

O SOFTWARE HYPATIA e o caminho do Z em ATLAS

Pedro Abreu



CIÊNCIA VIVA

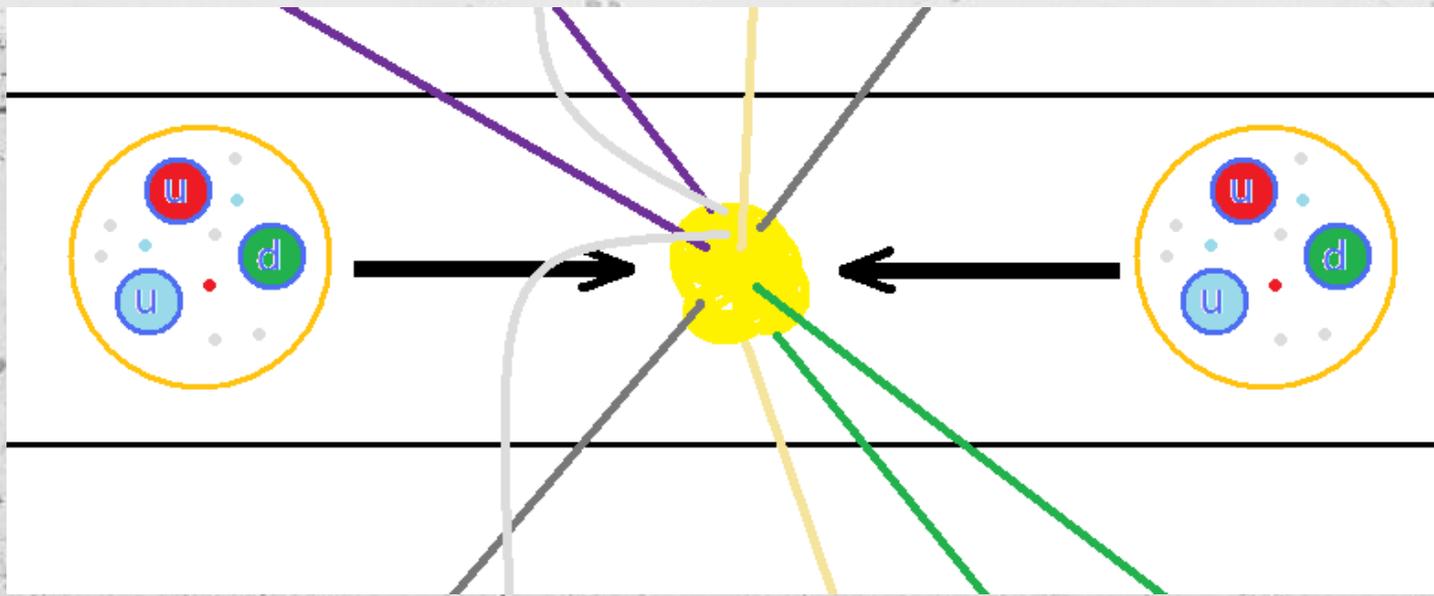
23/03
2024

Interações Protão-Protão

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

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

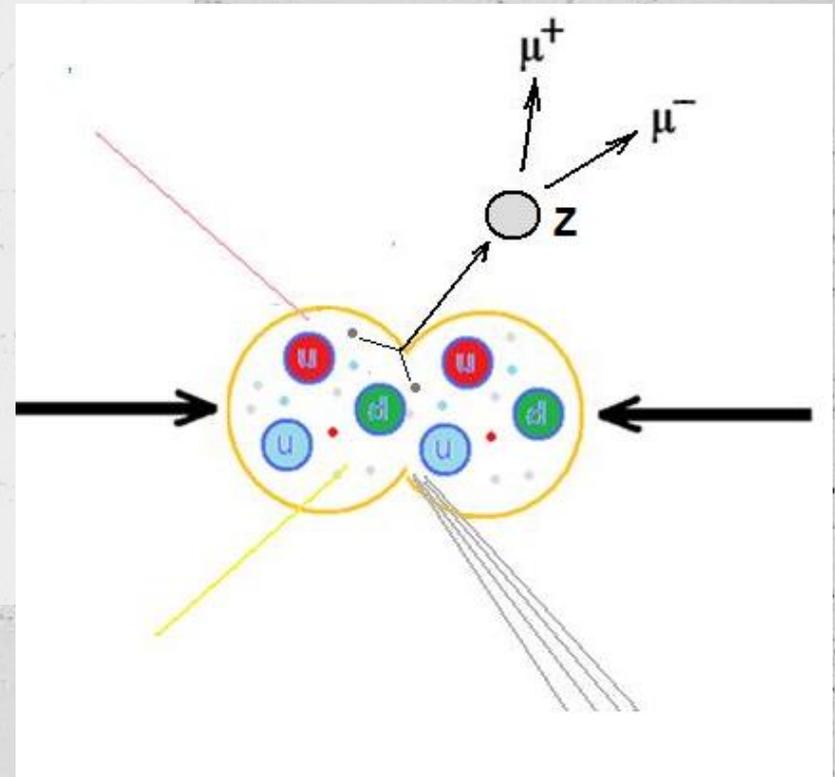
Os quarks e glúons constituintes do próton que colidem têm apenas uma **fração desta energia**. Novas partículas criadas na colisão têm *sempre* uma massa inferior a esta fração da energia.



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?



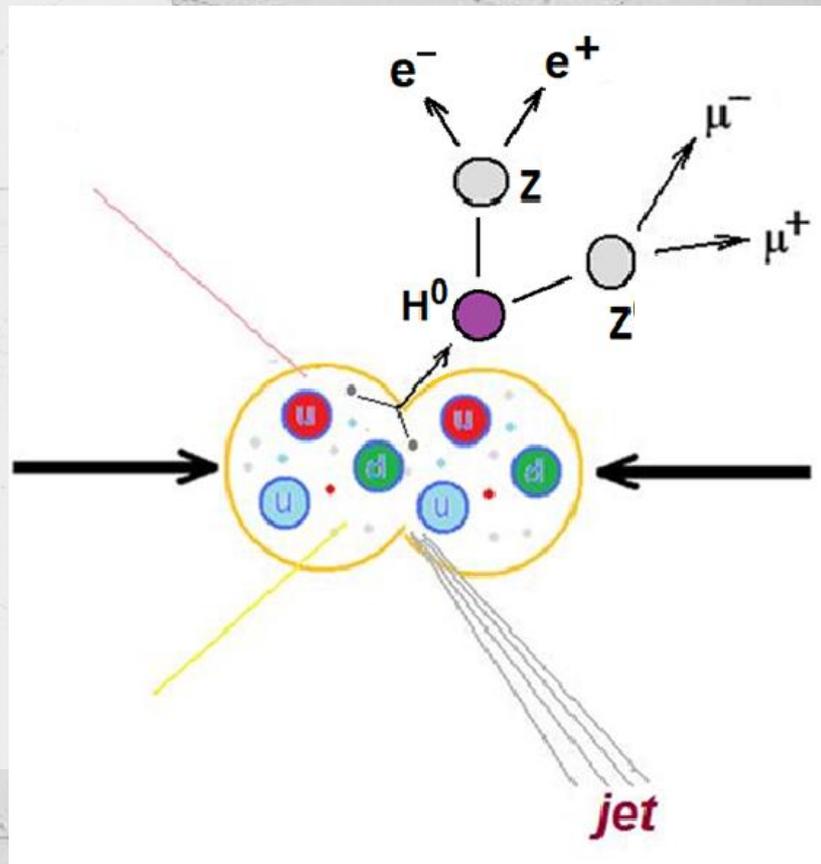
*O bosão Z tem outros decaimentos... mas não estamos interessados nesses.

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

- $H \Rightarrow ZZ^* \Rightarrow 4$ leptões
- $H \Rightarrow \gamma\gamma$ (2 fotões)



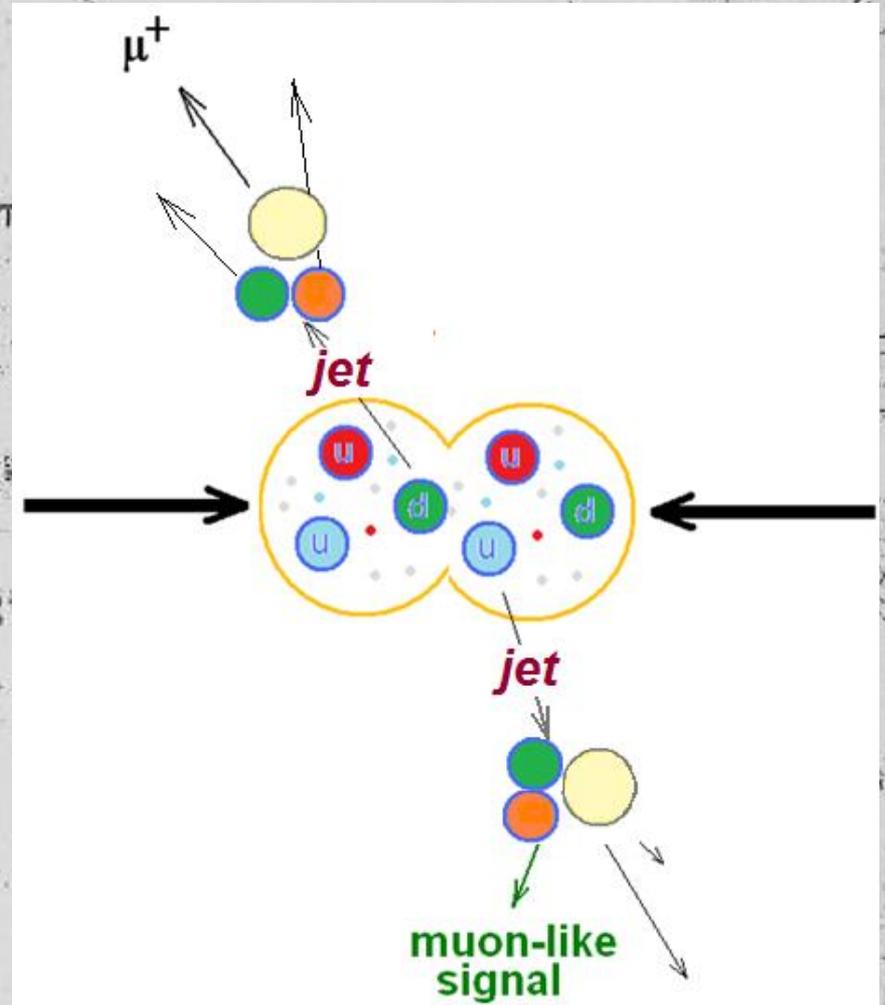
Decaimentos de Partículas

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.

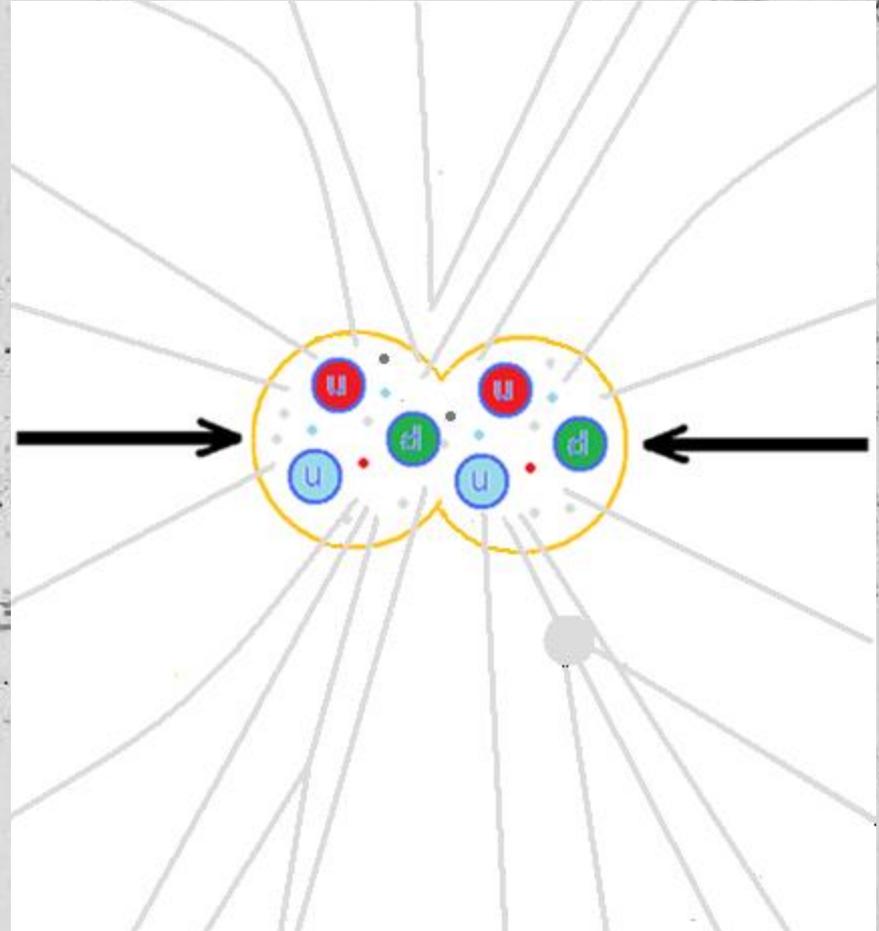
Não são o que estamos à procura!



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 transversal.



Decaimentos de Partículas

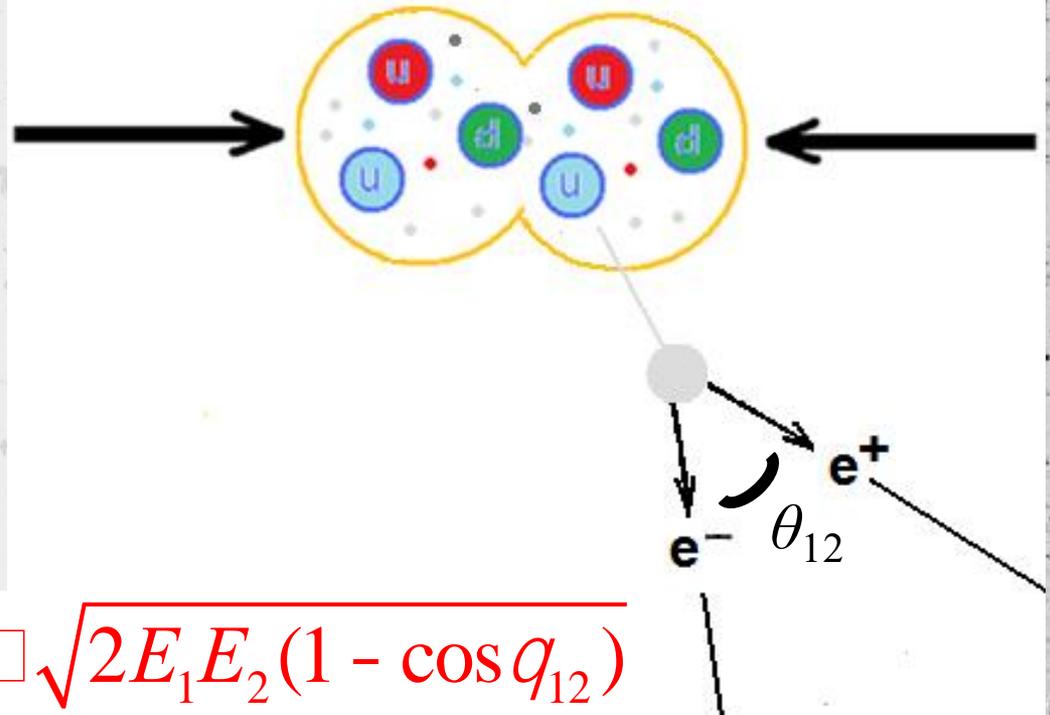
Se selecionarmos só os traços com momento transverso superior a 10 GeV, ficamos com uma imagem mais nítida.

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

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

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

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

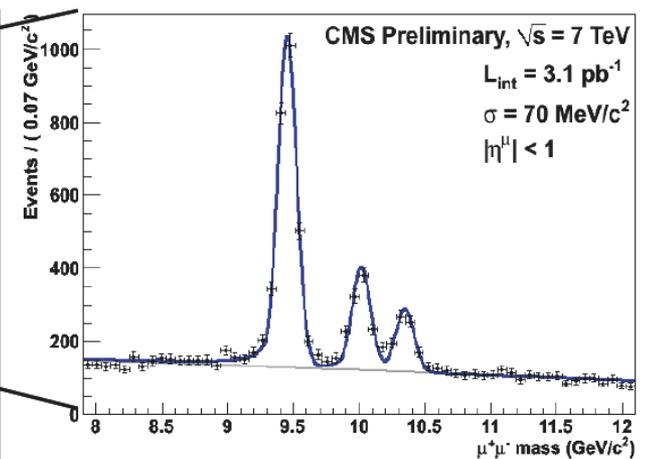
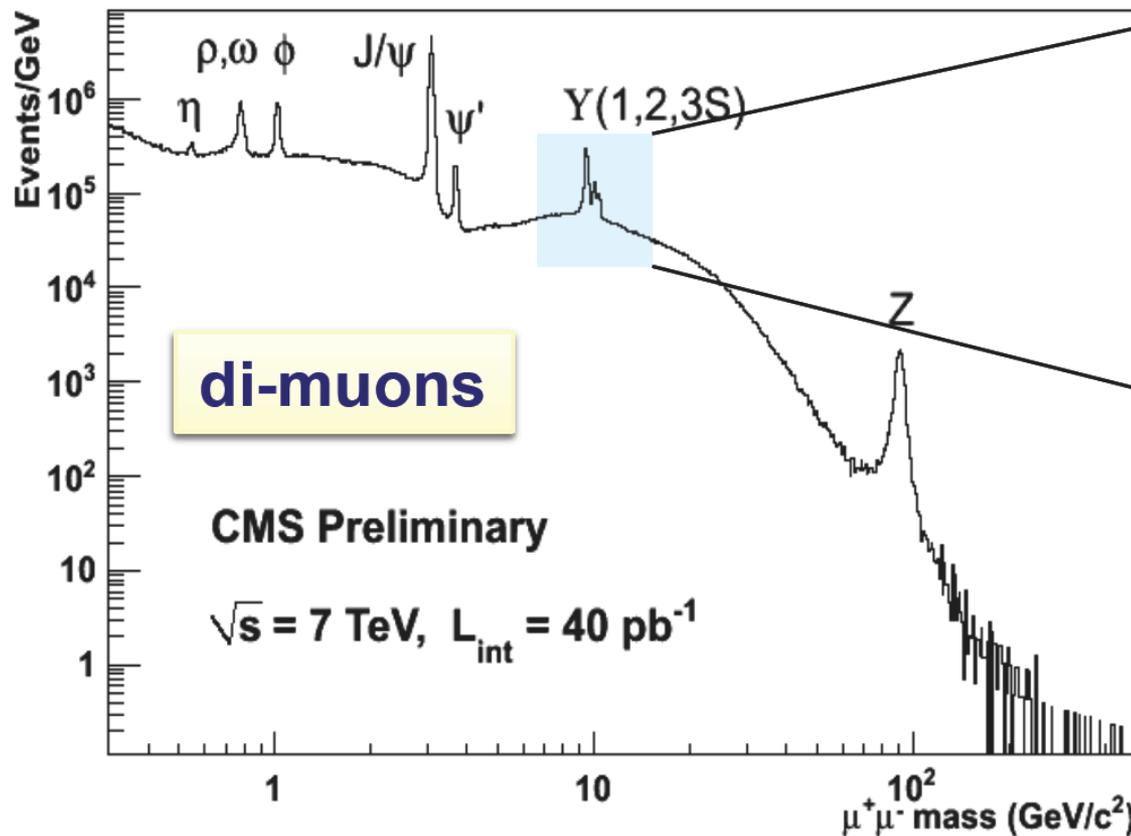


$$mc^2 \simeq \sqrt{2E_1E_2(1 - \cos \theta_{12})}$$

Espectro de massa de pares de muões

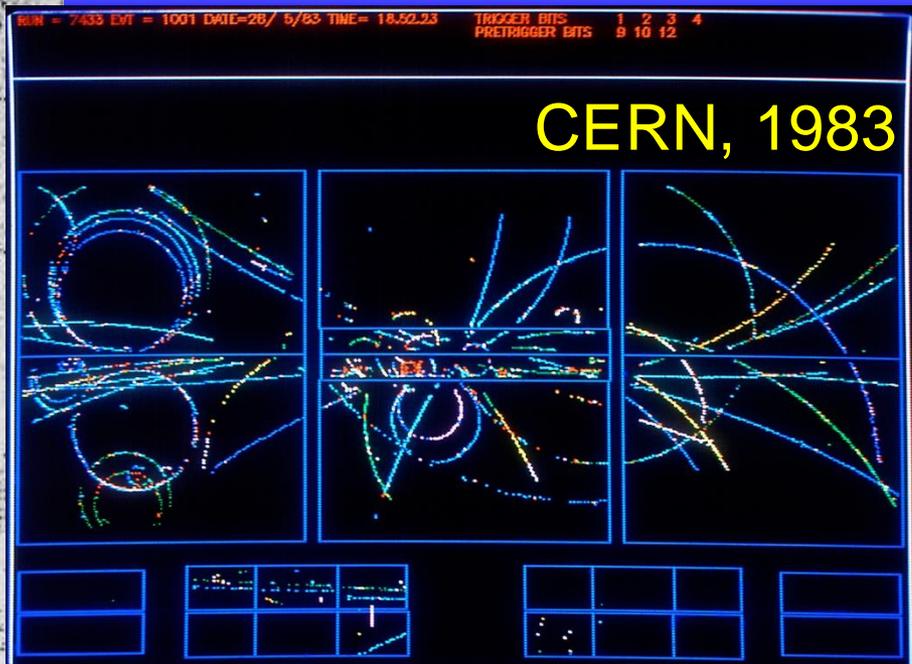
- Eventos com dois muões
- Pesquisa de partículas X que decaem em dois muões;
...e faz-se uma distribuição de:

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

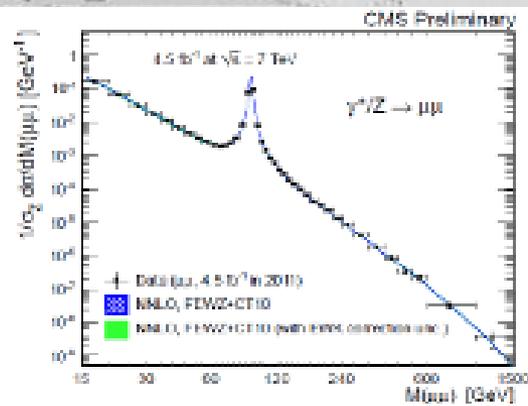
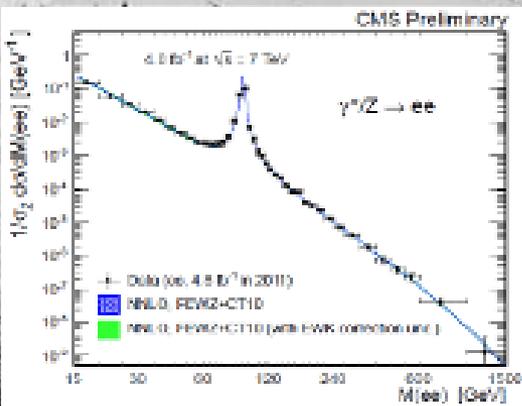
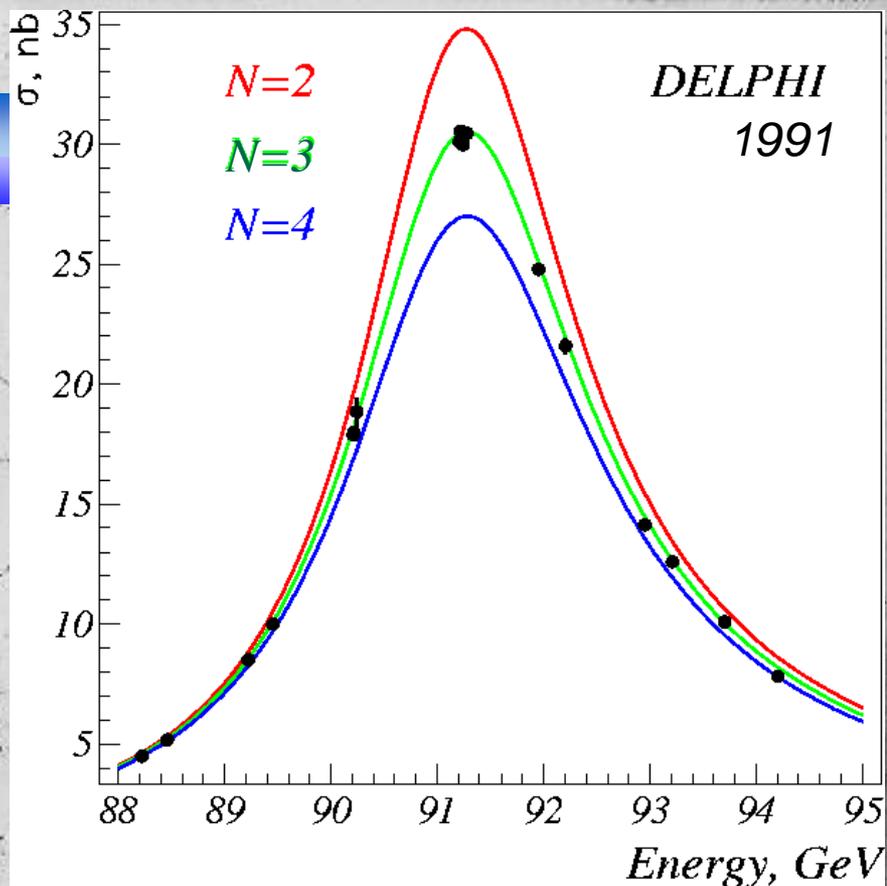


Espectro de massa:
número de eventos
em função da massa

O caminho do Z



Distribuição da Massa do Z



Visualizador de Acontecimentos HYPATIA

=> cuts: $P_t > 10.0$ GeV

The screenshot displays the HYPATIA software interface, which is used for analyzing particle interactions in ATLAS. The interface is divided into several windows:

- Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 6.0 - Invariant Mass Window:** This window shows a table of event data. The selected event is 00036_JiveXML_166964_987982.xml, with an ETMis of 19.626 GeV. The table lists tracks and their properties:

File Name	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(Z ₁) [GeV]	M(4l) [GeV]	e/ μ
00036_JiveXML_166964_987982.xml	19.626	Tracks 3	112.6	+	49.4	1.441	-1.464	95.325		μ
		Tracks 69	96.8	-	45.9	-1.720	-1.378			μ

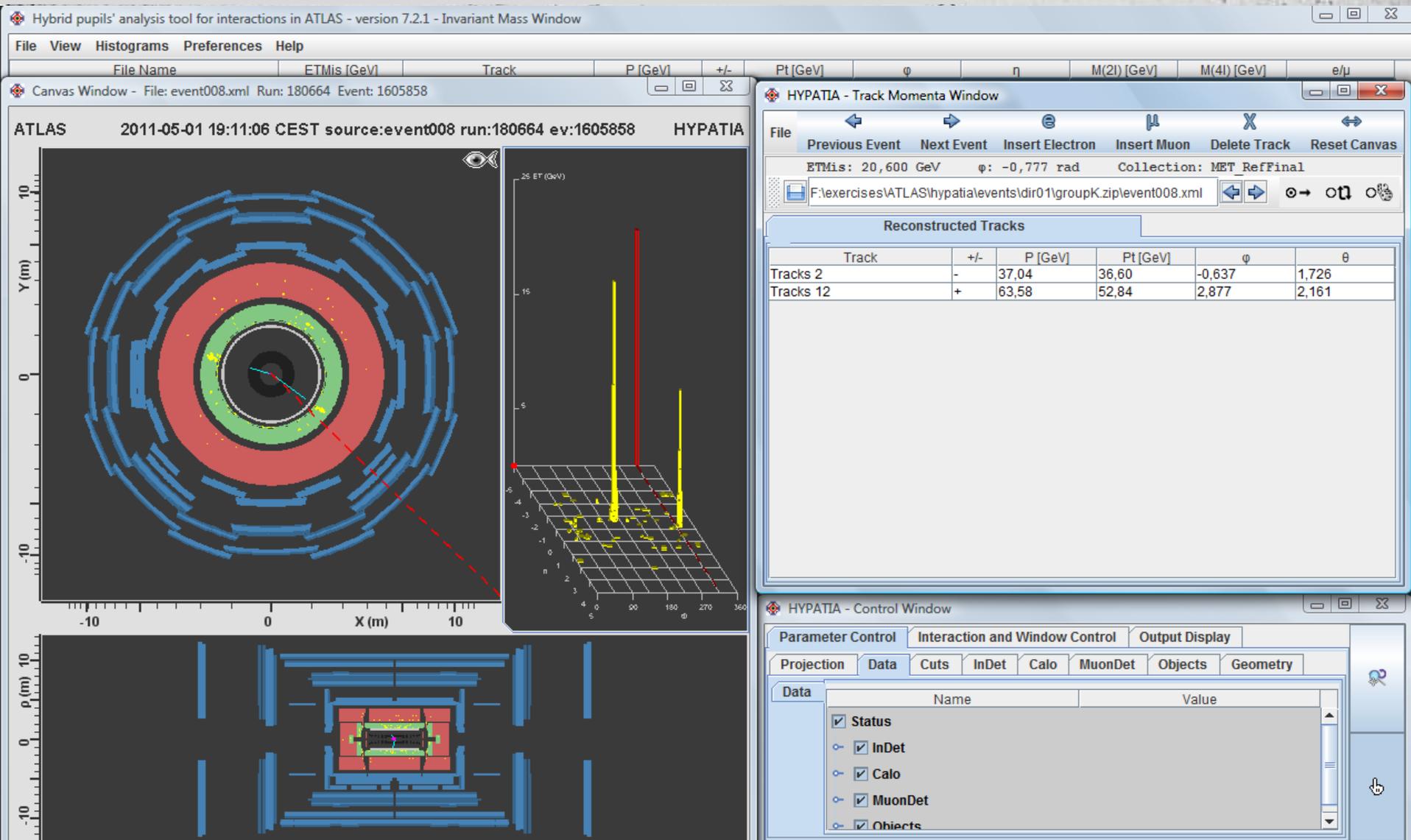
- Canvas Window:** Displays the ATLAS detector geometry and the event tracks. The top plot shows the detector layout with tracks overlaid. The bottom plot shows a 3D histogram of the event data.
- HYPATIA - Track Momenta Window:** Shows the reconstructed tracks and their momenta. The table below lists the tracks and their properties:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 3	+	112.57	49.42	1.441	2.687
Tracks 69	-	96.83	45.88	-1.720	2.648
Tracks 127	-	37.93	30.81	1.803	0.948
Tracks 128	+	25.73	12.70	0.303	2.625
Tracks 134	+	121.30	89.22	-0.597	2.315
Tracks 136	-	34.18	8.63	-3.123	0.255
Tracks 154	+	14.19	8.35	-2.346	2.513
Tracks 176	-	13.53	12.74	0.259	1.915

- HYPATIA - Control Window:** Shows the control panels for the software. The "Cuts" panel is active, and the "Pt" cut is set to > 5.0 GeV. Other cuts include $|d_0| < 2.5$ mm, $|z_0| < 20.0$ cm, $|d_0 \text{ Loose}| < 2.0$ cm, and $|z_0 - z_{vtx}| < 2.5$ mm.

$b \rightarrow p \pi^-$

HYPATIA: $Z \Rightarrow e^+ e^-$



$\rightarrow \Lambda \pi^-$
 $\rightarrow \rho \pi^-$

HYPATIA: $Z \Rightarrow \mu^+ \mu^-$

Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 7.2.1 - Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

File Name ETMis [GeV] Track P [GeV] +/- Pt [GeV] ϕ η M(2l) [GeV] M(4l) [GeV] e/j

Canvas Window - File: event020.xml Run: 180400 Event: 58192244

ATLAS 2011-04-28 01:53:31 UTC source:event020 run:180400 ev:58192244 HYPATIA

HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Insert Electron Insert Muon Delete Track Reset Canvas

ETMis: 12,076 GeV ϕ : -2,803 rad Collection: MET_RefFinal

F:\exercices\ATLAS\hypatia\events\dir01\groupK.zip\event020.xml

Reconstructed Tracks

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 3	+	51,86	48,93	-2,194	1,908
Tracks 73	-	55,00	52,57	1,046	1,869

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

SiClusterRDO	Track	Name	Value
TRT DriftCircle	Segment	Track Collections	Tracks
SimChargedTrack	SpacePoint	Color Function	Constant
SimVertex	PixelCluster	Constant Color	25
RecVertex	SCT_Cluster		
Hit Filter	Trig SiSpacePoint		
Drawing Order	PixelRDO		

$\rightarrow \Lambda \pi^-$
 $\rightarrow p \pi^-$

HYPATIA: $Z \Rightarrow \mu^+ \mu^-$

Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 7.2.1 - Invariant Mass Window

File View Histograms Preferences Help

File Name ETMis [GeV] Track P [GeV] +/- Pt [GeV] ϕ η M(2I) [GeV] M(4I) [GeV] e/j

Canvas Window - File: event020.xml Run: 180400 Event: 58192244

ATLAS 2011-04-28 01:53:31 UTC source:event020 run:180400 ev:58192244 HYPATIA

3 ET (GeV)

Y (m)

X (m)

ϕ

HYPATIA - Track Momenta Window

File Previous Event Next Event Insert Electron Insert Muon Delete Track Reset Canvas

ETMis: 12,076 GeV ϕ : -2,803 rad Collect Insert selected muon track

F:\exercices\ATLAS\hypatia\events\dir01\groupK.zip\event020.xml

Reconstructed Tracks

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 3	+	51,86	48,93	-2,194	1,908
Tracks 73	-	55,00	52,57	1,046	1,869

HYPATIA - Control Window

Parameter Control Interaction and Window Control Output Display

Projection Data Cuts InDet Calo MuonDet Objects Geometry

SiClusterRDO Track

TRT DriftCircle Segment

SimChargedTrack SpacePoint

SimVertex PixelCluster

RecVertex SCT_Cluster

Hit Filter Trig SiSpacePoint

Drawing Order PixelRDO

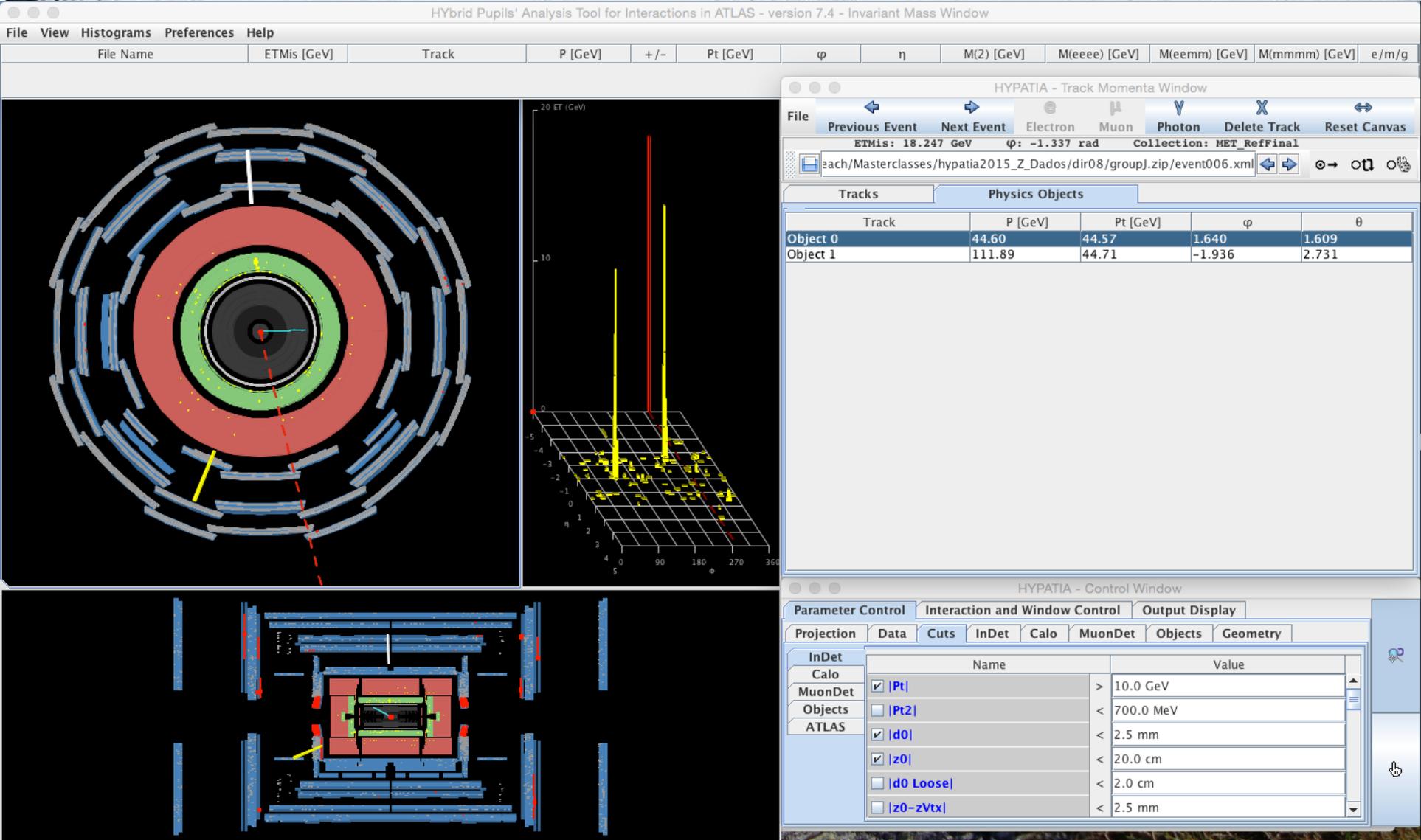
Zoom Next Track

Name	Value
Track Collections	Tracks
Color Function	Constant
Constant Color	25

ρ (m)

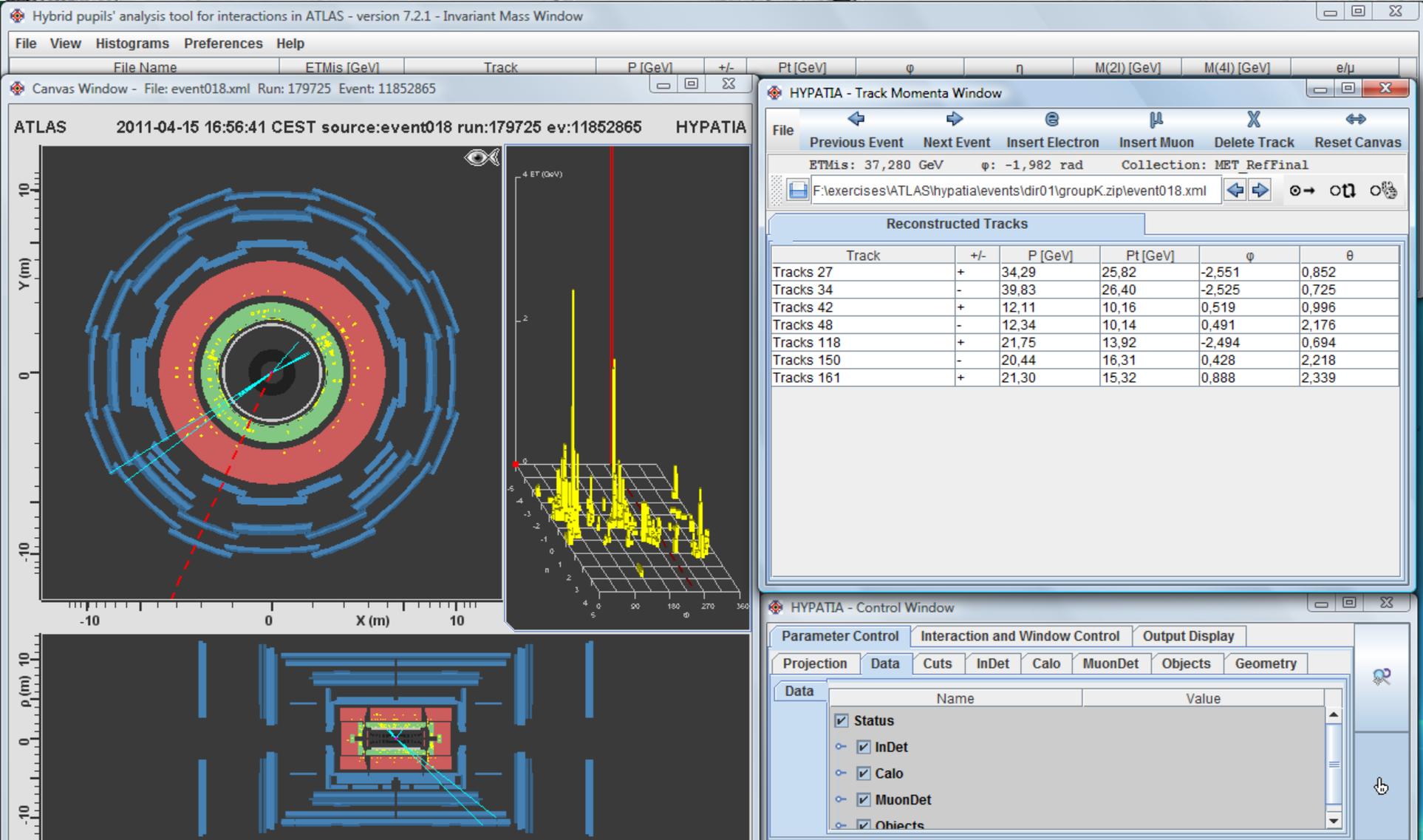
$\rightarrow \Lambda \pi^-$
 $\rightarrow p \pi^-$

HYPATIA: $H \Rightarrow \gamma \gamma (\gamma \gamma)$



$\hookrightarrow p \pi^-$

HYPATIA: $Z \Rightarrow$ jatos (fundo)



HYPATIA: Salvar os dados!!!

Hybrid pupils' analysis tool for interactions in ATLAS - version 7.2.1 - Invariant Mass Window

	ETMis [GeV]	Track	P [GeV]	+/-	Pt [GeV]	ϕ	η	M(2I) [GeV]	M(4I) [GeV]	e/ μ
Read Event Locally	12,703	Tracks 3	51,9	+	48,9	-2,194	-0,344	101,333		μ
Read Event From URL (live)		Tracks 73	55,0	-	52,6	1,046	-0,303			μ
Clear Hypatia Project	10,522	Tracks 1	42,3	+	42,1	2,683	0,094	83,908		e
Load Hypatia Project		Tracks 6	41,8	-	40,9	-0,515	-0,213			e
Save Hypatia Project	17,210	Tracks 2	174,4	+	43,0	-2,826	2,079	87,252		μ
Export Invariant Masses (MII)	3,793	Tracks 3	208,3	-	44,0	0,326	2,236			μ
Loop over events		Tracks 17	37,9	+	37,8	1,872	-0,071			e
Save Image of Canvas	9,760	Tracks 0	435,8	+	69,4	-0,811	2,524	95,702		μ
Animated Event	13,491	Tracks 1	83,8	-	28,5	2,411	1,742			μ
Event Properties		Tracks 8	100,3	-	49,0	1,841	1,344	87,607		e
Read Geometry		Tracks 58	101,7	+	38,5	-1,410	1,626			e
Read G4Steps										
Exit										

Salvar com o nome:
Invariant_masses.txt

HYPATIA - Control Window

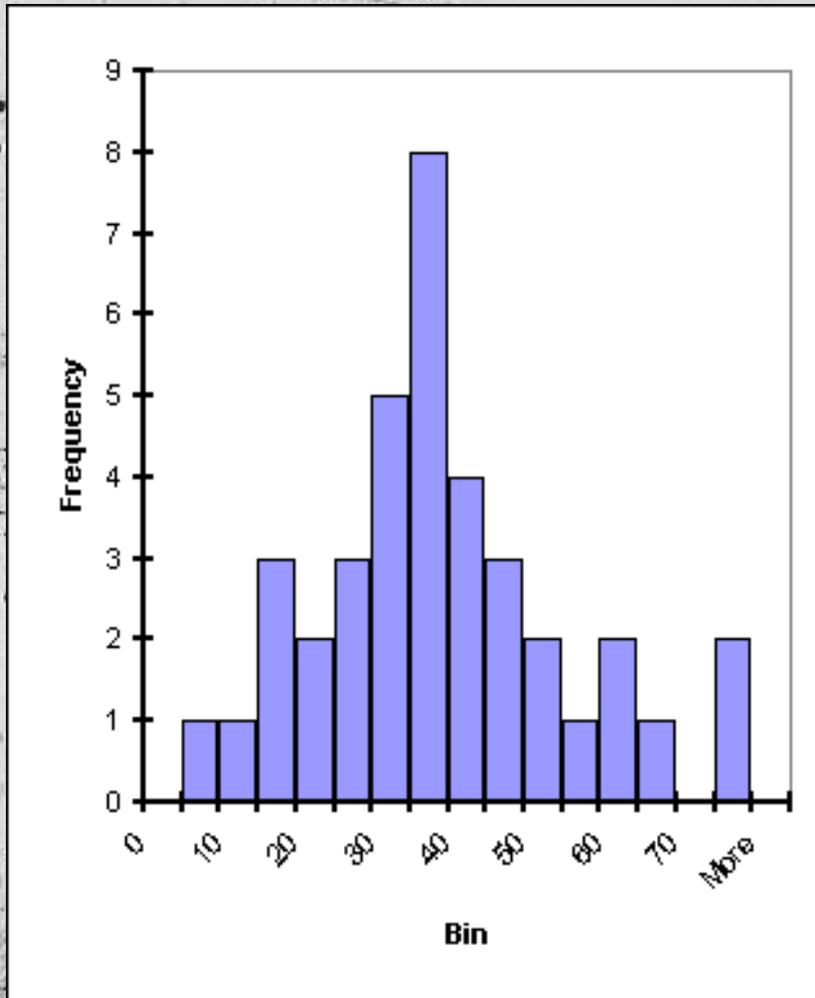
Parameter Control | Interaction and Window Control | Output Display

Projection | Data | Cuts | InDet | Calo | MuonDet | Objects | Geometry

SiClusterRDO	Track	Name	Value
TRT DriftCircle	Segment	Track Collections	Tracks
SimChargedTrack	SpacePoint	Color Function	Constant
SimVertex	PixelCluster	Constant Color	25
RecVertex	SCT_Cluster		
Hit Filter	Trig SiSpacePoint		
Drawing Order	PixelRDO		

UPLOAD para: <https://zpathweb.hepp.uiocloud.no/OPloT/>

Análise do Histograma



Pico bem definido

Caudas: frequências baixas

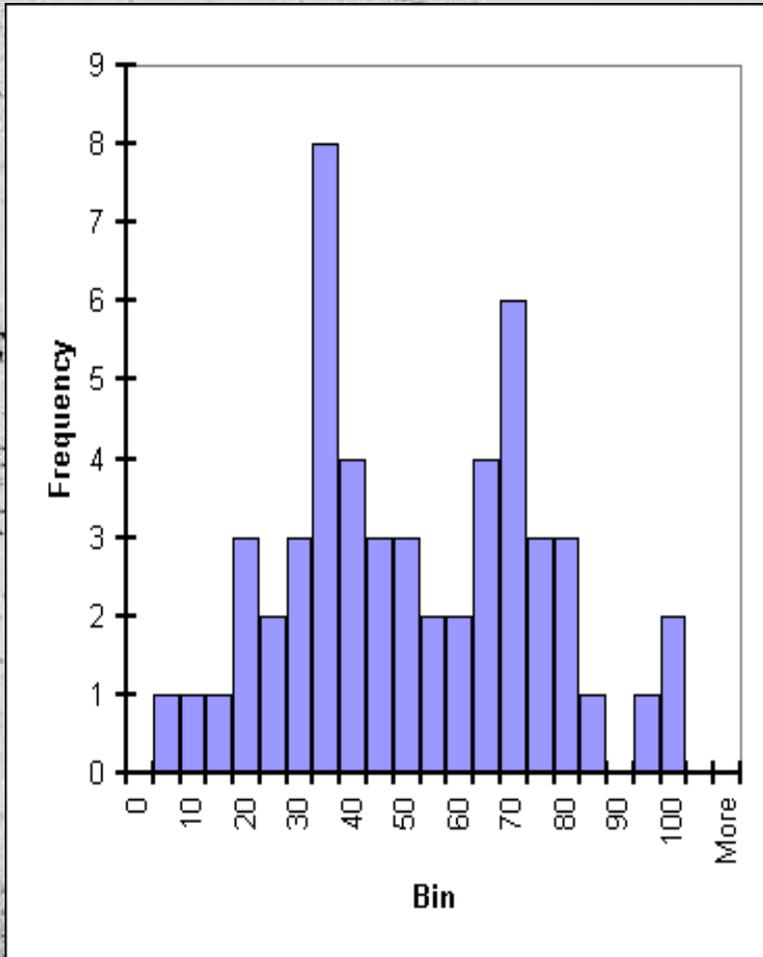
Onde estão os picos?

Que partículas identificamos?

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.

$\rightarrow p\pi^-$

Vamos ao trabalho - Z!

Façam equipas de dois.

Pratiquem um pouco.

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!

$\rightarrow \Xi \pi^0$
 $\rightarrow \Lambda \pi^-$
 $\rightarrow \rho \pi^-$

E 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.

**OBRIGADO PELA
VOSSA ATENÇÃO**

$K^+ \rightarrow \Omega^- K^0 K^+ \pi^+ \pi^-$
 $\hookrightarrow \Xi^- \pi^0$
 $\hookrightarrow \Lambda \pi^-$
 $\hookrightarrow \rho \pi^-$