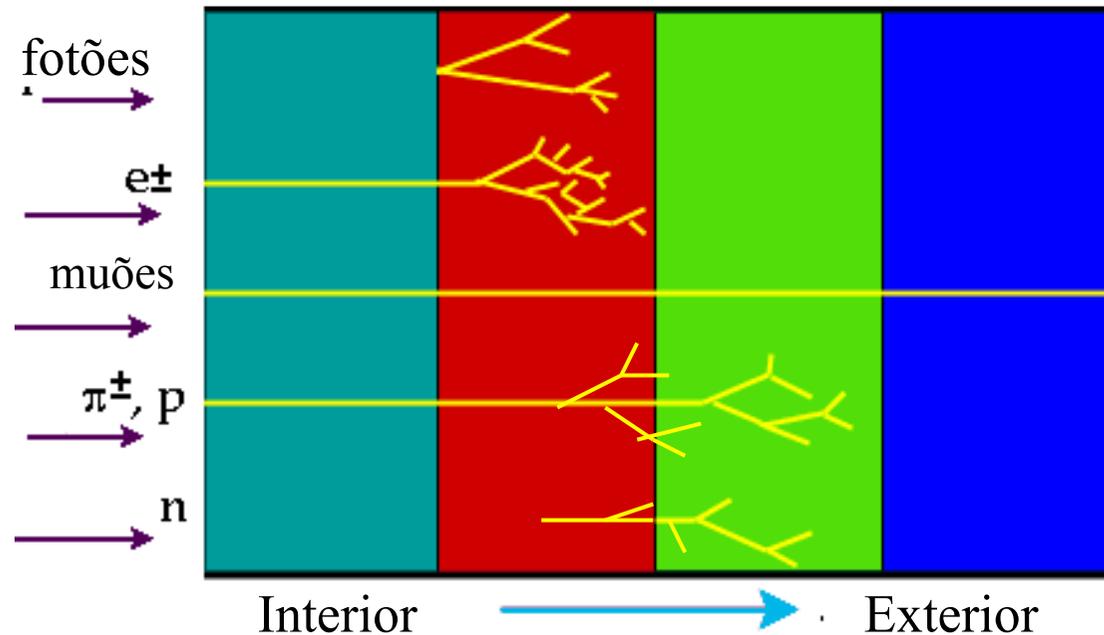
Detector

Câmara  
de traços

Calorímetro  
electromagnético

Calorímetro  
hadrónico

Espectrometro  
de muões



# O Princípio de detecção dos Calorímetros

## Mecanismo básico em calorimetria:

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

## Transformação da energia da cascata electromagnética:

*Ionização-produção de  $e^-$  (carga)*

*Excitação-produção de  $\gamma$ : (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 ( $n$ , fótons)*

*...única forma de obter directamente*

*informação da cinética de partículas neutras*

# Calorímetros homogêneos

Toda a energia absorvida no detector é detectada,

ex: ‘*crystal calorimeters*’ (calorímetro electromagnético de CMS ( $\text{PbWO}_4$ ):

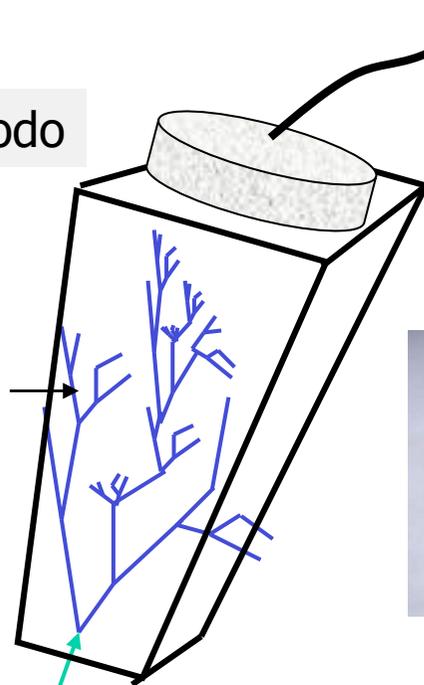


Lead Tungstate Crystals

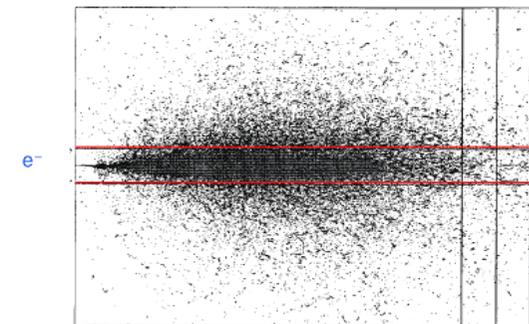


Fotodíodo

sinal



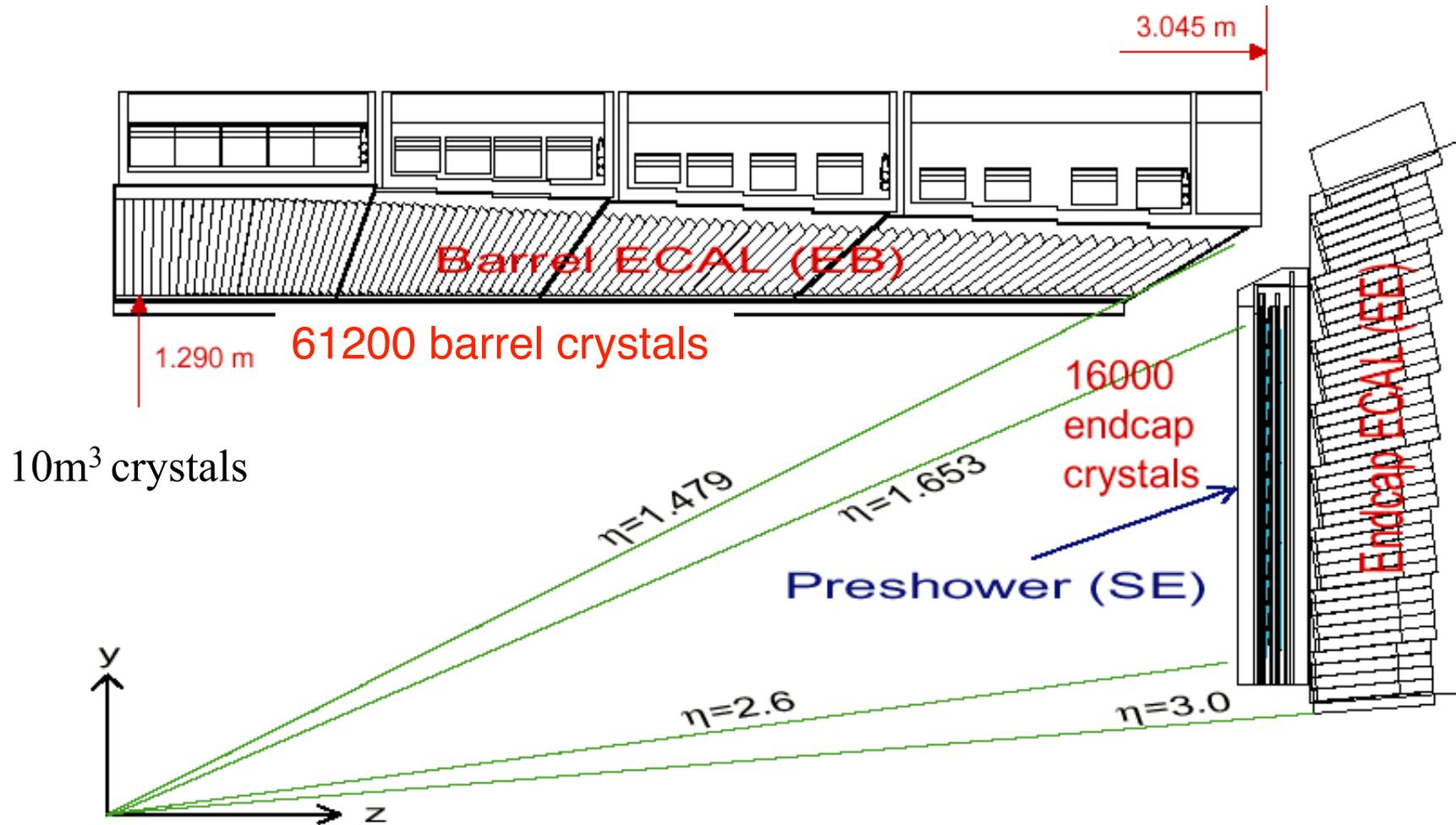
Crystal ( $\text{BGO}$ ,  $\text{PbWO}_4$ ,...)



23 25 27  $X_0$   
1  $X_0$  = 0.9 cm

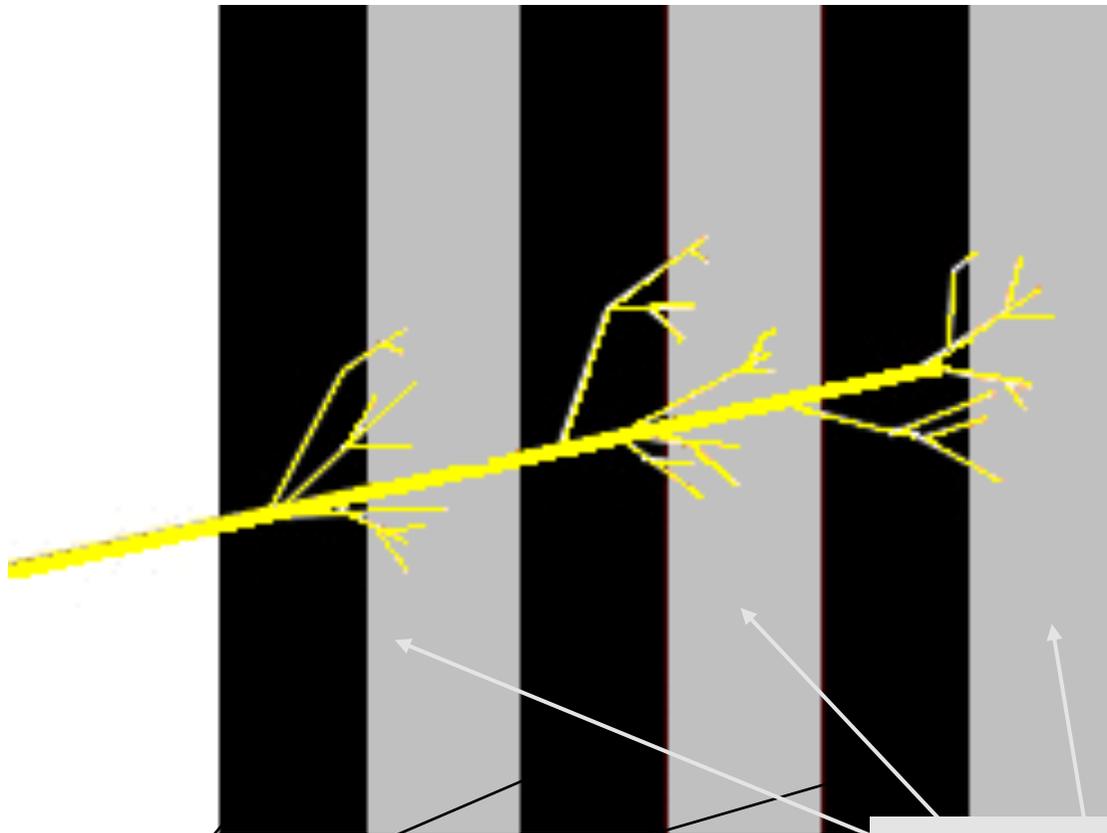
Ana Henriques/CERN

# Calorímetro electromagnético de CMS



# 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)



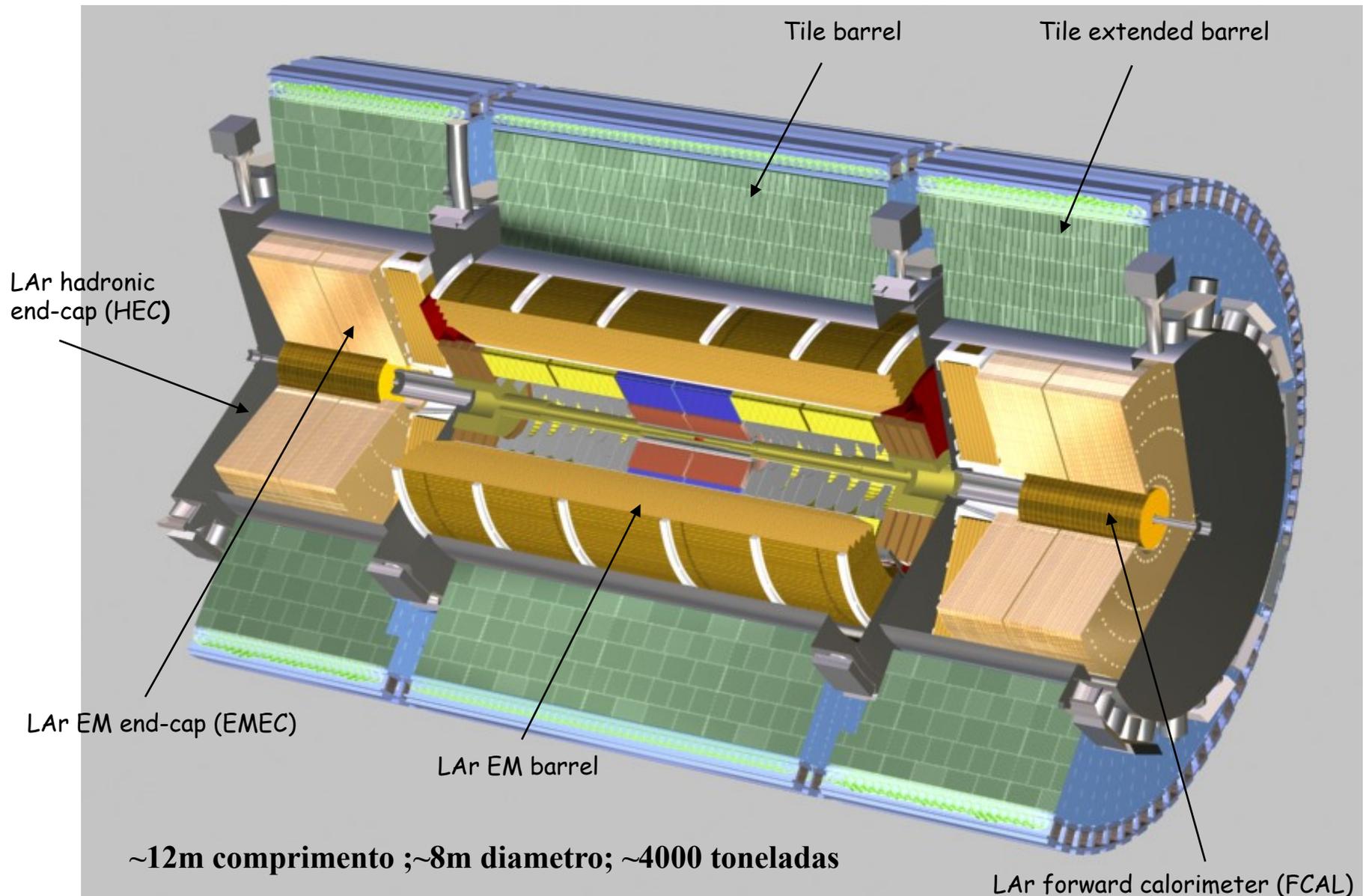
...mas tem de ser calibrado com feixes de energia conhecida !!!

Blocos densos, ex: chumbo, Fe, ..

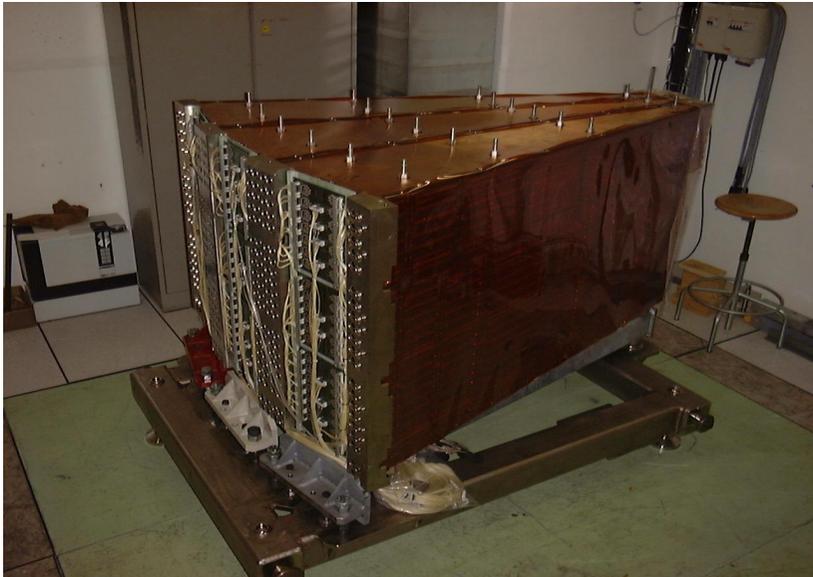
Detectores - câmaras de fios e cintiladores

Ana Henriques/CERN

# Calorímetros de ATLAS



# Calorímetros de amostragem em ATLAS



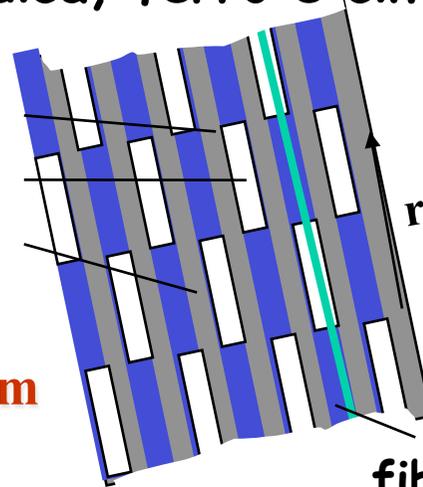
Ana Henriques/CERN

# 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

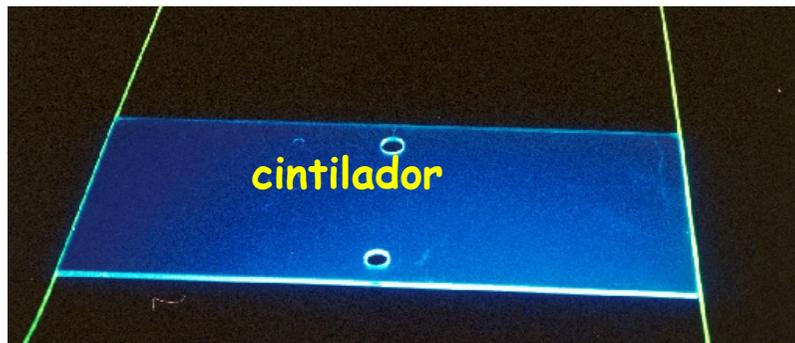
Luz produzida nos cintiladores transmitida até aos fotomultiplicadores através de fibras ópticas WLS

fibra

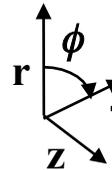
Caveta (com electrónica)

sub-módulo

Fibras WLS

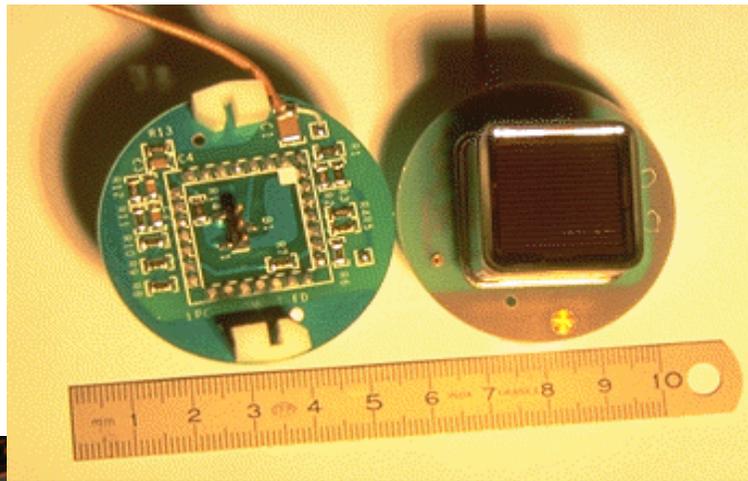
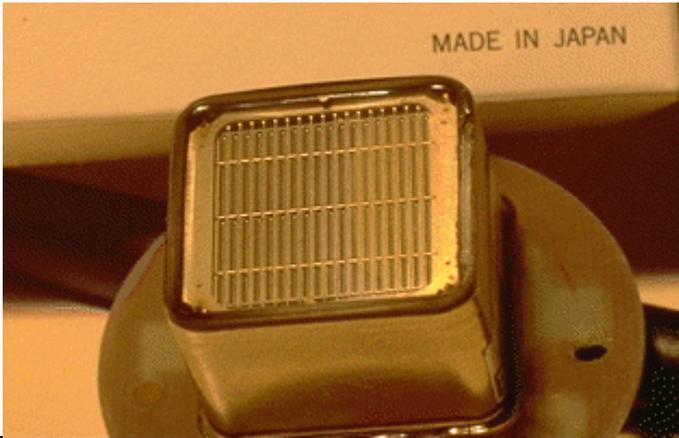


- Hermeticidade para detecção de jactos e  $E_{\text{miss}}^+$
- Cobertura  $|\eta| < 1.6$
- Resolução em energia para jactos

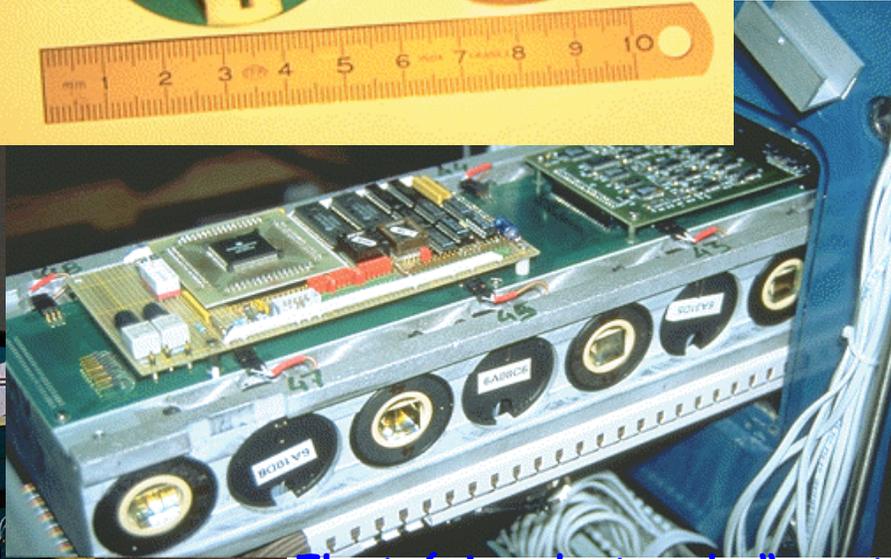
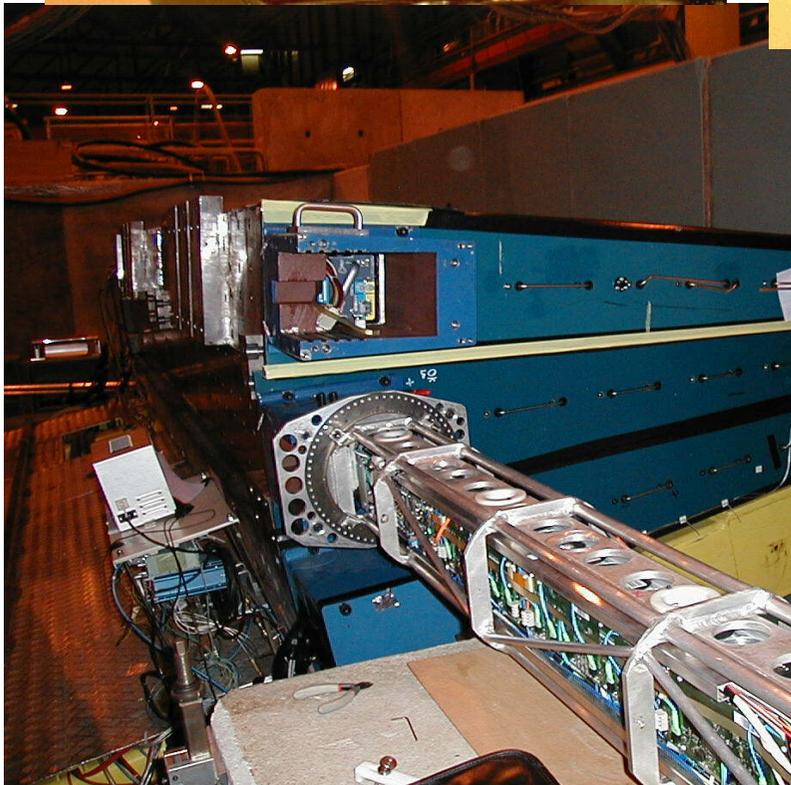


$$\frac{\Delta E}{E} \sim \frac{50\%}{\sqrt{E}} \oplus 3\%$$

# 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

# As várias etapas do projecto Tilecal (1993-2011)



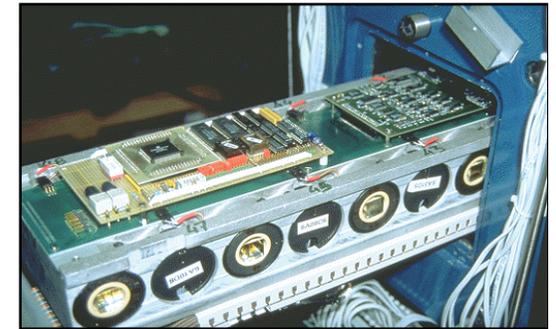
1993-1995 R&D-protótipos



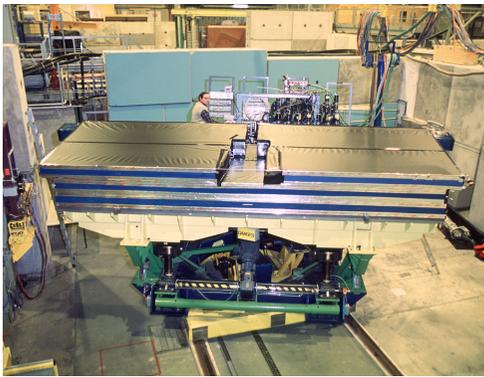
1996-2002: construção



1999-2002 Instrumentação



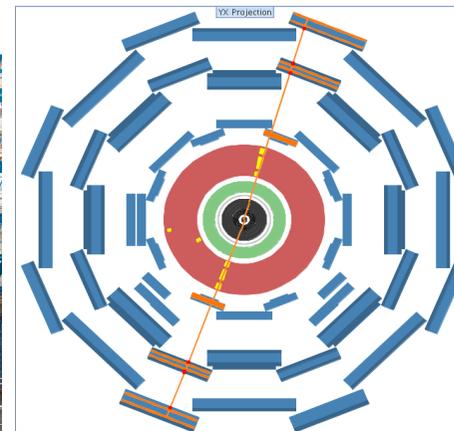
1999-2004: Electrónica



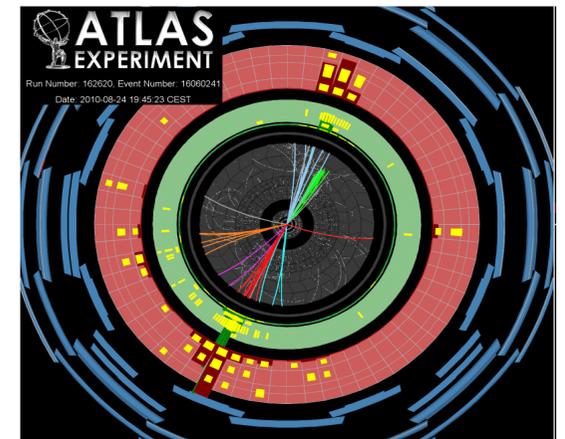
2002-2004: calibrações



2004-2006 Instalação



2007-2009 certificação  
(raios cósmicos)



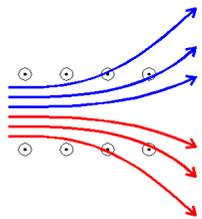
2009-->: aquisição/  
análise dados LHC

Um longo percurso para conseguir as excelentes características do Tilecal no ATLAS  
(com a colaboração dos Portugueses (Profs/alunos/ex-alunos da FCUL em particular!))

## A função dos detectores de traços

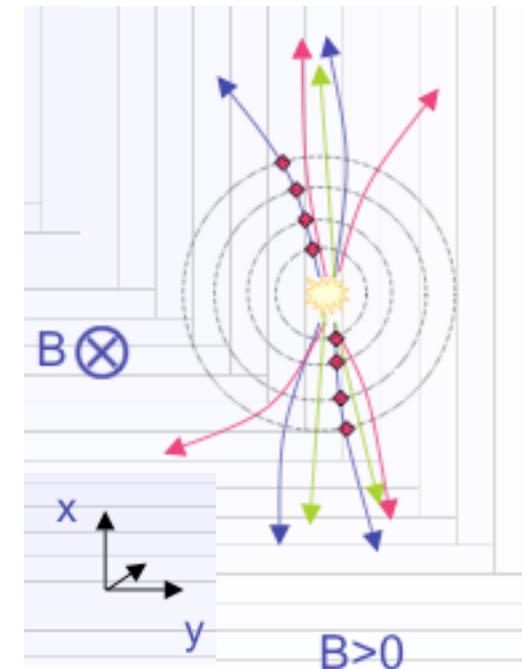
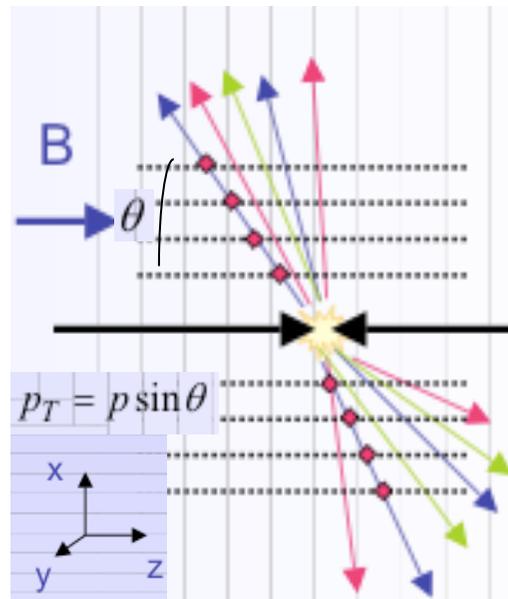
- Permite medir a **carga e momento** das **partículas carregadas** produzidas na colisão (na presença de um **campo magnético**).
- A sua trajetória vai ser reconstruída medindo vários pontos no espaço.

Usam-se materiais / detectores pouco densos de forma a minimizar a dispersão das partículas e medir a sua trajetória (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

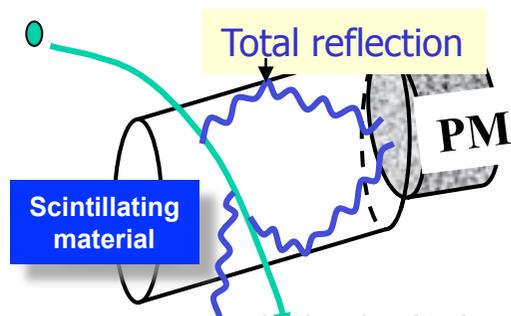
## - Detectores de ionização:

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

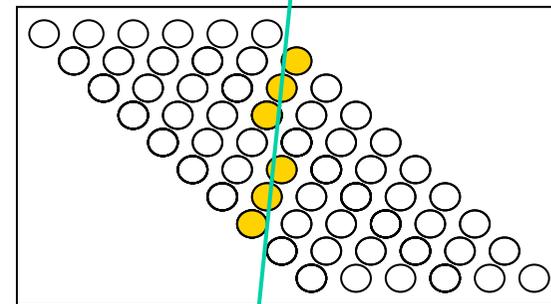
# Principais técnicas usadas nos detectores de traços

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 inorgânicos
- Cintiladores orgânicos



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



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

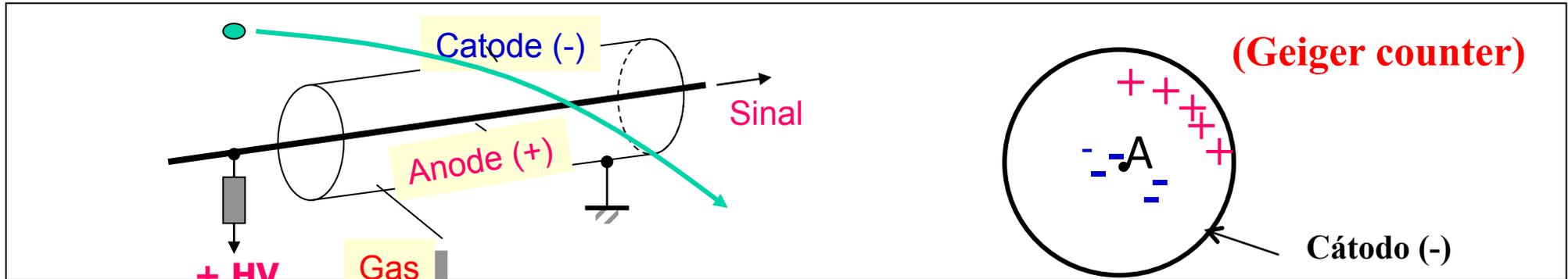
## Cristais cintiladores:

Scintillator composition	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Index of refraction	Wavelength of max.Em. (nm)	Decay time Constant (μs)	Scinti Pulse height <sup>1)</sup>
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 <sub>2</sub> (Eu)	3.19	1.4	435	0.9	50
BaF <sub>2</sub>	4.88	1.5	190/220 310	0,0006 0.63	5 15
BGO	7.13	2.2	480	0.30	10
CdWO <sub>4</sub>	7.90	2.3	540	5.0	40
PbWO <sub>4</sub>	8.28	2.1	440	0.020	0.1

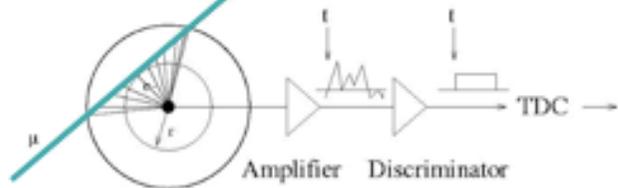


# Principais técnicas usadas nos detectores de traços (cont)

2) **Detectores de ionização.** A partícula carregada arranca electrões do detector ao longo do seu percurso . Um potencial eléctrico criado entre o ânodo / cátodo obriga os electrões a deslocar-se para o ânodo e os iões (+) para o cátodo



## 'Drift tube'

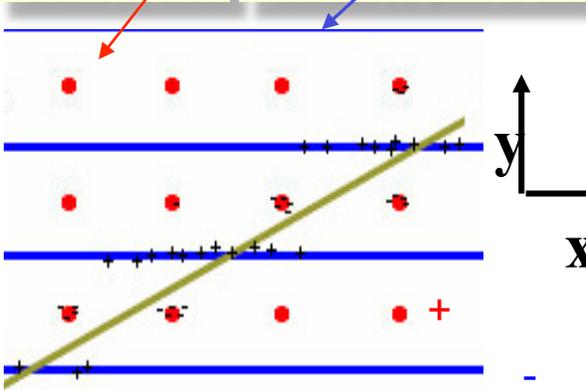


A medida do tempo de deriva (entre a passagem da partícula e a chegada dos electrões ao ânodo) é convertida num raio através duma correlação raio-tempo

## MWPC ('multi wire proportional chamber')

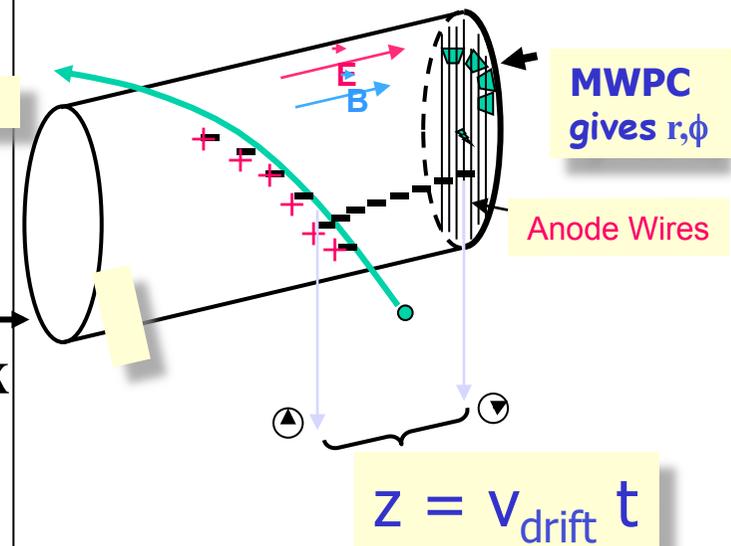
Premio Nobel: G.Charpak, 1992

Anode (+) wires Cathode (-): pads or wires



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

## TPC ('time projection chamber')



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

# “Drifting tubes”

## The Geiger Counter reloaded: Drift Tube

Atlas Muon Spectrometer, 44m long, from  $r=5$  to 11m.

1200 Chambers

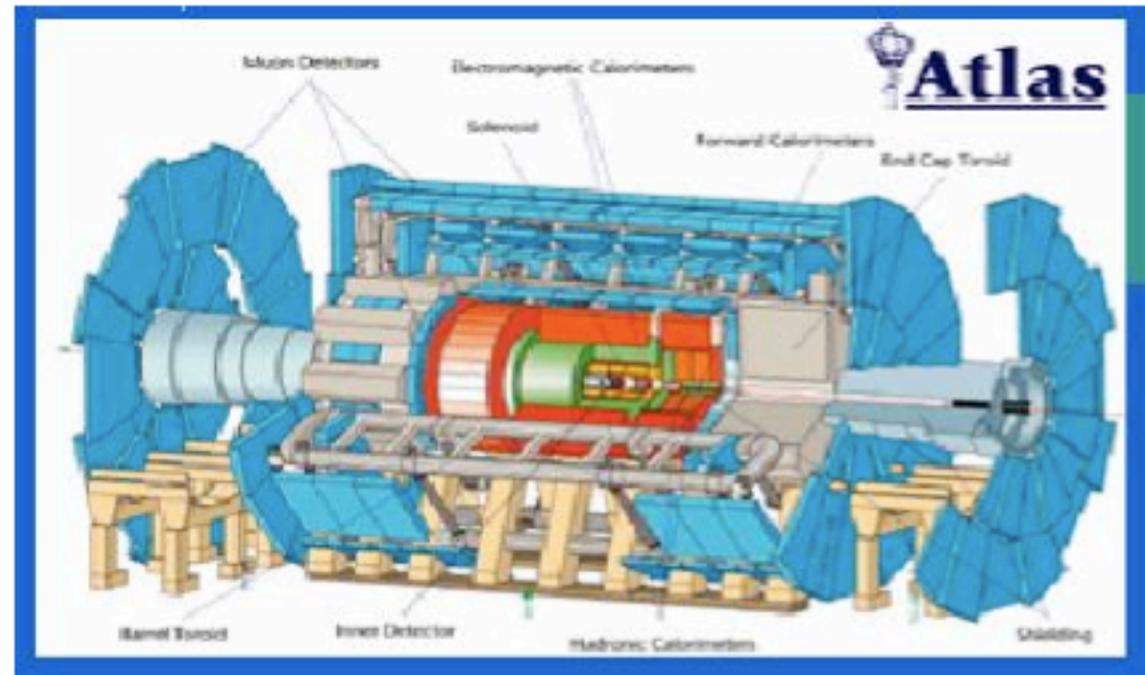
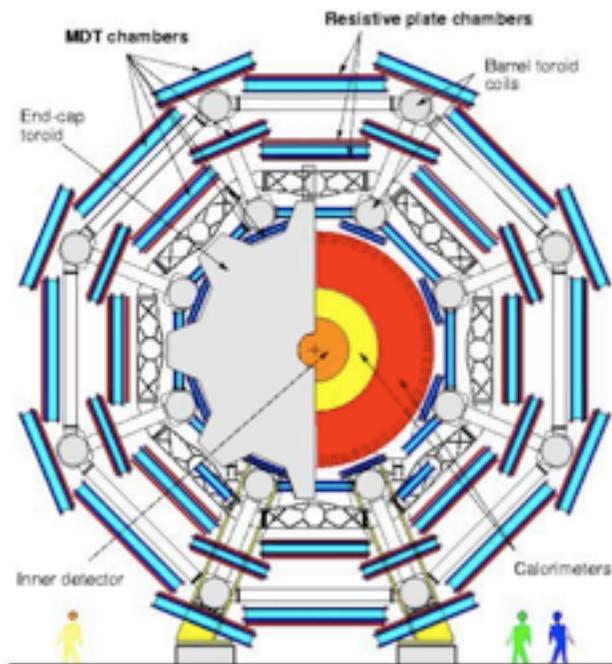
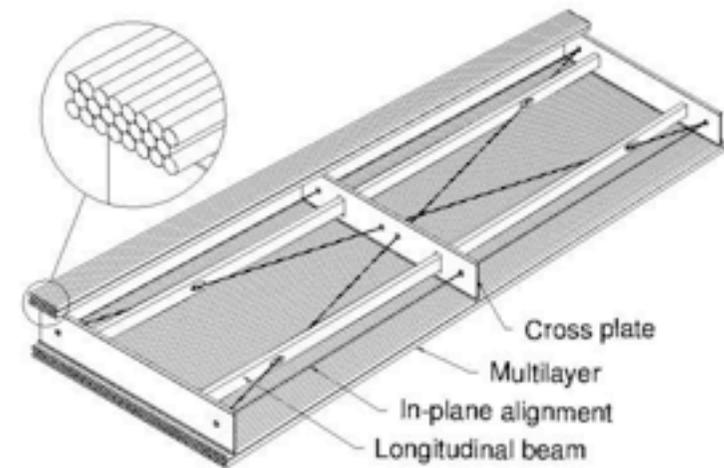
6 layers of 3cm tubes per chamber.

Length of the chambers 1-6m !

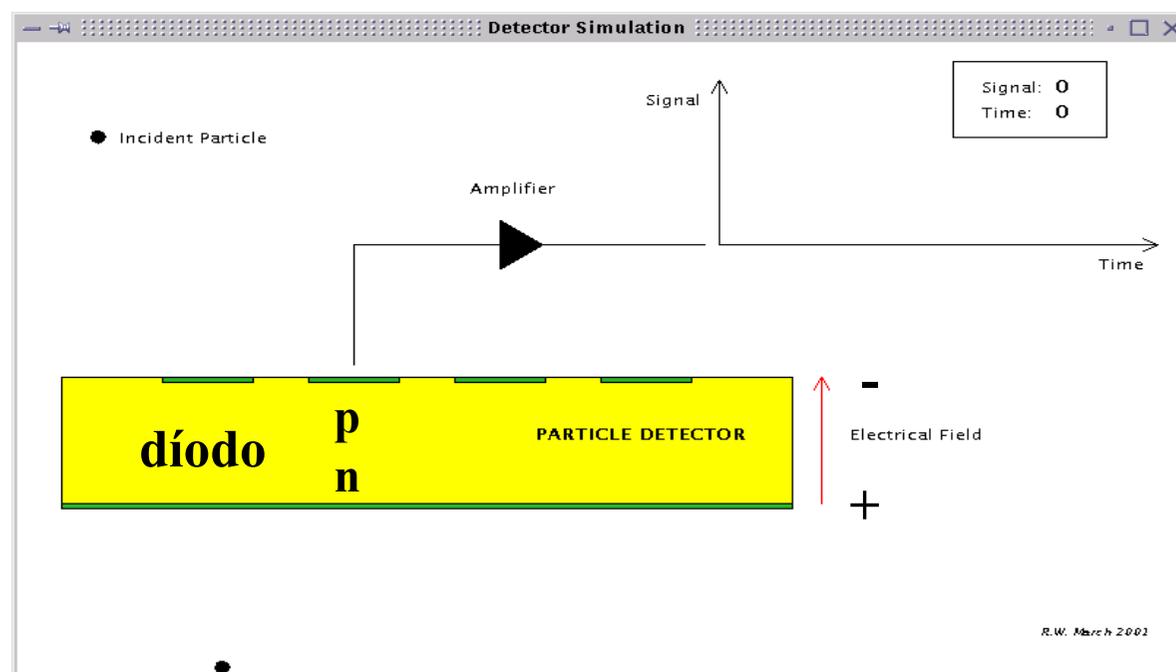
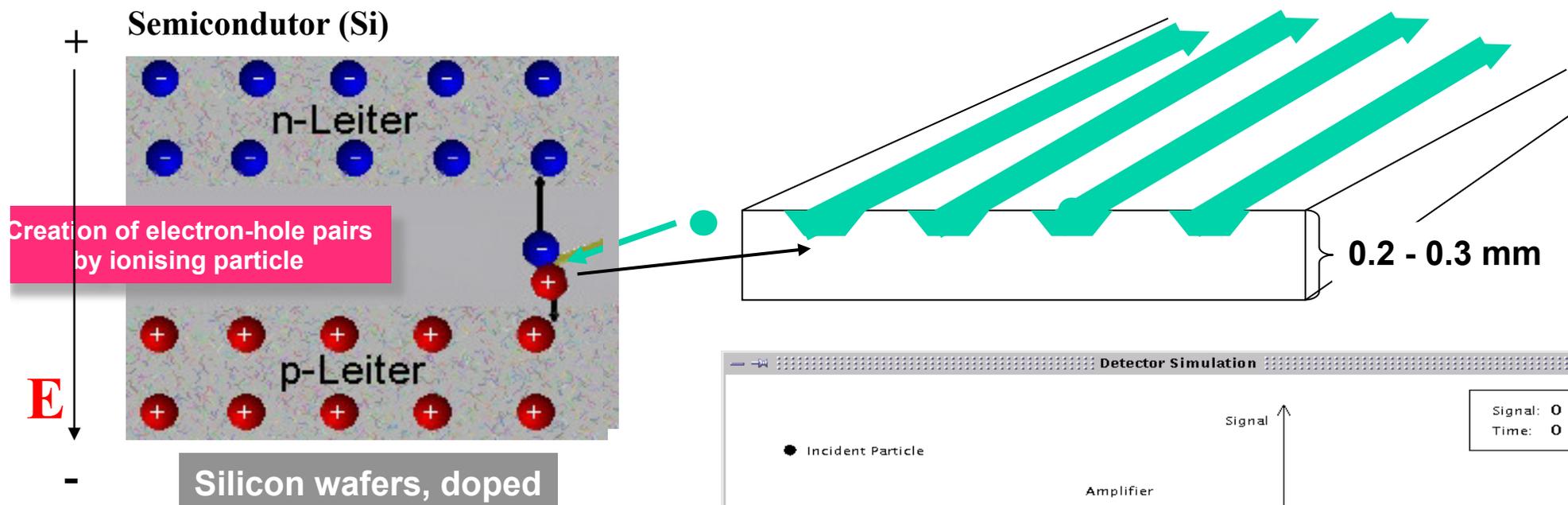
Position resolution:  $80\mu\text{m}/\text{tube}$ ,  $<50\mu\text{m}/\text{chamber}$  (3 bar)

Maximum drift time  $\approx 700\text{ns}$

Gas Ar/CO<sub>2</sub> 93/7



# Detectores de ionização: *'Silicon Microstrip'*



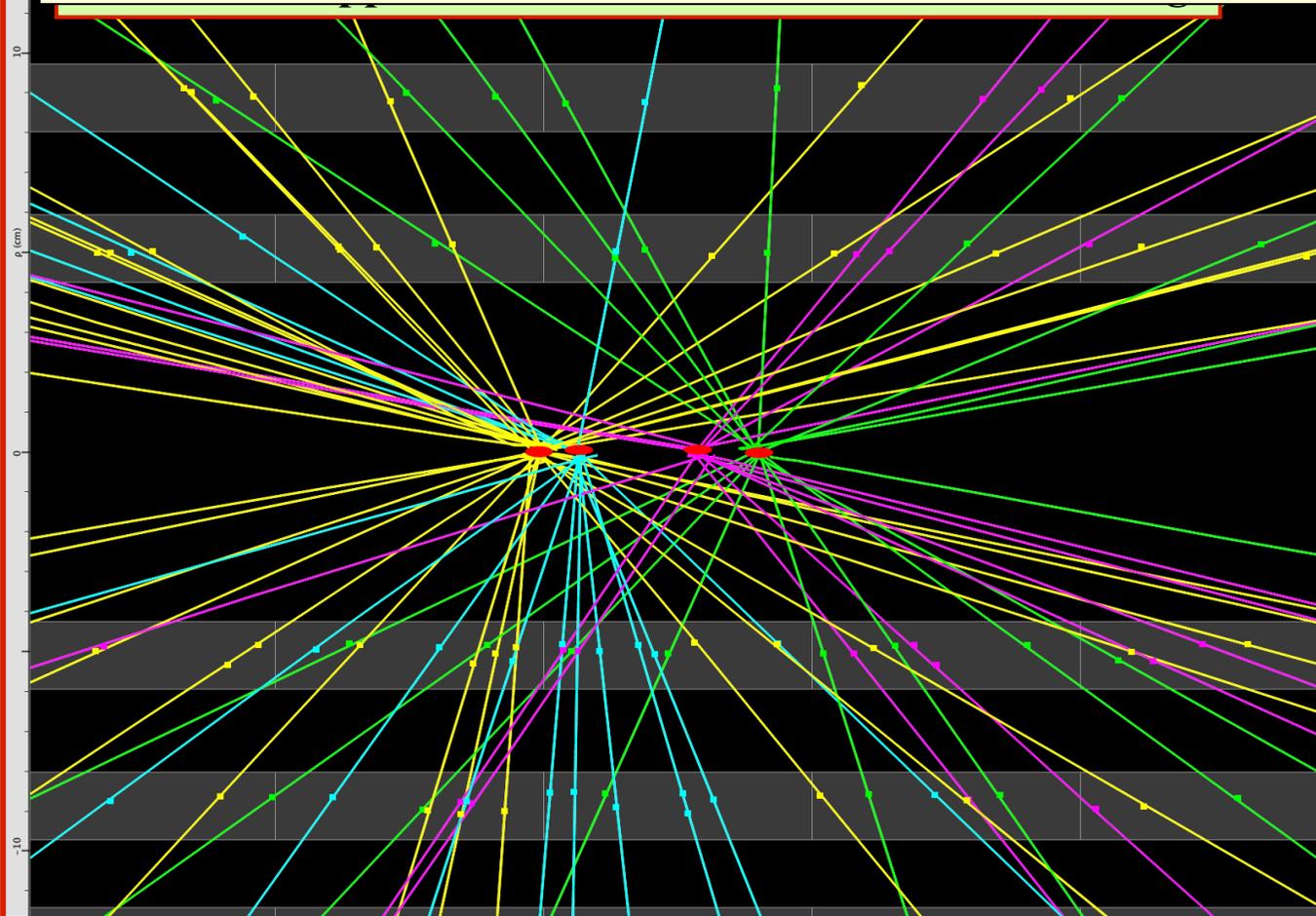
•Mesmo objectivo que os detectores de ionização de gás

•Aqui as 'stripes' funcionam como os fios das câmaras de fios mas com muito melhor resolução em posição ( até 10  $\mu\text{m}$ ).

**Max peak luminosity:  $L \sim 1.6 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$**

**→ average number of pp interactions per bunch-crossing: up to 1.3**

**→ “pile-up” (~40% of the events have  $> 1$  pp interaction per crossing)**

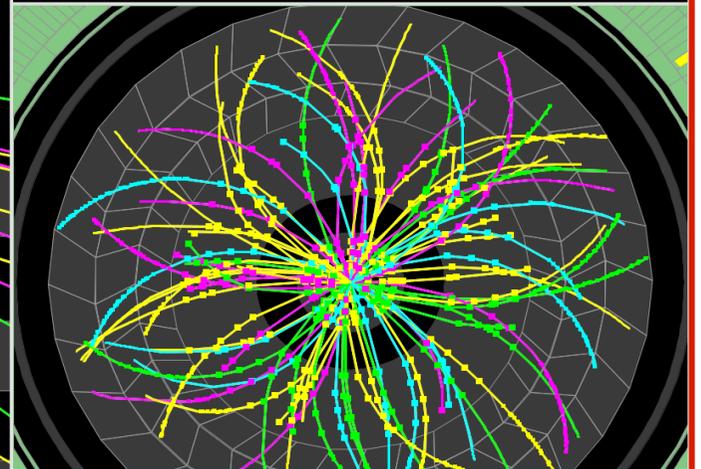


**ATLAS  
EXPERIMENT**

Run Number: 153565, Event Number: 4487360

Date: 2010-04-24 04:18:53 CEST

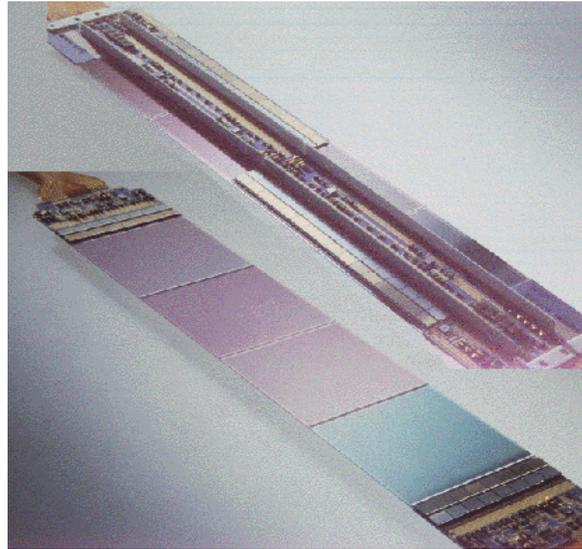
**Event with 4 Pileup Vertices  
in 7 TeV Collisions**



**~ 10-45 tracks with  $p_T > 150 \text{ MeV}$  per vertex**

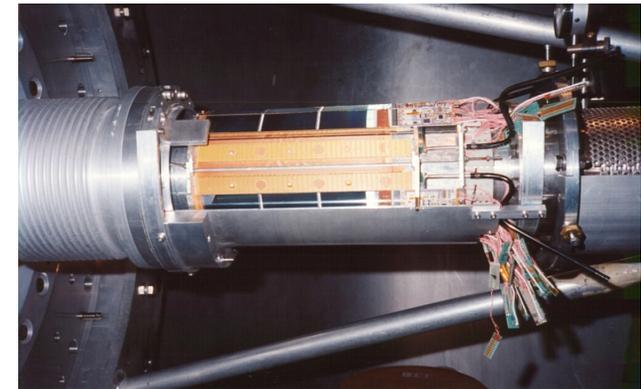
**Vertex z-positions :  $-3.2, -2.3, 0.5, 1.9 \text{ cm}$  (vertex resolution better than  $\sim 200 \mu\text{m}$ )**

# “Silicon Microstrip detectors” ...

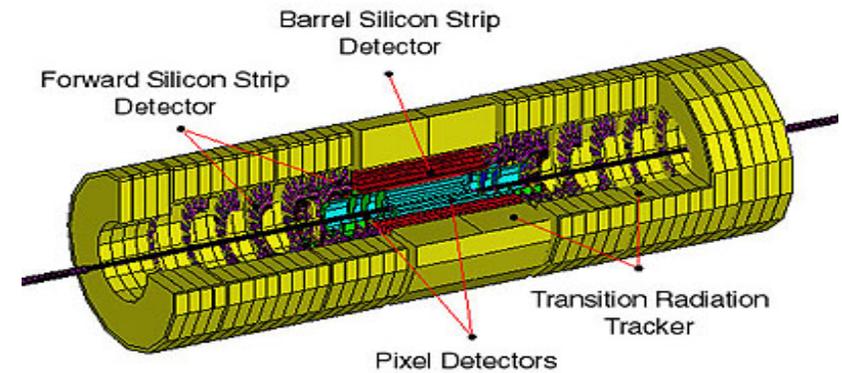


**ATLAS tracking detector**

**OPAL VDET**



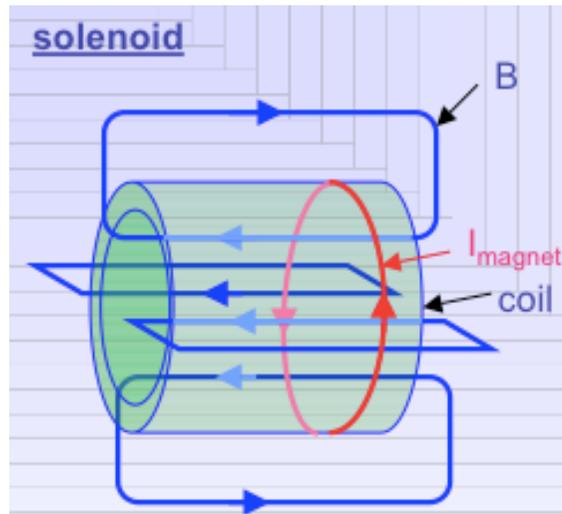
**ALEPH VDET**



**Inner Tracker**



# Conceito do campo magnético em detectores

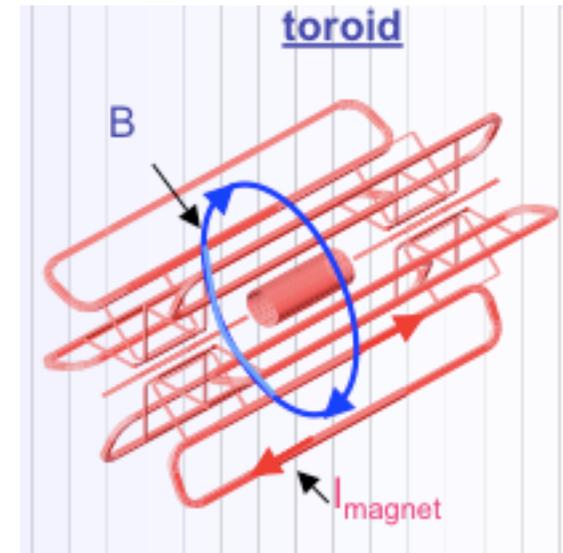


## Principais características:

Campo magnético homogêneo dentro do “coil”  
Espaço reduzido ( $\Rightarrow$  custo)  
Grandes quantidades de material ( $>Z$ )

## Ex: de experiências que usam um solenoide:

- CMS (4Tesla= $4 \times 10^4$ Gauss) no LHC
- ATLAS (2T) para o detector de traços interno
- L3 (0.5T) e DELPHI (1.2T) no LEP

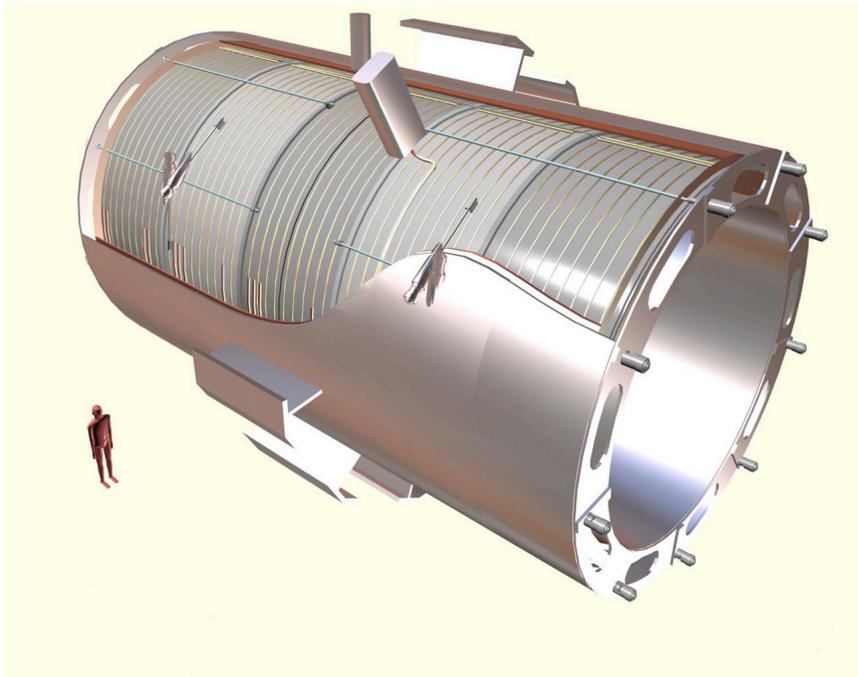


## Principais características:

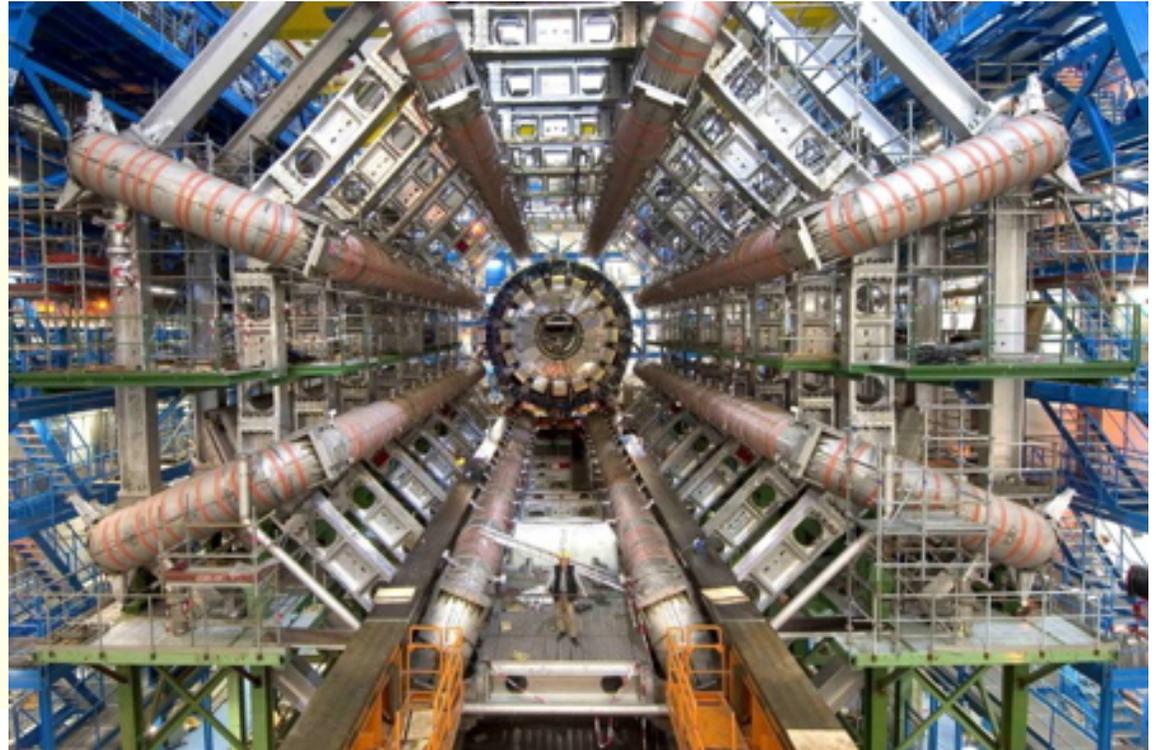
Elevados B em grandes volumes  
Inferior quantidade de material no interior ( $<Z$ )  
B não uniforme

## Exemplo de experiências que usam um toróide:

- ATLAS ( $\sim 0.5$ T) no LHC para o espectrómetro de muões



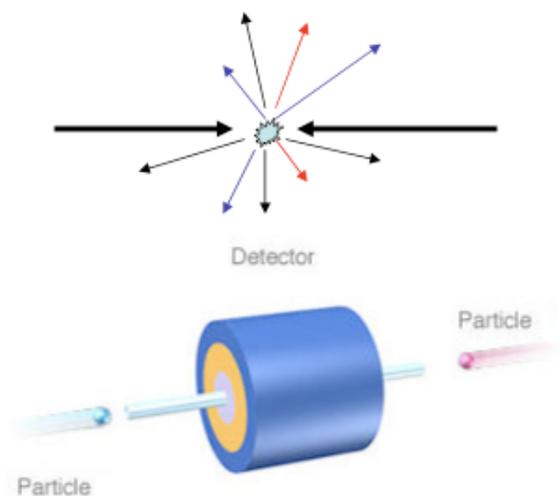
**CMS solenoid:**  
 superconductor  
 length 12.5 m  
 Free bore diameter 6 m  
 Central magnetic induction 4 T  
 Nominal current 20 kA  
 Stored energy 2.7 GJ



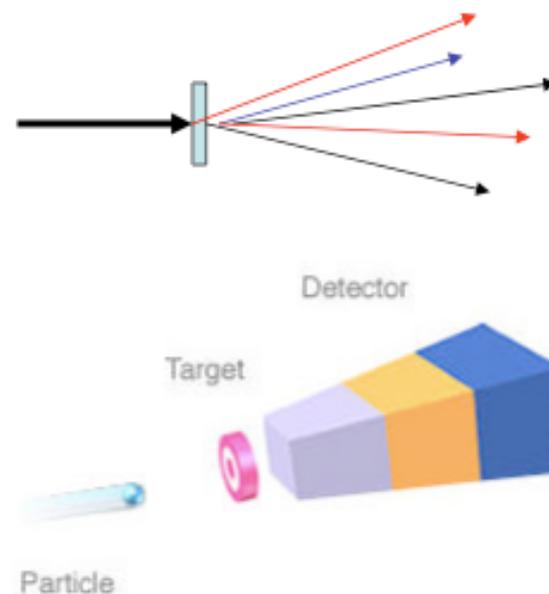
**ATLAS barrel toroid:**  
 superconductor  
 length 25 m  
 Inside diameter 9.5 m  
 Central magnetic induction 0.4 T  
 Nominal current 20.5 kA

# Conceitos de detectores diferentes

## Colisionador- $4\pi$



## Alvo fixo



**Ex:**

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

**ângulo sólido máximo**

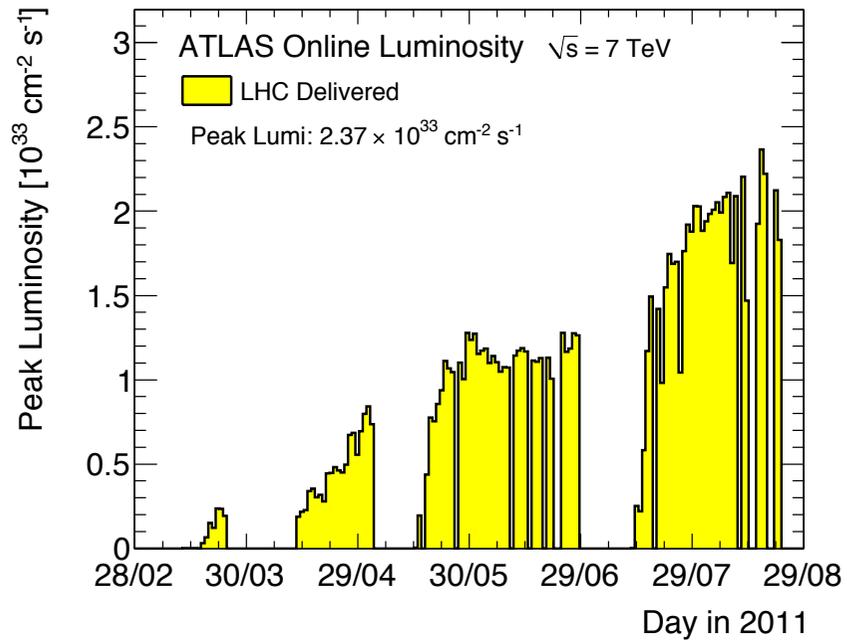
**Compacto, Acesso difícil**

**Ex:**

- NA48 no SPS

**Ângulo de aceitação limitado**

**Acesso para manutenção mais fácil**



## O Acelarador LHC:

### Objectivo para 2013:

- Colisão protão-protão: 7- 7 TeV
- Luminosidade:  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

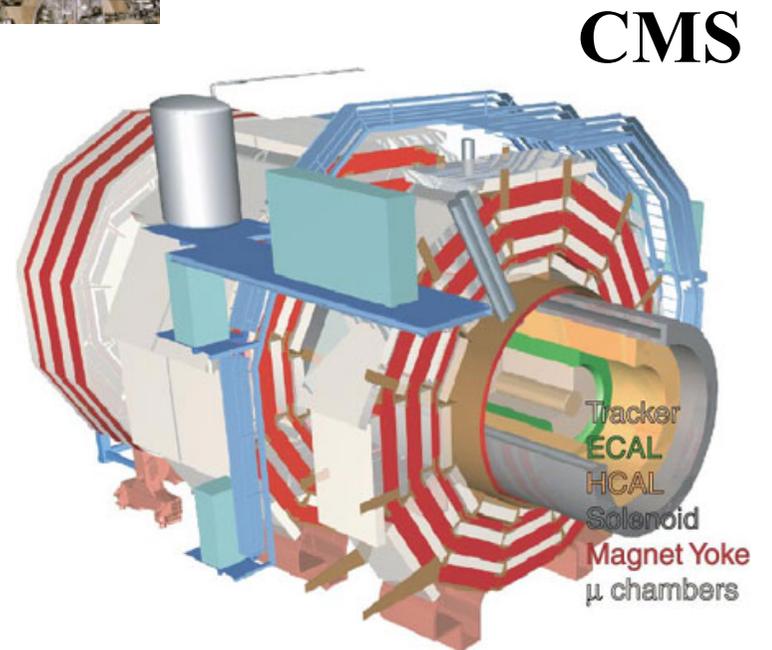
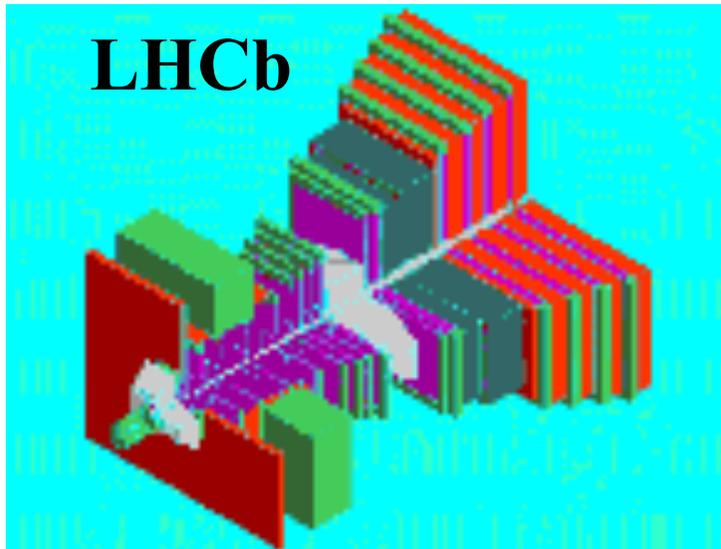
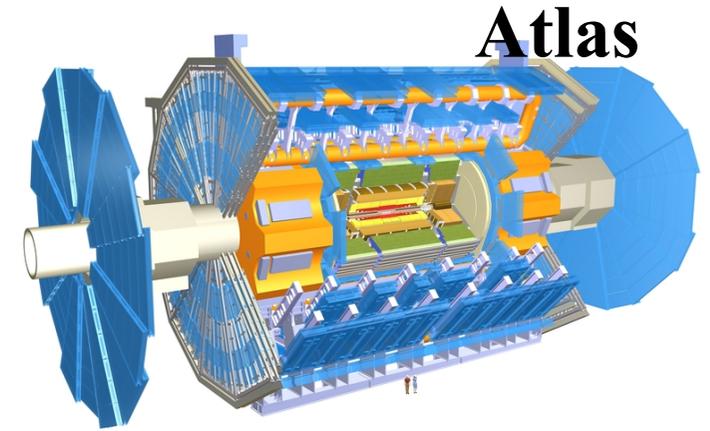
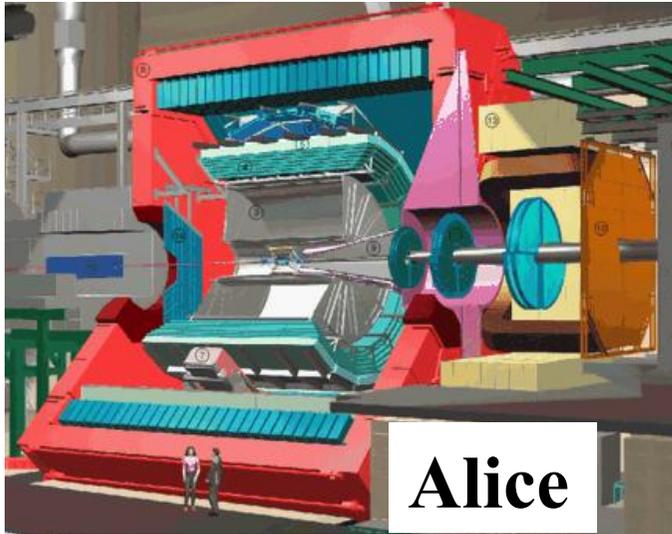
### Em 2011

- Energia de colisão: 3.5-3.5teV
- Luminosidade  $\sim 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $\sim 2.7 \text{ fb}^{-1}$  em Agosto 2011



# As 4 experiências do LHC

(enterradas a ~ 90m de profundidade)



Espectrômetro de múons ( $|\eta| < 2.7$ ) : Toróides supercondutores 0.5T+ câmaras de múons (gás)  $\sigma/p_T < 10\%$   $E_\mu \leq 1$  TeV



**ATLAS:**  
Comprimento: ~ 46 m  
Raio : ~ 12 m  
Peso : ~ 7000 toneladas  
~ $10^8$  canais electrónica  
3000 km de cabos

“Trigger” : 3 níveis  
40 MHz  $\rightarrow$  ~200 Hz

“Inner tracker” ( $|\eta| < 2.5$ , B=2T):  
Pixels, SCT, TRT  
 $\sigma/p_T \sim 4 \times 10^{-4} p_T$  (GeV)  $\oplus$  0.015

Calorímetro electromagnético: Pb-Lar  
 $|\eta| < 4.9$ ;  $\sigma/E \sim 10\%/\sqrt{E} \oplus 0.7\%$

Calorímetro hadrónico ( $|\eta| < 5$ ): Cintilador/Ferro, Tilecal  
(central  $|\eta| < 1.7$ ), Cu/W-LAr (fwd)  
segmentação e hermeticidade  
Medição e identificação de jatos e “missing  $E_T$ ”  
Resolução - E:  $\sigma/E \sim 50\%/\sqrt{E} \oplus 0.03$

Muon Detectors

Tile Calorimeter

Liquid Argon Calorimeter

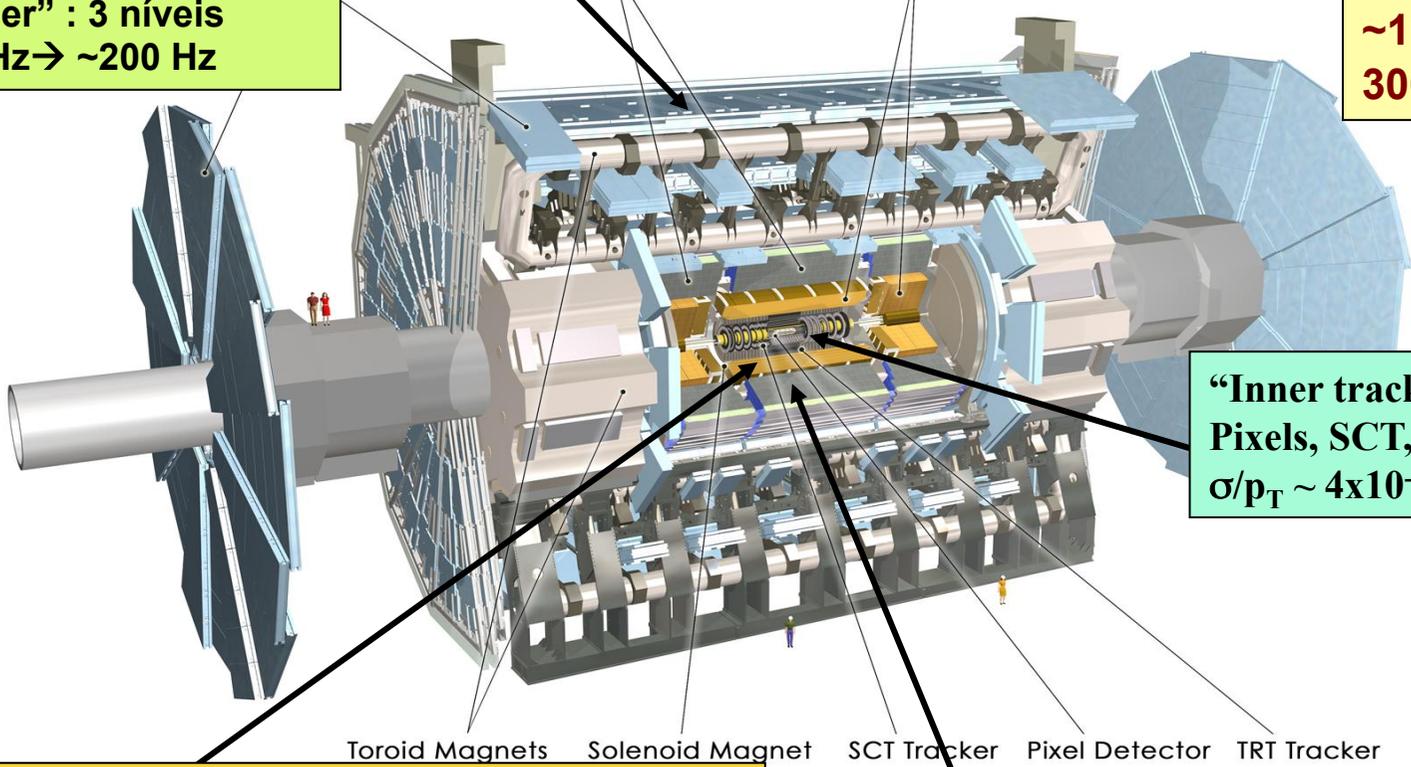
Toroid Magnets

Solenoid Magnet

SCT Tracker

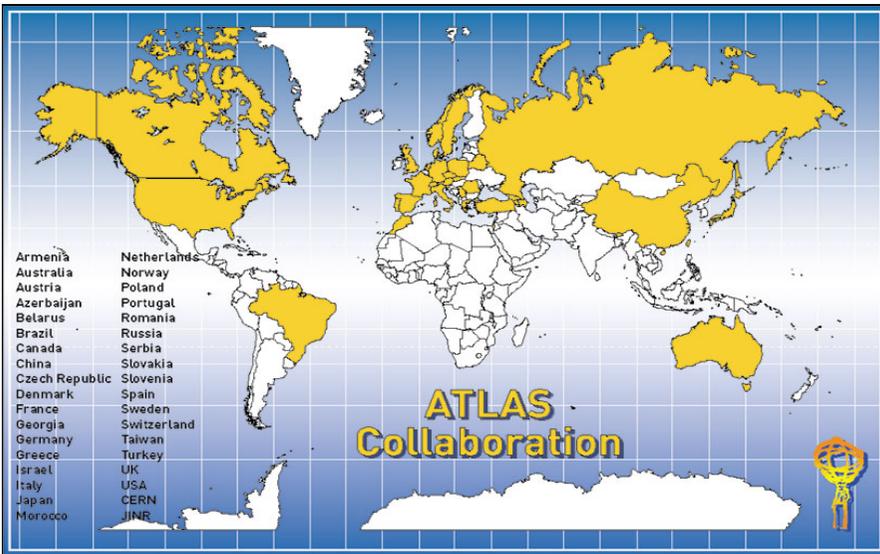
Pixel Detector

TRT Tracker



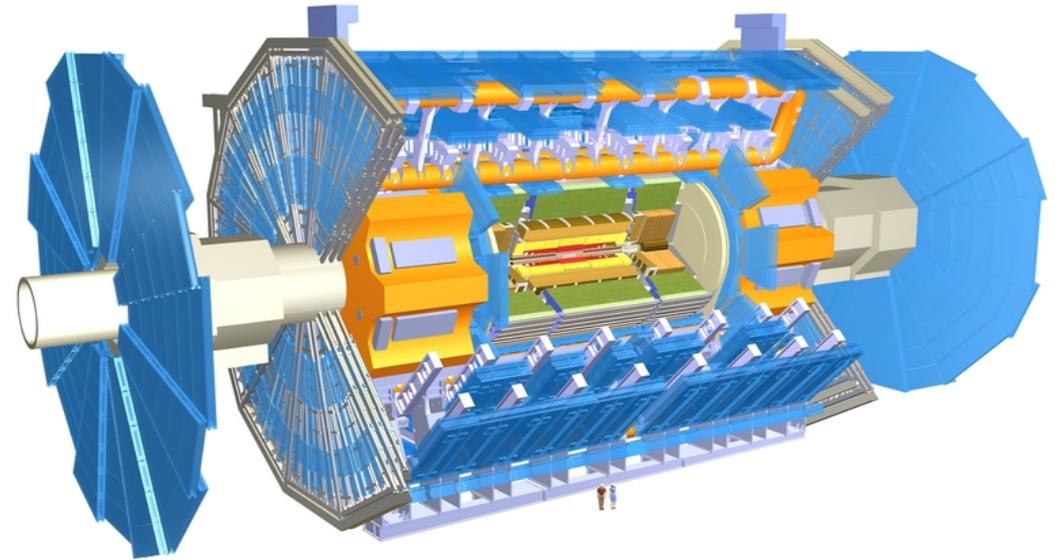


ATLAS superimposed to the 5 floors of building 40



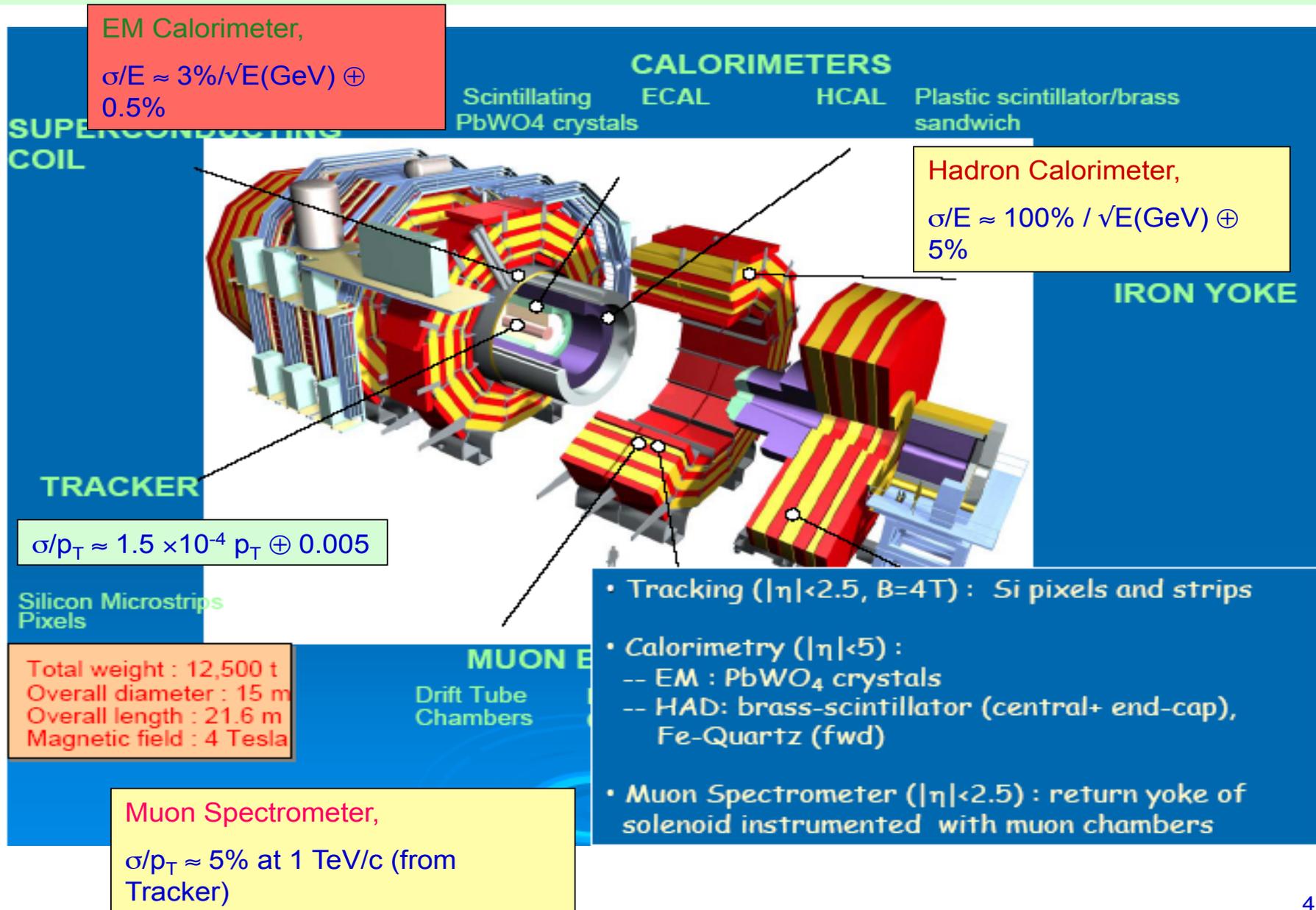
**37 Countries**  
**169 Institutions**  
**2500 Scientific Authors**

## *The ATLAS Detector*

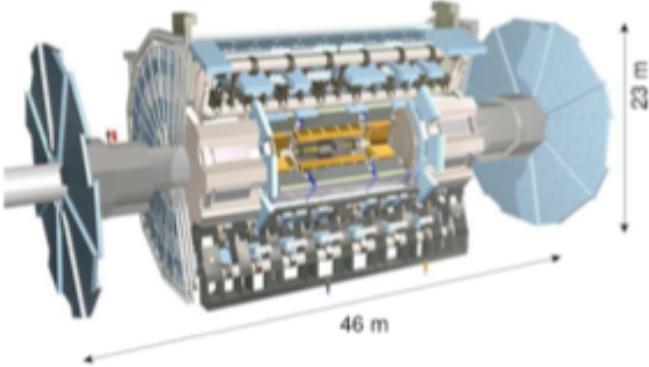
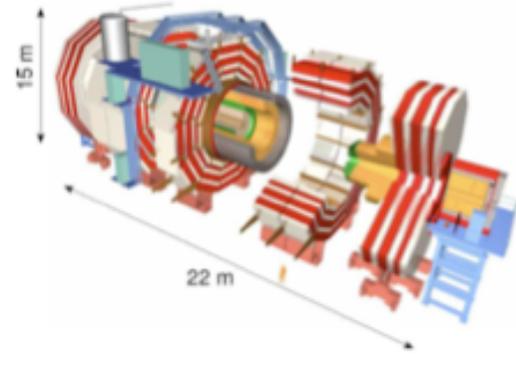


<b>Diameter</b>	<b>25 m</b>
<b>Barrel toroid length</b>	<b>26 m</b>
<b>End-cap end-wall chamber span</b>	<b>46 m</b>
<b>Overall weight</b>	<b>7000 Tons</b>

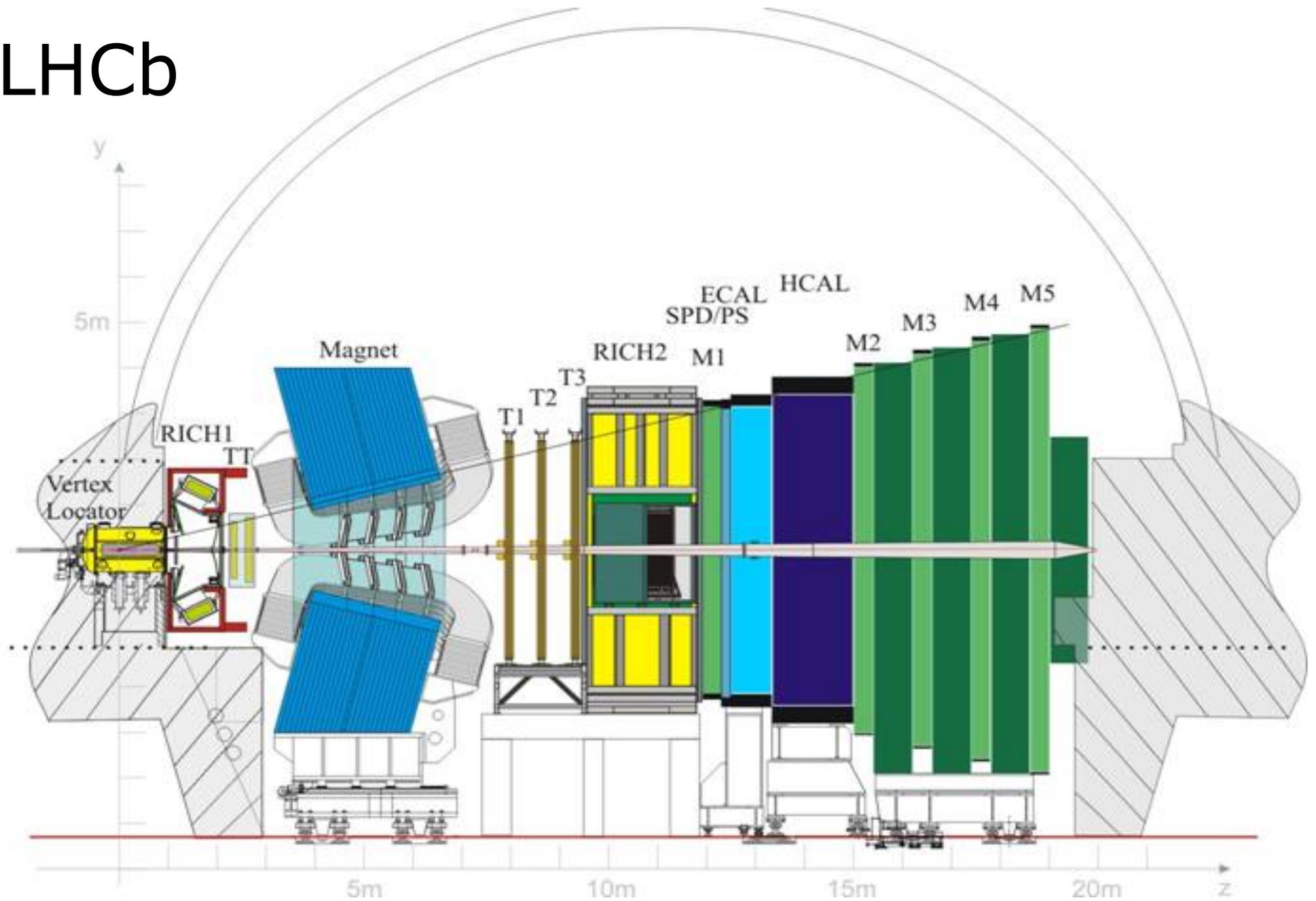
# Compact Muon Solenoid (CMS) DETECTOR



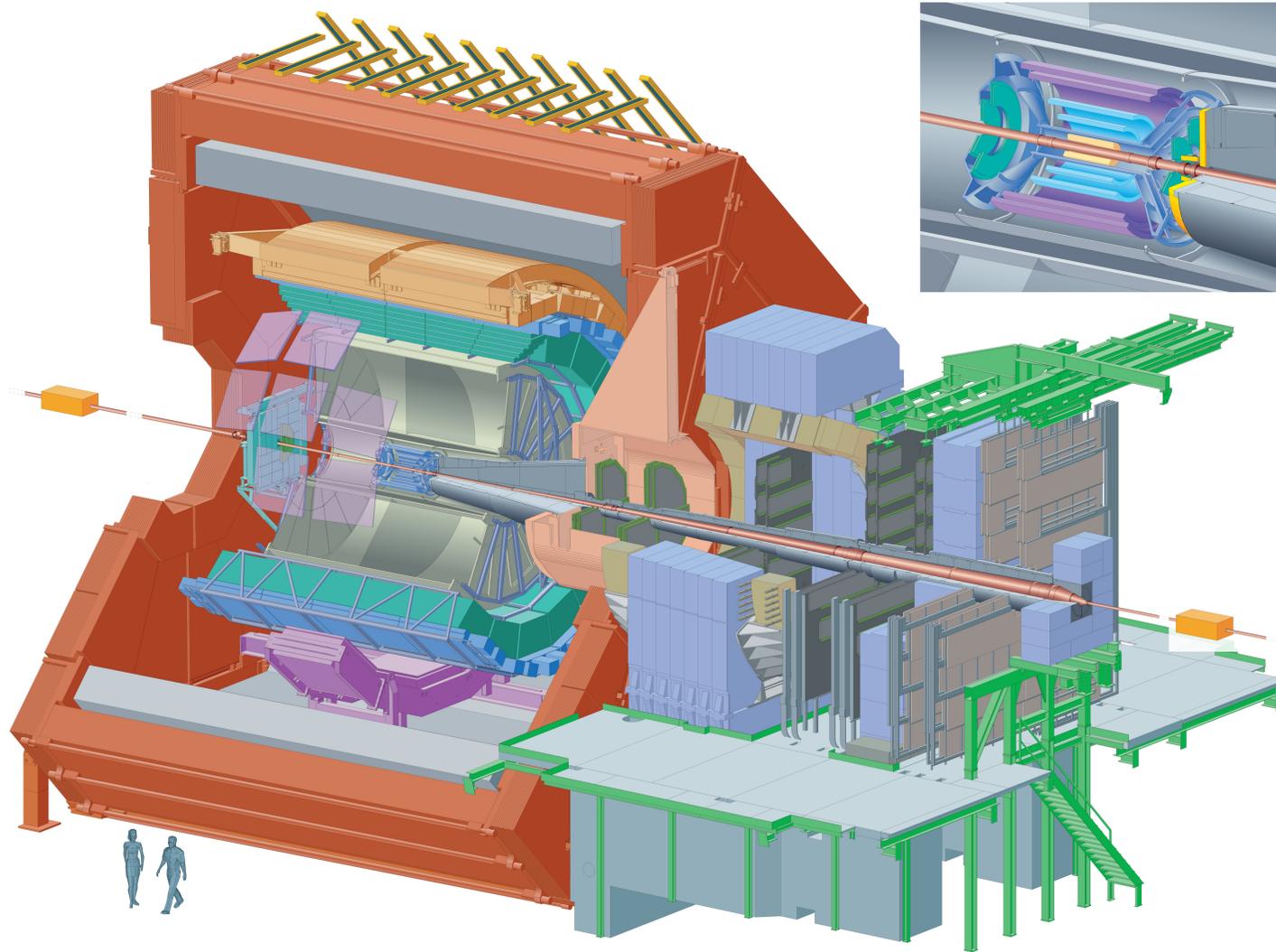
# The ATLAS and CMS Detectors In a Nutshell

Sub System	ATLAS	CMS
Design		
Magnet(s)	Solenoid (within EM Calo) 2T 3 Air-core Toroids	Solenoid 3.8T Calorimeters Inside
Inner Tracking	Pixels, Si-strips, TRT PID w/ TRT and dE/dx $\sigma_{p_T}/p_T \sim 5 \times 10^{-4} p_T \oplus 0.01$	Pixels and Si-strips PID w/ dE/dx $\sigma_{p_T}/p_T \sim 1.5 \times 10^{-4} p_T \oplus 0.005$
EM Calorimeter	Lead-Larg Sampling w/ longitudinal segmentation $\sigma_E/E \sim 10\%/\sqrt{E} \oplus 0.007$	Lead-Tungstate Crys. Homogeneous w/o longitudinal segmentation $\sigma_E/E \sim 3\%/\sqrt{E} \oplus 0.5\%$
Hadronic Calorimeter	Fe-Scint. & Cu-Larg (fwd) $\gtrsim 11\lambda_0$ $\sigma_E/E \sim 50\%/\sqrt{E} \oplus 0.03$	Brass-scint. $\gtrsim 7\lambda_0$ Tail Catcher $\sigma_E/E \sim 100\%/\sqrt{E} \oplus 0.05$
Muon Spectrometer System Acc. ATLAS 2.7 & CMS 2.4	Instrumented Air Core (std. alone) $\sigma_{p_T}/p_T \sim 4\%$ (at 50 GeV) $\sim 11\%$ (at 1 TeV)	Instrumented Iron return yoke $\sigma_{p_T}/p_T \sim 1\%$ (at 50 GeV) $\sim 10\%$ (at 1 TeV)

# LHCb



# Alice



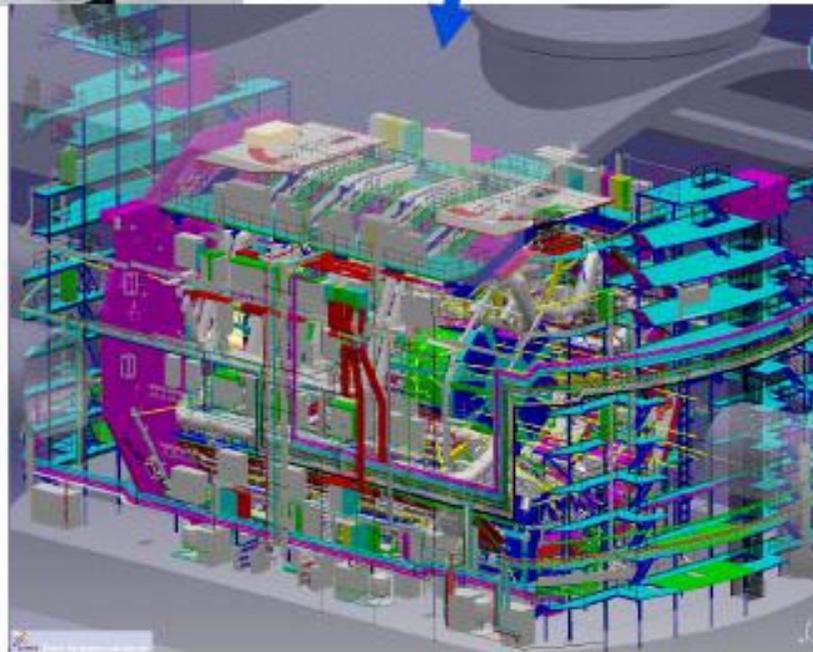
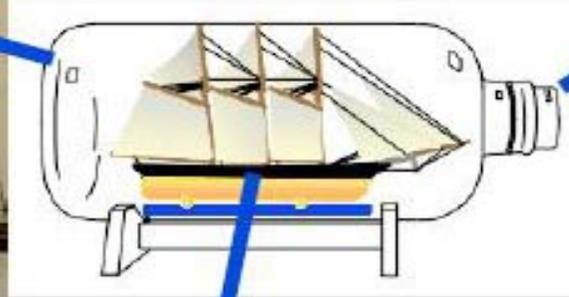
# Resumo da construção e instalação do ATLAS



Junho 2003

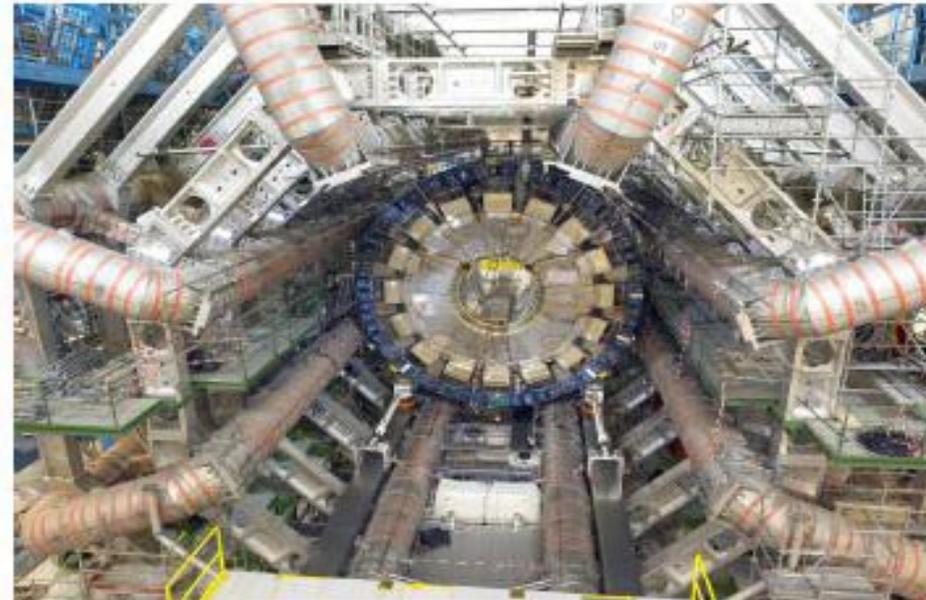
Caverna a 90m de profundidade

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



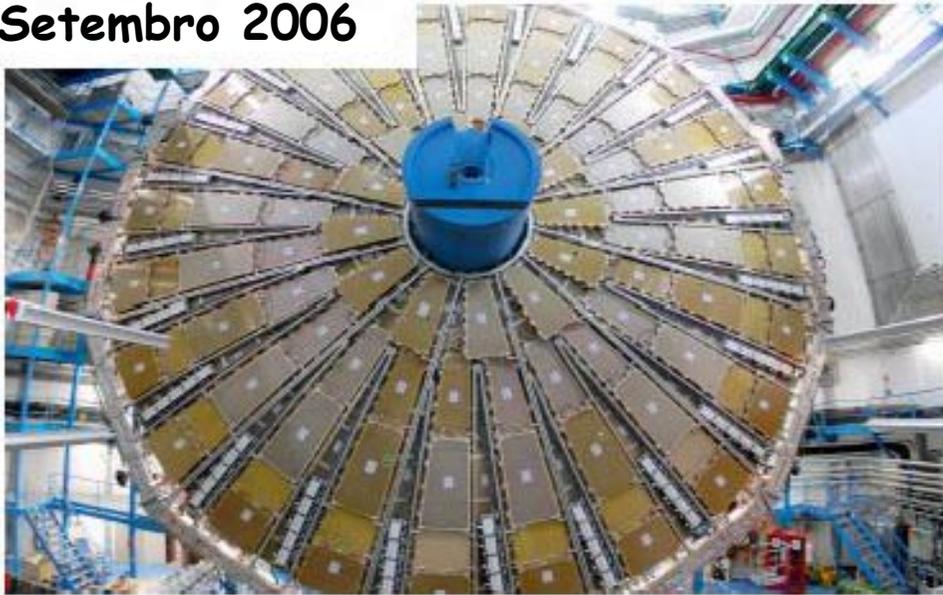
Agora o detector está construído

# ATLAS-Calorímetros e barrel toroid



# ATLAS-Espectr6metro de mu6es

Setembro 2006



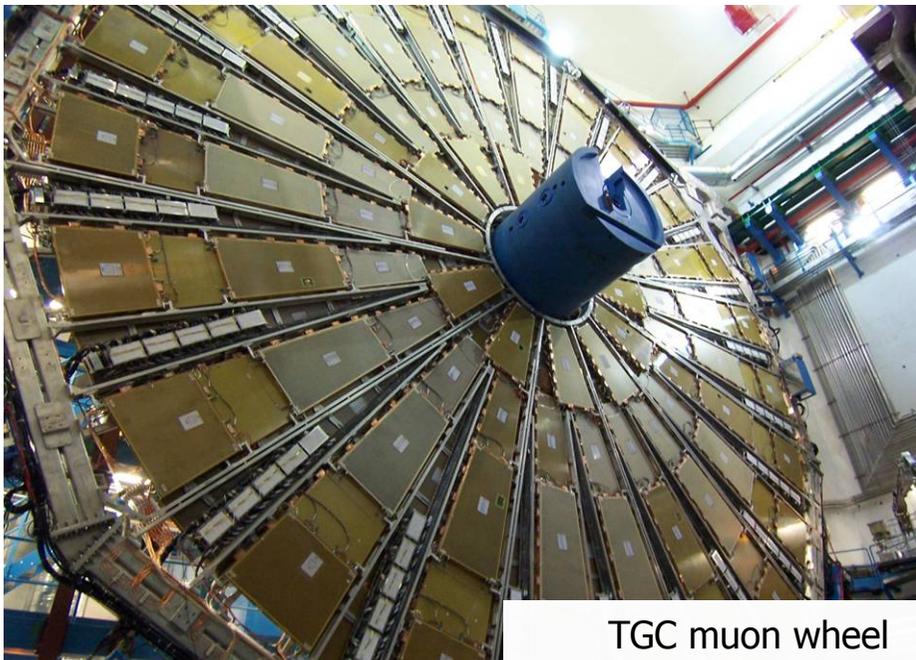
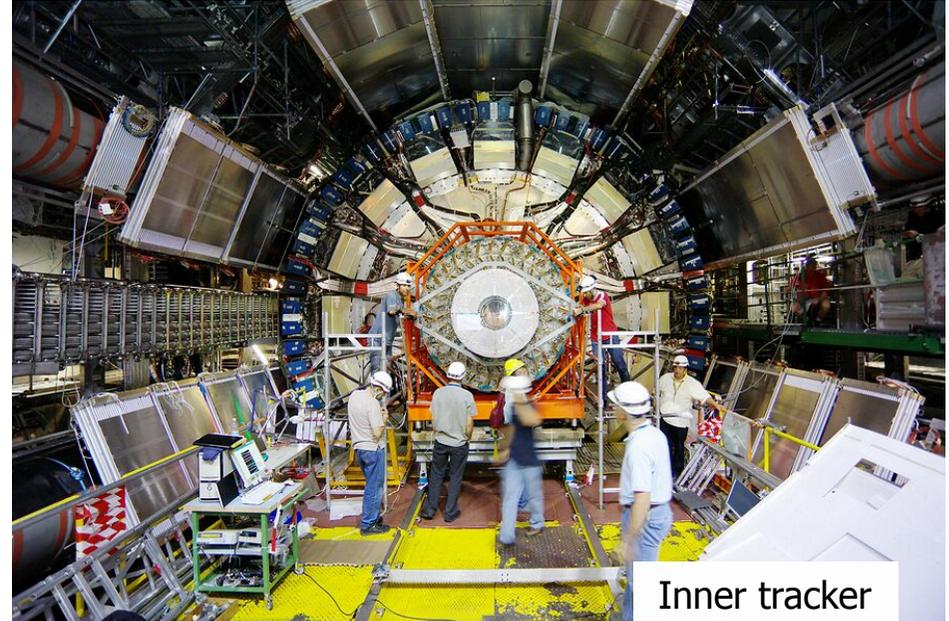
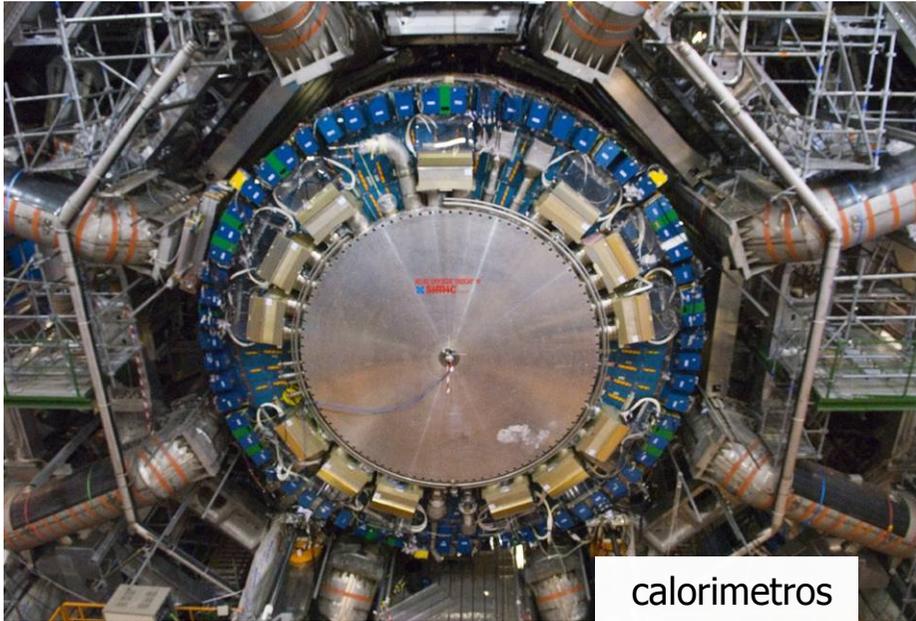
Setembro 2007



Fevereiro 2008



# ATLAS-Setembro 2006

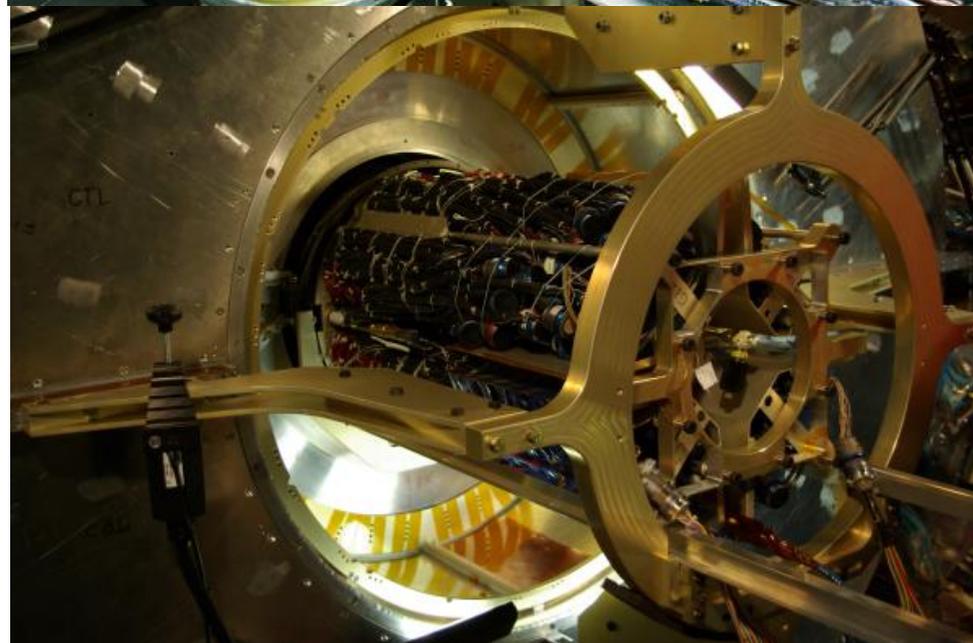
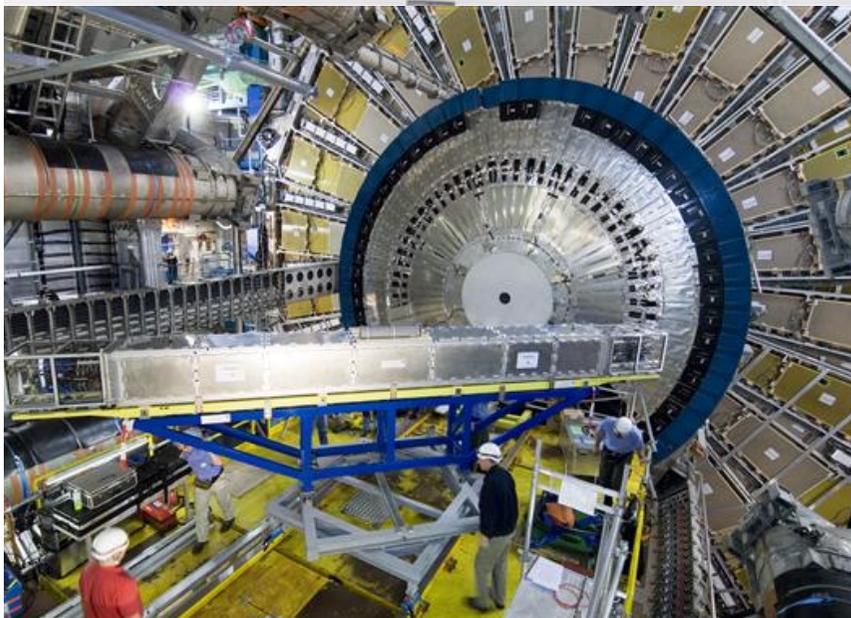
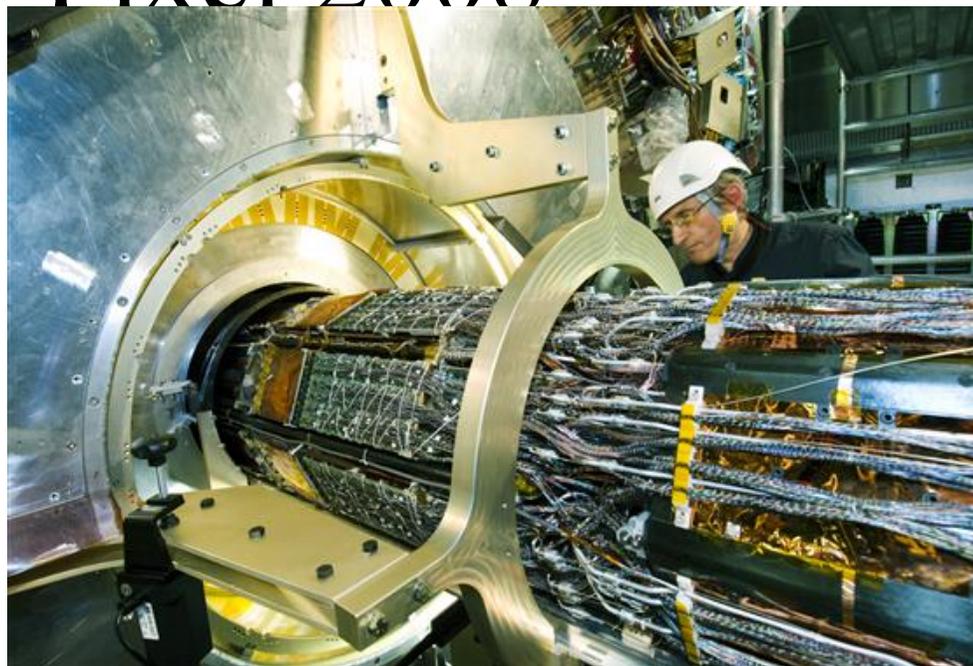


# ATLAS- 2007+2008

‘inner tracker’



# ATLAS-Pixel 2008



# ATLAS-2008 beam pipes



Ion  
pump

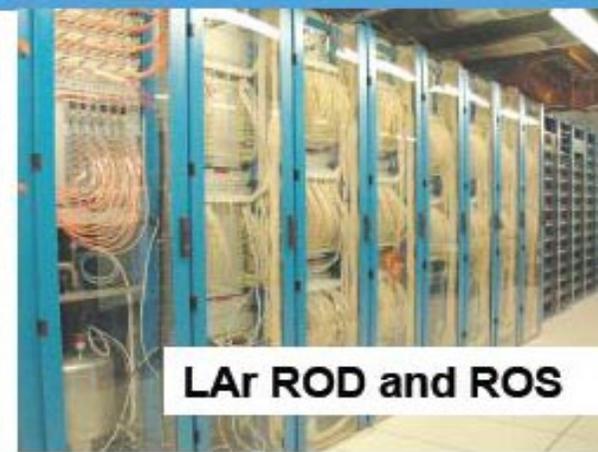
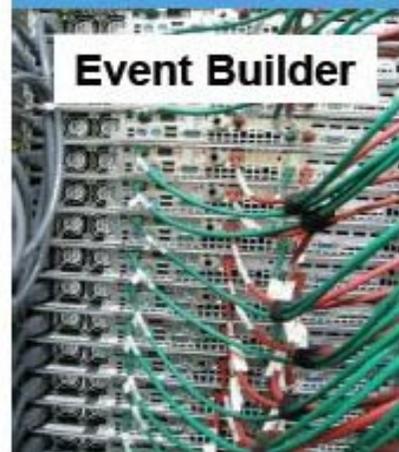


Ana Henriques/CERN

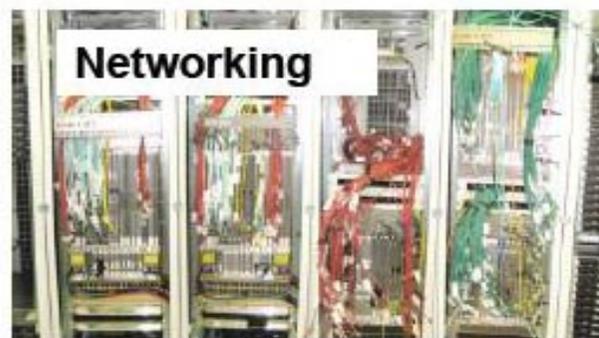
# Sala onde chega a electrónica de aquisição de ATLAS



# Trigger / DAQ / Control

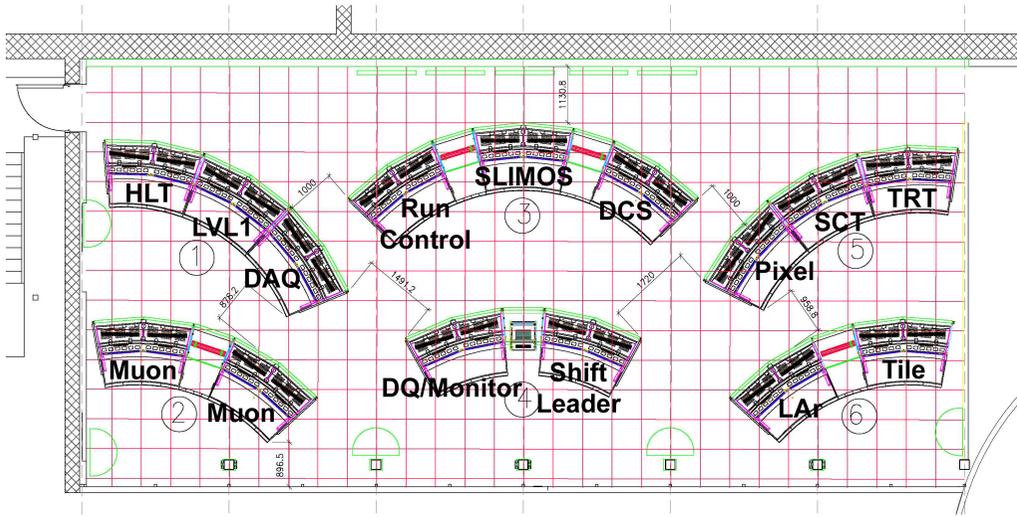


Full Online system being exercised since ~2 years  
H/w now being completed - Ready for data-taking



Racks			
USA15 Level1			
NETWORK_L1	READY	OK	⚠
L1TRIGGER	READY	OK	⚠
DAQ	READY	OK	⚠
TGC	READY	OK	⚠
MDT	READY	OK	⚠
TILE	READY	OK	⚠
3CM RADMON	READY	OK	⚠
ASS	READY	OK	⚠
DSS	READY	OK	⚠
TRT	READY	OK	⚠
DCS	READY	OK	⚠
LHCF	READY	OK	⚠
MUON	READY	OK	⚠
RPC	READY	OK	⚠
R	<b>Slow Control</b>		⚠
			⚠
RPC	READY	OK	⚠

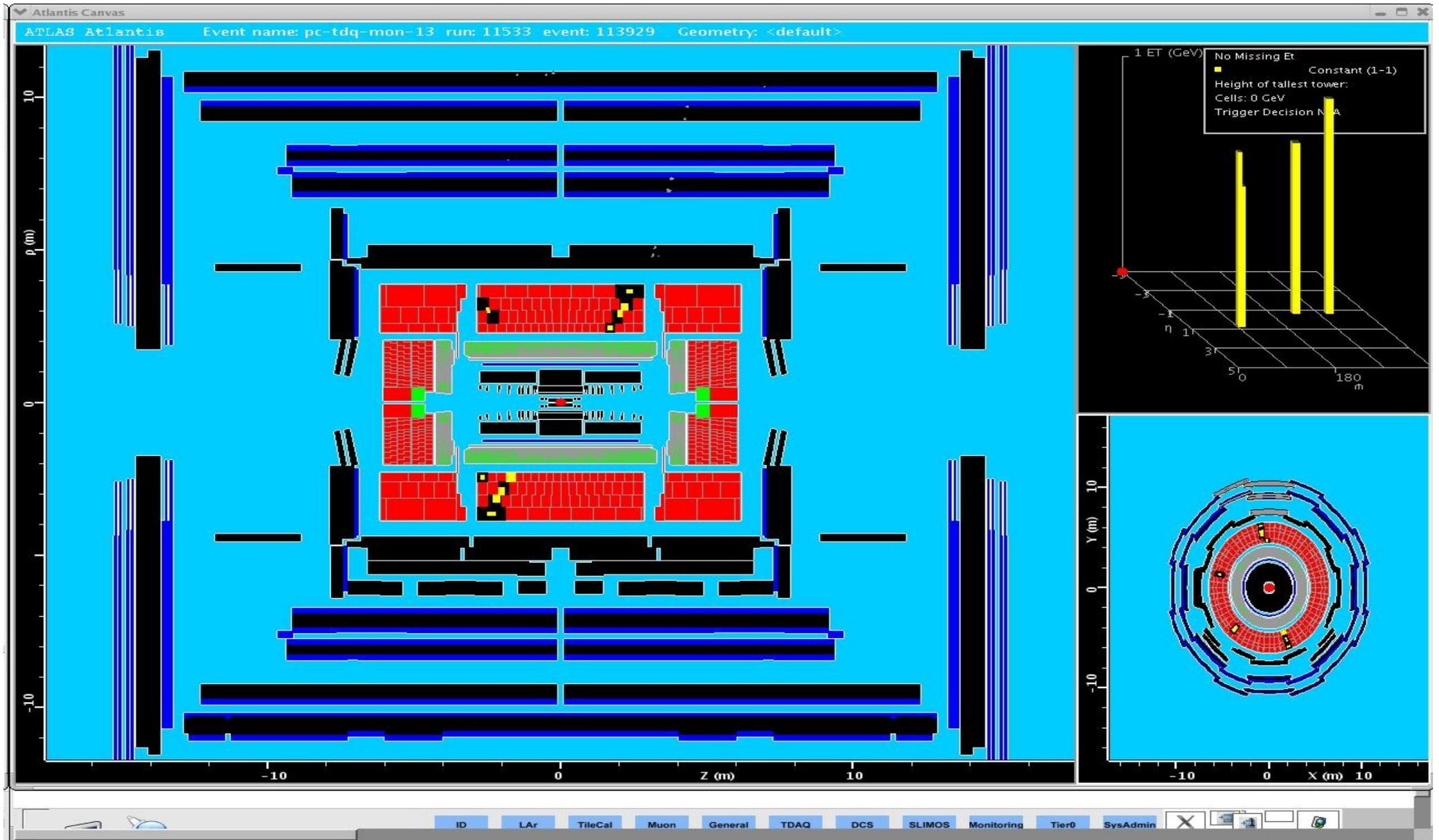
**Sala de aquisição de ATLAS  
( intensamente utilizada em 2008-2009 para a certificação do detector usando raios cósmicos)**



**E utilizada cada dia em 2010 durante a aquisição de dados do LHC**



# Raios cósmicos detectados em ATLAS desde 2006



**E para mais informações ver  
Filme de ATLAS**

**[http://atlas.ch/multimedia/html-nc/feature\\_atlas.html](http://atlas.ch/multimedia/html-nc/feature_atlas.html)**

**Os detectores ATLAS e CMS serão apresentados em  
detalhe nas apresentações de :**

**Antonio Onofre (ATLAS)**

**André David (CMS)**

## Literatura para informação mais aprofundada:

- C. Grupen, B. Shwartz, Particle Detectors, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge University Press, 2008
- G. Knoll, Radiation Detection and Measurement, 3rd ed. Wiley, 2000
- W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer, 1994
- R.S. Gilmore, Single particle detection and measurement, Taylor&Francis, 1992
- K. Kleinknecht, Detectors for particle radiation , 2nd edition, Cambridge Univ. Press, 1998
- W. Blum, W. Reigler, L. Rolandi, Particle Detection with Drift Chambers, Springer, 2008
- R. Wigmans, Calorimetry, Oxford Science Publications, 2000
- G. Lutz, Semiconductor Radiation Detectors, Springer, 1999