

O Experimento CMS

Parte 1/2

Thiago Tomei

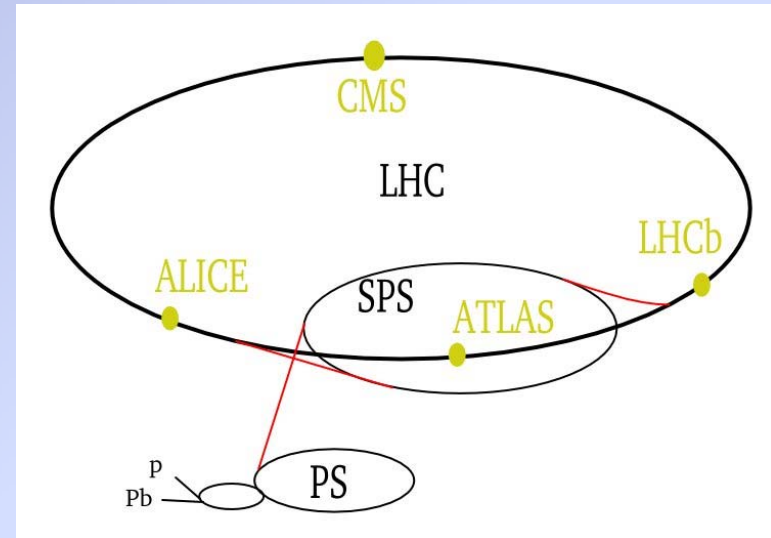
28/03/2007

Sumário

- Parte 1: O Experimento CMS
 - Large Hadron Collider – LHC
 - Compact Muon Solenoid – CMS
 - Estrutura de Hardware do CMS: Detector de Trajetórias, ECAL, HCAL, Sistema de Múons.
- Parte 2: Software do Experimento CMS
 - Arquitetura geral
 - Framework e Serviços
 - Simulação
 - Reconstrução

Large Hadron Collider

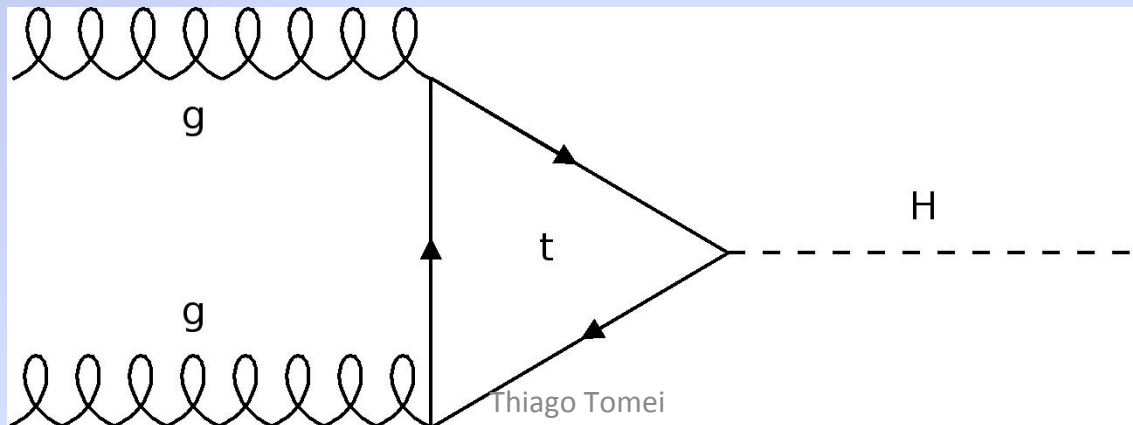
- Acelerador de partículas do tipo síncroton – 27 km de circunferência.
- Colisões próton-próton – 7 TeV por núcleon.
- Luminosidade projetada: $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.
- 25 ns de separação entre os bunches.
- 1 bilhão de interações próton-próton / s.



Os bunches são formados no Proton Synchroton (26 GeV), já com a separação correta. Depois, são acelerados 450 GeV no Super Proton Synchroton e transferidos para o LHC.

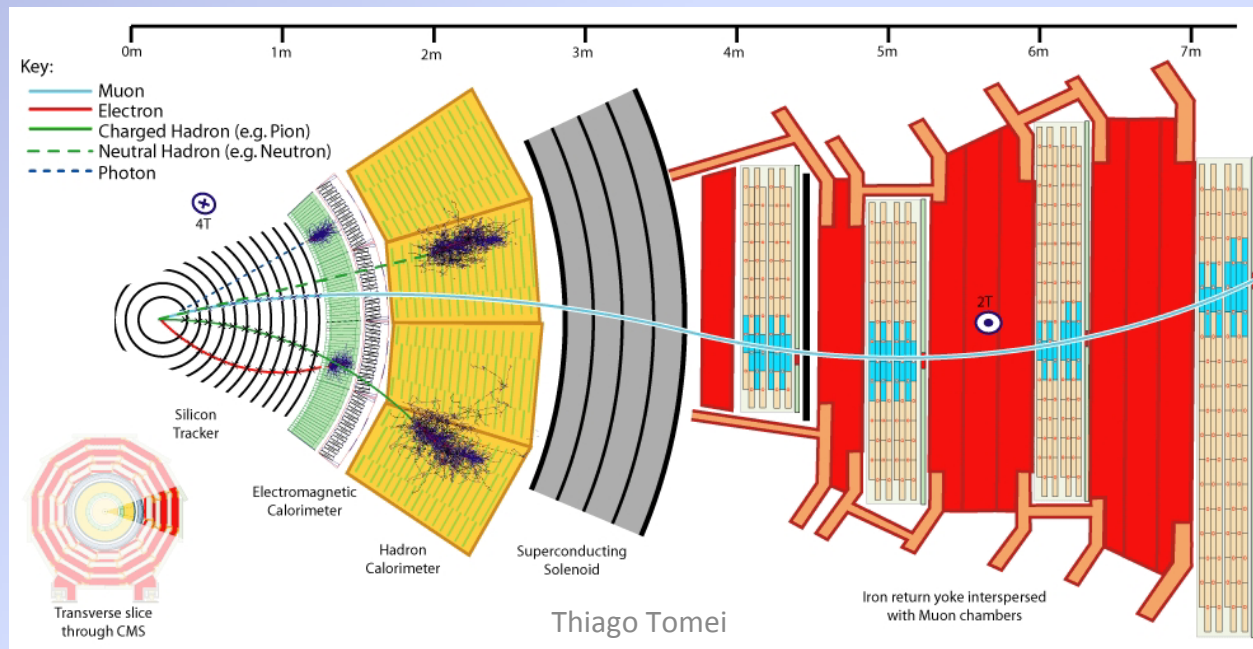
LHC – Objetivos

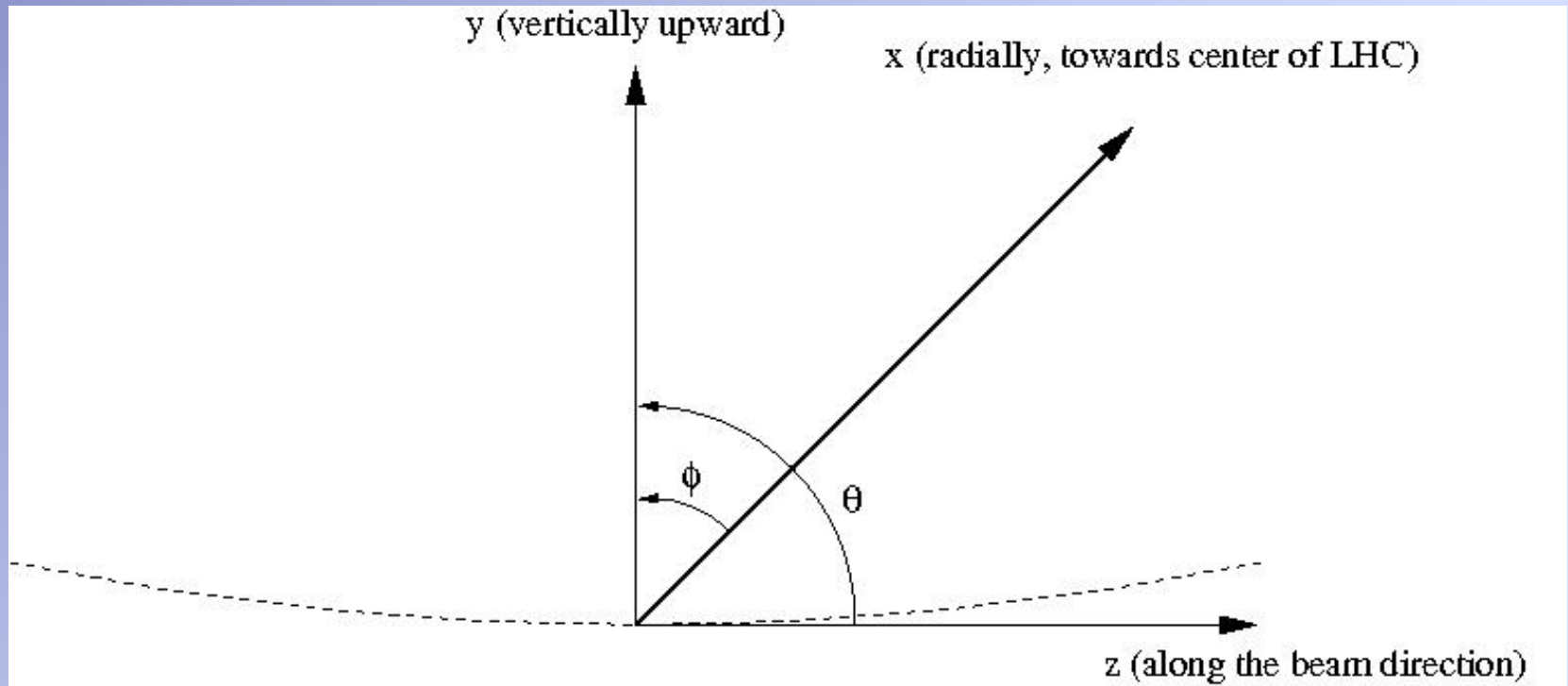
- Bóson de Higgs: $M > 114.4 \text{ GeV}$ (LEP). Produção: $gg \rightarrow H$ através do loop com t . Desintegração: $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \text{léptons}$.
- Partículas supersimétricas: LSP interage muito fracamente $\rightarrow E_T$ faltante.
- Dimensões extras.
- Novos bósons vetoriais, medidas de precisão do SM, plasma de quarks e glúons.



Compact Muon Solenoid – CMS

- Detector de propósito geral.
- 4 subdetectores: Sistema de Trajetórias, Calorímetro Eletromagnético, Calorímetro Hadrônico, Sistema de Múons
- Eletrônica: saídas dos detectores, monitoramento e controle.
- Software: High-Level Trigger, reconstrução, monitoramento e controle.





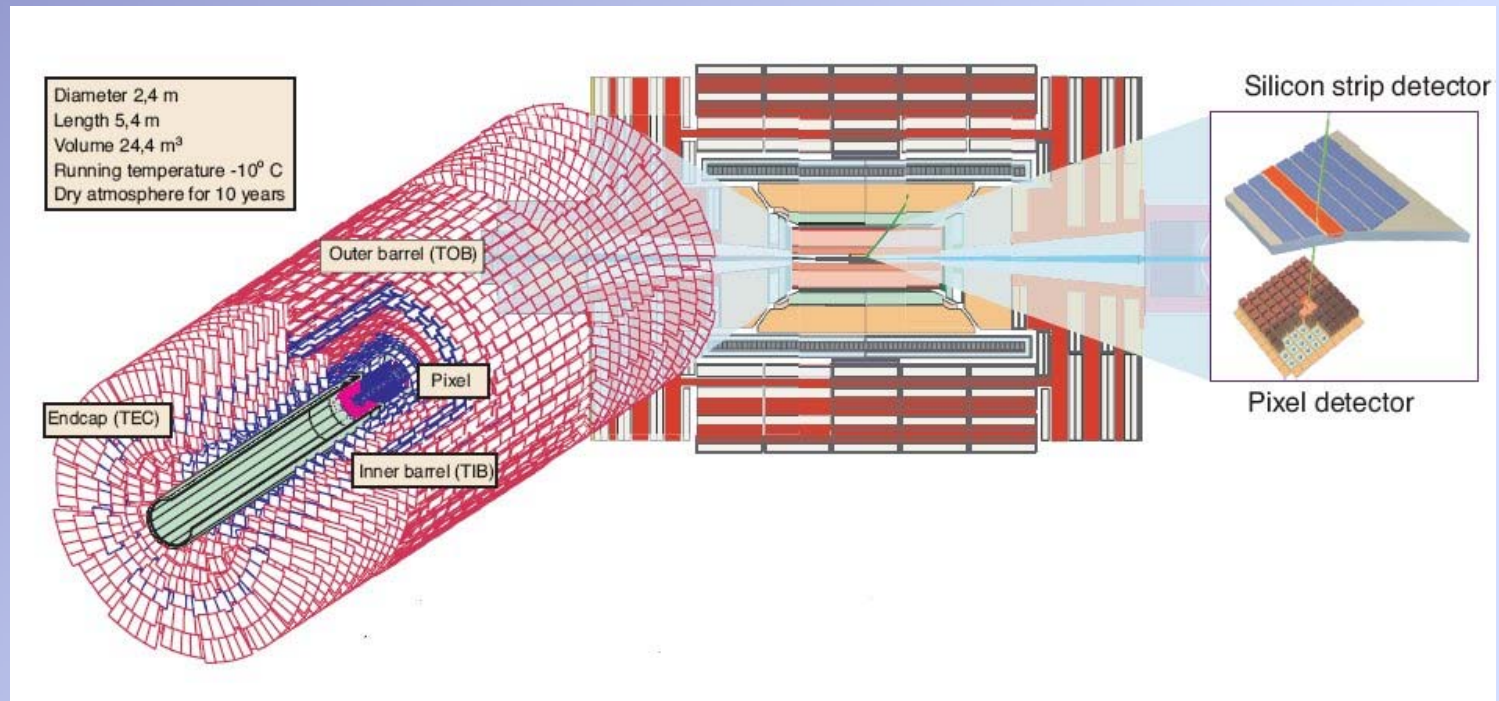
- Geometria do CMS: ponto nominal de interação, ângulos θ e ϕ . Pseudorapidez $\eta = -\ln[\tan(\theta/2)]$.
- A escolha da geometria do campo magnético (solenoidal) determina o projeto de todo o detector. CMS: formato cilíndrico com duas regiões: barril e endcaps.

Partículas e Detectores

Partícula	Tracker	ECAL	HCAL	Muon
Fóton	---	Absorvido	---	---
W	Desintegra	---	---	---
Z	Desintegra	---	---	---
Elétron	Trajectoria	Absorvido	---	---
Múon	Trajectoria	---	---	Trajectoria
Tau	Desintegra	---	---	---
Neutrino	---	---	---	---
Píon (+/-)	Trajectoria	---	Absorvido	---
Píon (neutro)	---	---	Absorvido	---
Próton	Trajectoria	---	Absorvido	---
Nêutron	---	---	Absorvido	---

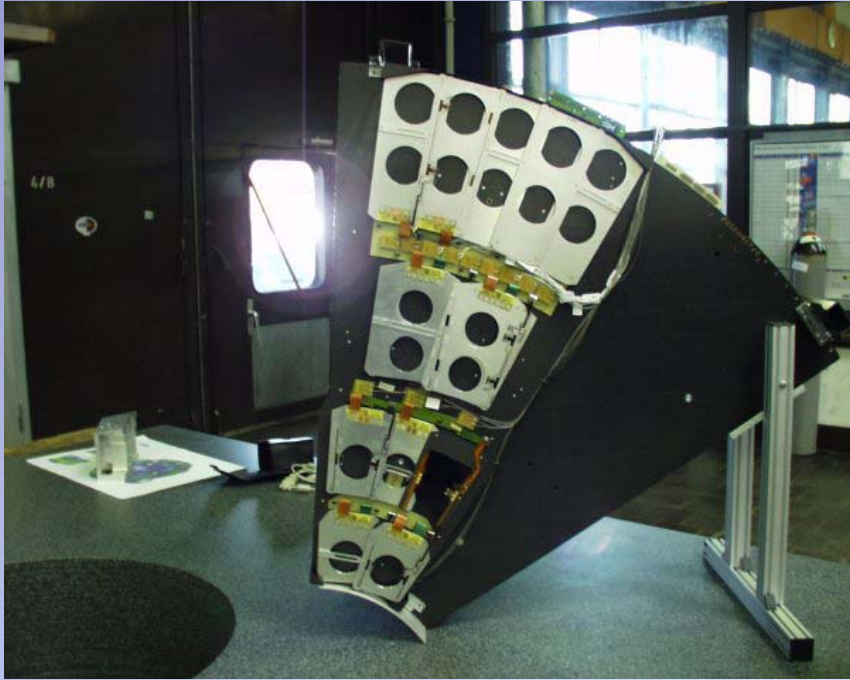
Sistema de Trajetória - Tracker

- O objetivo do Tracker é determinar a trajetória das partículas de maneira precisa; o aumento do fluxo de partículas nas proximidades da região de interação deve ser levado em conta.
- 3 regiões diferentes:
 - Região próxima ($r \sim 10$ cm): detectores de pixel ($100 \times 150 \mu\text{m}$).
 - Região intermediária ($20 \text{ cm} < r < 55 \text{ cm}$): detectores de microfaixa de silício ($10 \text{ cm} \times 80 \mu\text{m}$).
 - Região externa ($r > 55 \text{ cm}$): detectores de microfaixa de silício ($10 \text{ cm} \times 80 \mu\text{m}$).

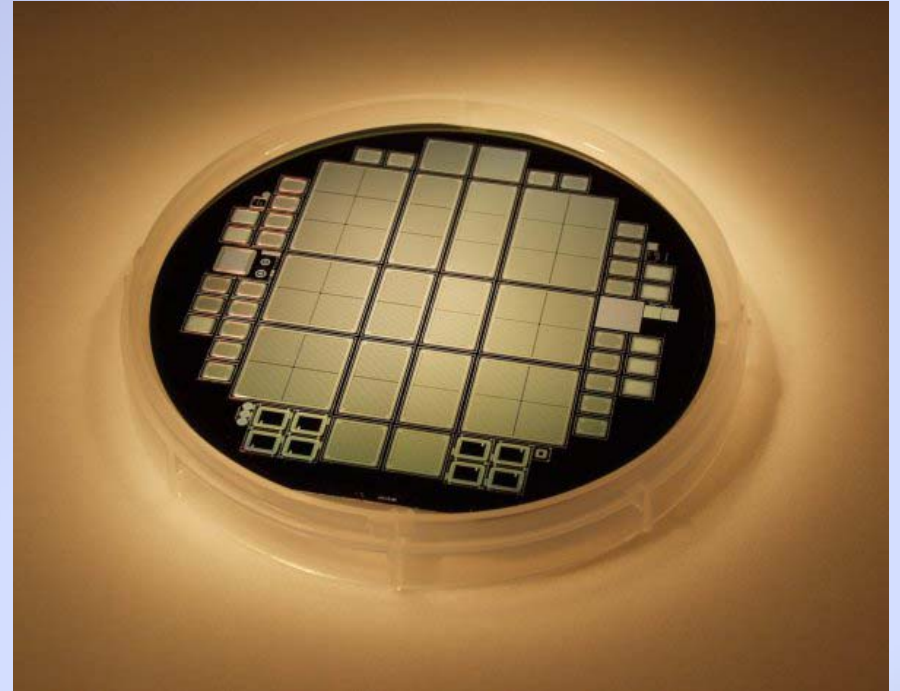


Área sensível total do detector de pixel $\approx 1 \text{ m}^2$,
 compreendendo cerca de 66 milhões de pixels. Área
 sensível total do detector de microfaixa de silício é de 200
 m^2 , compreendendo 9.6 milhões de faixas de silício →
 superioridade do detector de pixel em termos de
 granularidade.

- Pixel - barril: 3 camadas, 2 meio-cilindros/camada, (meia-) escadas formam camadas, 8 módulos por camada.
- Pixel - forward: 2 discos em cada lado, 24 lâminas por discos, 7 módulos de tamanhos diferentes em cada lâmina.
- Tracker - barril interno (TIB): 4 camadas, cada uma dividida em 4 cascas ($z > (<)0$ e partes superior e inferior). Cascas divididas em cordas, 3 módulos por corda.
- Tracker - disco interno (TID): 6 estruturas de disco idênticos, módulos arranjados em 3 anéis.
- Tracker - barril externo (TOB): 6 camadas, cada camada constituída de bastões com 6 módulos por bastão.
- Tracker EndCap (TEC): 9 discos, cada um constituído por 8 pétalas. Em cada pétala os módulos são agrupados em anéis.



Pétala do endcap.

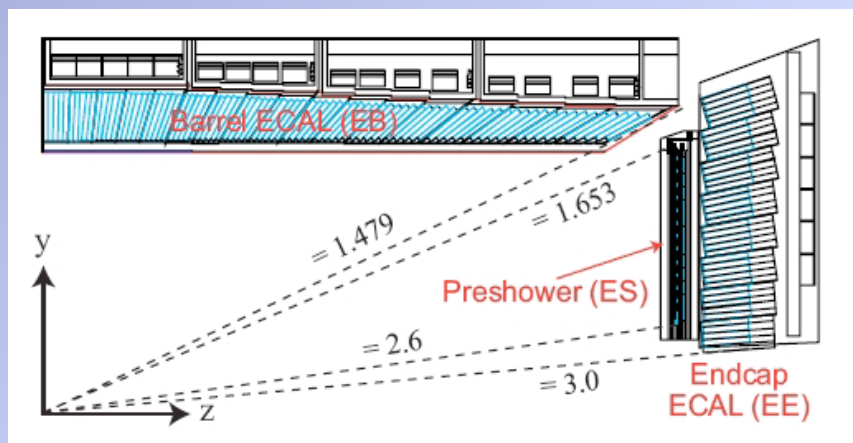


Pixel Wafer

Calorímetro Eletromagnético

- Objetivo: medição da energia de elétrons e fótons.
- Calorímetro homogêneo e hermético, formado por cristais de tungstato de chumbo (PbWO_4).
- Duas seções principais: barril ($|\eta| < 1.479$) e endcaps ($1.479 < |\eta| < 3.0$).
- Preshower (ES): identificação de π^0 nas endcaps em uma região $1.653 < |\eta| < 2.6$. Identificação de e- contra MIPs, melhoria na determinação da posição de e- e γ .

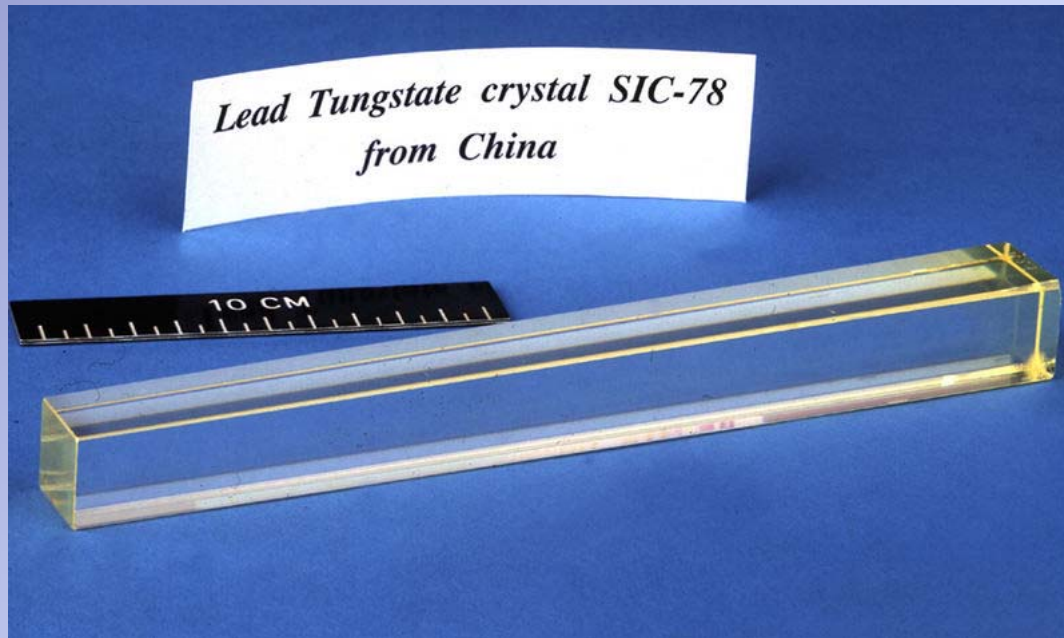
- Barril: 36 supermódulos idênticos. Submódulos → módulos. 4 módulos → supermódulo. A extensão em η de um supermódulo é a chamada trigger tower.
- Endcaps: 2 “Dees”, 3662 cristais por Dee. Supercristais de 5 X 5 cristais, 138 supercristais padrão e 18 supercristais parciais por Dee.



Geometria do ECAL

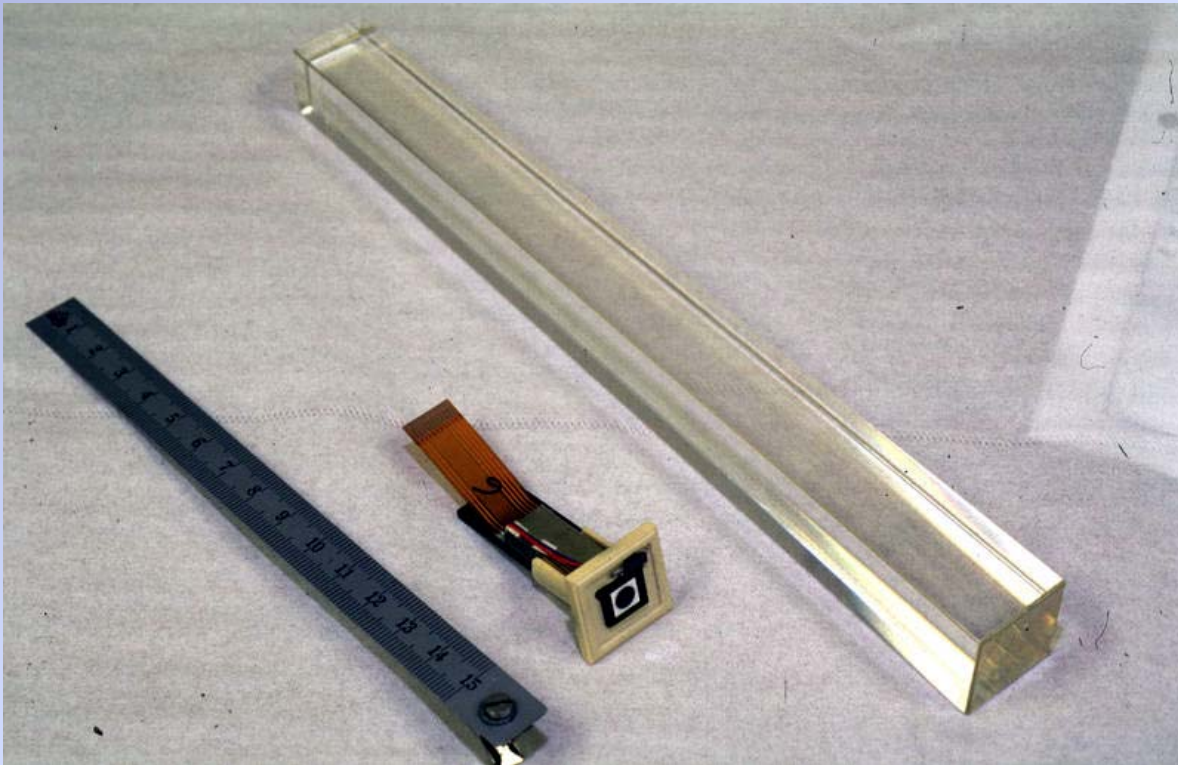


Supermódulo



- Alta densidade (8.3 g/cm^3);
- $X_0 = 0.89 \text{ cm}$, $R_m = 2.2 \text{ cm}$;
- 80% da luz é emitida em 25 ns;
- 4.5 fotoelétrons por MeV;
- Máximo da cintilação em 420 nm;
- Variação da cintilação: $-1.9\%/^{\circ}\text{C}$, a 18°C ;
- Degradação com radiação.

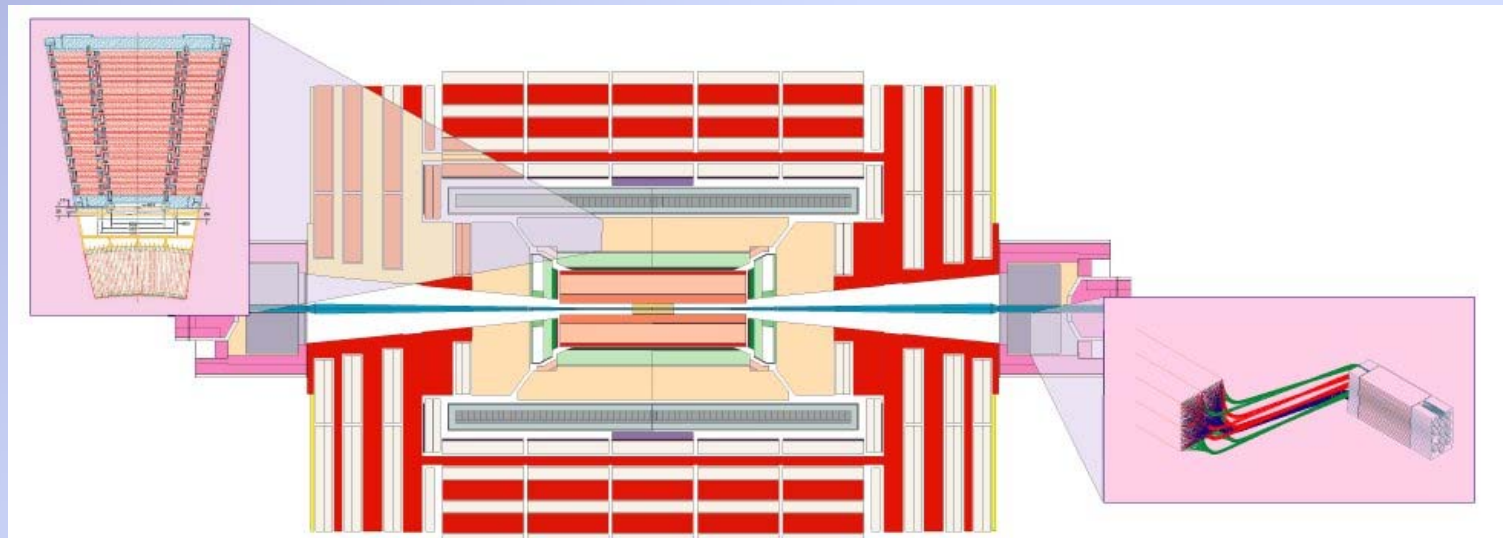
- Condição de alto campo magnético ($\mathbf{B} = 4\text{T}$);
- Uso de fotomultiplicadoras é inviável;
- Solução: fotodiodos em avalanche - (APD) - barril;
- Alternativa: fototriodos a vácuo - (VPT) - endcaps;



Calorímetro Hadrônico

- Objetivo: medir a energia de partículas que interagem hadronicamente. HCAL + ECAL = sistema completo de calorimetria.
- Calorímetro de amostragem (sampling) e hermético, formado por camadas conjuntas de absorvedor/cintilador.
- Duas seções principais: Hadron Barrel – HB ($|\eta| < 1.4$) e Hadron Endcaps – HE ($1.3 < |\eta| < 3.0$).

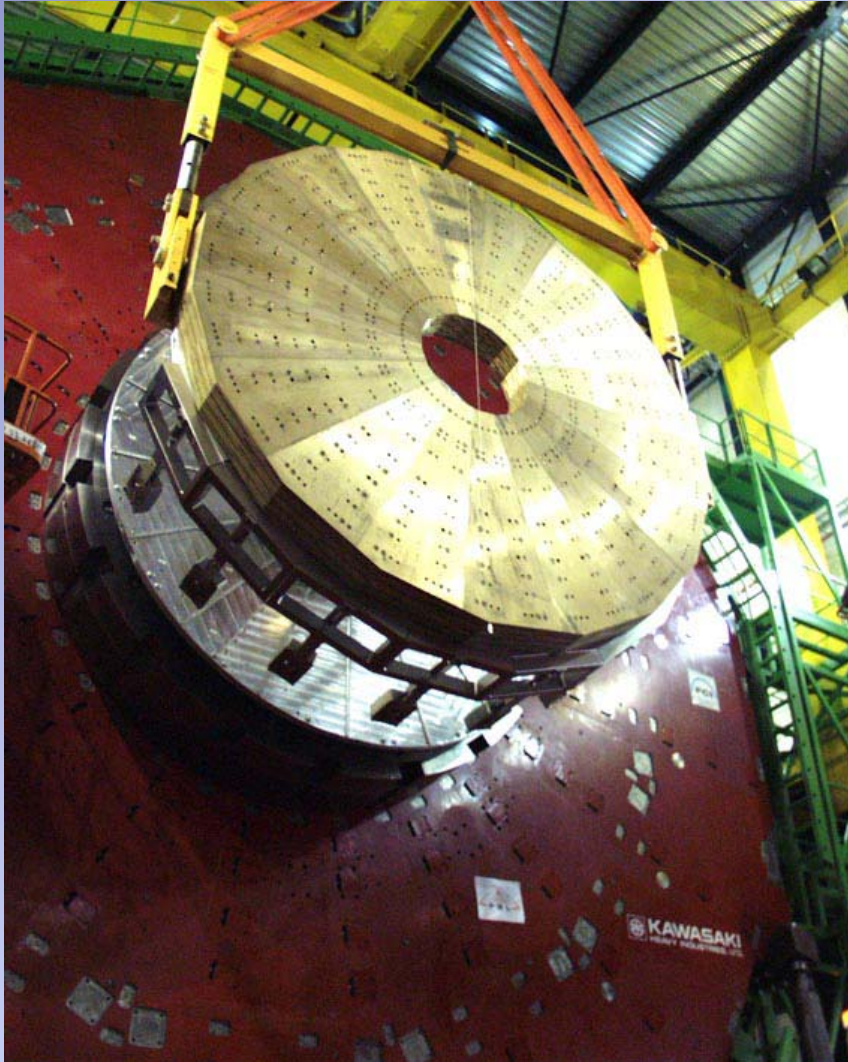
- Hadron Forward (HF): medição de jatos dianteiros, discriminação do perfil lateral dos chuveiros, aumento da hermeticidade. $2.9 < |\eta| < 5$.
- Hadron Outer (HB): externo ao solenóide. Aumento da contenção de chuveiros centrais na região $|\eta| < 1.26$.



Geometria do HCAL

- Latão como absorvedor: comprimento de interação curto, fácil de usinar, não-magnético. Maximizar o volume de absorvedor → minimizar a quantidade de meio ativo.
- Meio ativo: pastilhas de cintilador plástico entremadas com fibra ótica com alteração de comprimento de onda - wavelenght-shifting (WLS) fibres.
- Leitura por fotodeteccção: baseada em fotodiodos híbridos multicanal - multi-channel hybrid photodiodes - (HPDs).

- Barril: 2 meio-barris, 18 cunhas de 20° cada. Camadas de 3.7 mm de cintilador plástico alternadas com camadas de cerca de 55 mm absorvedor (aço inoxidável e latão).
- Endcap: 19 placas conjuntas de 78 mm de absorvedor (latão) e 3.7 mm de cintilador plástico.
- Barril externo: camadas de cintilador localizadas externamente ao solenóide. 5 anéis de 2.54 m de largura centrados no eixo z, cada anel com 12 setores. Permite $11 \lambda_{\text{int}}$.
- Calorímetros frontais: 11.2 m do ponto de interação. Absorvedores de aço e fibras de quartzo (detecção rápida de radiação Cherenkov). 18 cunhas em cada módulo. Não há cintiladores.



Endcap do HCAL

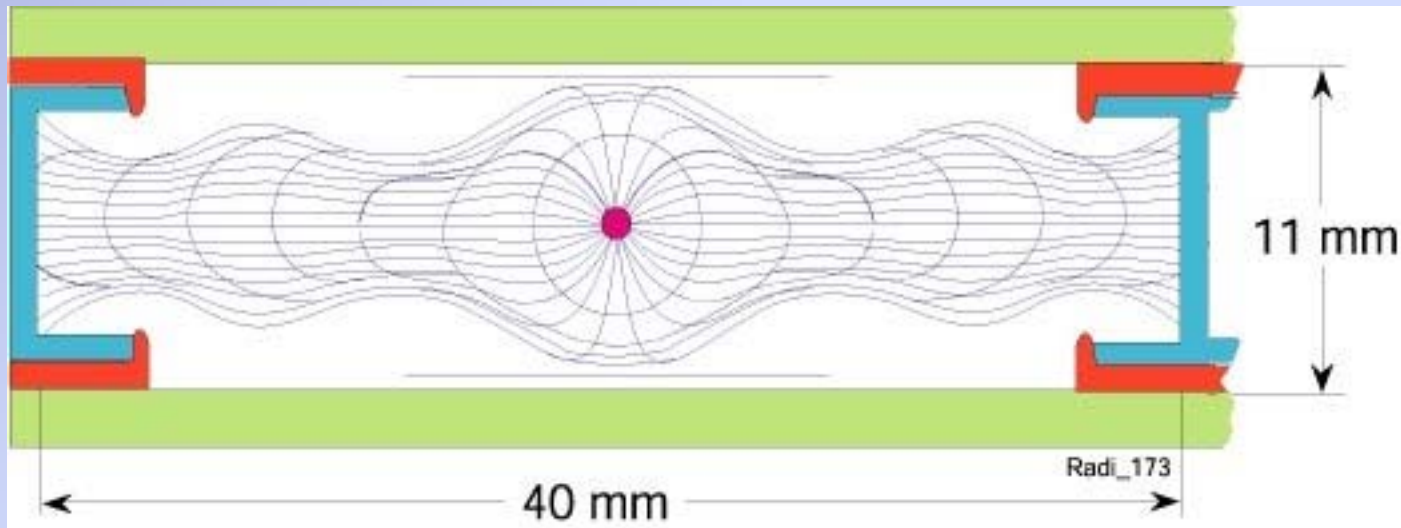


Cunha com fibras do HF

Sistema de Múons

- Objetivo: identificação rápida e eficiente de múons.
- Múons são medidos 3 vezes: no Tracker, na saída do solenóide e no fluxo de retorno.
- Vantagens em se obter uma medida precisa de múons:
 - Partícula relativamente estável ($\tau \simeq 2.2\mu\text{s}$);
 - Lépton, $m \simeq 105 \text{ MeV}$ → atravessa ambos calorímetros;
 - Lépton \neq jato → determinação mais simples do momento;
 - Assinatura clara de eventos de física importante: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$.
 - Pode ser usado para trigger → diminuir taxa de eventos.

- Na região do barril - $|\eta| < 1.2$ (endcaps - $|\eta| < 2.4$), o fundo induzido por nêutrons, a taxa de múons e o campo magnético residual são pouco (muito) significativos.
- Três tipos de detectores a gás:
 - Drift Tubes - DT: utilizados na região do barril, onde o campo magnético está contido na região do núcleo de ferro. Um fio central age como anodo; passagem de partícula libera elétrons que são atraídos para o fio central. Tempo de voo dos elétrons indica a posição da partícula no plano perpendicular ao fio.



- Cathode Strip Chamber - CSC: utilizados nas endcaps, onde o campo magnético é mais intenso e inhomogêneo. Plano catodo segmentado em faixas ortogonais a um plano de fios anodos. A avalanche está relacionada a um único fio, mas induz uma carga em várias faixas do plano catodo → localização da partícula em ambas coordenadas do plano.
- Resistive Parallel plane Chamber - RPC: utilizados tanto na região do barril como nas endcaps. Os dois eletrodos são planos paralelos feitos de um plástico de alta resistividade elétrica (baquelite). Usado apenas para trigger.

Obrigado!