Fotografando a passagem das Partículas Elementares

Ricardo Gonçalo

LIP

International Particle Physics Outreach Group

CIÊNCIA VIVA 20 ANOS
Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica

09/03
2017

CERN
European Organization for Nuclear Research

Fundado em 1954 por 12 países

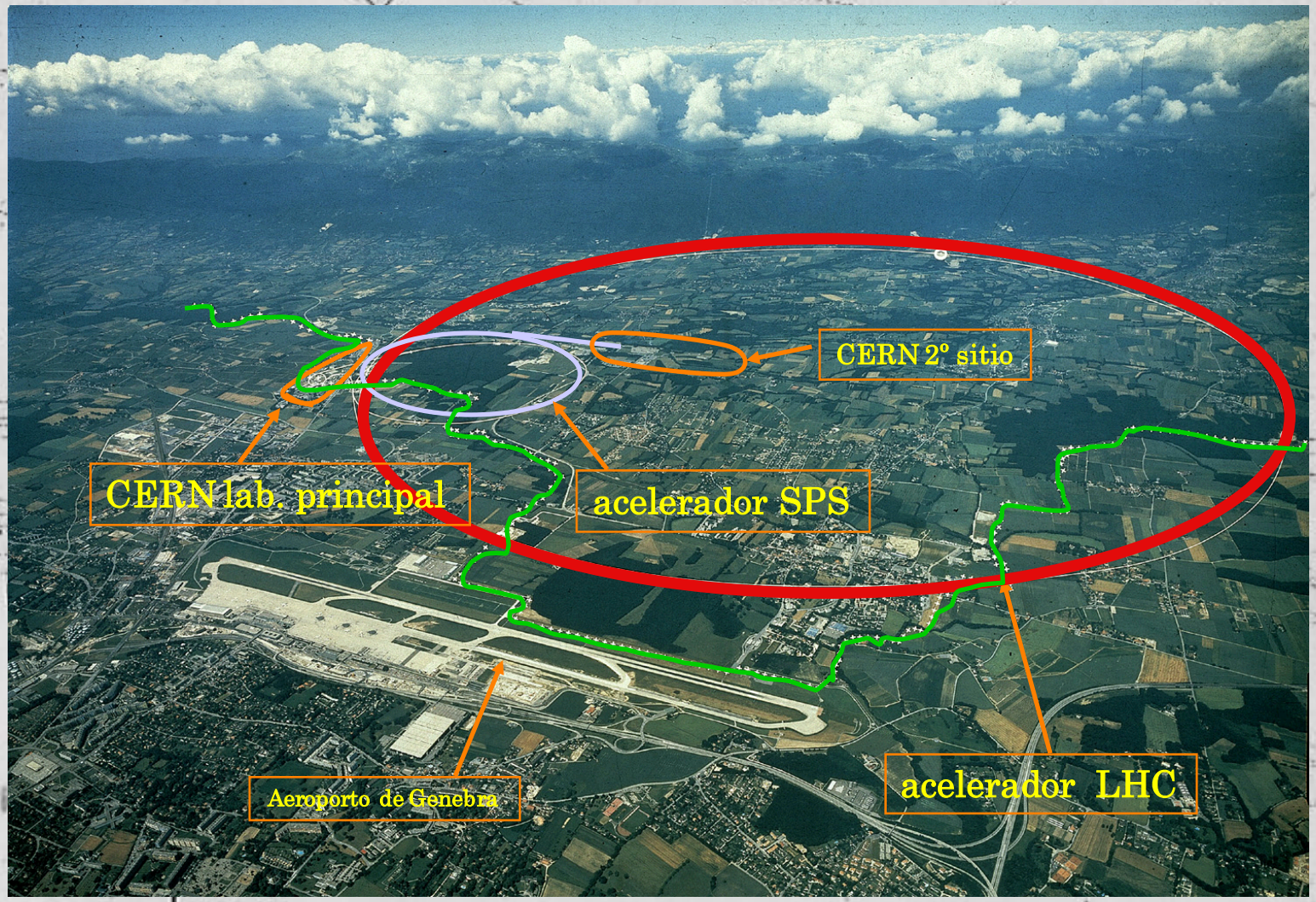
Actualmente: 22 estados membros (1986-Portugal)

2500 Engenheiros, Físicos e Técnicos (e func.administ.)

Mais de 13000 utilizadores de todas as partes do mundo

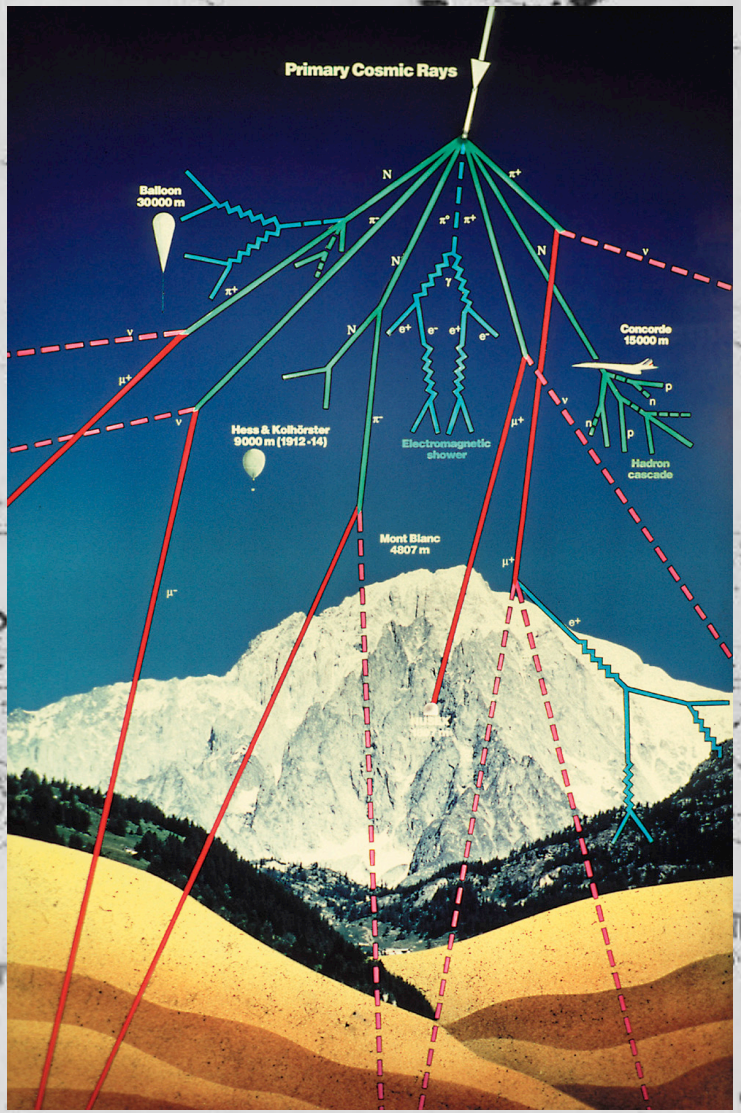
~1100 M€ / orçamento anual

Localização do laboratório CERN



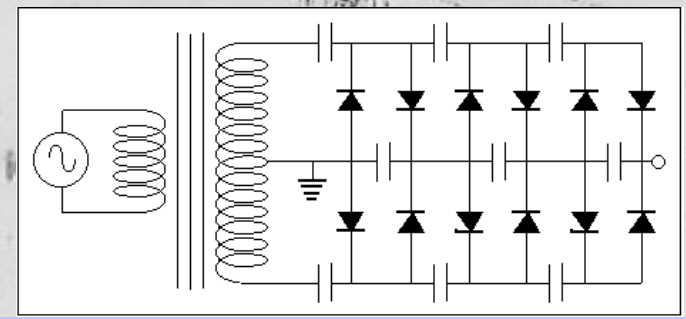
Raios Cósmicos

O maior acelerador do universo

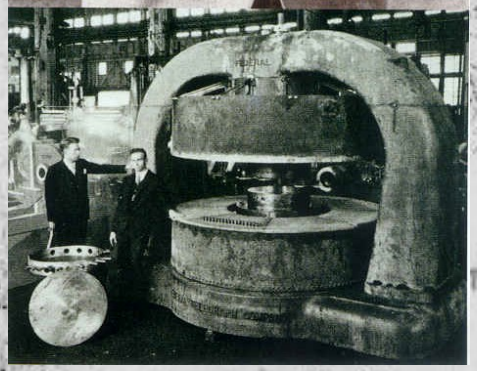


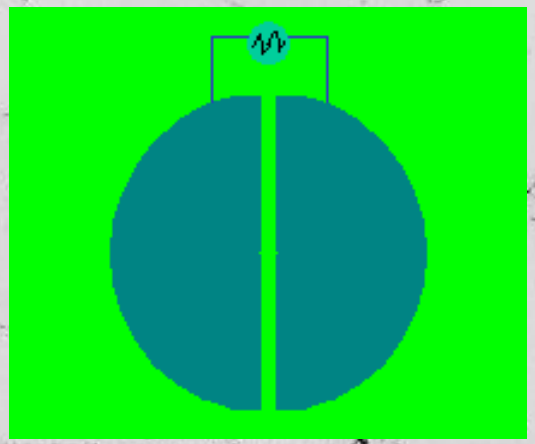
Mas na Terra:

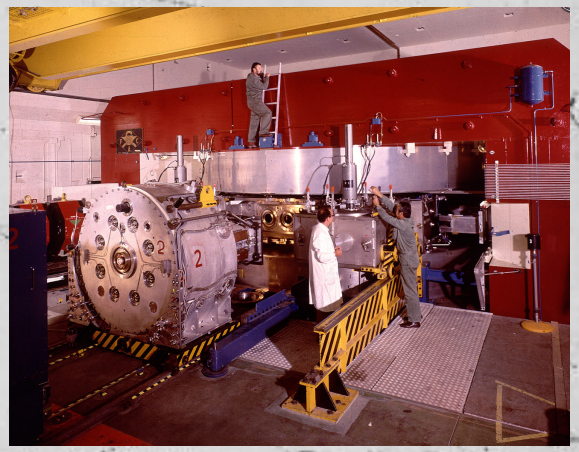
Acelerador Cockcroft-Walton

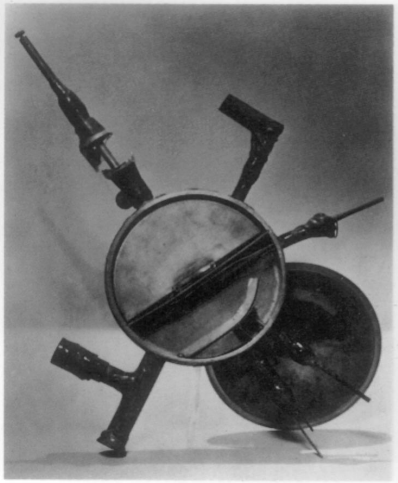


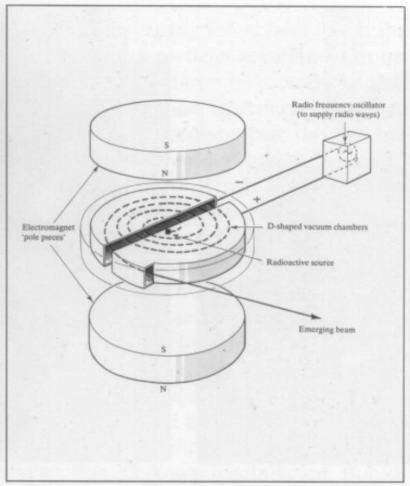
O ciclotrão



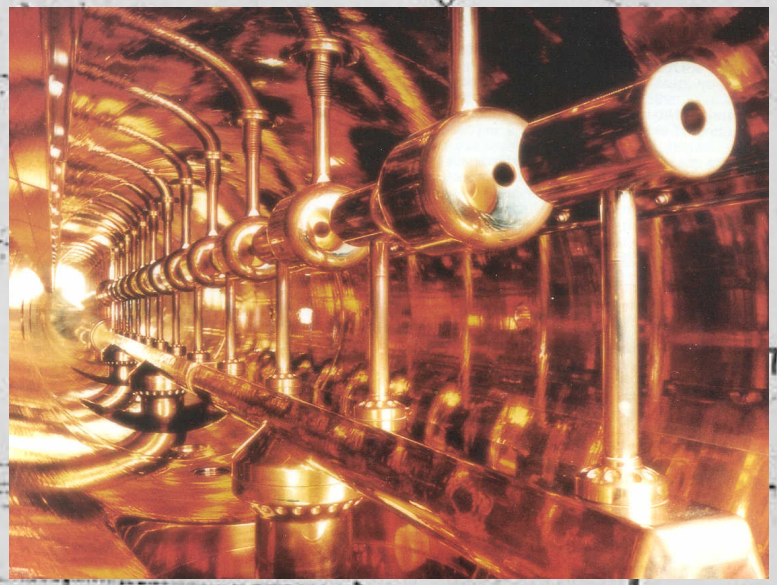


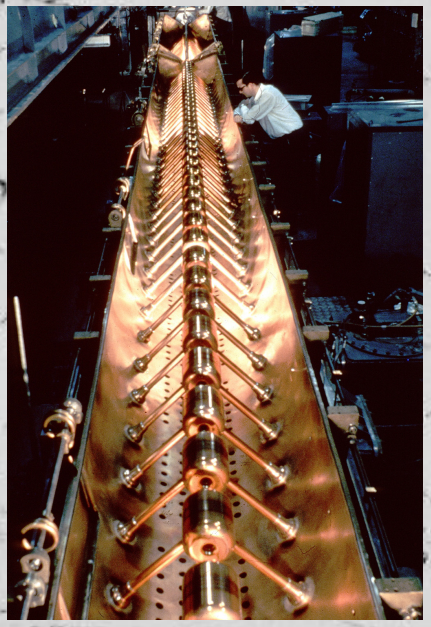


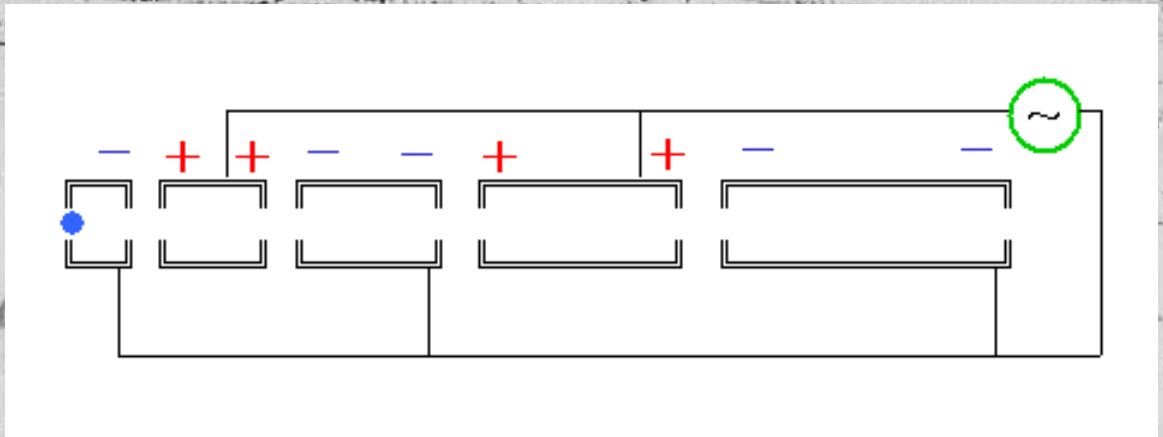



Radio frequency oscillator
(to supply radio waves)
S
N
Electromagnet
'pole pieces'
D-shaped vacuum chambers
Radioactive source
Emerging beam
S
N

O acelerador linear

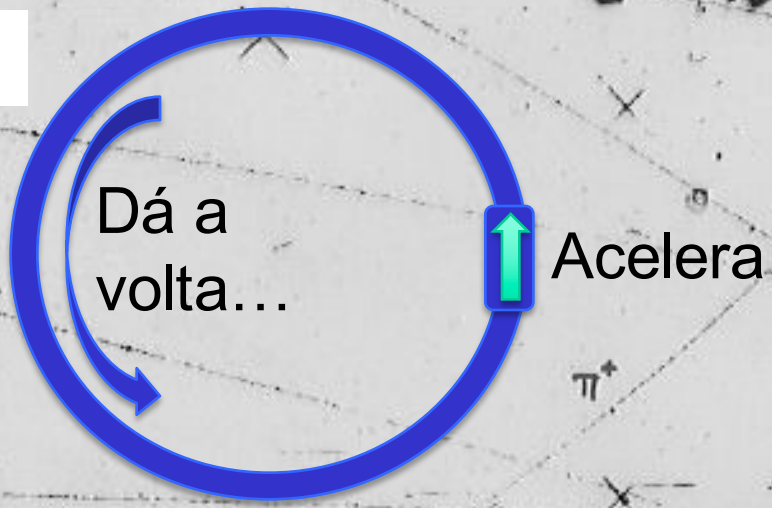


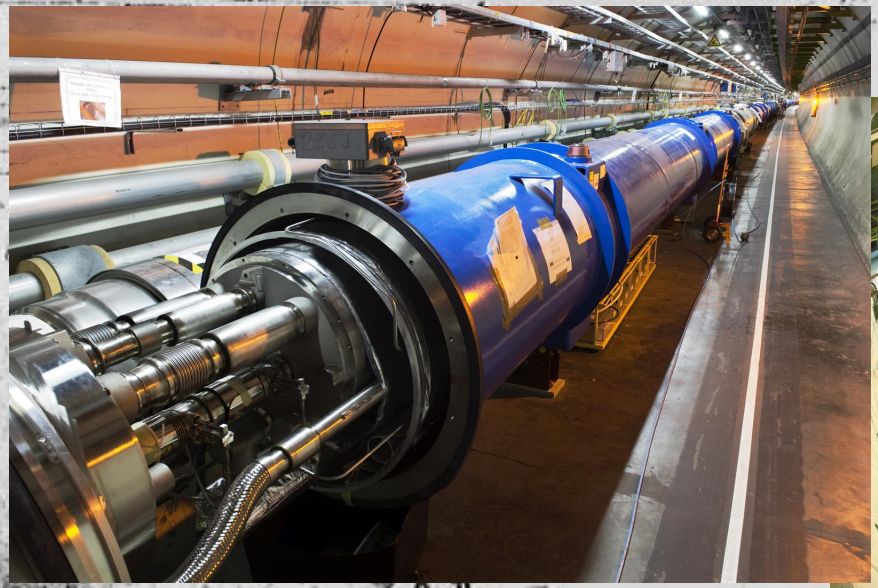


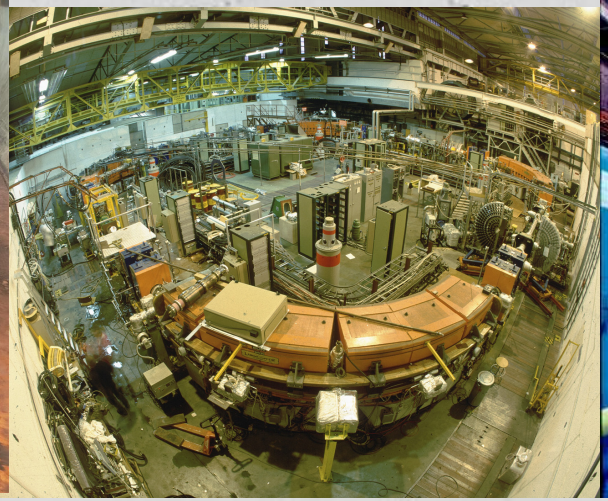


Aceleradores no CERN

Sincrotrão!

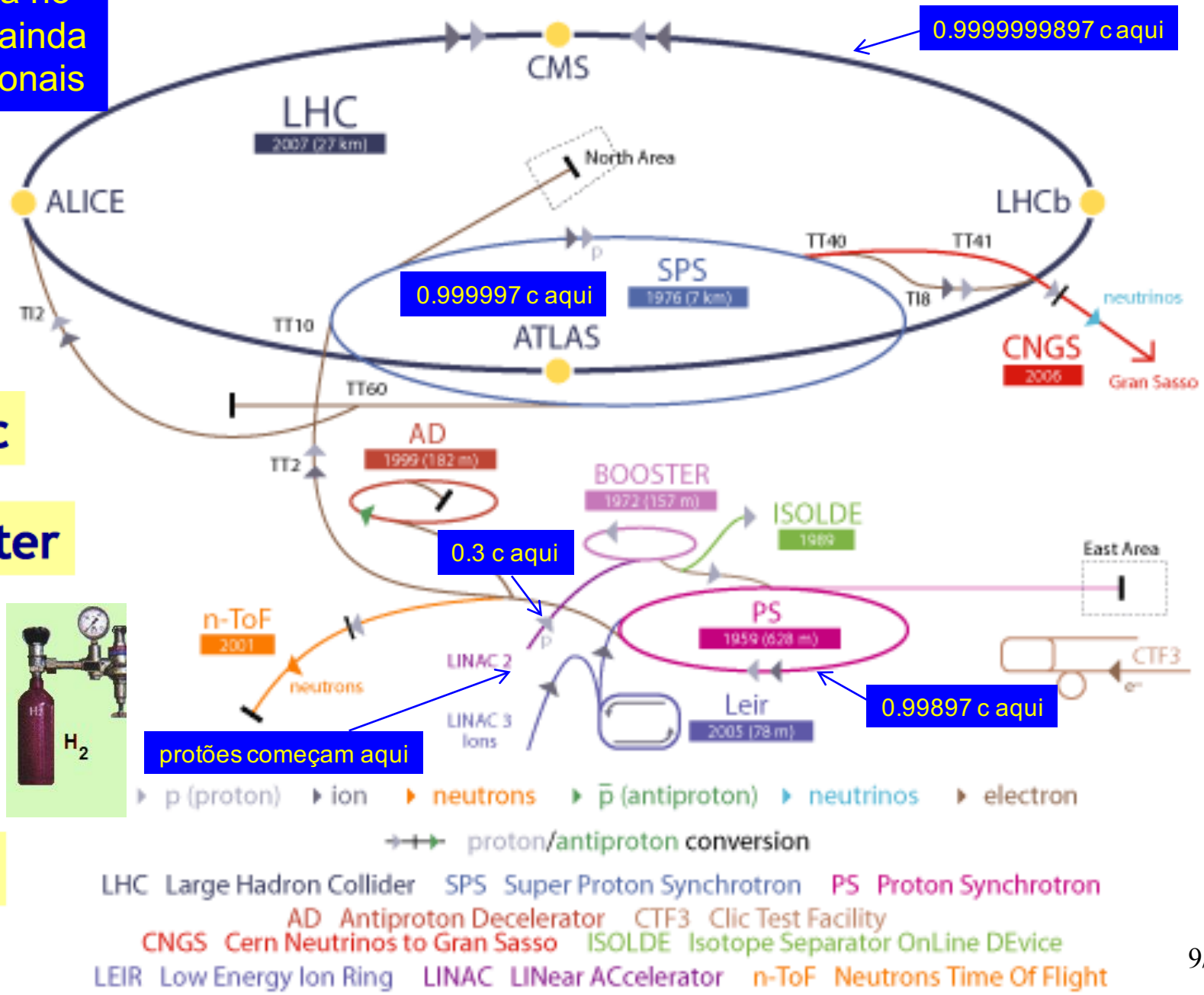






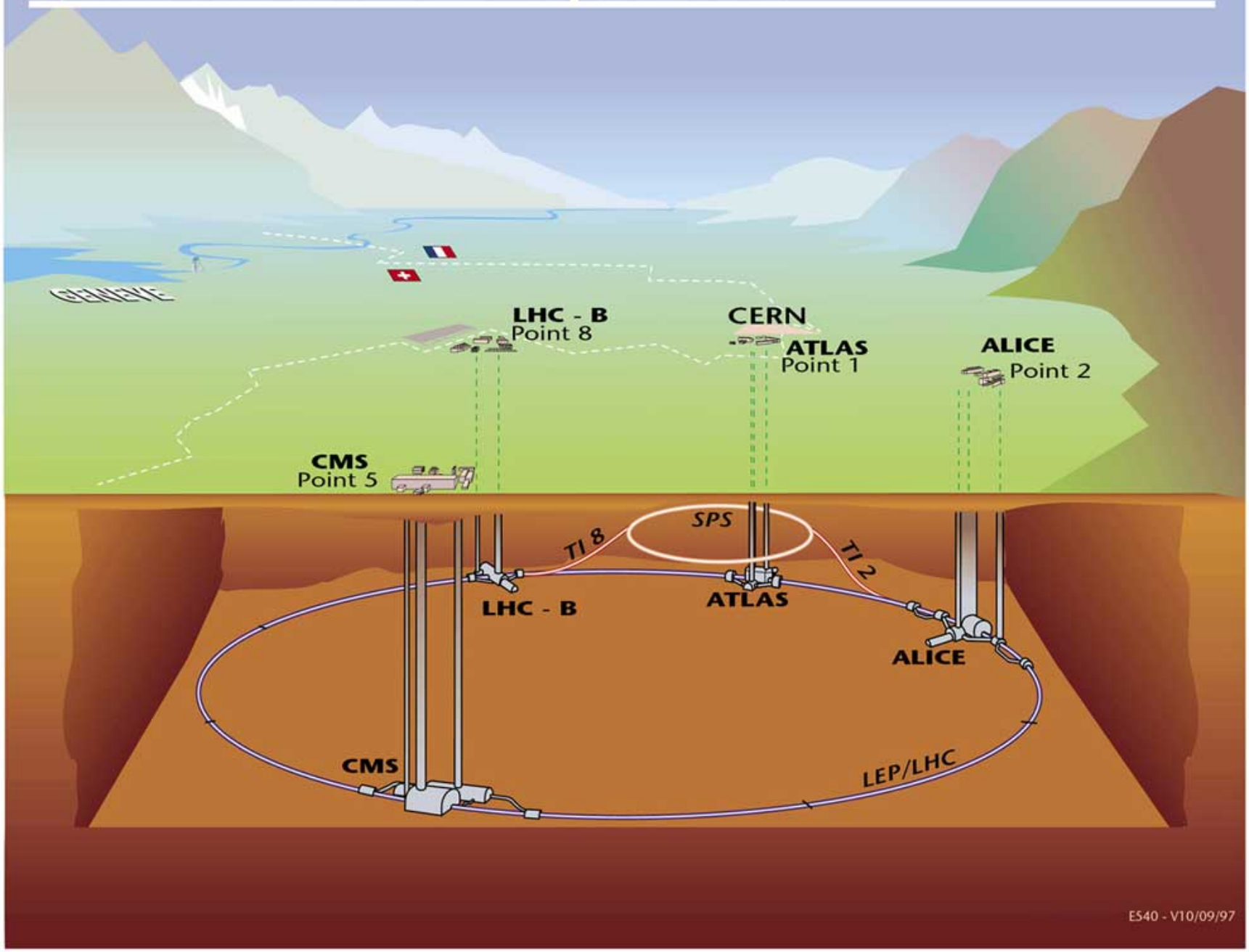
+60 anos de história no CERN ainda operacionais

CERN Accelerator Complex

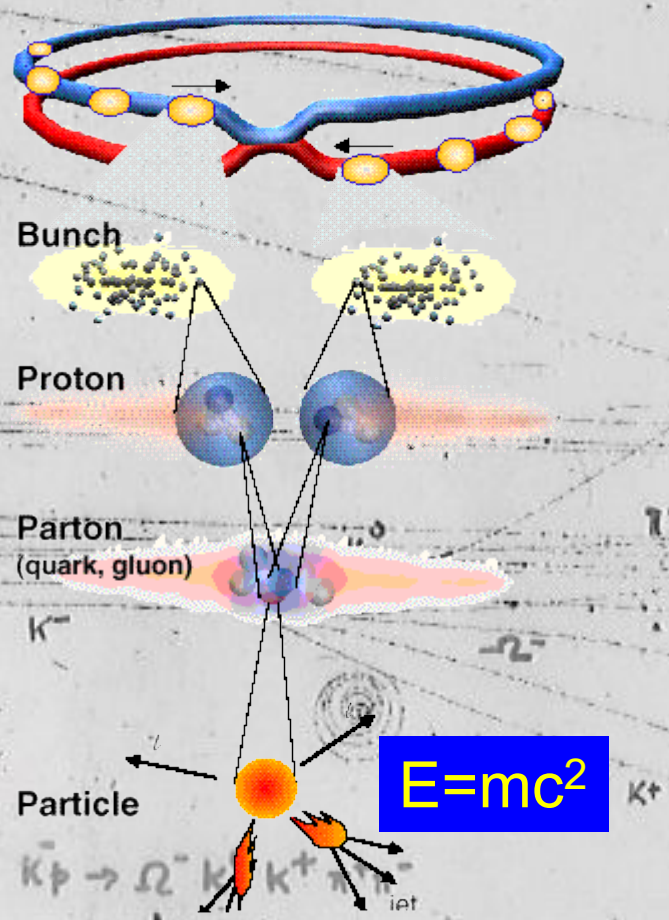


Linac
↓
Booster
↓
PS
↓
SPS
↓
LHC

Overall view of the LHC experiments.



Colisões de feixes de partículas



$E=mc^2$

LHC:

Nº pacotes = 2808

Protões / pacote = 10^{11}

E = 2 x 2808 x 10^{11} x 7 TeV ~ **0,6 GJ**

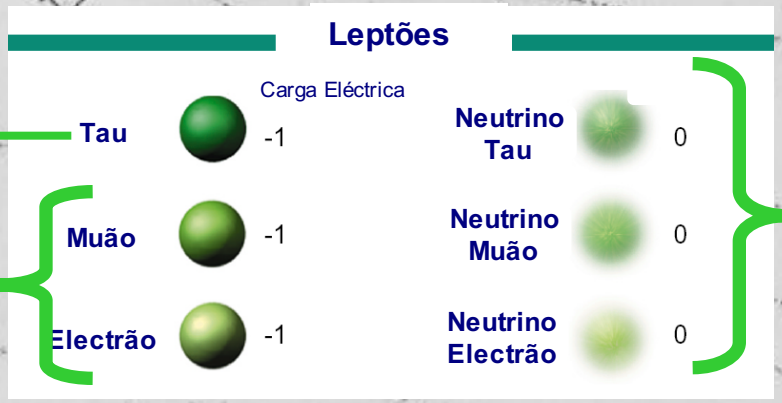
0,6 GJ é a energia cinética de um TGV à velocidade de **200 km/h** !

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

Que partículas detectamos?

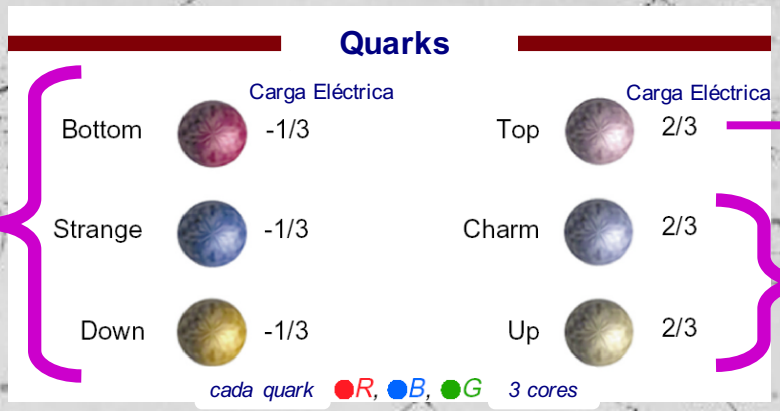
Detecção de forma indireta

Detecção de forma directa



Interação muito fraca. Difíceis de detetar!

Energia em falta! (MET)



Detecção indireta a partir de partículas ou jactos de partículas

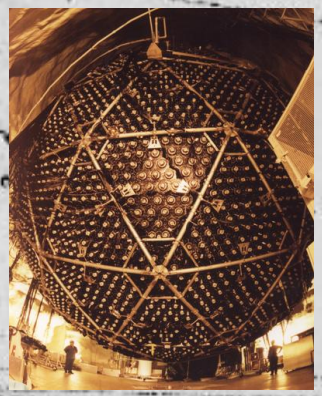
Muito pesado, mas produzido em LHC

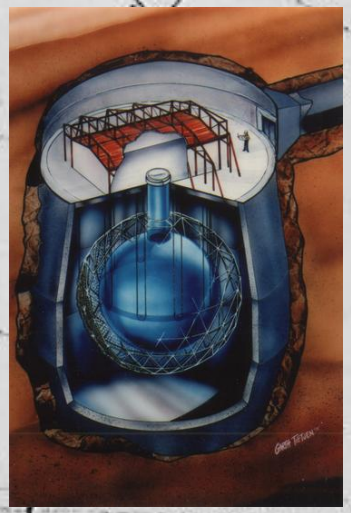
Detecção indireta a partir de partículas ou jactos de partículas

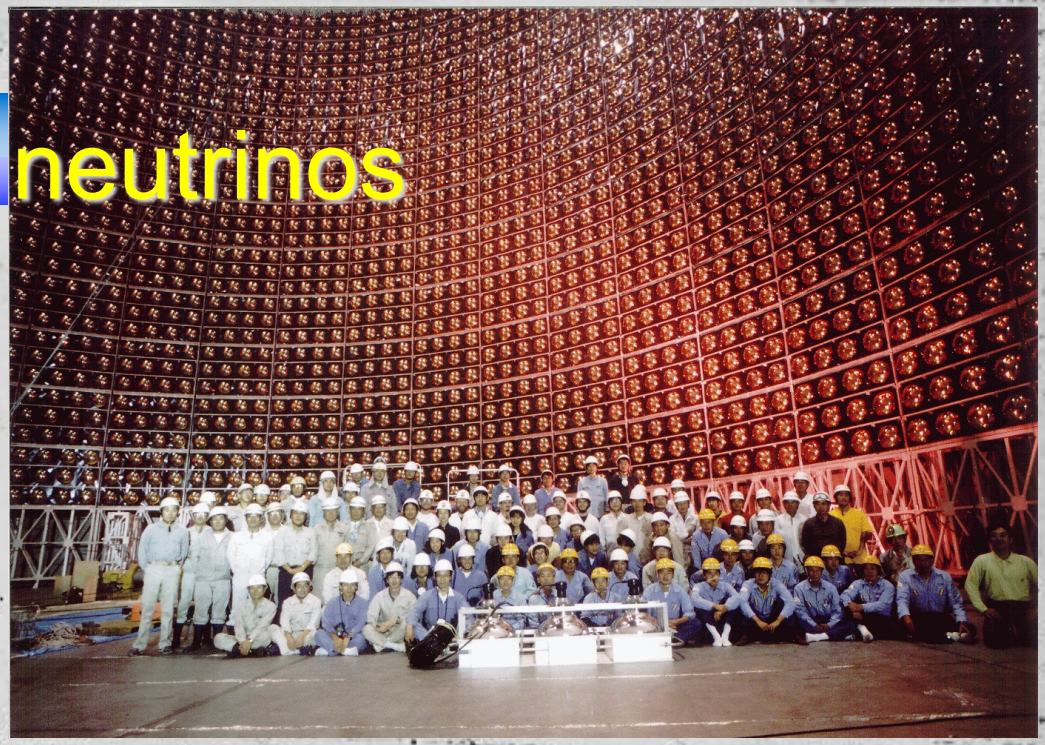
+ o fotão!

Detectores gigantes de neutrinos

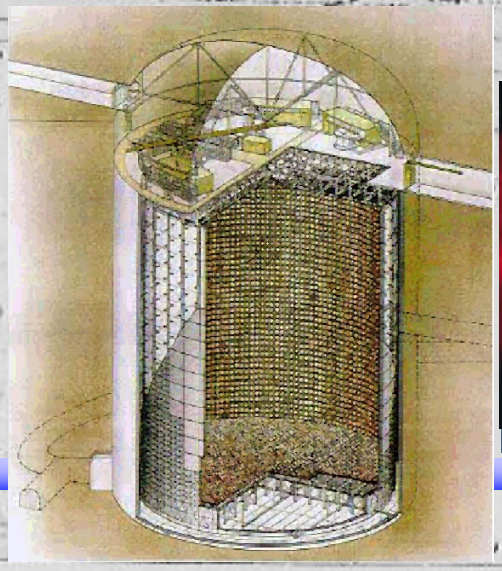
SNO



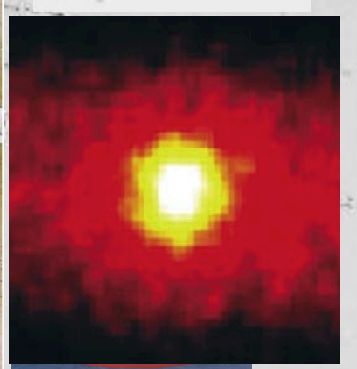




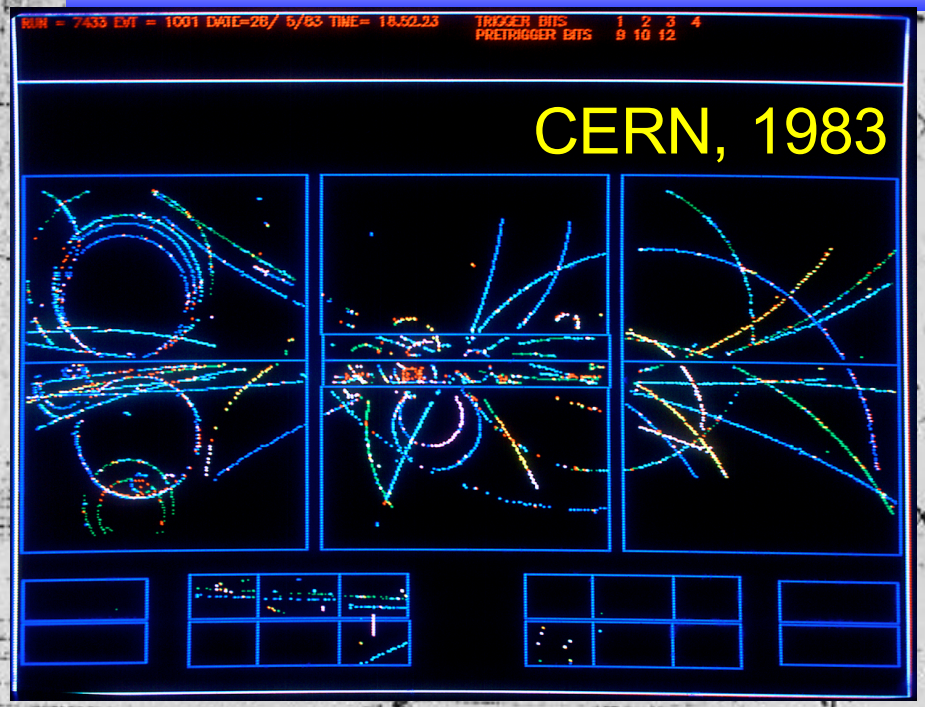
SuperKamiokande

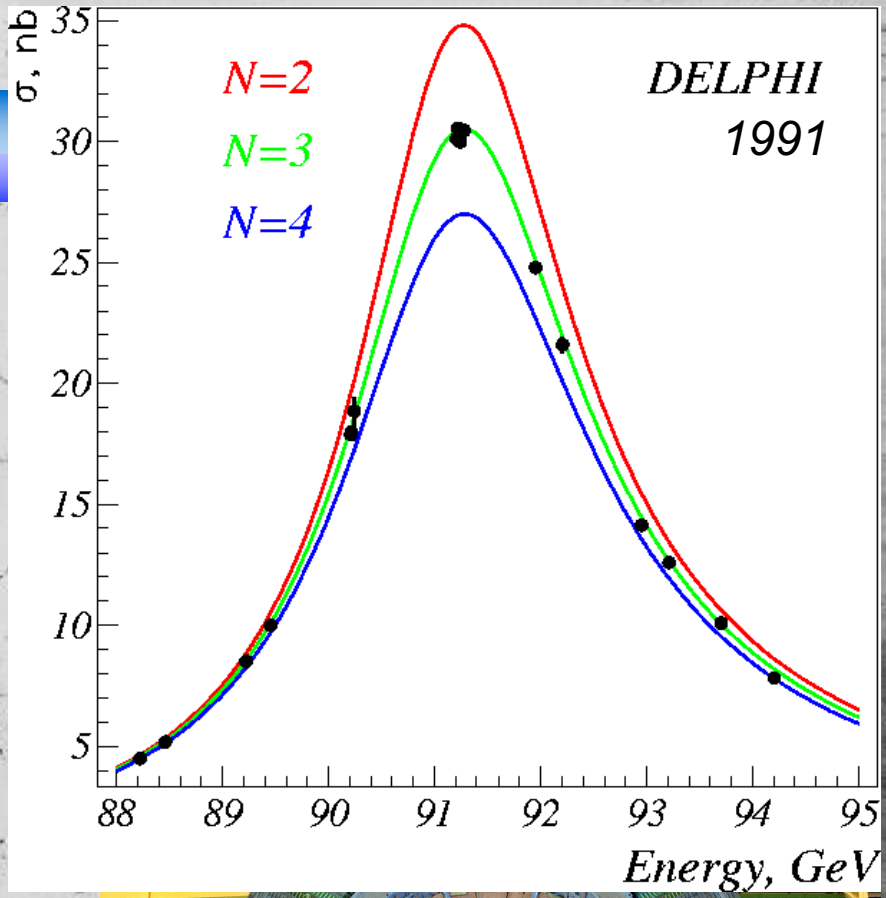


Sol em neutrinos



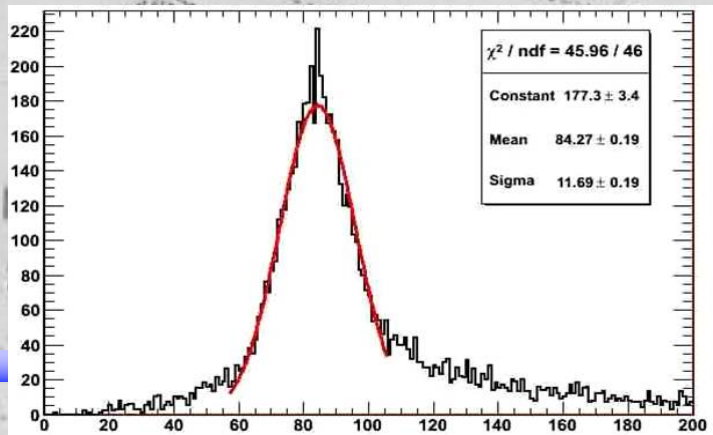
O caminho do Z





Distribuição da Massa do Z

em ATLAS
(simulação)

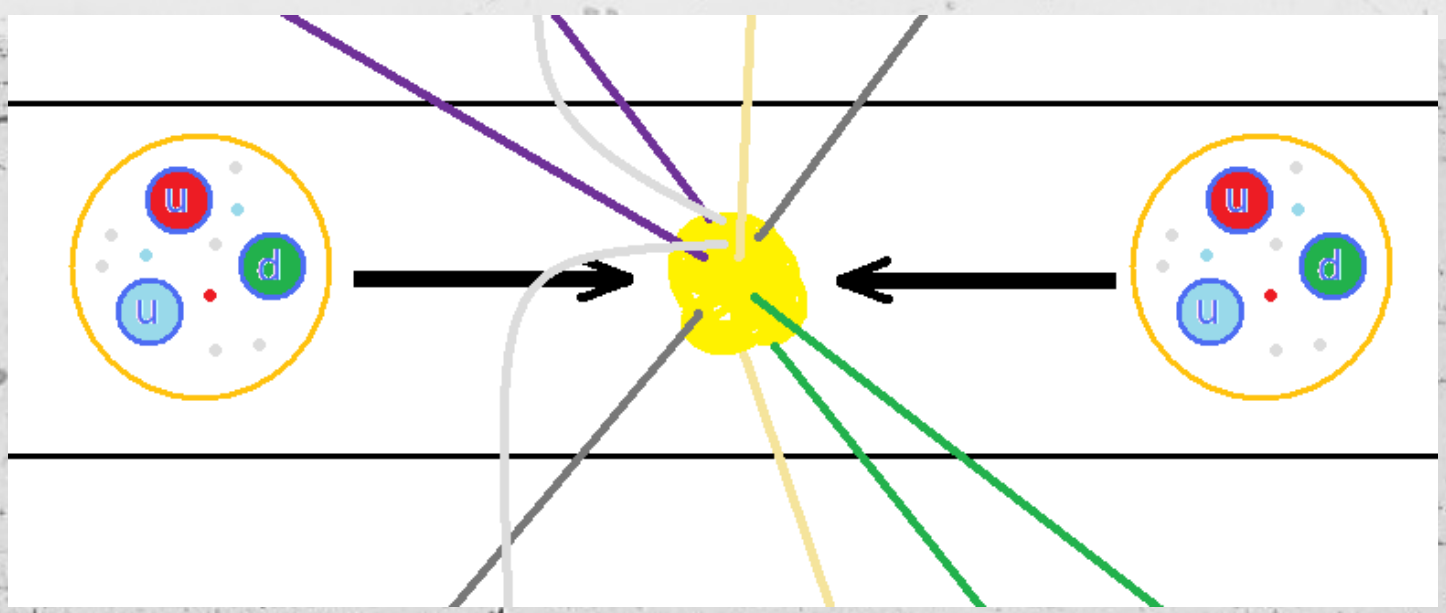


Interações Protão-Protão

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

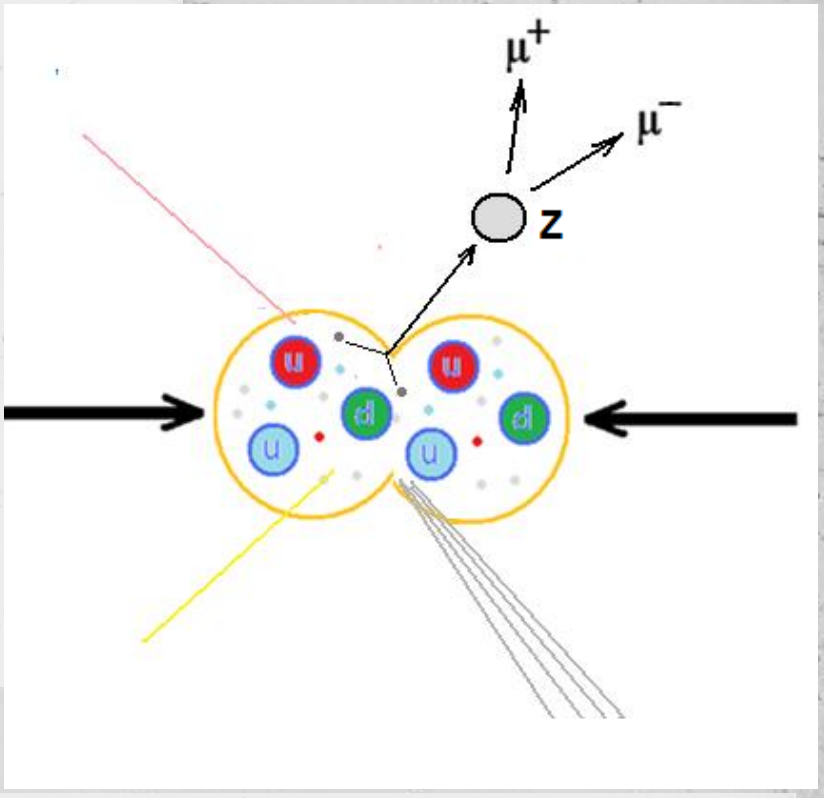
2 x 3.5(4) TeV = 7(8) TeV

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.



Decaimentos de Partículas

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?

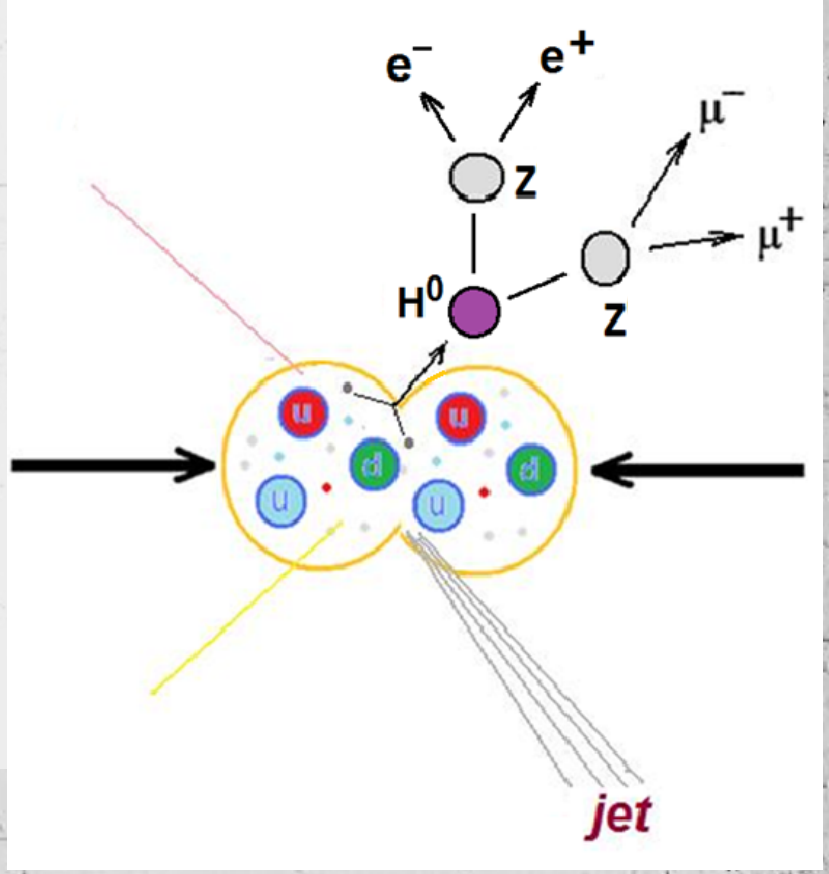
**O bosão Z tem outros decaimentos… mas não estamos interessados nesses.*

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 -> $\gamma\gamma$ (2 fotões)**

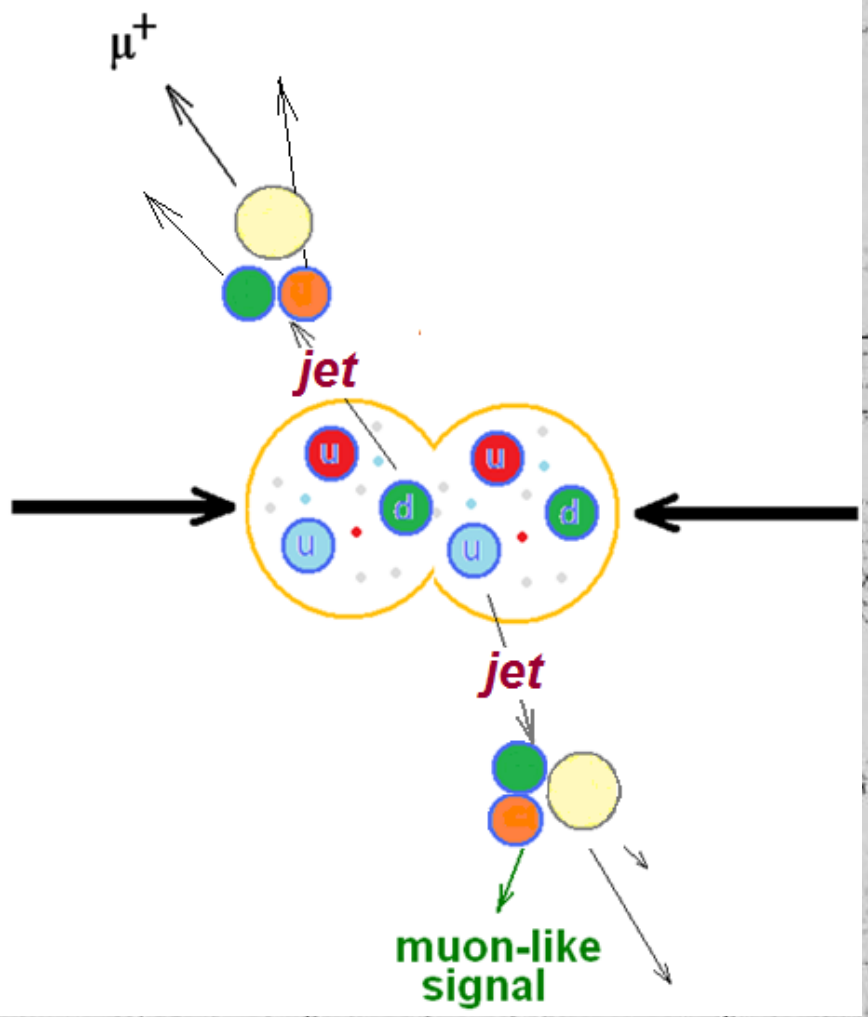


Decaimentos de Partículas

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.

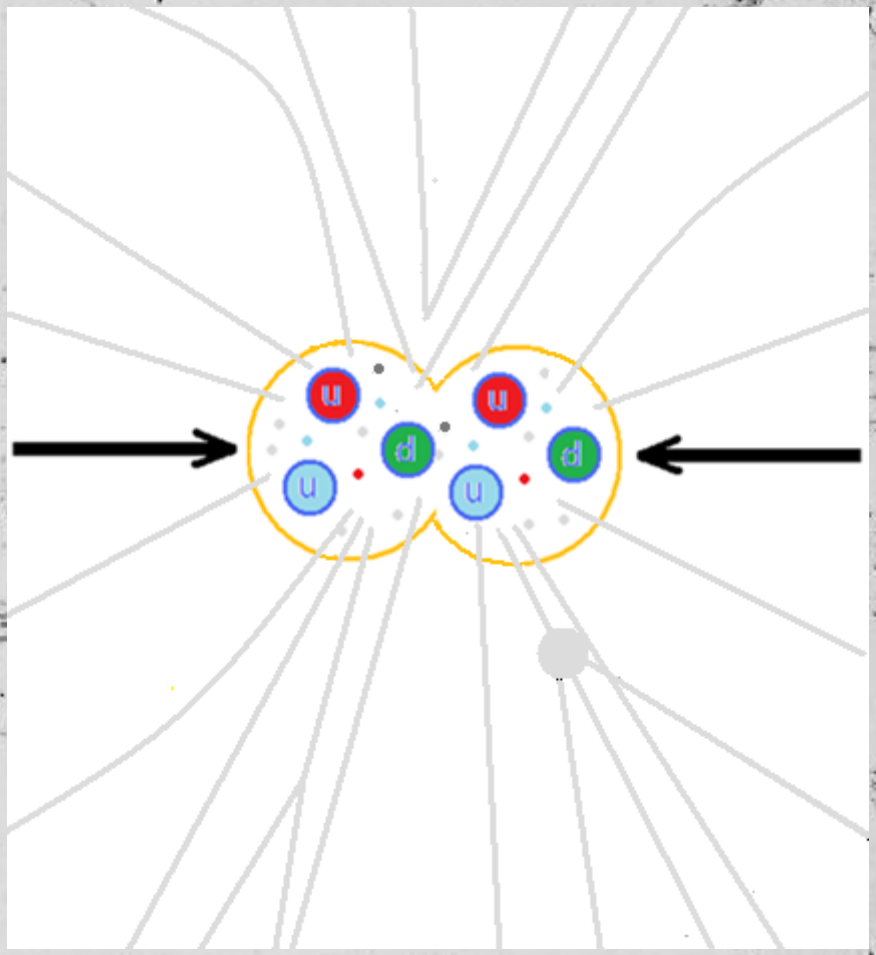
Não são o que estamos à procura!



Decaimentos de Partículas

Um acontecimento “di-muão” 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.



Decaimentos de Partículas

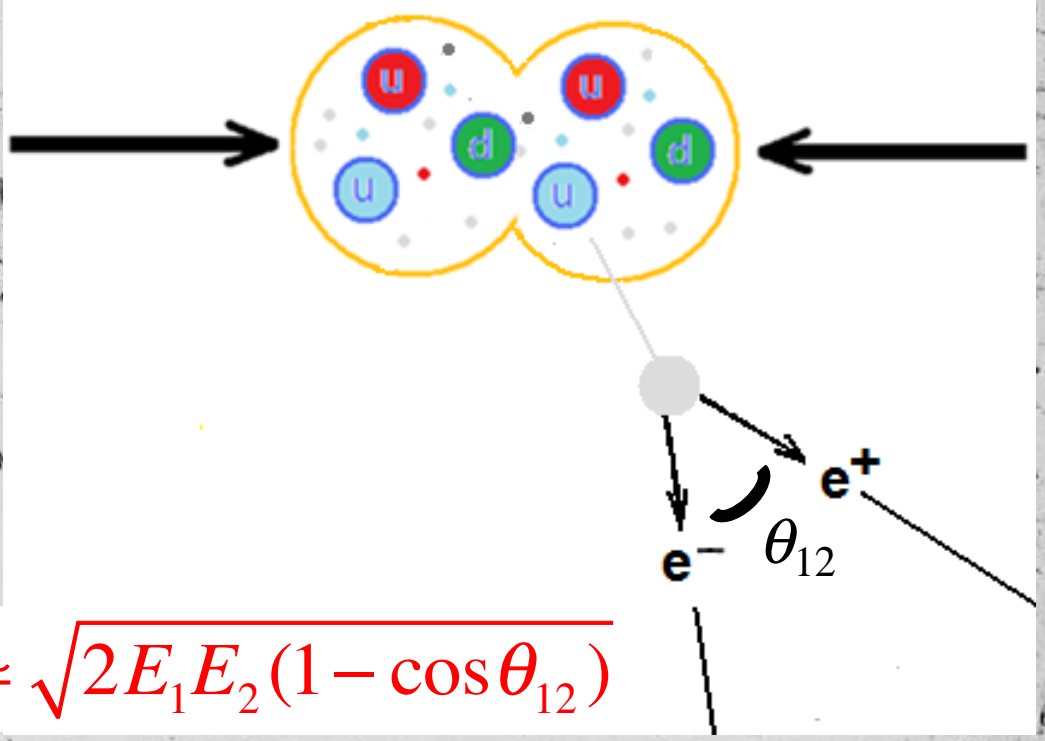
Se selecionarmos só os traços com momento transverso superior a 10 GeV, ficamos com uma imagem mais nítida.

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

$$E = mc^2 \Longrightarrow E^2 = m^2c^4 + c^2p^2$$

$$E = E_1 + E_2 \qquad p = |\vec{p}| = |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|$$

$$m = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - c^2(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2}/c^2$$



$$mc^2 \simeq \sqrt{2E_1E_2(1-\cos\theta_{12})}$$

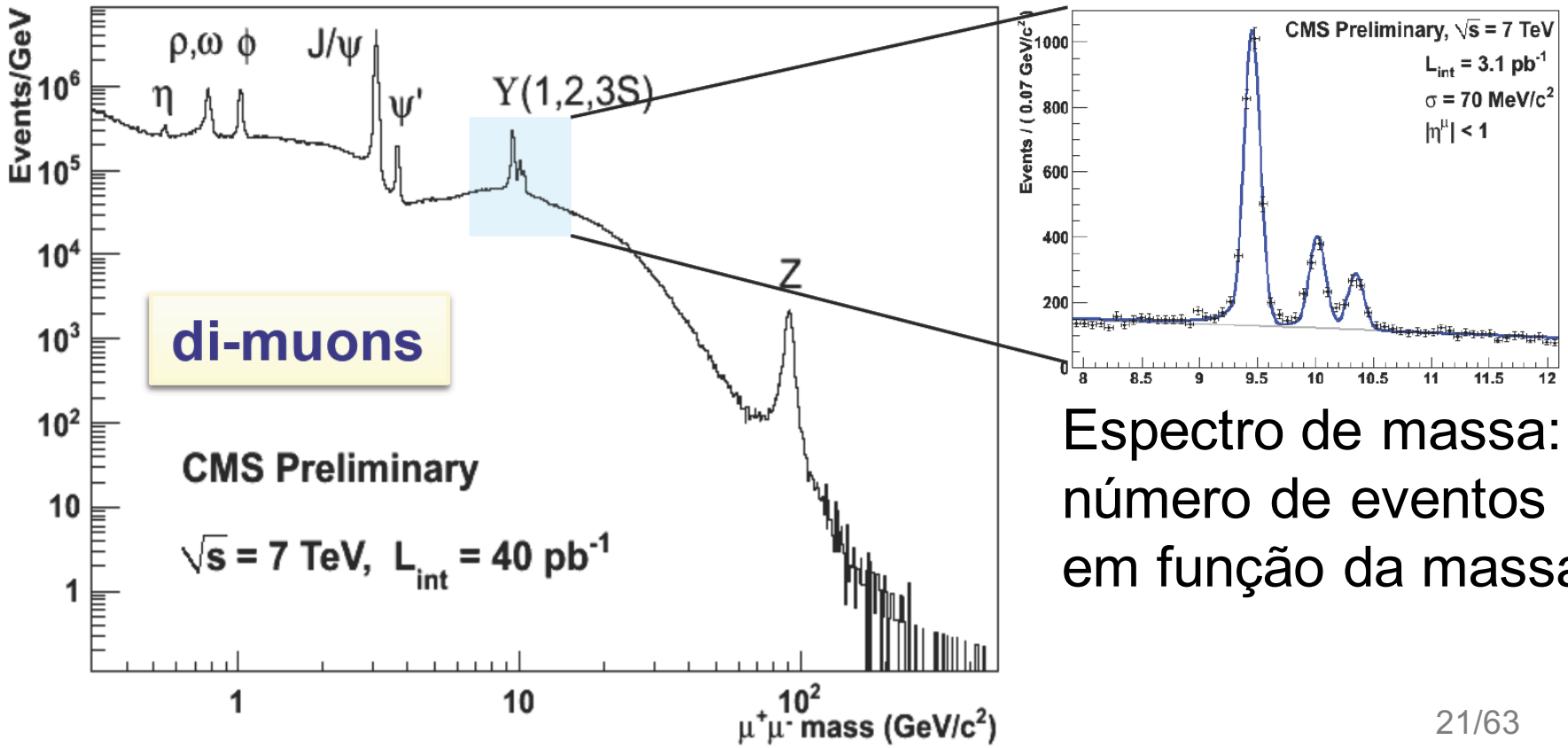
Exemplo:

Espectro de massa de pares de muões

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

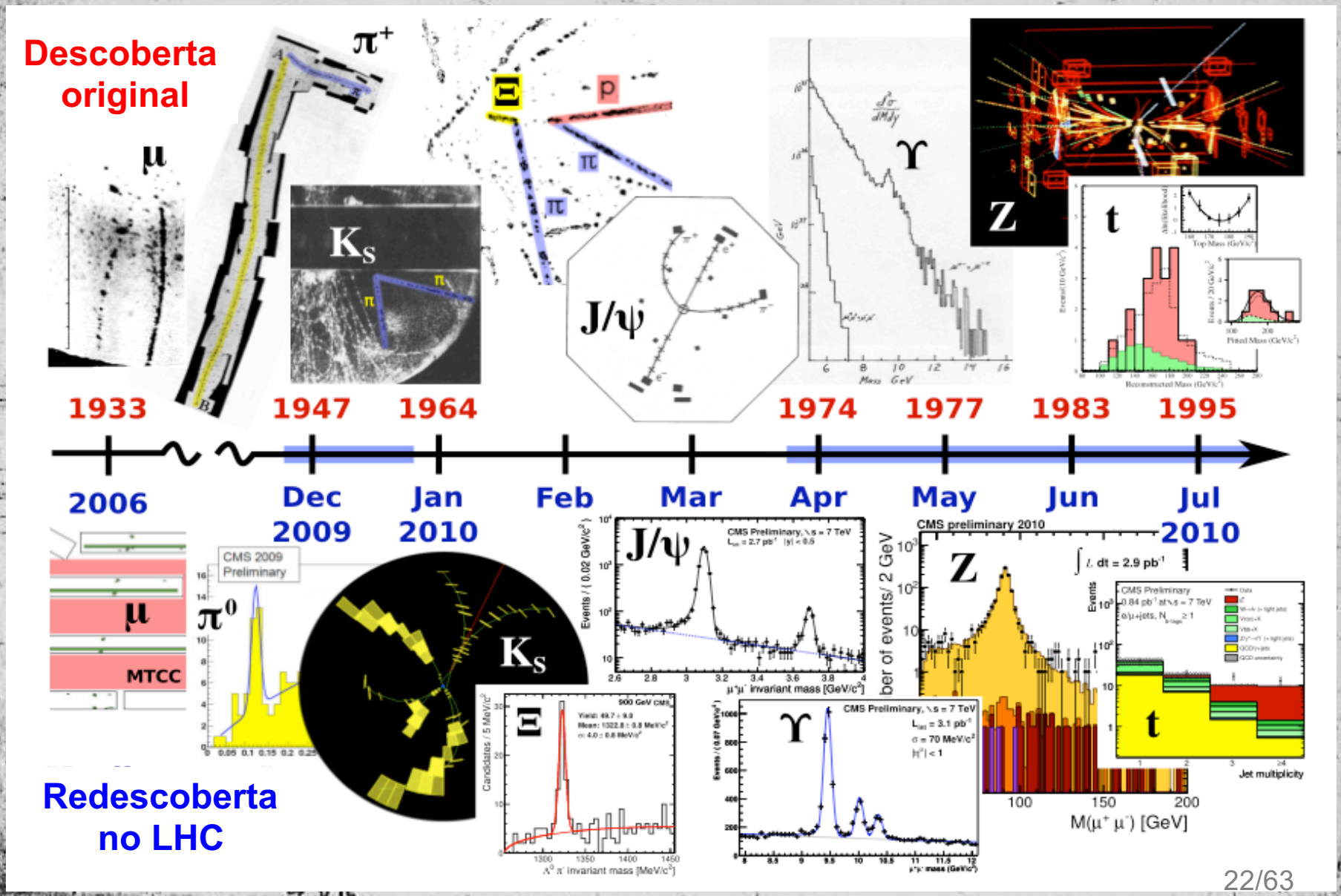
...e faz-se uma distribuição de:

$$m(X) = \frac{\sqrt{2E_1E_2(1-\cos\theta_{12})}}{c^2}$$

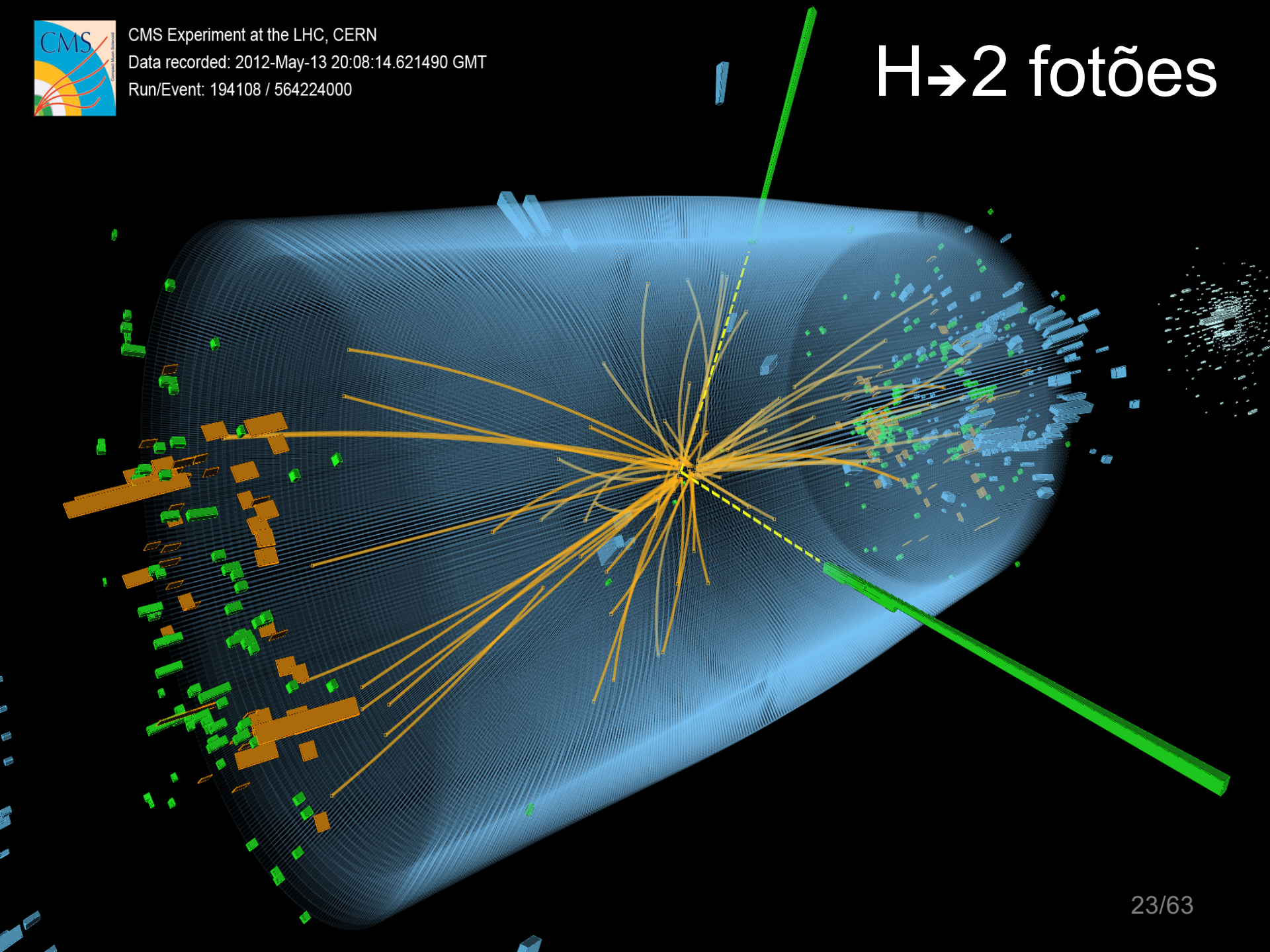


Espectro de massa: número de eventos em função da massa

LHC 2010-11: Redescoberta do modelo padrão



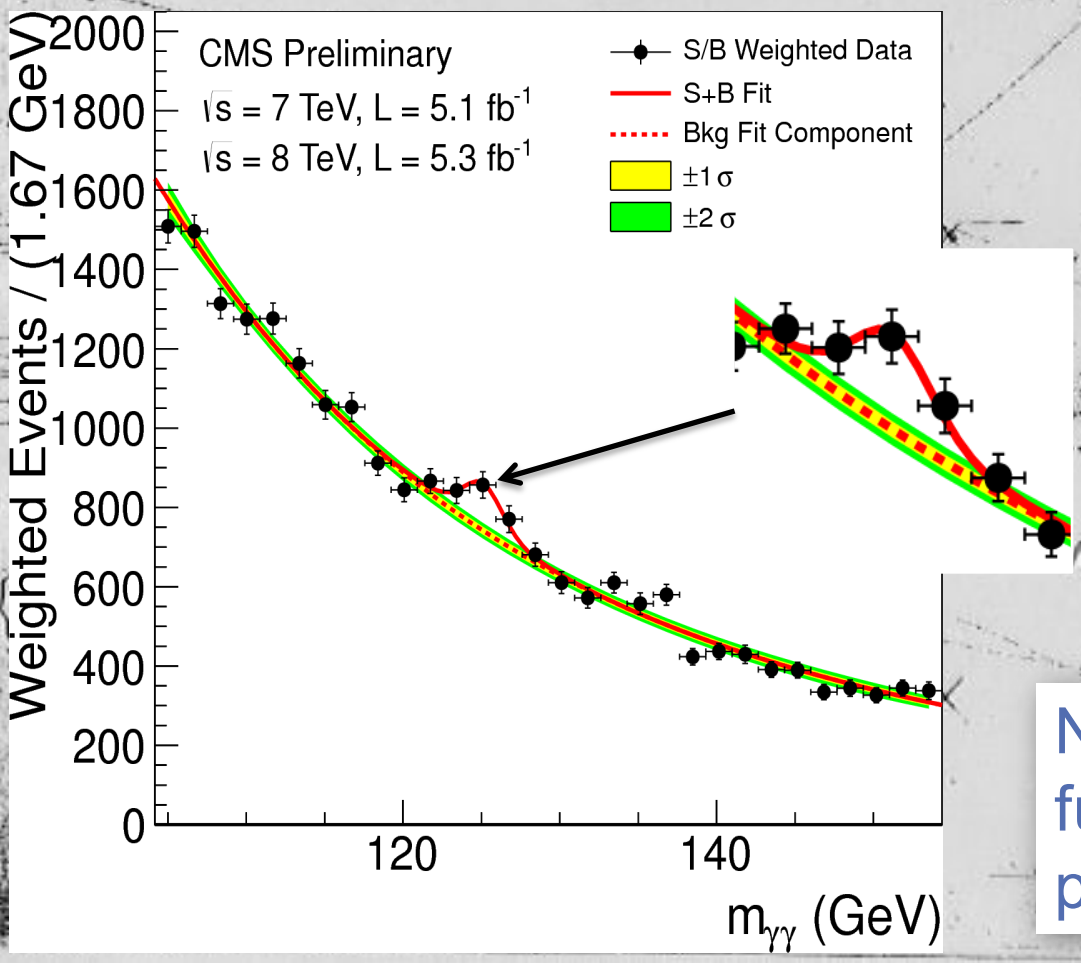
H→2 fotões


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000

Resultados de H->γγ:

Distribuição de massa dos 2 fotões, m(γγ)

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

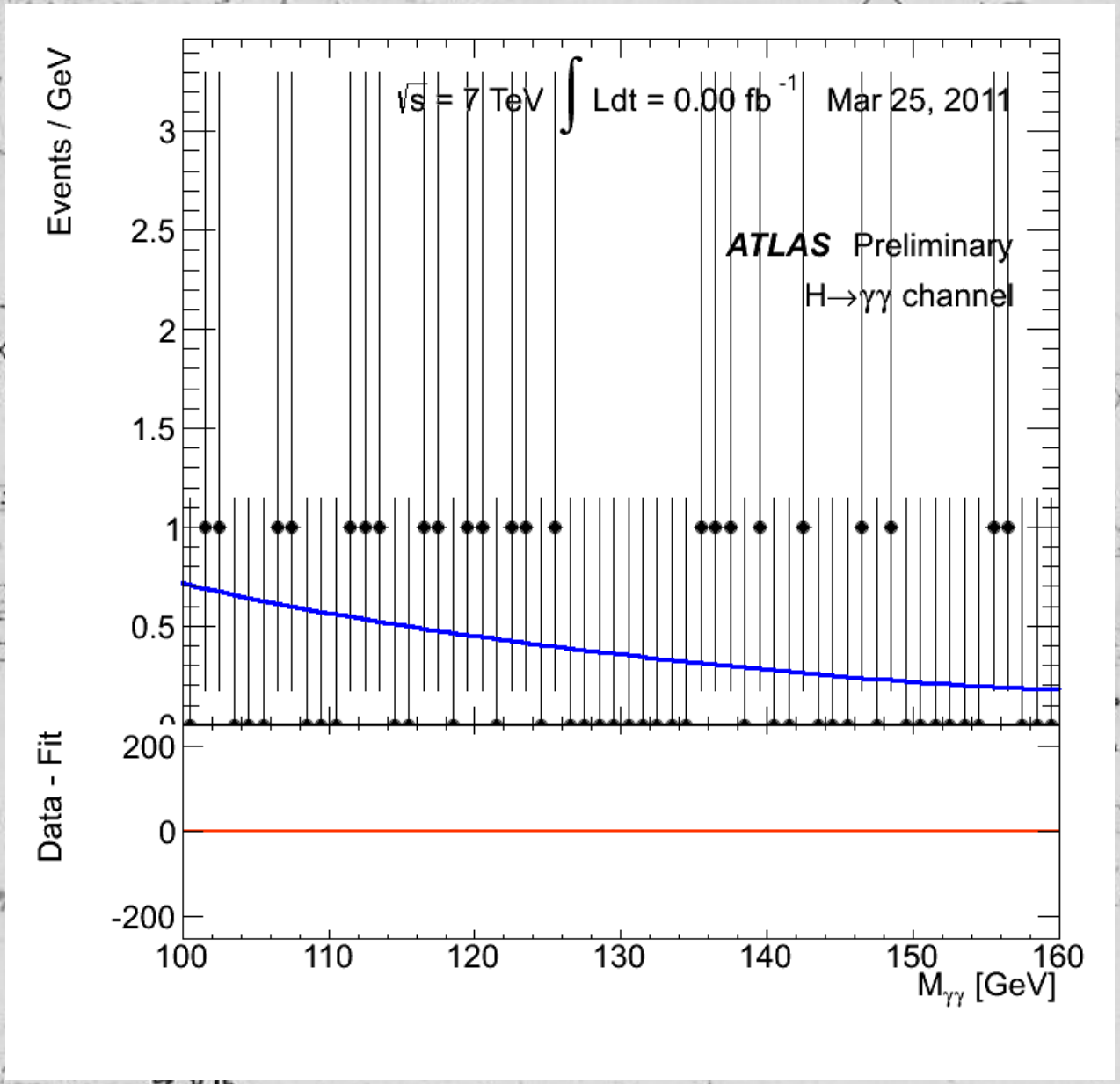


Na distribuição de massa γγ há um excesso de acontecimentos sobre o fundo, para massas ~ 125 GeV/c^2.

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".**

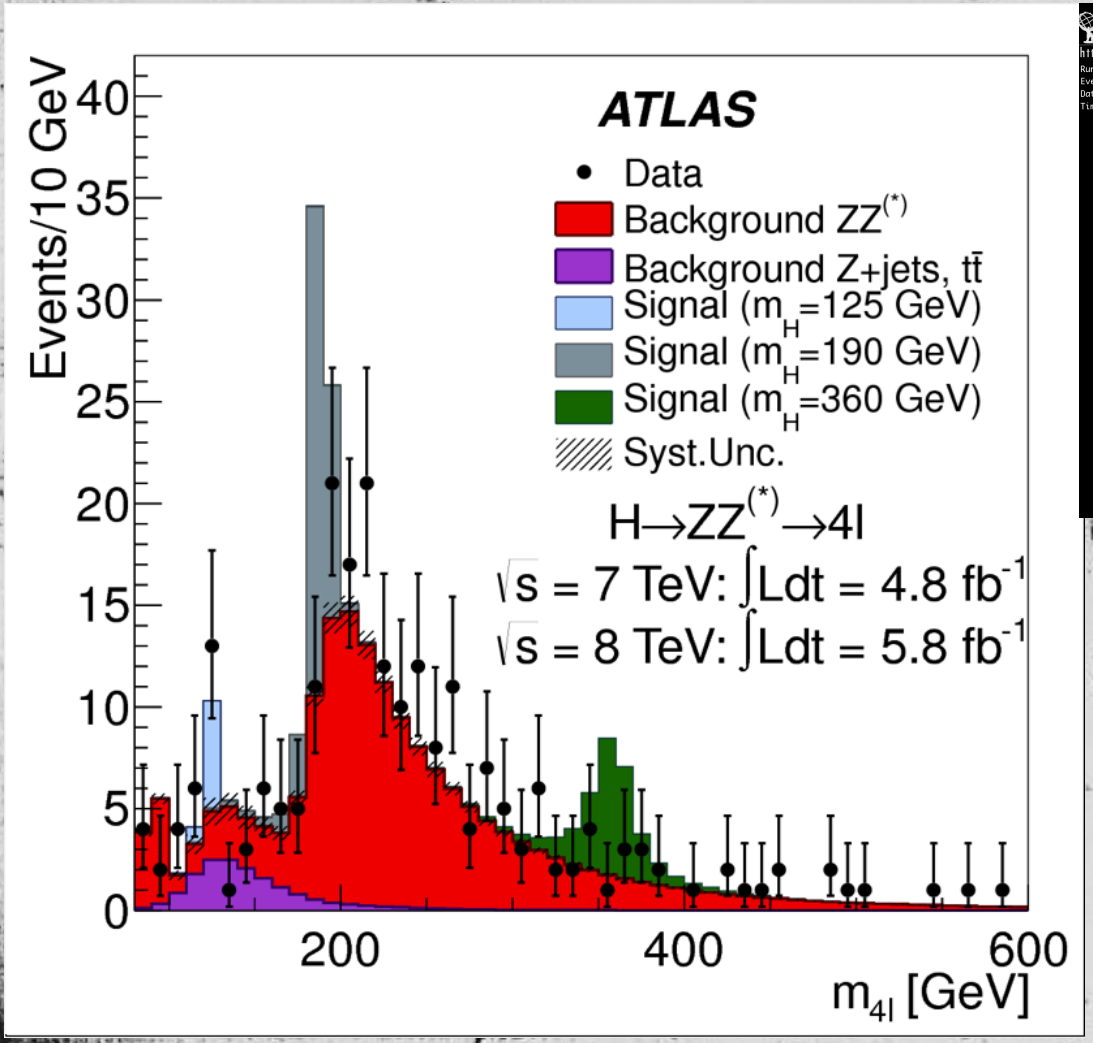
Não há outra partícula fundamental com estas propriedades!

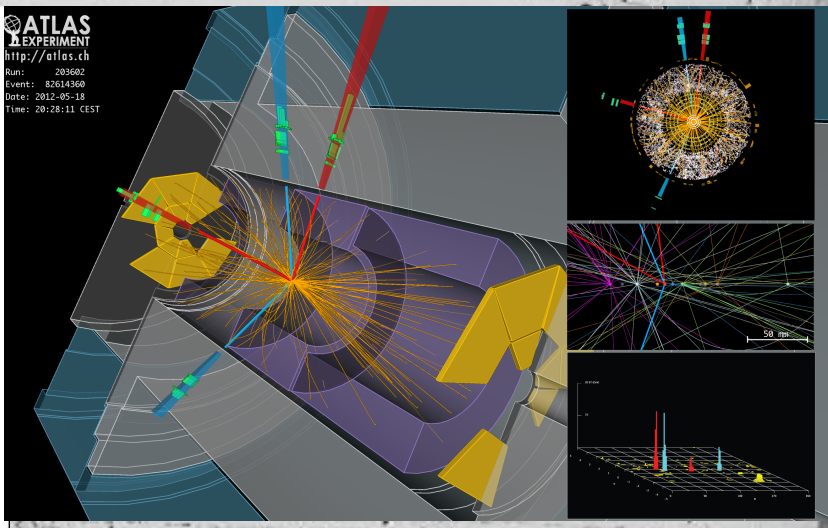
ATLAS: Distribuição de massa dos 2 fotões, m(γγ)



Resultados do H decaindo em ZZ*

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

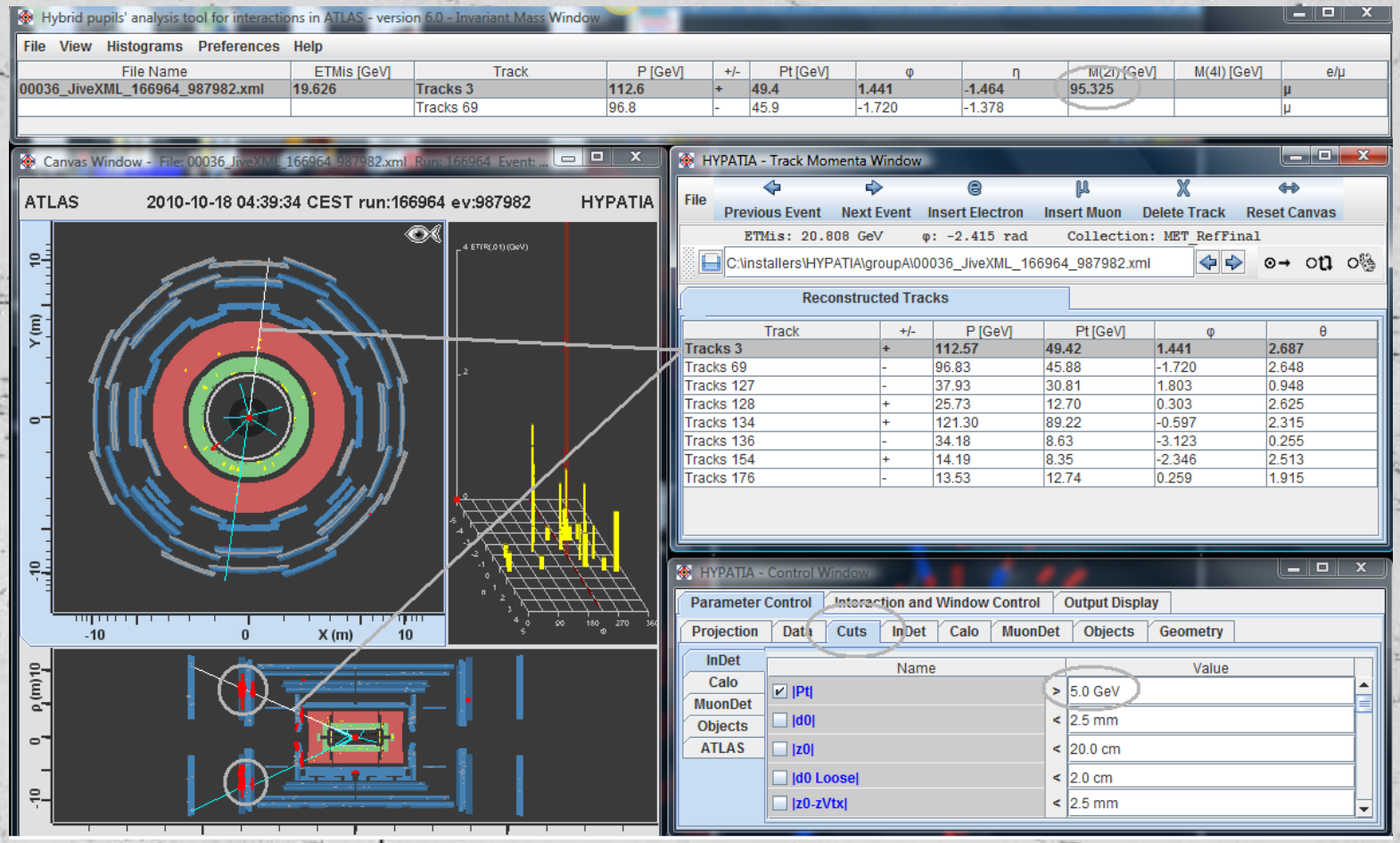




Distribuição de massa para os 4 leptões
(dois pares eletrão-positrão, ou dois pares de muões, ou um par de eletrões e um par de muões).

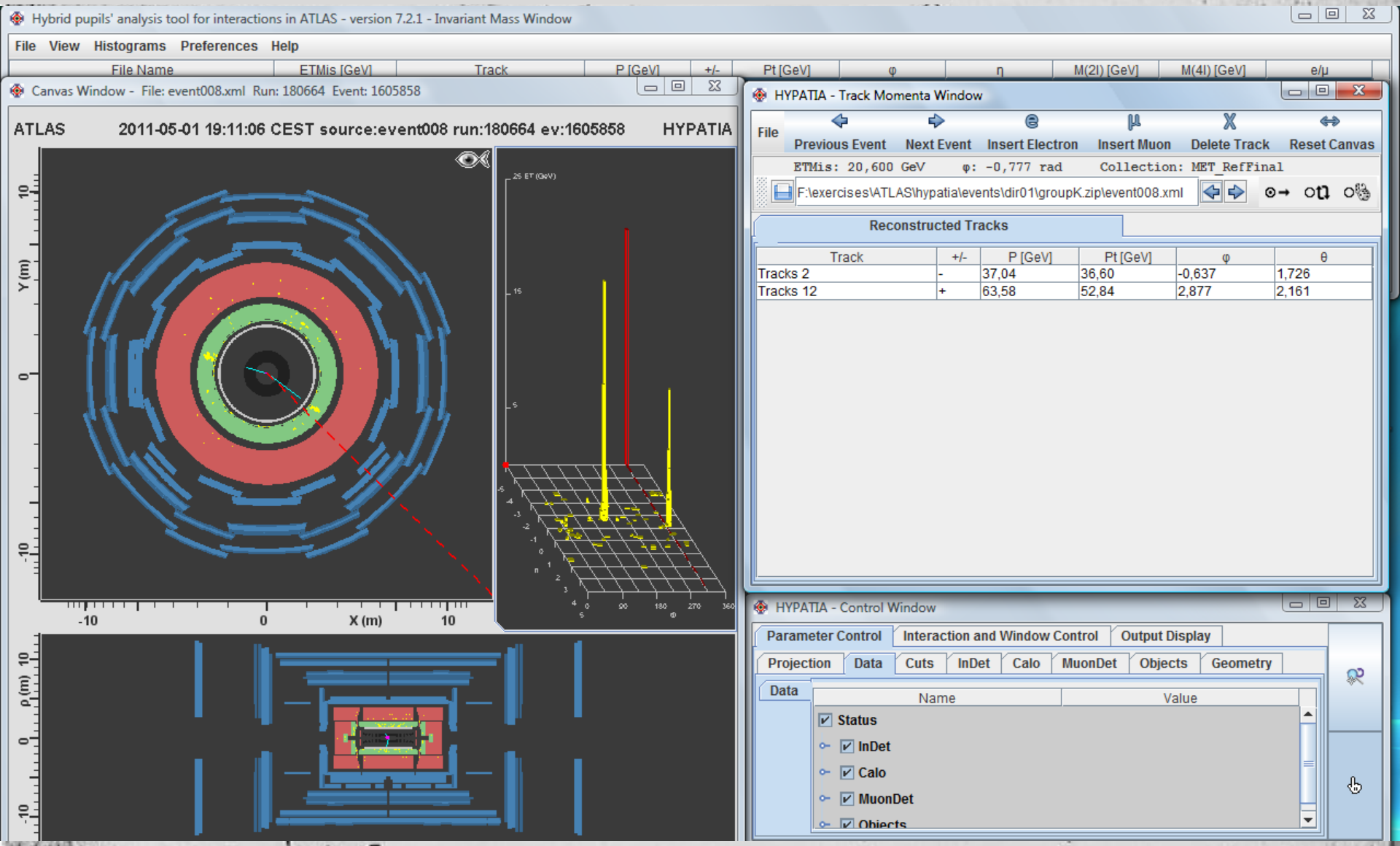
Visualizador de Acontecimentos HYPATIA

=> cuts: Pt > 5.0-10.0 GeV



↳ $p\pi^-$

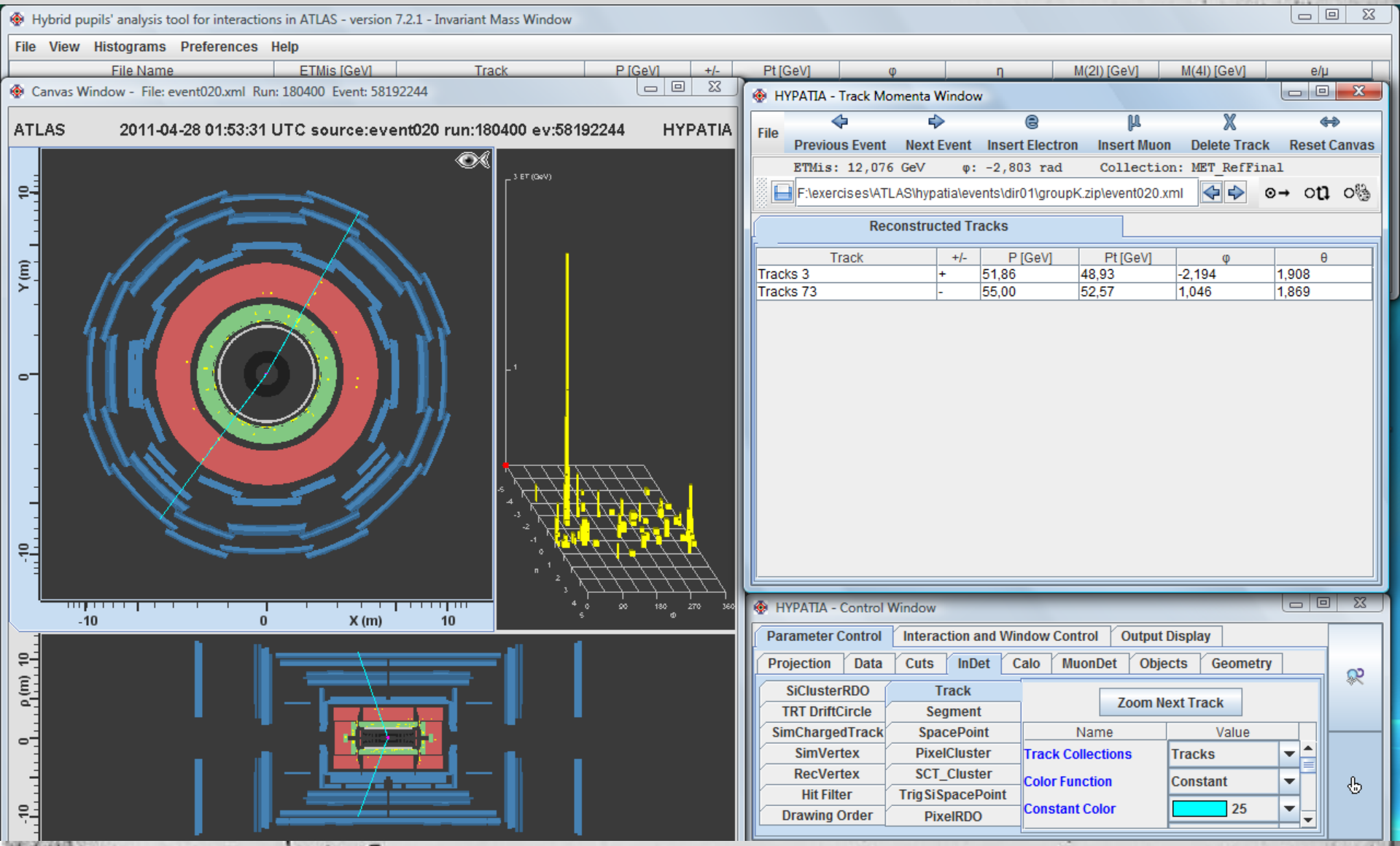
HYPATIA: Z => $e^+ e^-$



$\hookrightarrow \Lambda \pi^-$

$\hookrightarrow p \pi^-$

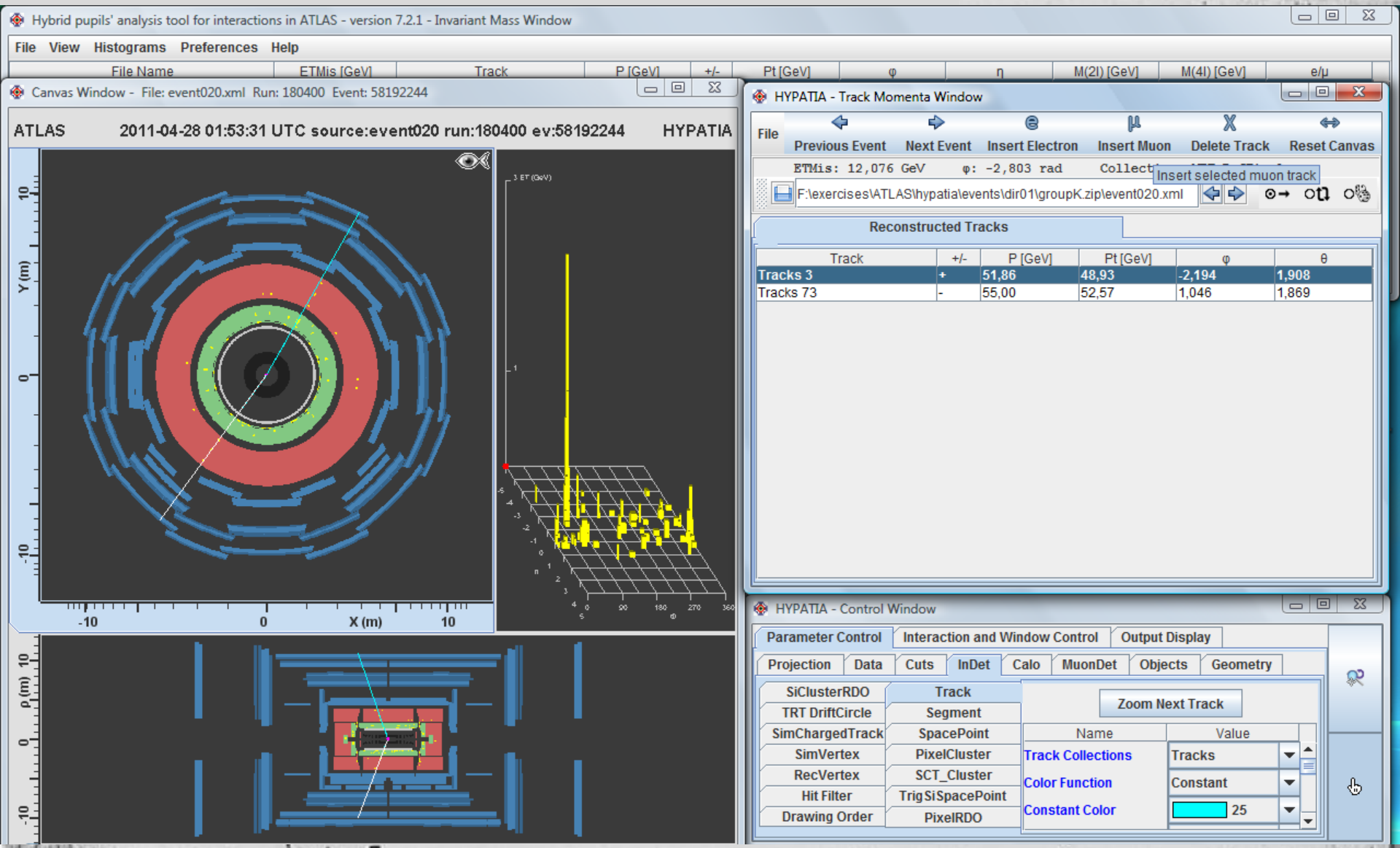
HYPATIA: Z => $\mu^+ \mu^-$



$\hookrightarrow \Lambda \pi^-$

$\hookrightarrow p \pi^-$

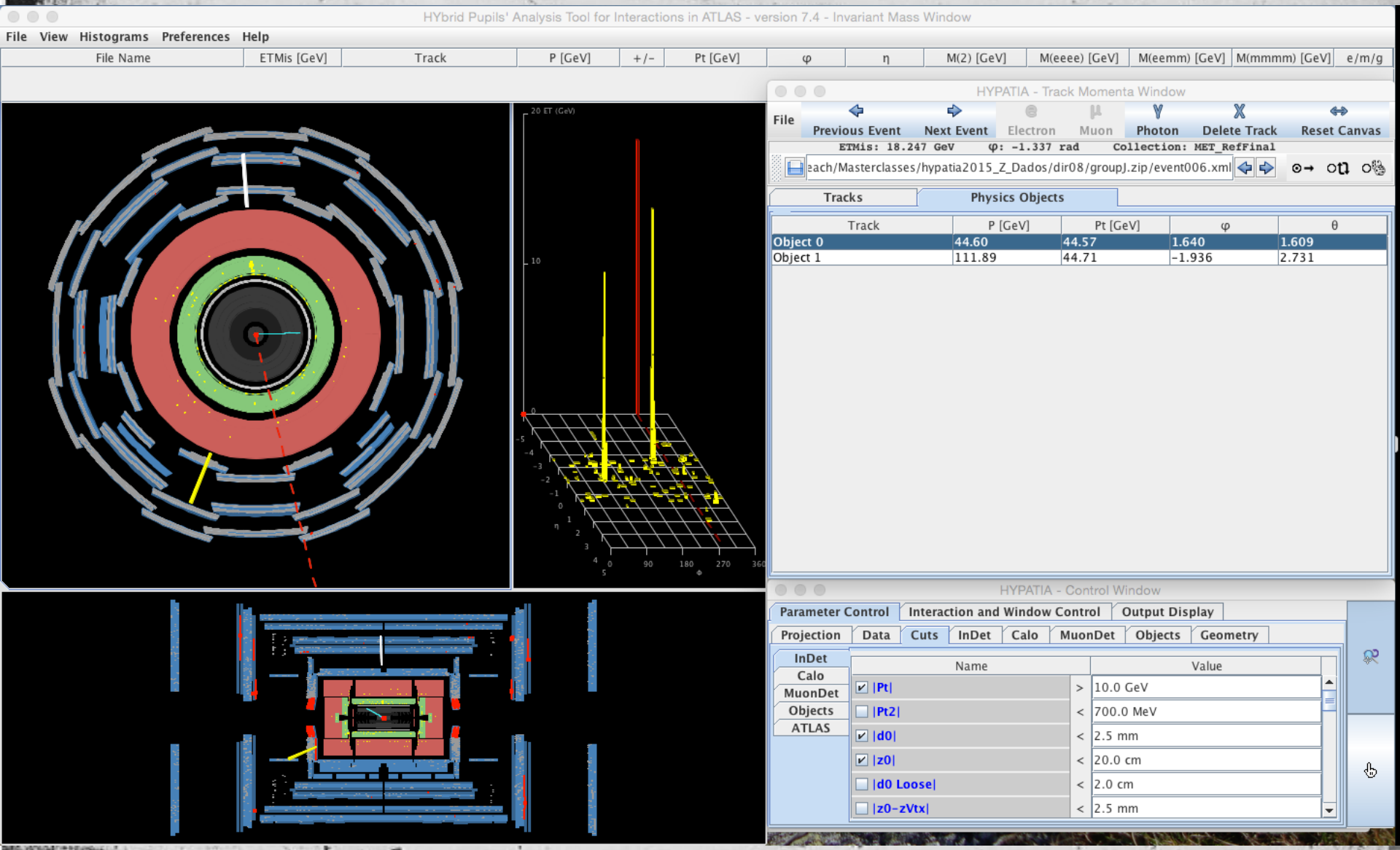
HYPATIA: Z => $\mu^+ \mu^-$



$\hookrightarrow \Lambda \pi^-$

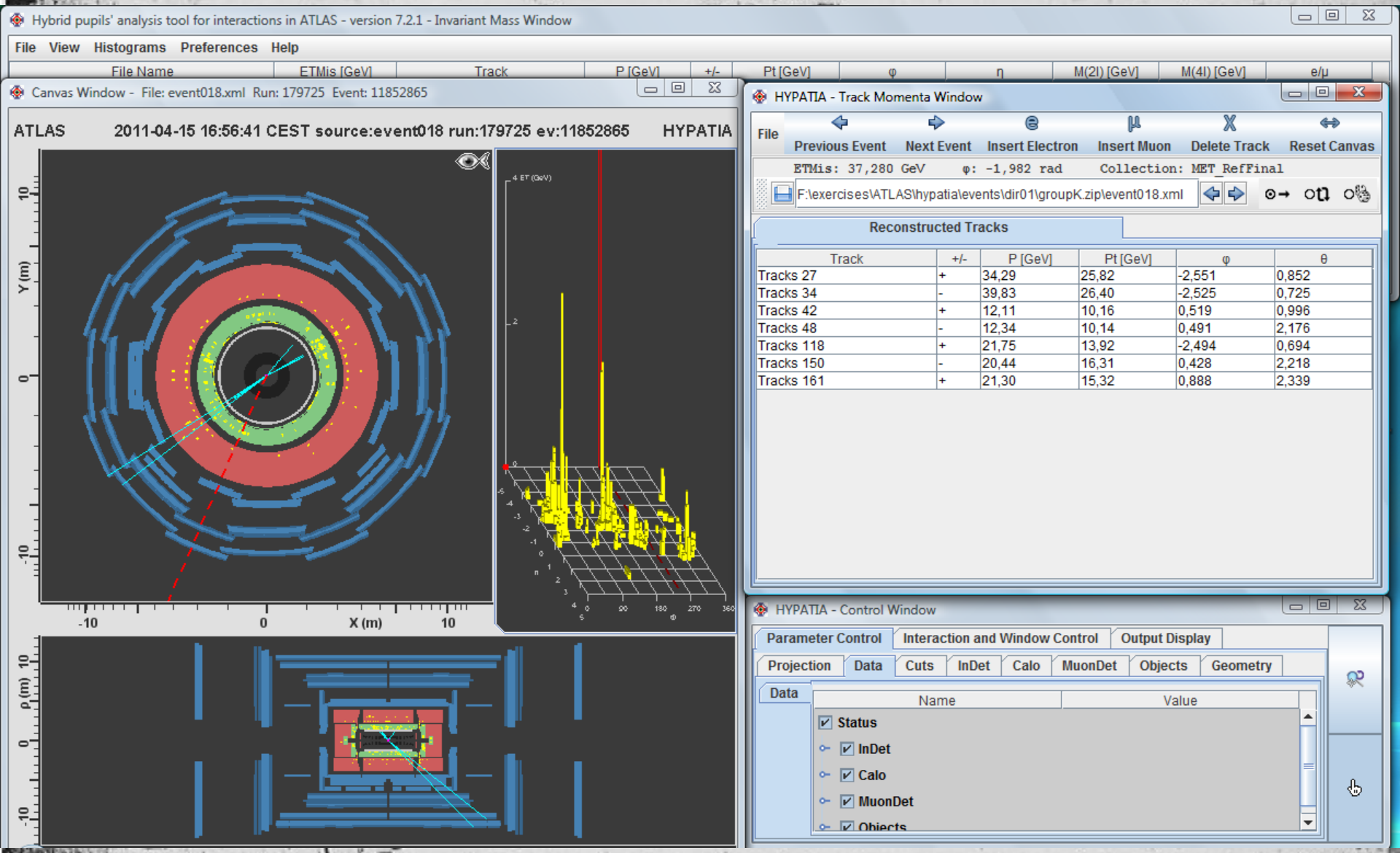
$\hookrightarrow p \pi^-$

HYPATIA: Z => γ γ



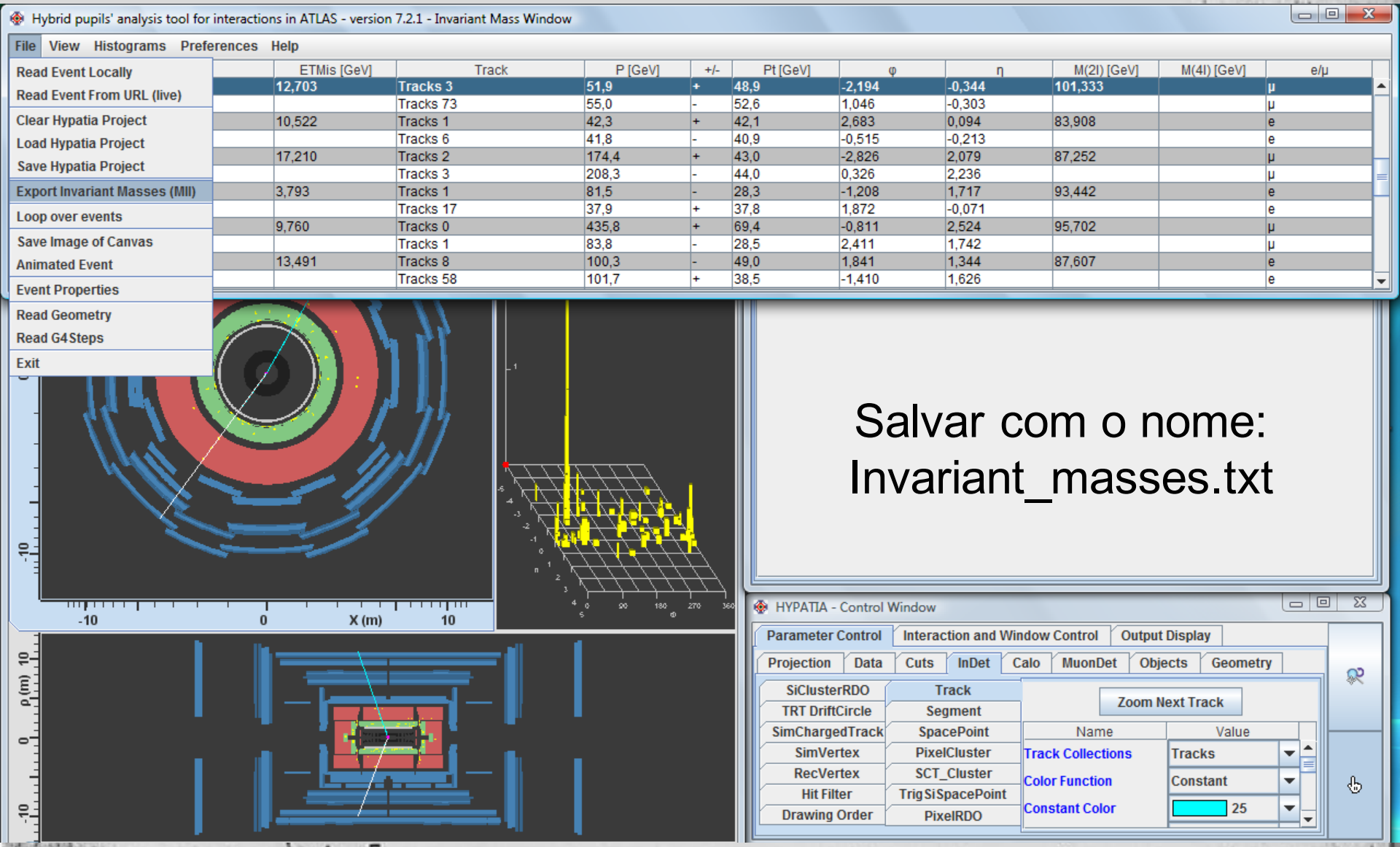
↳ $p\pi^-$

HYPATIA: Z => jatos (fundo)



↳ pπ

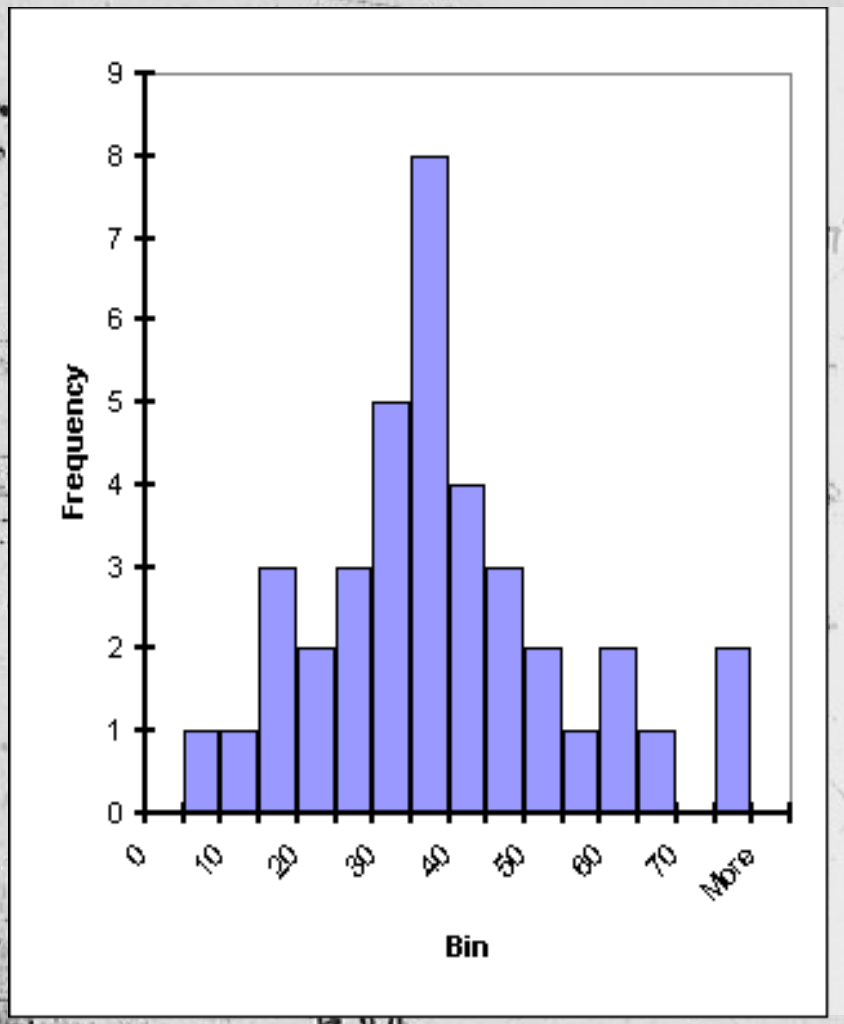
HYPATIA: Salvar os dados!!!



Salvar com o nome:
Invariant_masses.txt

UPLOAD para: **http://cernmasterclass.uio.no/OPIoT/**

Análise do Histograma



Pico bem definido

Caudas: frequências baixas

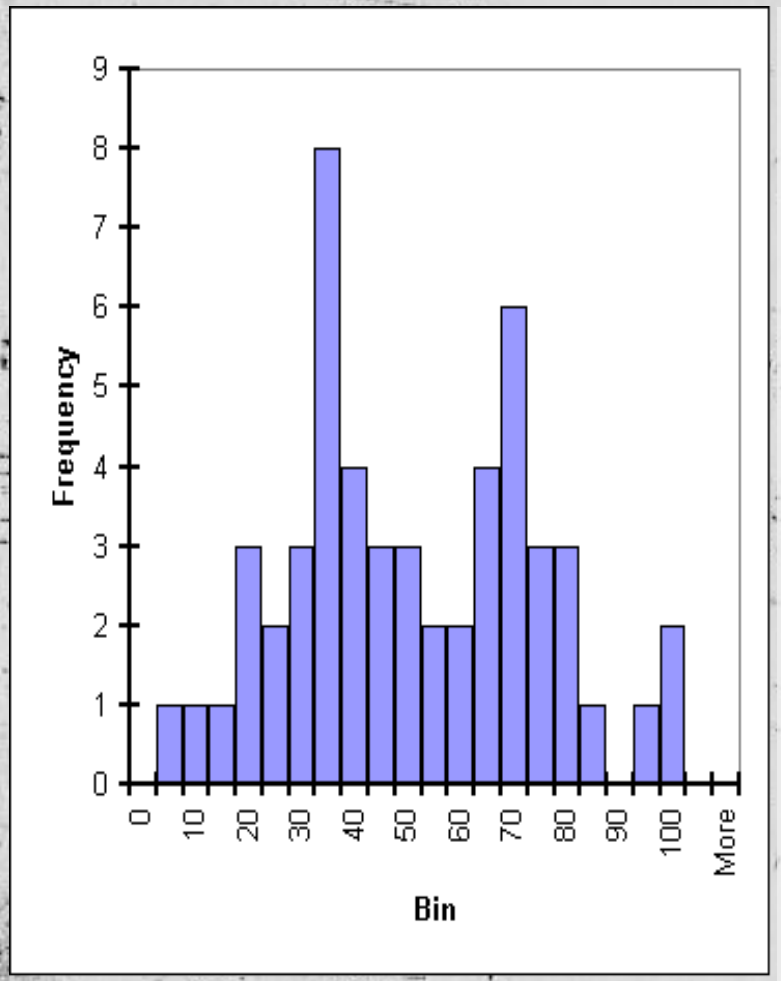
Onde estão os picos?

Que partículas idenficamos?

Algum pico em m(4l) ?

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.

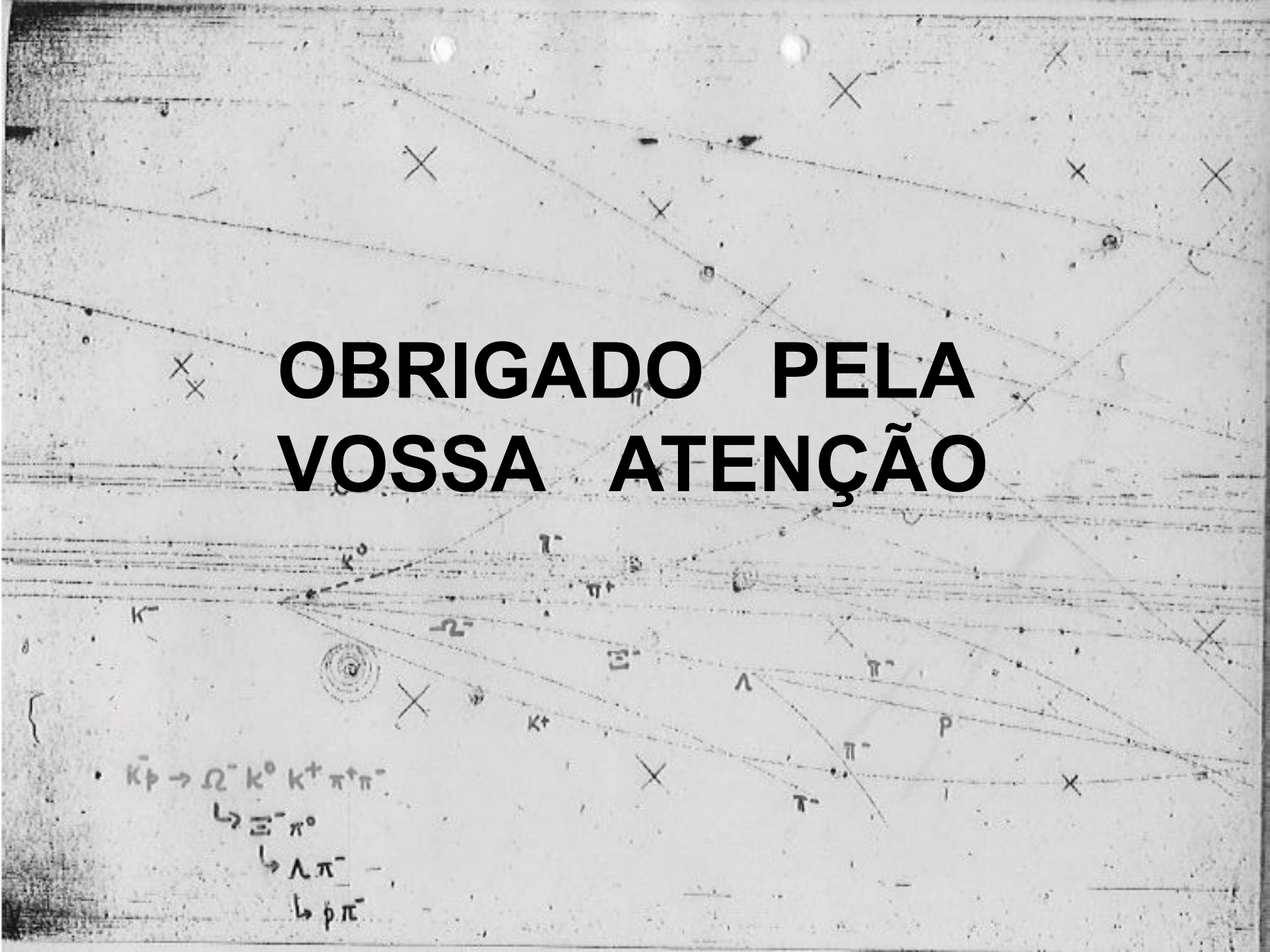
Que acontecimentos irá incluir na distribuição M(X)?

Que partículas irá inserir para calcular a massa?

Descobriu algum Candidato a Bosão de Higgs?

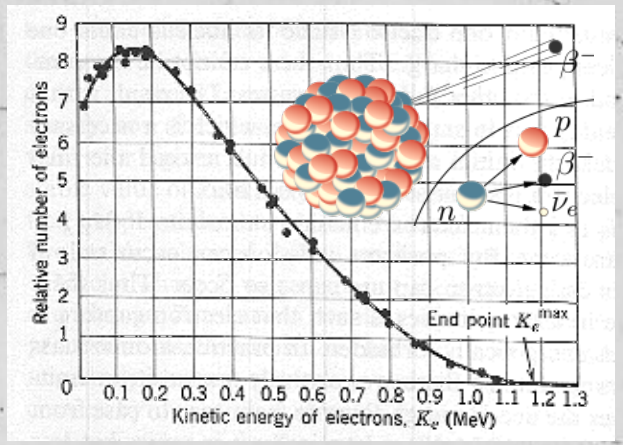
…E faça a distribuição!

Reporte! Relate! Ria! Relaxe!


OBRIGADO PELA
VOSSA ATENÇÃO
$K^-p \to \Omega^- K^0 K^+ \pi^+\pi^-$
$\hookrightarrow \Xi^- \pi^0$
$\hookrightarrow \Lambda \pi^-$
$\hookrightarrow p \pi^-$

O Caminho do W

IDEIA DESESPERADA



Wolfgang Pauli

neutrino (ν)

1930

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

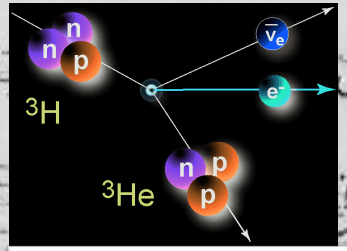
Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grossenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse. - Das kontinuierliche beta- Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

Nun handelt es sich weiter darum welche Kräfte auf die Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein magnetischer Dipol von einem Moment μ ist. Die Experimente verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons nicht grösser sein kann wie die eines gamma-Strahls und darf dann μ wohl nicht grösser sein wie e · (10^{-13} cm).

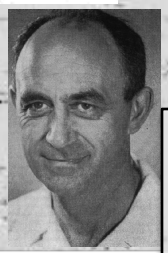
Ich traue mir vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee zu publizieren und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis eines solchen Neutrons stünde, wenn dieses ein ebensolches oder etwa 10mal grösseres Durchdringungsvermögen besitzen würde, wie ein gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber nur wer wagt, gewinnt und der Ernst der Situation beim kontinuierliche beta-Spektrum wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amte, Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Brüssel gesagt hat: "O, daran soll man am besten gar nicht denken, sowie an die neuen Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren.- Also, liebe Radioaktive, prüfet, und richtet.- Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabkömmlich bin. Mit vielen Grüssen an Euch, sowie an Herrn Back, Bacr unterbeigter Diener

gez. W. Pauli

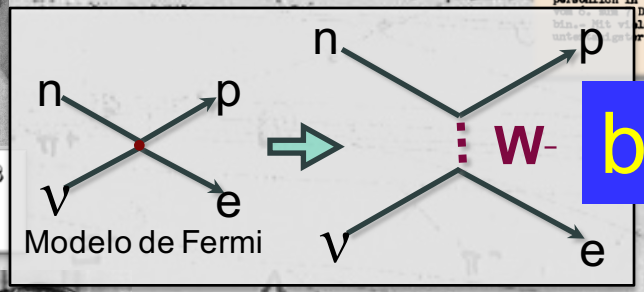


Enrico Fermi (1934)



TENTATIVO DI UNA TEORIA DEI RAGGI β

Nota (1) di ENRICO FERMI



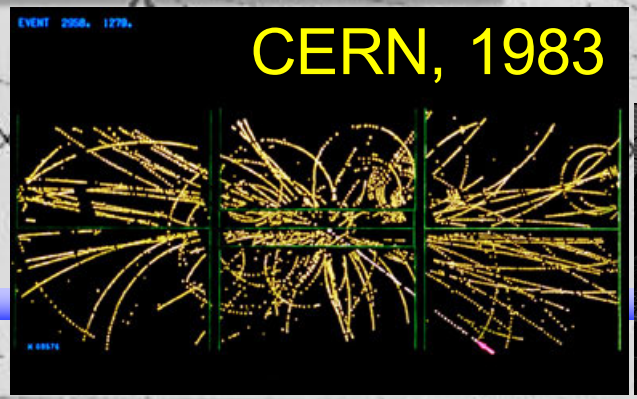
bosão $W^{+/-}$

Prémio Nobel 1979

Glashow

Weinberg

Salam



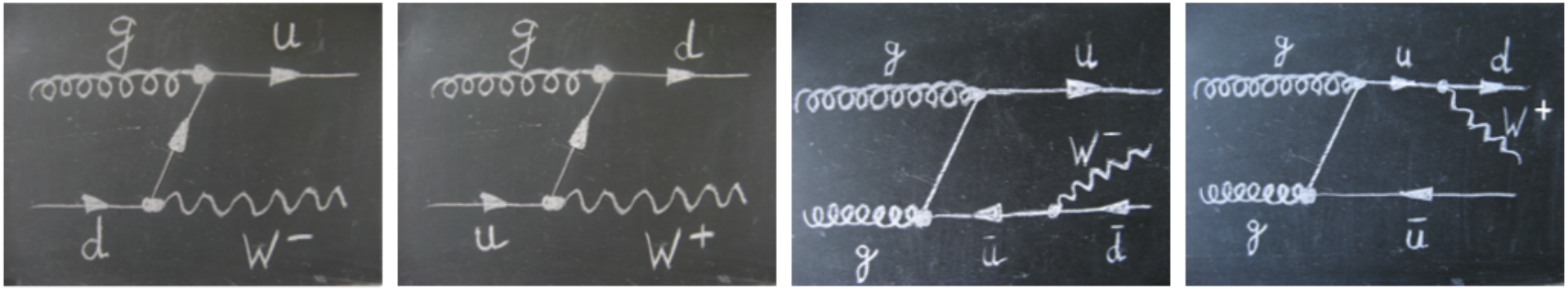
CERN, 1983

P.N.1984

Os bosões W^+ e W^-

- ❖ Propostos em 1967-69 com Glashow, Weinberg, Salam
- ❖ Descobertos no CERN em 1983 (P.Nobel 1984)

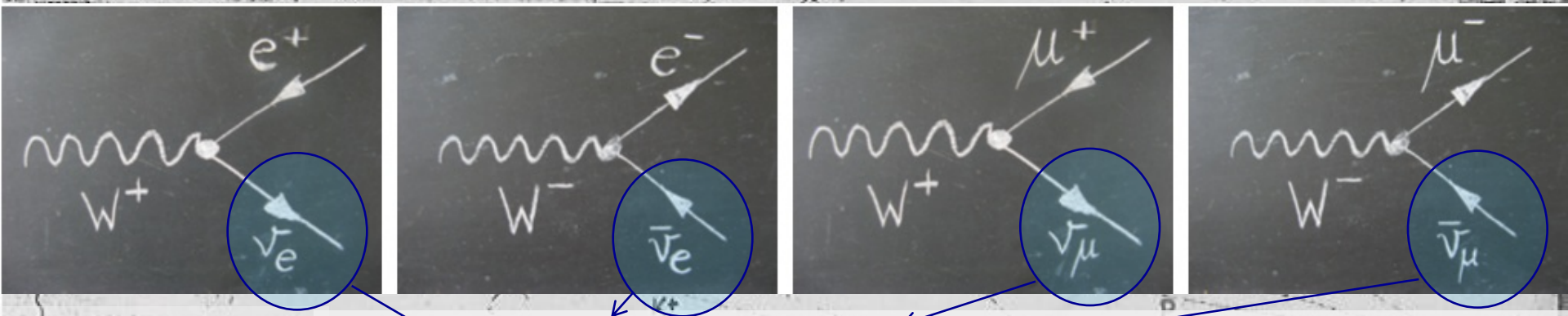
  - ✓ Têm cargas elétricas (+*e*, –*e*) [1 *e* = 1,6x10^{-19} C]
  - ✓ Mediadores da interação nuclear FRACA (com o Z)
  - ✓ Produzidos no LHC a partir do choque de gluões contra quarks, ou de gluões contra gluões:



66% 34%

Os bosões W^+ e W^-

- ✓ Têm massas muito elevadas: ~80 GeV/c^2 (~85 m_P)
- ✓ Vida média muito reduzida: ~10^{-25} s
- ✓ 2/3 dos decaimentos de um bosão $W^{+/-}$ são para quarks
  1/3 dos decaimentos de um bosão $W^{+/-}$ são para um leptão e um neutrino do leptão.
- ✓ Modos de decaimento a explorar hoje: eletrão/muão (+ν)!

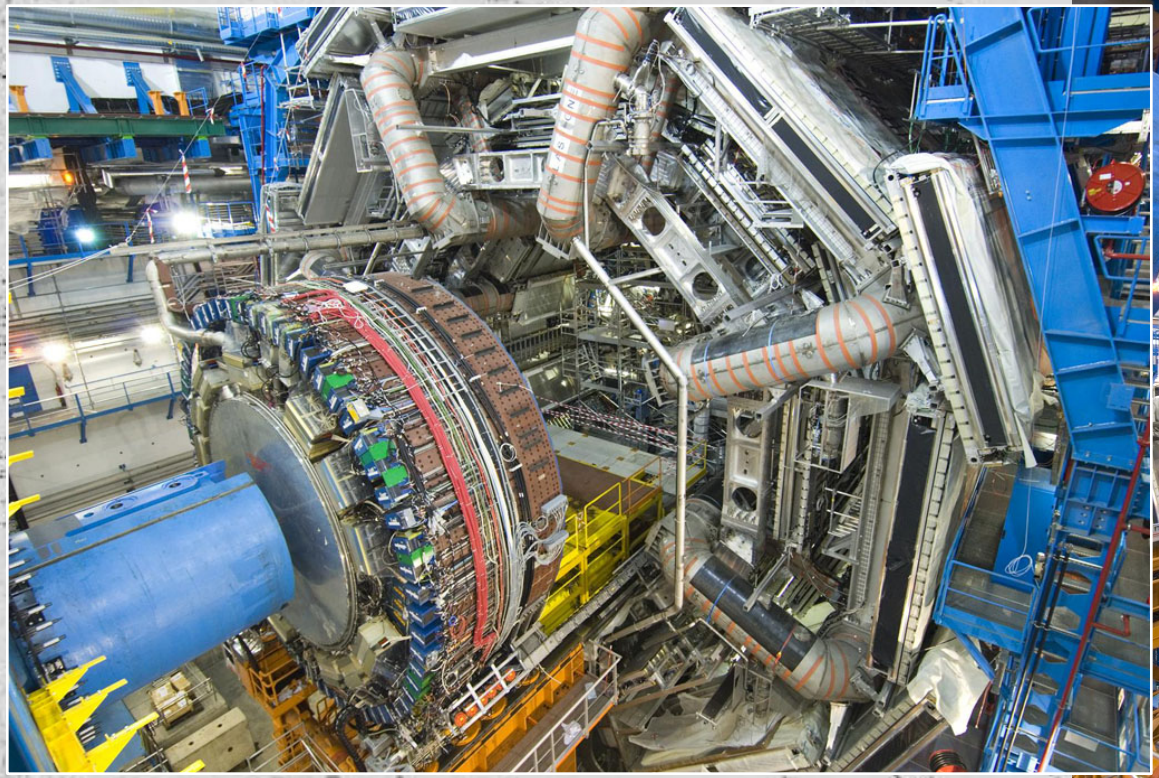


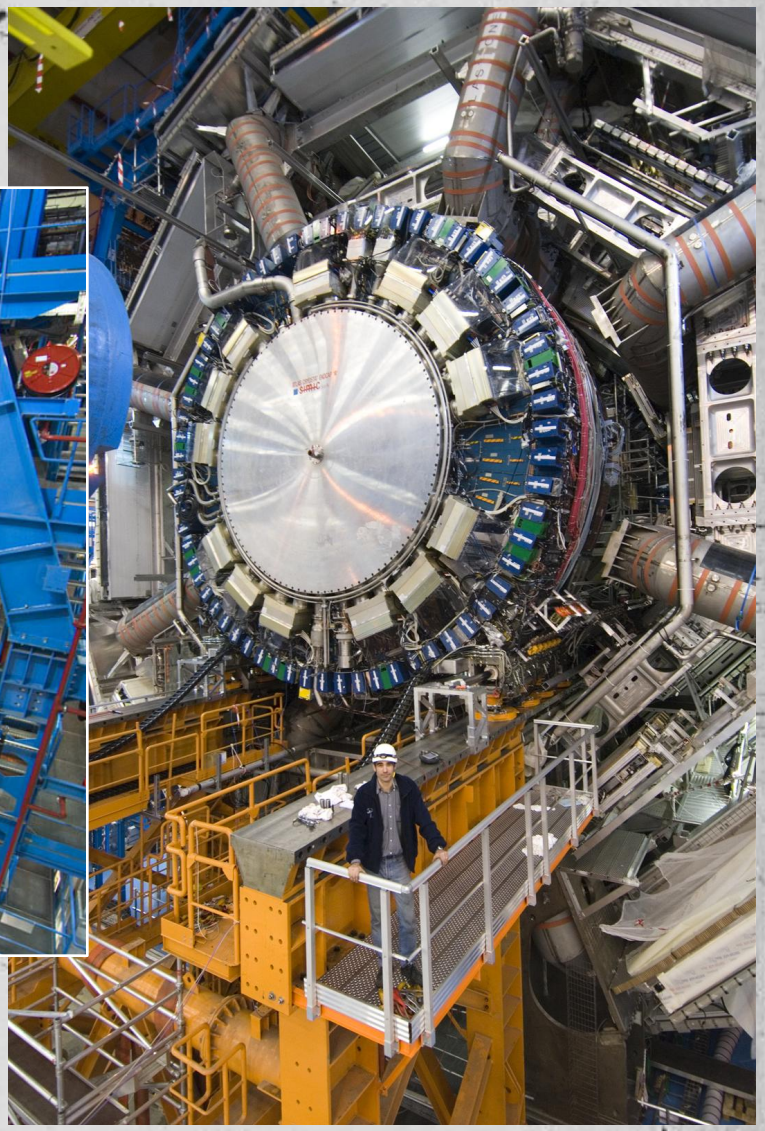
CRITÉRIOS:
- Missing ET > 25 GeV
- 1 leptão isolado energético – eletrão ou muão

Higgs? : ($\rightarrow W^+W^-$)
- 2 leptões isolados energéticos de cargas opostas!
- Missing ET > 25 GeV (>40 GeV se leptões =‘s)

Detector ATLAS

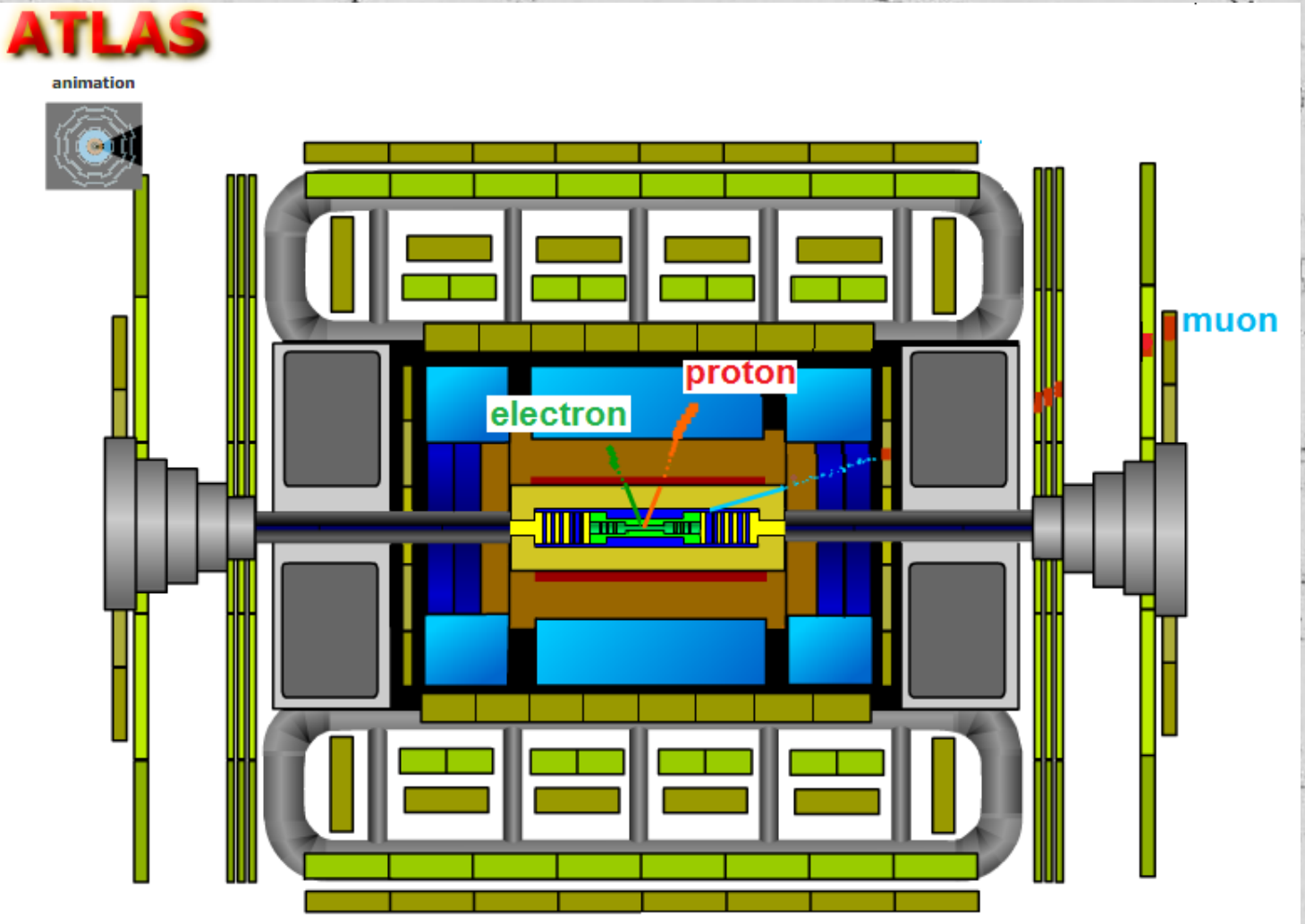
- 46 m (comprimento) x 25 m (diâmetro)
- 7000 toneladas
- 100 milhões de canais de electrónica





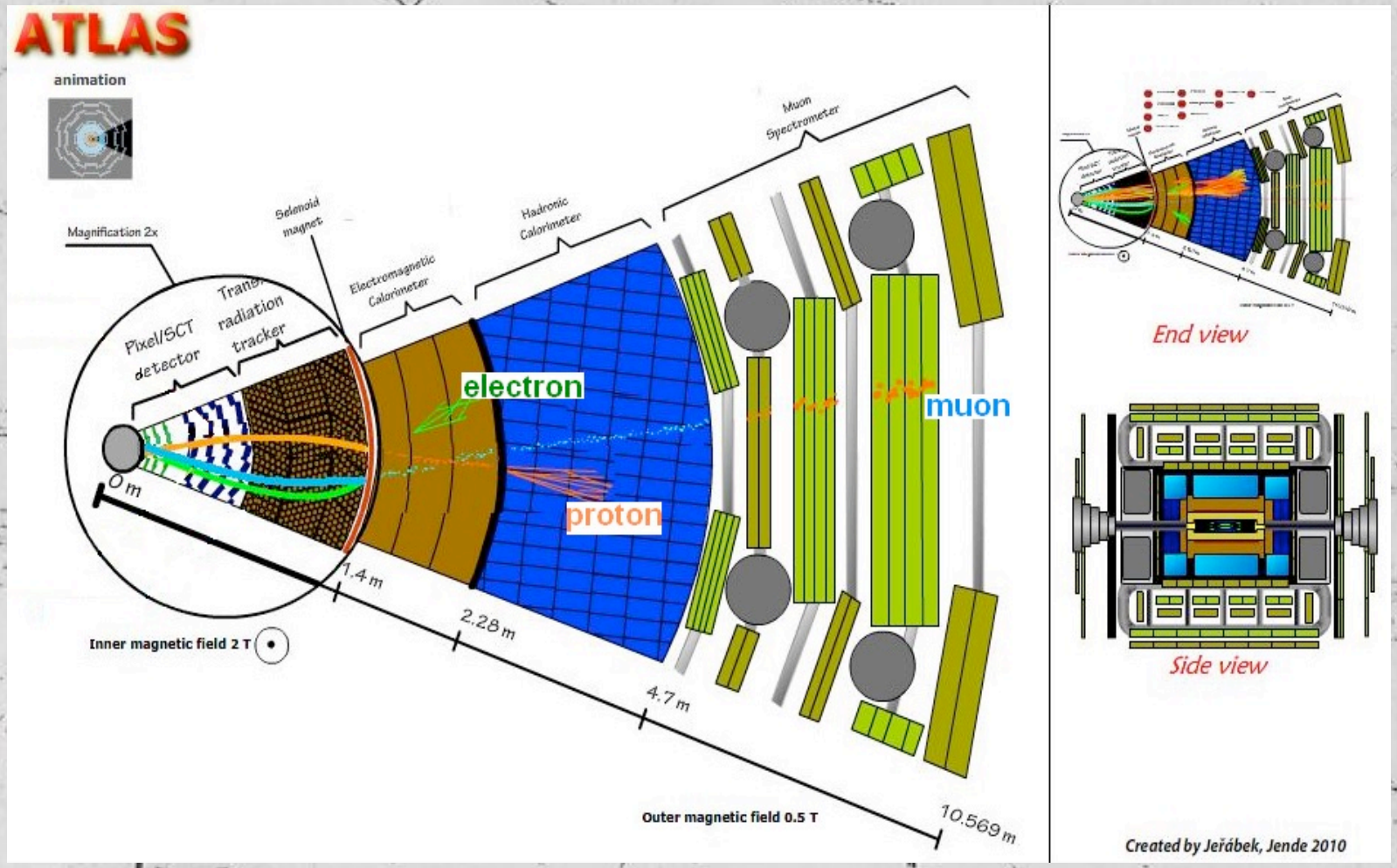
- $Kp \to \Omega^- K^0 K^+ \pi^+ \pi^-$
  - $\hookrightarrow \Xi^- \pi^0$
    - $\hookrightarrow \Lambda \pi^-$
      - $\hookrightarrow p \pi^-$

Detector ATLAS



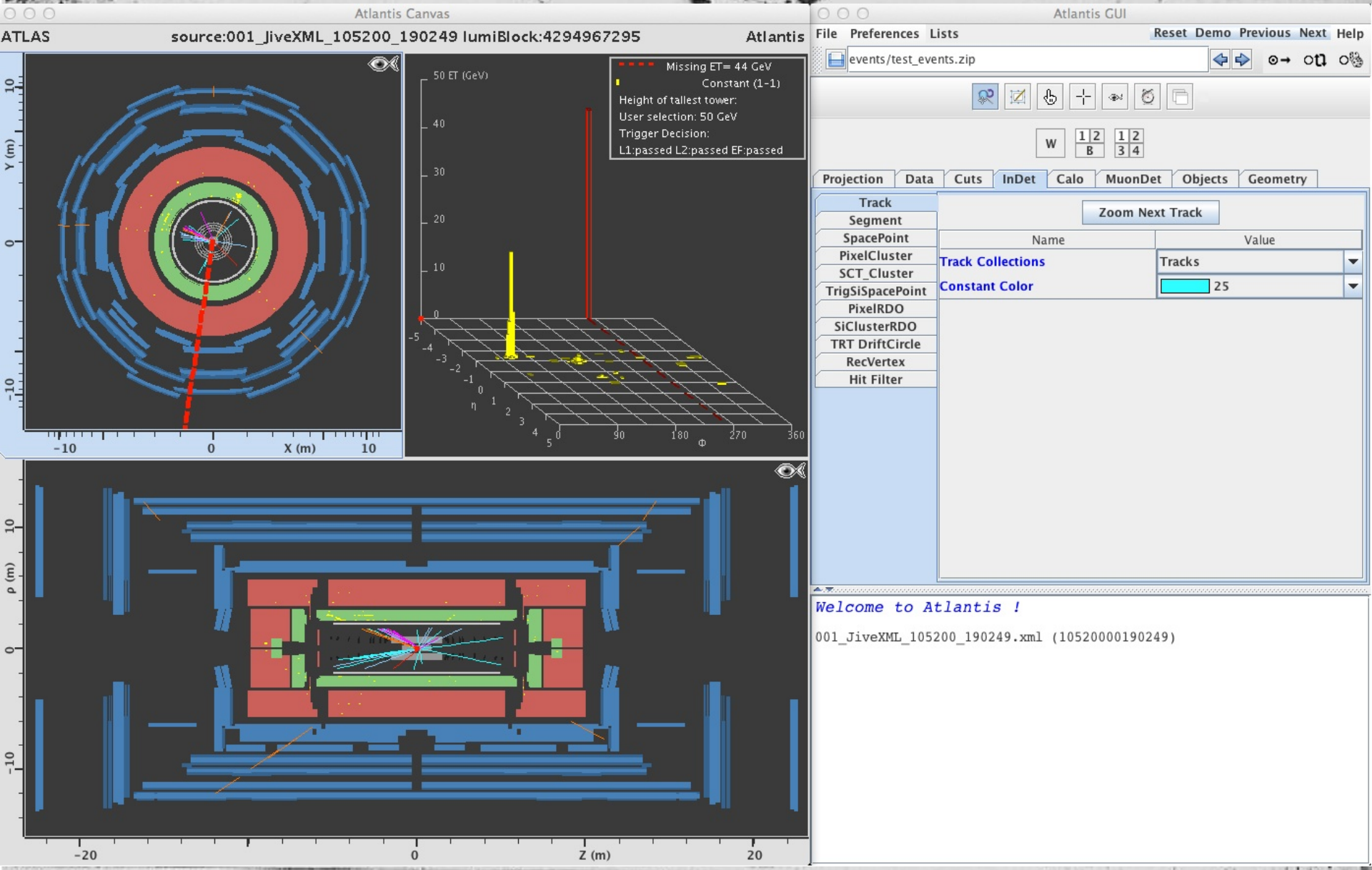
(filme exterior)

Detector ATLAS



(animação exterior)

Introdução ao MINERVA



Lembrem-se. . .

"Certo dia dizia um filósofo: `É necessário para a própria existência da Ciência que as mesmas condições produzam sempre os mesmos resultados!'.
Bem, não produzem!"
Richard P. Feynman (1918-1988)

- Observações indirectas e pensamento lógico, crítico, e imaginativo, pode levar a conclusões lógicas e verdadeiras.

- Assim: Trabalhem em conjunto, pensem, e sejam críticos dos vossos resultados e dos dos outros colegas, para perceber bem o que se está a passar.

Vamos ao trabalho - W!

Façam equipas de dois.

Pratiquem um pouco (exercício 1).

Fale com os físicos.

Encontre bons candidatos W.

Qual a carga e tipo de partícula?

Que acontecimentos irá incluir na distribuição $\Delta\Phi$?

Descobriu algum Candidato a Bosão de Higgs?

…E faça a distribuição!

Reporte! Relate! Ria! Relaxe!

It's collaborative!

Bloomberg BusinessWeek

VIEWPOINT May 20, 2009, 11:57AM EST

CERN's Collaborative Management Model

Business leaders could learn valuable leadership lessons from the collaborative management style at the Large Hadron Collider at CERN

By Krisztina Holly

As a business leader, imagine trying to manage more than 7,000 scientists from 85 countries around the world—with their own languages, cultures, and expertise—on a 20-year collaboration to create the most complex system ever built.