

**Mariana Soeiro**

## **0) Introduction**

### **1) Calculate Invariant Mass**

### **2) Invariant mass histogram**

- **What does the histogram tell?**

R = Esse histograma mostra o resultado da massa invariante de dois muons e um pico é observado perto de 9,1 GeV correspondendo a massa da partícula do Y. A massa invariante é uma característica de uma partícula. Segundo a teoria de Einstein, a massa invariante é uma quantidade que não muda com a velocidade ou o referencial. Se as unidades forem escolhidas de maneira que a velocidade da luz seja  $c = 1$ , então será massa invariante. Para determinar a massa invariante de uma partícula que decai quase instantaneamente examinamos os seus produtos de decaimento. É preciso medir a energia e o momento de cada partícula em decomposição e somar todas as suas energias e momentos

- **What happens around the mass 9.5 GeV?**

R = O resultado da massa invariante quando calculado para uma partícula cada evento deve ser "quase" a mesma. Dessa forma o histograma de massa mostra a distribuição de massas para vários eventos e pico ao redor da massa da partícula, no caso a Y, está em torno de 9,5 GeV.

### **3) Statistics with the CMS Open Data**

- Why are there differences in the statistical values? How do you know which way is the right one for each occasion?

R = A diferença na estatística é dada devido range escolhido para a análise. Um range mais amplo oferece menos eventos na região de interesse e contribui para o aumento dos erros, enquanto os eventos com range próximo do pico tendem a ter mais eventos de interesse e consequentemente a diminuição dos erros, pois a estatística com eventos não interessantes foi removida.

### **4) Overlaid Histograms**

- What do you think will happen if you change the value of energy limit? Try it out by changing the limits in *newsethighE* and *newsetlowE*.

R = Se aumentarmos o valor da energia limite, teremos um aumento nos eventos com baixa energia pois parte dos eventos com energia alta serão deslocados para de os energia baixa para respeitar o novo limite. (Teste Defaut x Energia 250 GeV). A medida que diminuimos o valor da energia limite observamos o aumento dos eventos com alta energia, pois parte dos eventos com energia baixa serão deslocados para o de energia baixa para respeitar o novo limite de energia. (Teste Defaut x Energia 250 GeV)

### **5) Invariant Mass Histogram Select Data**

- The code below will create 11 different histograms of invariant masses from the same data. Between every image 1000 more values of invariant masses are taken to the histogram. Run the code by clicking the code cell active and pressing *Ctrl + Enter*. Observe the images and explain what you see.

R = Os histogramas mostram o resultado da massa invariante de dois muons e o pico em todas as distribuições é observado em aproximadamente 90 GeV, correspondendo a massa do Z. Com o aumento da estatística dos observamos o aumento do pico das distribuições e a diminuição da largura das mesmas.

## 6) Invariant Mass Histogram Weights

## 7) Pseudorapidity-resolution

DEFAULT

```
# Set the conditions to large and small etas. These can be changed, but it has to be taken
# care that about the same amount of events are selected in both groups.
cond1 = 1.52
cond2 = 0.45
```

```
The amount of all events = 10851
The amount of events where the pseudorapidity of both muons has
been large = 615
The amount of events where the pseudorapidity of both muons has
been small = 603
```

PRIMEIRO TEST

```
# Set the conditions to large and small etas. These can be
changed, but it has to be taken
# care that about the same amount of events are selected in both
groups.
cond1 = 1.70
cond2 = 0.33
```

```
The amount of all events = 10851
The amount of events where the pseudorapidity of both muons has
been large = 321
The amount of events where the pseudorapidity of both muons has
been small = 313
```

**Question 1)** In which way you can see the effect of the pseudorapidity to the measurement resolution of the CMS detector?

R = Observamos partículas com maior pseudo-rapidez continuam próximas a linha do feixe após a colisão e são detectadas nas extremidades do detector, enquanto as com menor pseudo-rapidez assumem posições mais distantes da linha do feixe e são detectadas no barril. Dessa forma, nos nossos eventos os múons com maior pseudo-rapidez tem sua reconstrução afetada pela pouca instrumentação na linha do feixe e tampas enquanto os múons com menor pseudo-rapidez tem uma reconstrução mais eficiente por serem detectados no barril que possui maior instrumentação. Podemos observar esses efeitos a partir da largura mostrada pelos histogramas de massa invariante.

**Question 2)** Do your results show the same than the theory predicts?

R = As medidas de pseudo-rapidez afetam as medidas do momento tornando as medidas presentes no barril mais precisas do que as das tampas dos detectores e a dos eventos próximos a linha do feixe. Dessa forma, esperávamos resultados melhores para os múons com menor pseudo-rapidez conseguimos observar uma melhor reconstrução dos eventos nos histogramas de massa invariante para esses eventos. Além de seguirem uma distribuição com um formato mais parecido com uma Breit-Wigner.

**Question 3)** After the changes run the code again. How do the changes affect to the number of the events? And how to the histograms?

R = Com as mudanças efetuadas no teste 1, onde aumentamos o valor da condição 1 e diminuimos o valor da condição 2 de forma a obter a mesma porcentagem no número de eventos. Dessa forma, observamos o número de eventos da amostra que seguiam as devidas condições diminuíram. Os histogramas foram afetados estatisticamente, diminuindo o numero de eventos presentes no pico, sem alterar muito o formato da distribuição de massa invariante, apresentando resultados similares ao default.

**Question 4)** Write a function that represents Breit-Wigner distribution to the values of the histogram.

The value of the decay width (gamma) = 4.06597952782 +- 0.106354930922

The value of the maximum of the distribution (M) = 90.8834488585 +- 0.0329000191037

a = -1.32310268969 +- 0.18613646398

b = 118.557678702 +- 17.0422970859

A = 4175.11226396 +- 85.0652417836

**Question 5)** Calculate the lifetime  $\tau$  of the Z boson with the uncertainty by using the fit. Compare the calculated value to the known lifetime of the Z. What do you notice? What could possibly explain your observations?

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{\hbar}{\Gamma}$$

No Histograma:

$$\tau = \frac{4,1356 \times 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}}{4.0659 \times 10^9 \text{eV}} \Rightarrow \tau = 1.0171 \times 10^{-24} \text{s}$$

Na Teoria:

$$\tau = \frac{4,1356 \times 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}}{2.4952 \times 10^9 \text{eV}} \Rightarrow \tau = 1.6574 \times 10^{-24} \text{s}$$

Utilizando o erro relativo:

$$E = \frac{1.6574 - 1.0171}{1.6574 + 1.0171} \times 100 \longrightarrow E = 23,9 \% \text{ (Incompatível)}$$

$$\sigma_{\bar{\tau}} = \frac{|\hbar|}{\bar{\Gamma}^2} \sigma_{\bar{\tau}}$$

No Histograma:

$$\sigma_{\bar{\tau}} = \frac{|4,1356 \times 10^{-15}|}{(4.0659 \times 10^9)^2} \times 0.1063 \Rightarrow \sigma_{\bar{\tau}} = 2.6592 \times 10^{-35}$$

Na Teoria:

$$\sigma_{\bar{\tau}} = \frac{|4,1356 \times 10^{-15}|}{(2.4952 \times 10^9)^2} \times 0.0023 \Rightarrow \sigma_{\bar{\tau}} = 1.5278 \times 10^{-36}$$

Teste de Compatibilidade

$$\frac{|\bar{x} - x_{ref}|}{\sigma_{\bar{x}}} < 2$$

$$\frac{|1.0171 - 1.6574|}{2.6592 \times 10^{-35}} < 2$$

**Incompatível**

$$\frac{\sigma_{\bar{u}}}{|\bar{u}|} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\bar{y}}}{\bar{y}}\right)^2}$$

No Histograma:

$$\frac{\sigma_{\bar{u}}}{|\bar{u}|} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\bar{y}}}{\bar{y}}\right)^2} = 5.755 \times 10^{-28}$$

Teste de Compatibilidade

$$\frac{|\bar{x} - x_{ref}|}{\sigma_{\bar{x}}} < 2$$

$$\frac{|1.0171 - 1.6574|}{5.7552 \times 10^{-28}} < 2$$

**Incompatível**

As medidas são incompatíveis e devem ser afetadas pelas imperfeições dos detectores.