

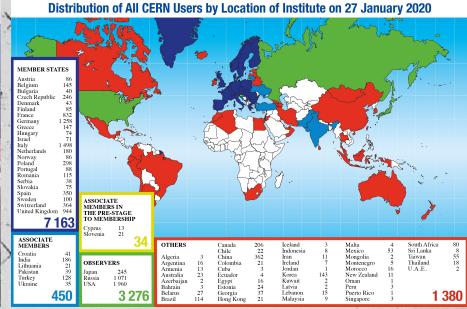
CERN

European Organization for Nuclear Research



Fundado em 1954 por 12 países
Actualmente: 23 estados membros (1986-Portugal)
2500 Engenheiros, Físicos e Técnicos (e func.administ.)
Mais de 13000 utilizadores de todas as partes do mundo
~1000 M€ / orçamento anual





Localização do laboratório CERN



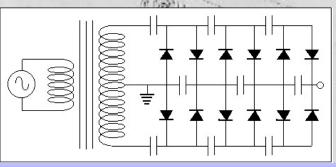
L DIE

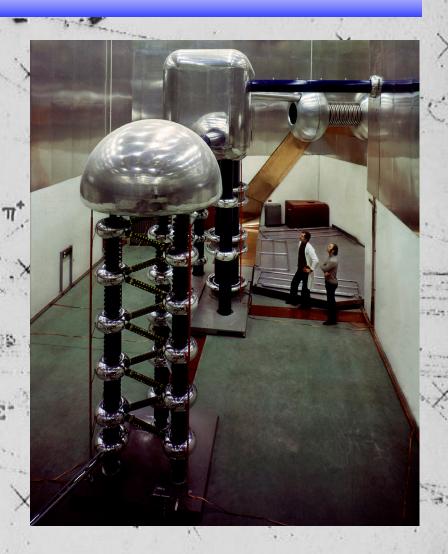
Raios Cósmicos O maior acelerador do universo

Mas na Terra:

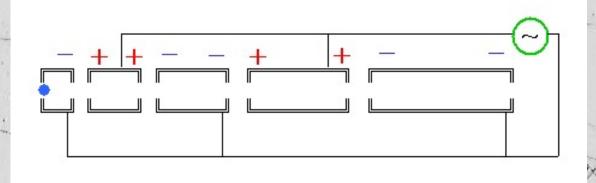
Acelerador Cockcroft-Walton

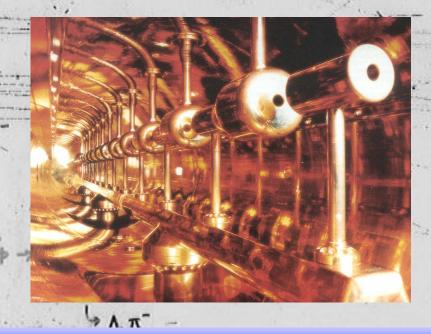


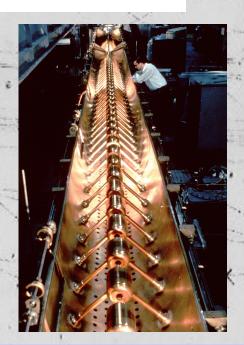




O acelerador linear (Rolf Wideröe, 1928)



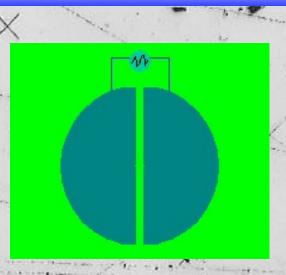




L DIE

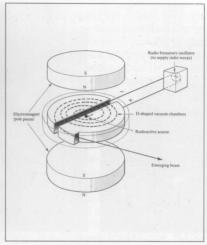
O ciclotrão (Ernest O. Lawrence, 1932)





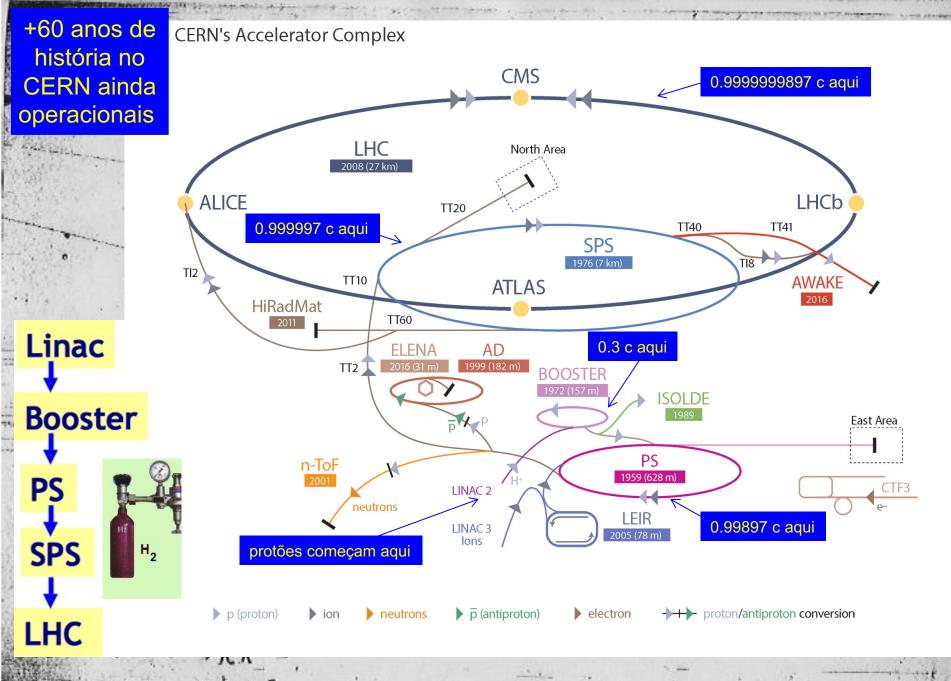


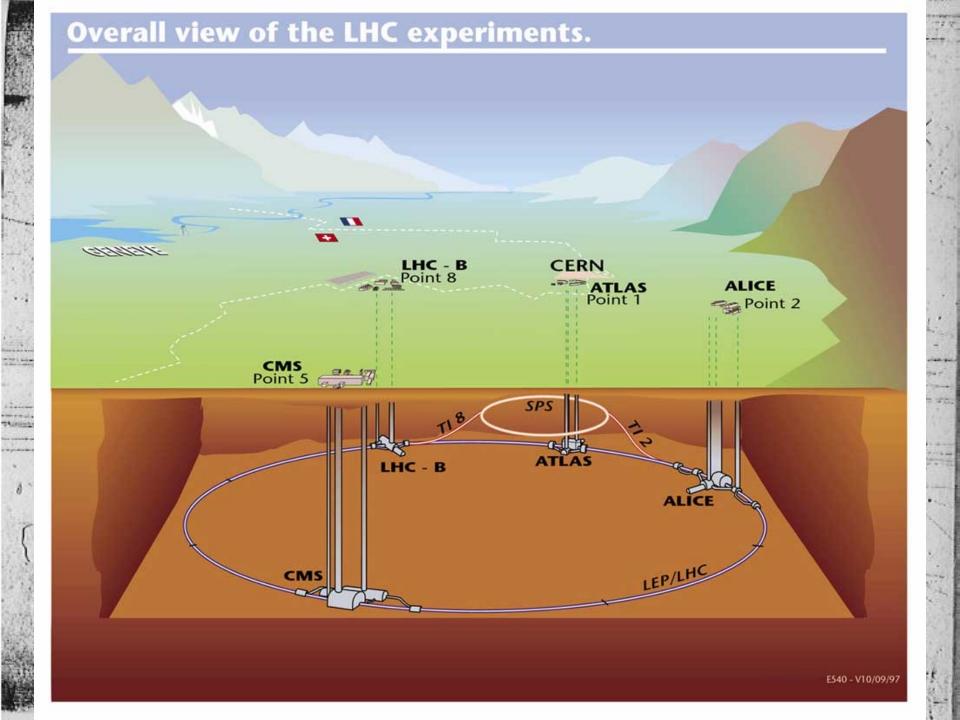




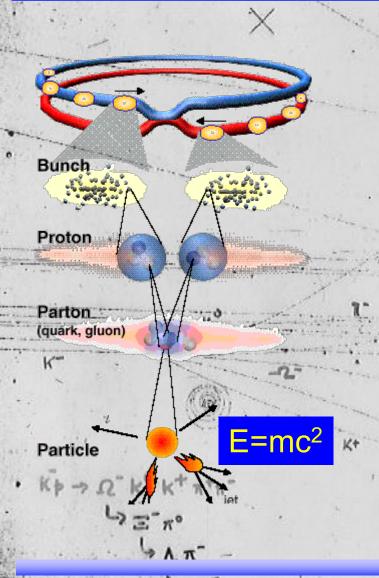
A T







Colisões de feixes de partículas



LHÇ:

Nº pacotes = 2808

Protões / pacote = 10¹¹

 $E = 2 \times 2808 \times 10^{11} \times 7 \text{ TeV} \sim 0.6 \text{ GJ}$

0,6 GJ é a energia cinética de um TGV à velocidade de 200 km/h!

...ou de um carro a 3000 km/h!



Colidindo partículas

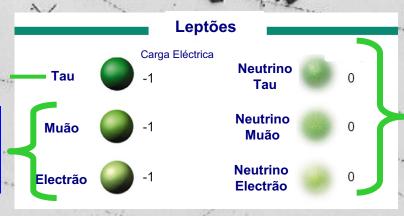
T A 💎

L DIE

Que partículas detectamos?

Deteção de forma indireta

Detecção de forma directa



Interação muito fraca. Muito difíceis de detetar!

Deteção indireta a partir de partículas ou jactos de partículas



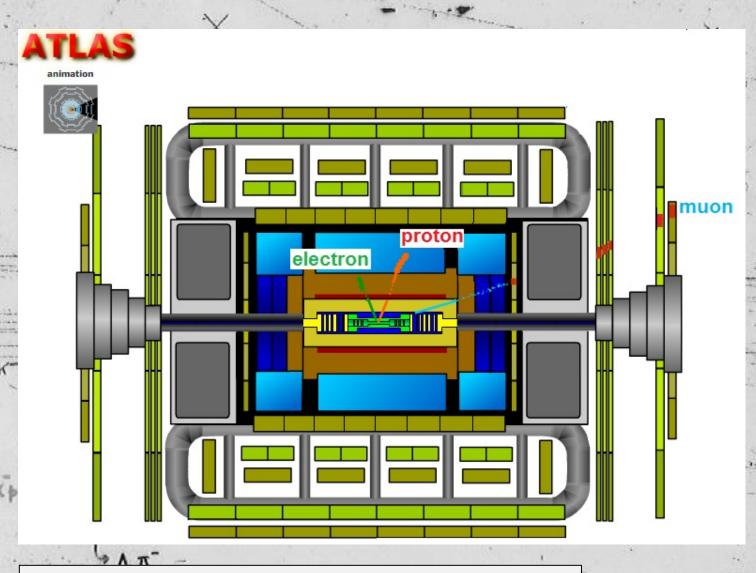
Muito pesado, mas produzido em LHC

Deteção indireta a partir de partículas ou jactos de partículas

+ o fotão!

Como é que as detetamos?

Detector ATLAS



(segue-se filme exterior – 15 minutos)



- 46 m (comprimento) x 25 m (diâmetro)
- 7000 toneladas
- 100 milhões de canais de electrónica

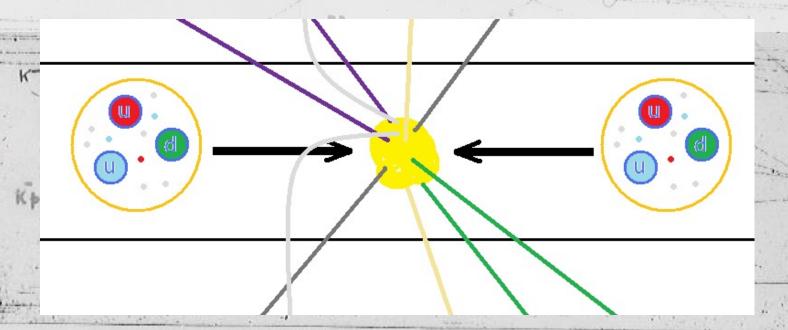


Interações Protão-Protão

Os protões dos feixes tinham a energia de 3.5(4) TeV cada:

$$2 \times 3.5(4) \text{ TeV} = 7(8) \text{ TeV}$$

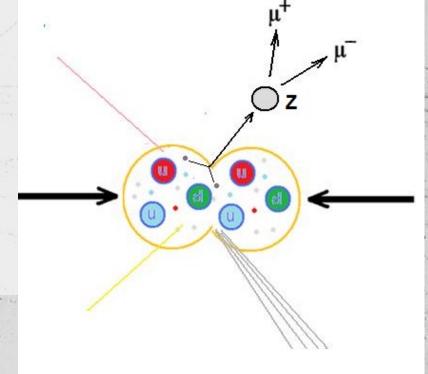
Os quarks e gluões constituintes do protão que colidem têm apenas uma **fração desta energia**. Novas partículas criadas na colisão têm *sempre* uma massa inferior a esta fração da energia.



Estamos à procura do bosão Z, uma partícula sem carga eléctrica que

decai num par muão-antimuão ou num par electrão-positrão*.

Que sabemos das cargas eléctricas dos pares? Qual a carga eléctrica do Z?



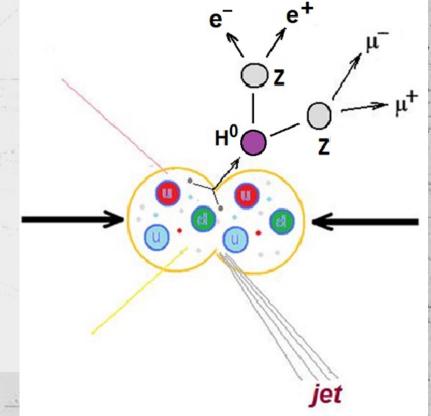
^{*}O bosão Z tem outros decaimentos... mas não estamos interessados nesses.

Produção e Decaimento de Partículas

O tão procurado **bosão de Higgs** (**H**) foi encontrado nas experiências ATLAS e CMS no LHC do CERN em 2012.

Podemos ter acontecimentos candidatos a bosões de Higgs nos decaimentos

- H => ZZ* => 4 leptões
- H => γγ (2 fotões)

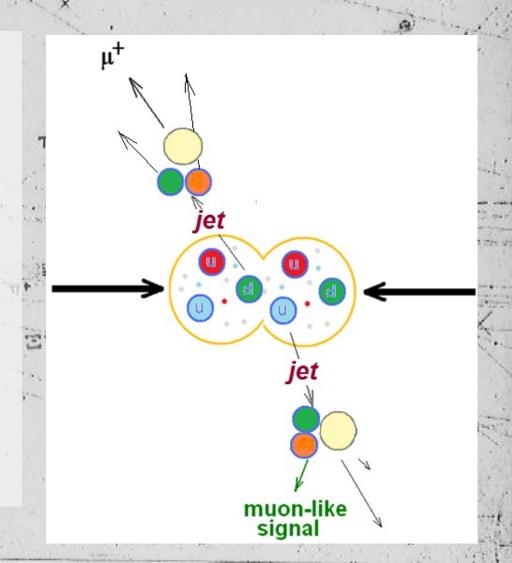


Frequentemente quarks são dispersados em colisões.

Estes quarks dão origem a jatos de partículas.

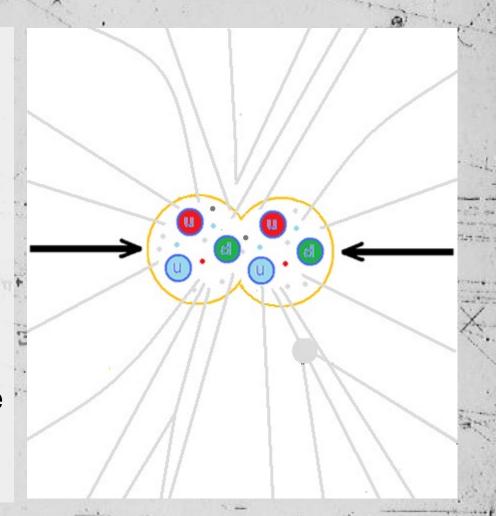
Electrões e muões de baixa energia podem ser produzidos nos jatos.

Não são o que estamos à procura!



Um acontecimento "dimuão" ou "di-electrão" **pode** ser o decaimento da partícula em que estamos interessados.

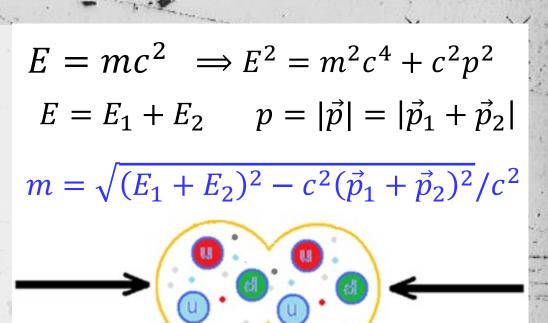
Pode ser difícil reconhecer os traços que queremos, se não eliminarmos os traços de baixo momento transverso.

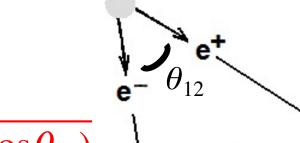


Se selecionarmos só os traços com momento transverso superior a 10 GeV, ficamos com uma imagem mais nítida.

Hoje iremos seleccionar vários acontecimentos $Z \rightarrow e^+e^- e Z \rightarrow \mu^+\mu^- e$ usar a informação de massa [invariante] $m[.c^2]$ para saber se descobrimos o bosão Z ou

outras partículas.





$$mc^2 \simeq \sqrt{2E_1 E_2 (1 - \cos \theta_{12})}$$

Exemplo:



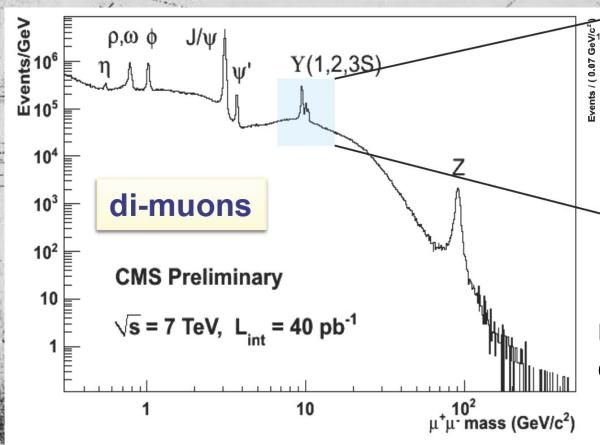
CMS Preliminary, $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

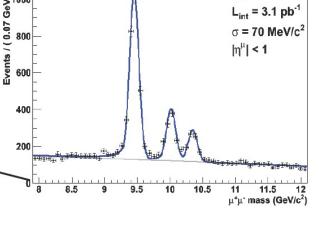
Espectro de massa de pares de muões

- Eventos com dois muões
- Pesquisa de partículas X que decaem em dois muões;

...e faz-se uma distribuição de:



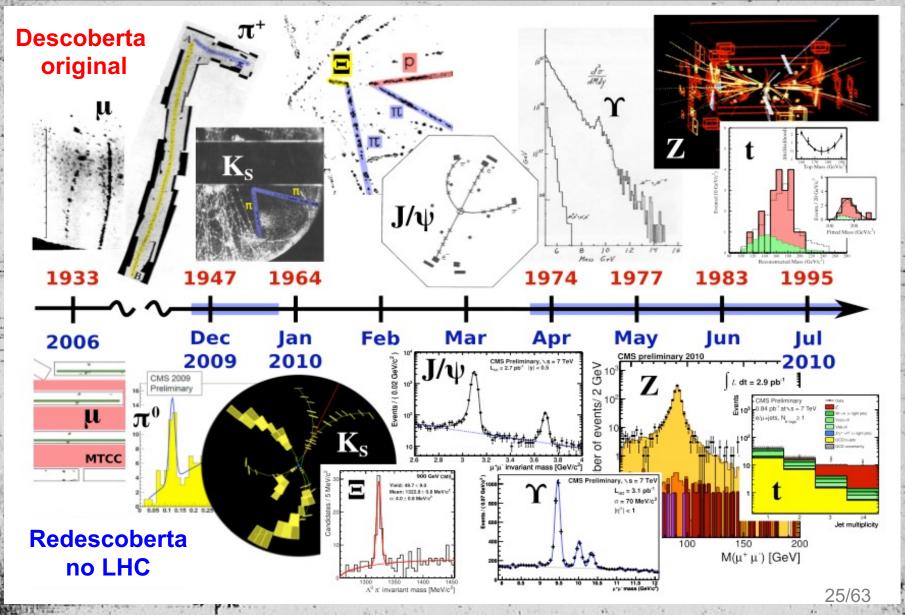


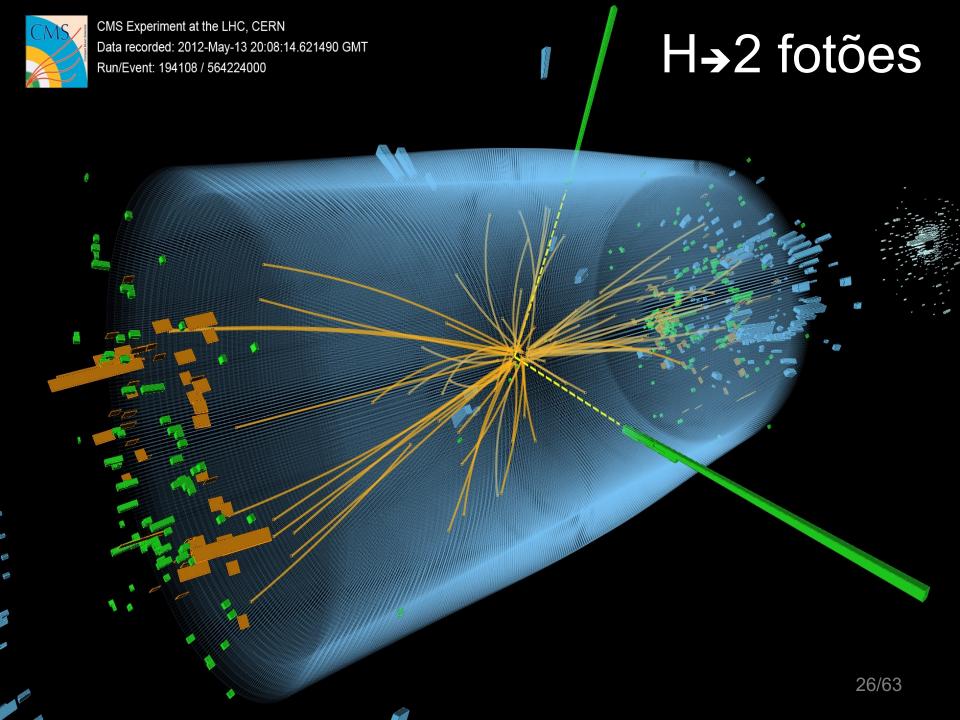


Espectro de massa: número de eventos em função da massa

LHC 2010-11: Redescoberta do modelo padrão





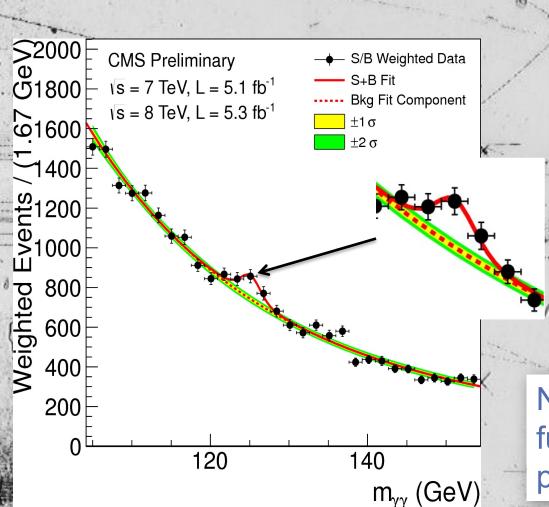


Resultados de $H=>\gamma\gamma$:



Distribuição de massa dos 2 fotões, m(γγ)

Soma das distribuições de cada classe de acontec., ponderada por S/B



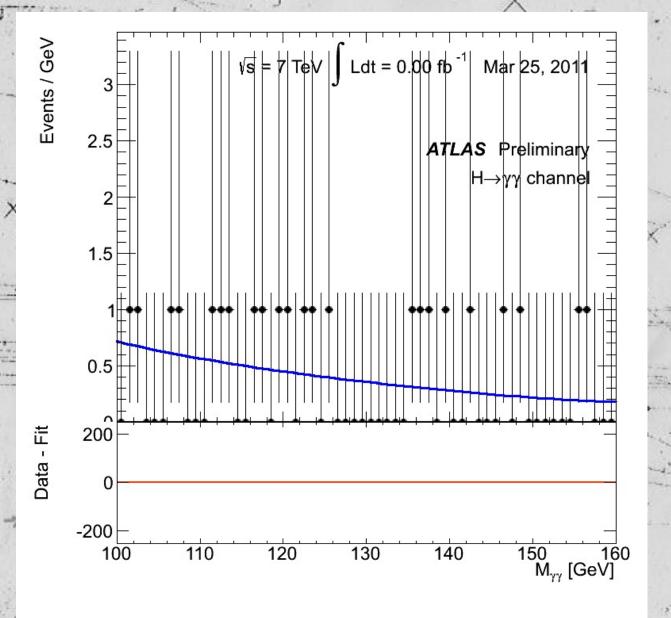
Na distribuição de massa γγ há um excesso de acontecimentos sobre o fundo, para massas ~ 125 GeV/c².

A observação do estado final em 2 fotões implica que a nova partícula é um bosão, não um fermião, e que não pode ser uma partícula de "spin 1".

Não há outra partícula fundamental com estas propriedades! 27/6

ATLAS: Distribuição de massa dos 2 fotões, m($\gamma\gamma$)

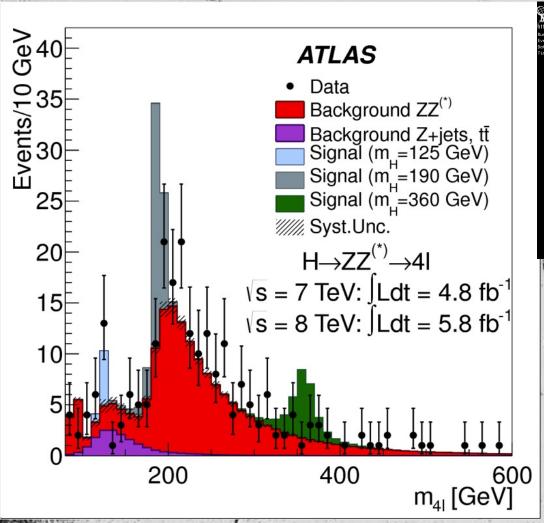


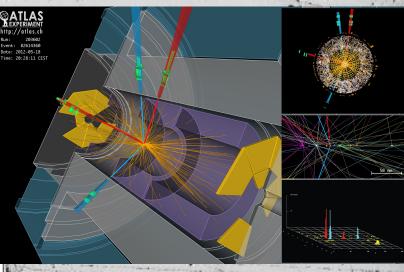


Resultados do H decaindo em ZZ*



Distribuição de massa de 4 leptões, m(4I)



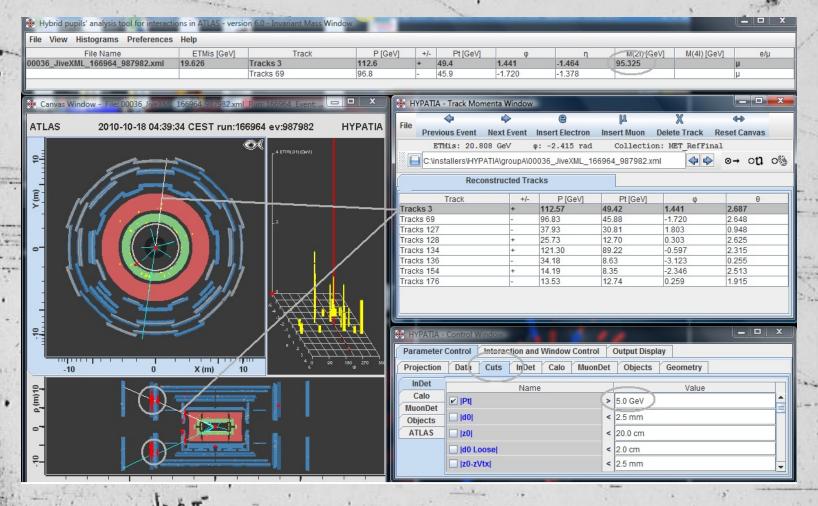


Distribuição de massa para os 4 leptões

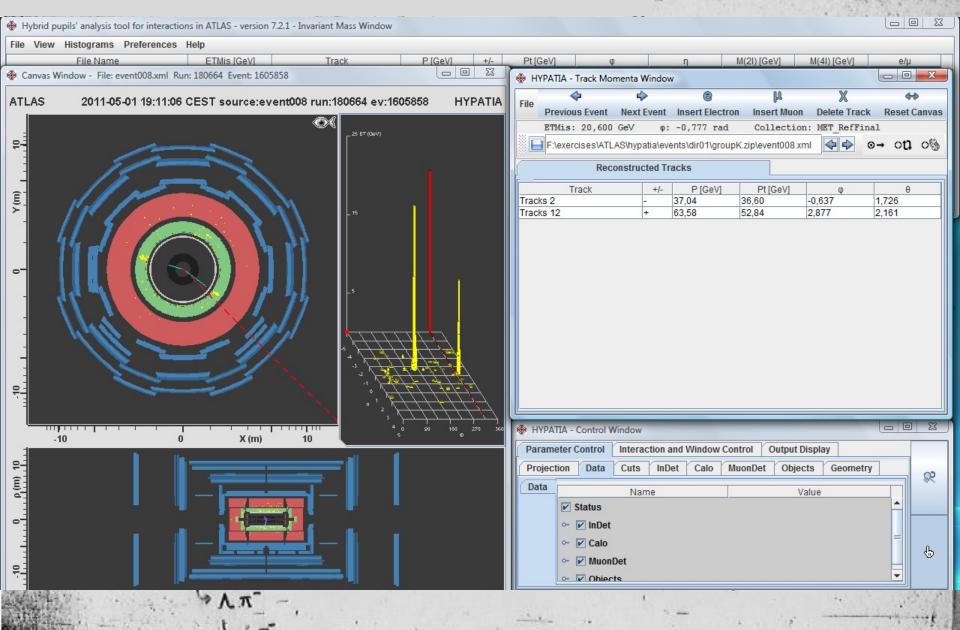
(dois pares eletrão-positrão, ou dois pares de muões, ou 'um par de eletrões e um par de muões).

Visualizador de Acontecimentos HYPATIA

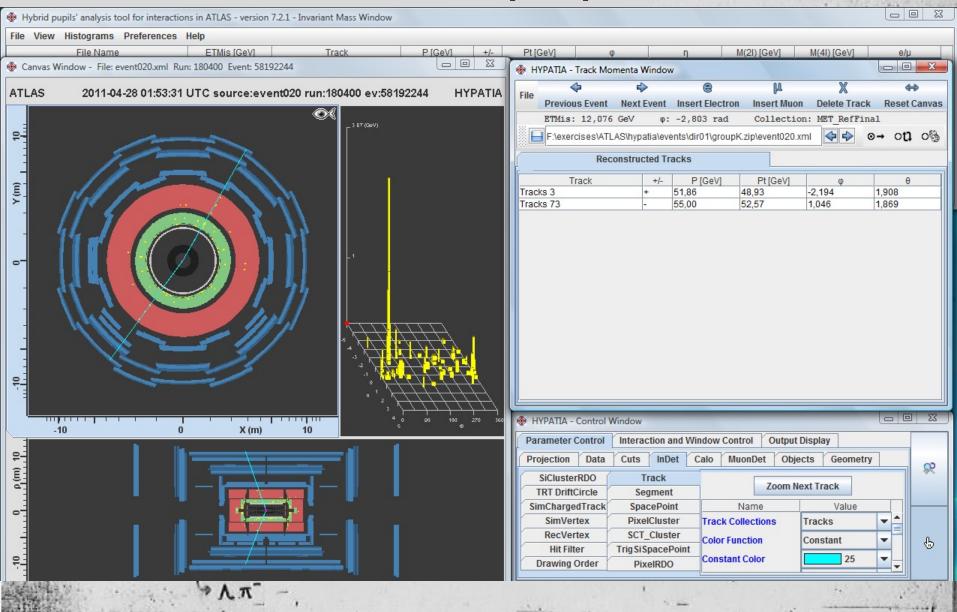
=> cuts: Pt > 5.0-10.0 GeV



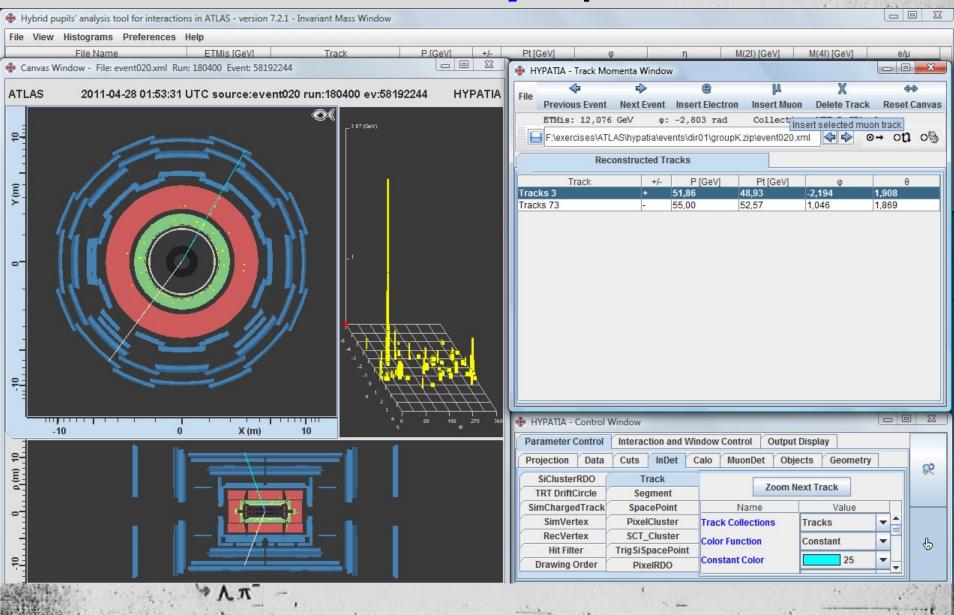
HYPATIA: $Z => e^+ e^-$



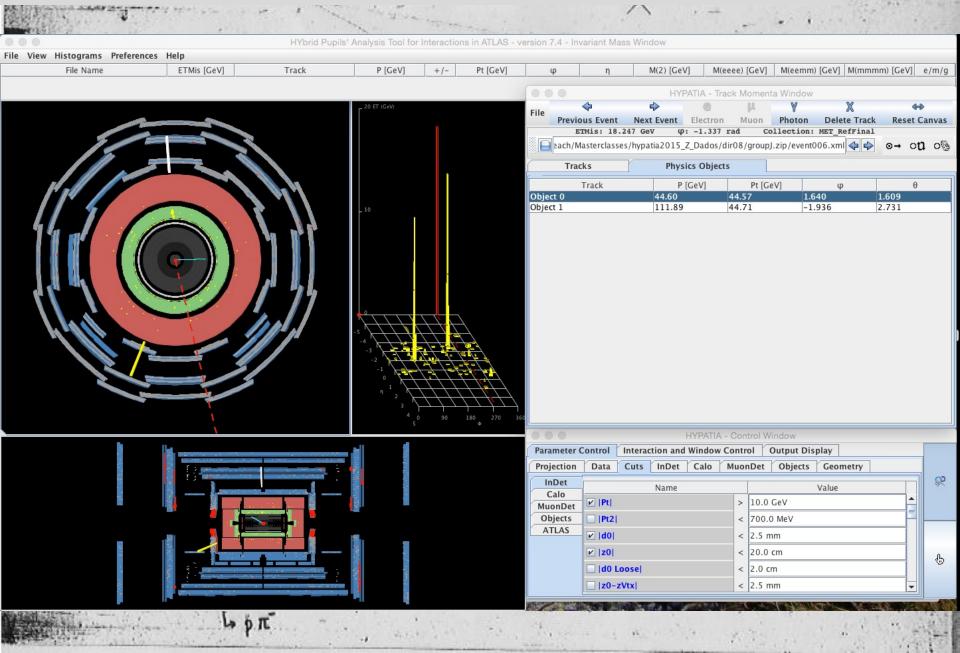
HYPATIA: $Z => \mu^+ \mu^-$



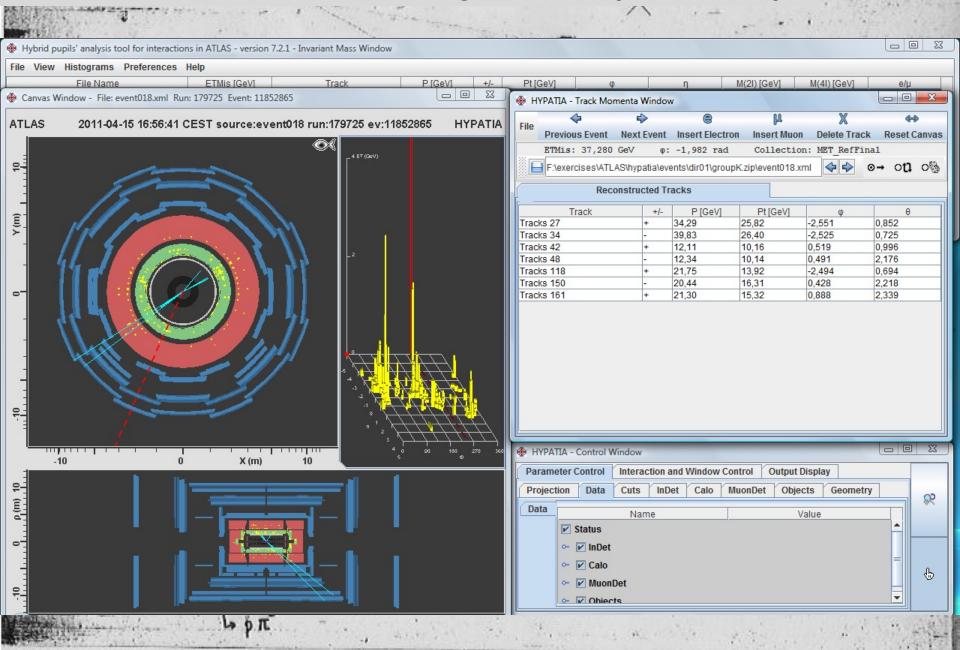
HYPATIA: $Z => \mu^{\dagger} \mu^{-}$



HYPATIA: $H => \gamma \gamma (\gamma \gamma)$



HYPATIA: Z => jatos (fundo)



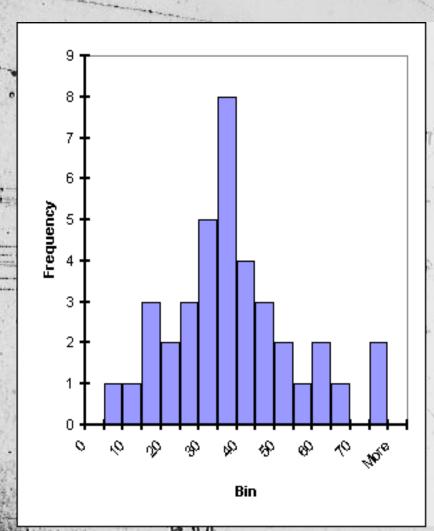
HYPATIA: Salvar os dados!!!



UPLOAD para:

http://cernmasterclass.uio.no/OPIoT/

Análise do Histograma



Pico bem definido

Caudas: frequências baixas

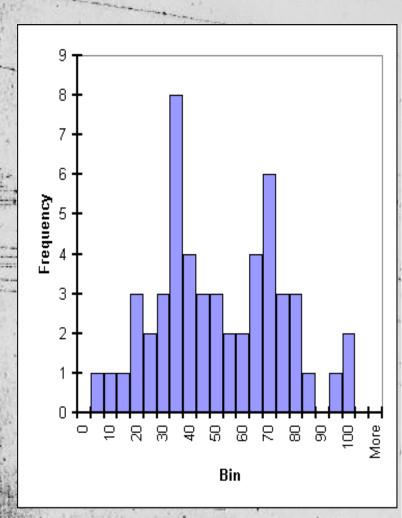
Onde estão os picos?

Que partículas idenficamos?

Algum pico em m(4I)?

Algum pico em $m(\gamma\gamma)$?

Análise do Histograma



Dois picos:

- Pobre definição do sinal ou
- Dois sinais diferentes?

Em Física de Partículas, pode ser:

- Duas Partículas diferentes ou
- Grande "sinal" vindo do "fundo" e um "montinho" mostrando a partícula em estudo.

Vamos ao trabalho - Z!

Façam equipas de dois.

Pratiquem um pouco (exercício 1).

Fale com os físicos.

Encontre bons candidatos Z.

Que acontecimentos irá incluir na distribuição M(X)?

Que partículas irá inserir para calcular a massa?

Descobriu algum Candidato a Bosão de Higgs?

... E faça a distribuição!

Reporte! Relate! Ria! Relaxe!

OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO