

Tutorial de CalcHEP

Professores: Sandro Fonseca, Sheila Mara, Eliza Melo

Name: João Pedro Gomes Pinheiro

Exercício baseado no Tutorial do CalcHEP.

Todas as instruções, programas e arquivos descritos aqui estão disponíveis no repositório GitHub: [CalcHEP](#).

O primeiro passo é seguir as instruções de instalação do CalcHEP, presentes no arquivo `CalcHEP_install_tutorial`, no repositório GitHub já mencionado. Eu e o Matheus Macedo incluímos problemas que tivemos na instalação e suas respectivas soluções neste tutorial.

Deve-se fazer o download do *Minimal Zp models*, disponíveis no link [HEPMDB - Minimal Zp Models](#). No nosso caso, estes arquivos já estão dentro do diretório `Min_Zp_models`, no repositório GitHub já citado.

Vamos mover os arquivos `.mdl` para dentro do diretório `models`, que, por sua vez, se encontra no diretório de instalação do CalcHEP:

```
1 mv Min_Zp_models/*.mdl $CALCHEP/models
```

As versões do CalcHEP já possuem arquivos modelo. Devemos renomear os arquivos que movemos para o diretório de arquivos modelo de tal forma que todos sigam uma sequência numérica contínua. Neste caso, já temos 5 arquivos modelo no diretório `$CALCHEP/models`, desta forma, devemos renomear os arquivos que movemos para lá com numeração 6, ao invés da numeração 7 que possuem. Dentro do diretório `$CALCHEP/models`, faça:

```
1 mv func7.mdl func6.mdl
2 mv lgrng7.mdl lgrng6.mdl
3 mv prtcls7.mdl prtcls6.mdl
4 mv vars7.mdl vars6.mdl
5 mv extlib7.mdl extlib6.mdl
```

Agora, no diretório `$CALCHEP/workdir`, inicie o CalcHEP:

```
1 ./ calchep
```

Clique em **B-L (Full Fast)**.

Em seguida, clique em **Force Unit.Gauge= OFF** de forma a setar para **Force Unit.Gauge= ON**, o que ativa o gauge unitário. Posteriormente, clique em **Enter Process**. Preencha os parâmetros pedidos da seguinte maneira:

```
Enter process: p,p -> m,M (2 prótons indo em  $\mu\bar{\mu}$ )
composite 'p' consists of: u,U,d,D,c,C,s,S,G (componentes do próton: quarks e glúon)
Exclude diagrams with: A,Z,H1,H2 (excluir as contribuições do  $\gamma$ , do  $Z$  e dos  $H_1$  e  $H_2$ )
```

É possível ver os diagramas de Feynman dos 10 subprocessos possíveis clicando em **View Diagrams**.

Clique em **Square diagrams** e, posteriormente, em **Symbolic calculations**. Por fim, clique em **C-compiler**.

Na opção **IN state**, colocaremos cada próton com 6,5 TeV de momentum inicial, resultando numa energia de centro de massa de 13 TeV.

Em **Subprocess** podemos escolher dentre os subprocessos possíveis.

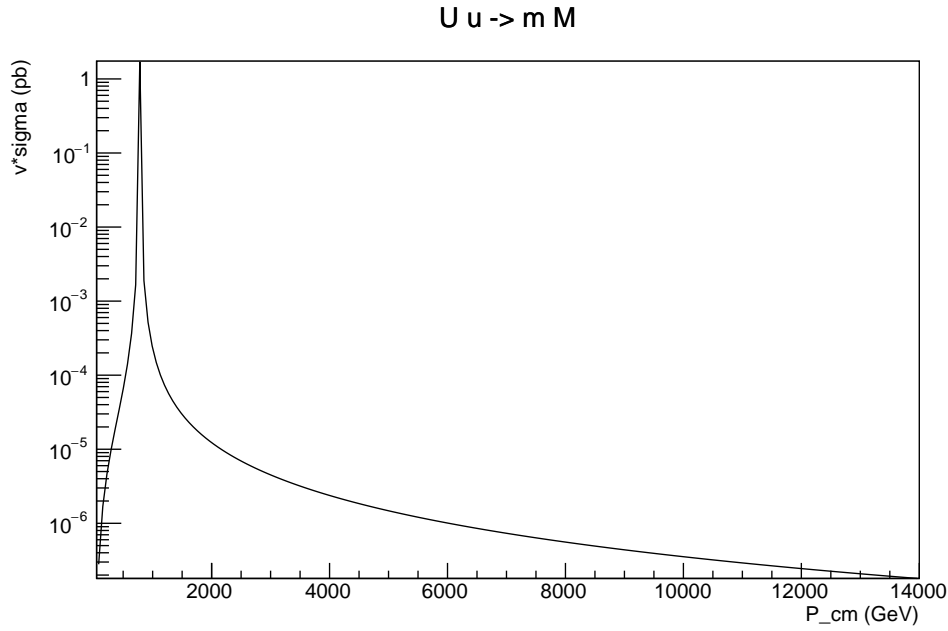
Clicando em **Monte Carlo simulation** e, posteriormente, em **Start integration**, podemos calcular a seção de choque para cada subprocesso. O resultado da seção de choque para diferentes subprocessos numa energia de centro de massa de 13 TeV é apresentado na Tabela 1.

Agora, vamos obter um plot da seção de choque em função da energia de centro de massa. Vamos escolher o subprocesso $Uu \rightarrow mM$. Para isso, clique em **1D integration** e selecione a opção **sigma*v plots**. Clique no parâmetro **Pcm**. Aqui é possível selecionar o range de energia de centro de massa que queremos plotar no histograma. Faremos:

```
'Pcm' min = 50
'Pcm' max = 14000
Number of points = 200
```

Tabela 1: Seção de choque dos diferentes subprocessos para colisão $p - p \rightarrow \mu\bar{\mu}$ com $E_{CM} = 13$ TeV

Subprocesso	Seção de choque (pb)
u $U \rightarrow m M$	$4,2744 \cdot 10^{-7}$
U u $\rightarrow m M$	$4,2744 \cdot 10^{-7}$
d $D \rightarrow m M$	$2,1244 \cdot 10^{-6}$
D d $\rightarrow m M$	$2,1244 \cdot 10^{-6}$
c $C \rightarrow m M$	$4,2744 \cdot 10^{-7}$
C c $\rightarrow m M$	$4,2744 \cdot 10^{-7}$
b $B \rightarrow m M$	$2,1244 \cdot 10^{-6}$
B b $\rightarrow m M$	$2,1244 \cdot 10^{-6}$
s $S \rightarrow m M$	$2,1244 \cdot 10^{-6}$
S s $\rightarrow m M$	$2,1244 \cdot 10^{-6}$

Figura 1: Seção de choque em função da energia de centro de massa para o subprocesso $Uu \rightarrow mM$

Pressione **Enter** e o plot aparecerá na tela. Pressionando **Enter** novamente, abrirá uma aba com algumas opções. Clique em **Save Plot in file** e escolha o nome do arquivo (não mude sua extensão) e, posteriormente, escolha que tipo de arquivo será. Escolhendo o **Root**, será criado um arquivo **.tab** e outro **.C** no diretório **results**. Salvei estes arquivos com o nome **plot_Uu_xsec_Pcm**, portanto serão criados os arquivos: **plot_Uu_xsec_Pcm.C** e **plot_Uu_xsec_Pcm.tab**. Realizei algumas modificações para colocar título no histograma. Os arquivos e o histograma se encontram no repositório **GitHub**. Para rodar arquivo, basta fazer **root -l plot_Uu_xsec_Pcm.C** no terminal. O resultado pode ser visto na Figura 1.

O próximo passo é checar o comportamento da largura do Z *Prime*. Vamos produzir outro processo no **CalcHEP**. Desta vez, ao invés do espalhamento $p, p \rightarrow m, M$, vamos simular o decaimento $Zp \rightarrow 2X$. Para tal, abrimos o **CalcHEP**, não se esquecendo de ativar o gauge unitário e clicamos em **Enter Process**, fazendo:

Enter process: $Zp \rightarrow 2X$ Exclude diagrams with: A, Z, H1, H2 Exclude: X-particles

Em seguida, clique sequencialmente em:

Square diagrams \rightarrow Symbolic calculations \rightarrow C-compiler \rightarrow Total width \rightarrow Show Partial widths

O resultado mostrado na tela será como a largura de massa do Z *Prime* varia para cada subprocesso, o que pode ser visto na Figura 2.

Agora vamos utilizar o *batch methods* para calcular a seção de choque utilizando diferentes valores de massa para o Z *prime*.

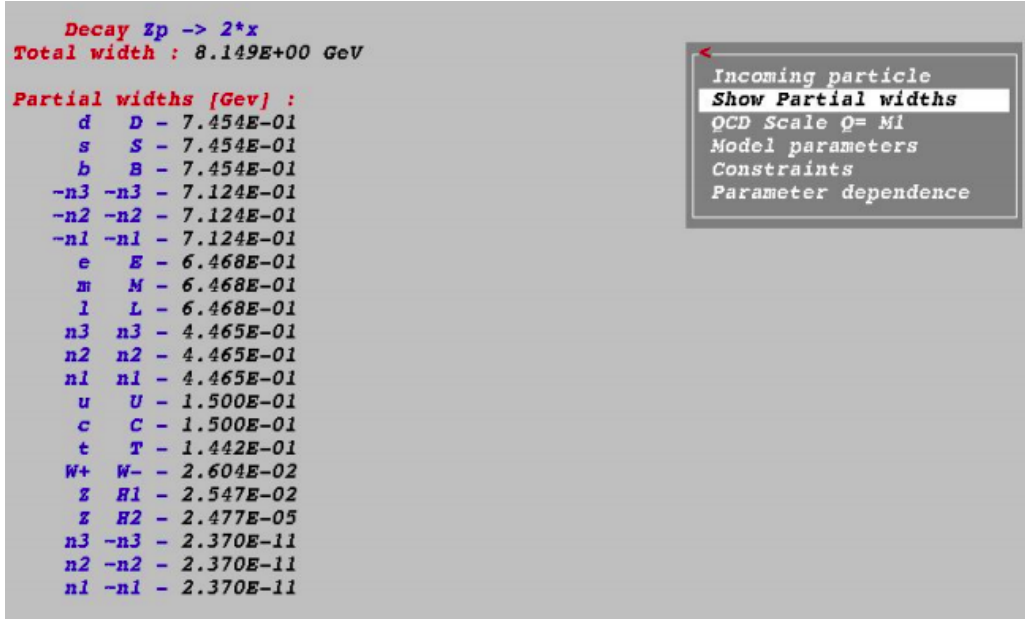


Figura 2: Largura de massa do Z Prime para cada subprocesso de decaimento.

As instruções estão no arquivo *batch* chamado `batch_file_xsec_Zmass`, que deve ficar no diretório `workdir` (o mesmo também encontra-se no repositório GitHub). Para facilitar a visualização, este arquivo será escrito abaixo:

```

1  # Arquivo batch_file_xsec_Zmass, para calcular a secao de choque utilizando
    diferentes valores de massa no Z prime.
2  Model : B - L ( Full fast )
3  Model changed : False
4  Gauge : Unitary
5
6  # Processo considerado, composicao das particulas e processos que serao removidos
7  Process : p ,p - >m , M
8  Composite : p =u ,U ,d ,D ,s ,S ,c ,C ,b ,B , G
9  Remove : Z ,A , H1 , H2
10
11 pdf1 : cteq6l1 ( proton )
12 pdf2 : cteq6l1 ( proton )
13
14 # Momento das particulas incidentes
15 p1 : 6500
16 p2 : 6500
17
18 Run parameter : MZp
19 Run begin : 1000
20 Run step size : 500
21 Run n steps : 3
22
23 alpha Q : M12
24
25 Cut parameter : n ( m )
26 Cut invert : False
27 Cut min : -100
28 Cut max : 100
29
30 Cut parameter : n ( M )
31 Cut invert : False
32 Cut min : -100
33 Cut max : 100
34

```

```

35 Cut parameter : M ( m , M )
36 Cut invert : False
37 Cut min : 50
38 Cut max :
39
40 Kinematics : 12 -> 3 , 4
41
42 Regularization momentum : 34
43 Regularization mass : MZp
44 Regularization width : wZp
45 Regularization power : 2
46
47 # Massa invariante
48 Dist parameter : M ( m , M )
49 Dist min: 400
50 Dist max: 3000
51 Dist n bins : 150
52 Dist title : p , p - > m , M
53 Dist x - title : M ( m , M ) ( GeV )
54
55 # pT
56 Dist parameter : T ( m )
57 Dist min: 30
58 Dist max: 1000
59 Dist n bins : 150
60 Dist title : p , p - > m , M
61 Dist x - title : T ( m ) ( GeV )
62
63 # Eta
64 Dist parameter : N ( m )
65 Dist min: -3.14
66 Dist max: 3.14
67 Dist n bins : 150
68 Dist title : p , p - > m , M
69 Dist x - title : N ( m )
70
71 # Rapidez
72 Dist parameter : Y ( m , M )
73 Dist min: -3.14
74 Dist max: 3.14
75 Dist n bins : 150
76 Dist title : p , p - > m , M
77 Dist x - title : Y ( m , M )
78
79 Number of events ( per run step ) : 1000
80 Filename : zprime_mm_events
81 NTuple : True
82
83 Parallelization method : local
84
85 nSess_1 : 20
86 nCalls_1 : 100000
87 nSess_2 : 20
88 nCalls_2 : 100000

```

Para rodá-lo, basta fazer:

```
1 ./calchep_batch batch_file_xsec_Zmass
```

O resultado estará no diretório `batch_results`. Vamos descompactar um dos arquivos `.lhe` que estão nesse diretório a partir de:

```
1 gunzip zprime_mm_events-MZp1500.lhe.gz
```

A partir da macro `loop.C`, vamos escrever as informações do arquivo `.lhe` num arquivo `.root`. Os histogramas da seção de choque em função da rapidez, da pseudo-rapidez, da *momentum* transverso e da massa

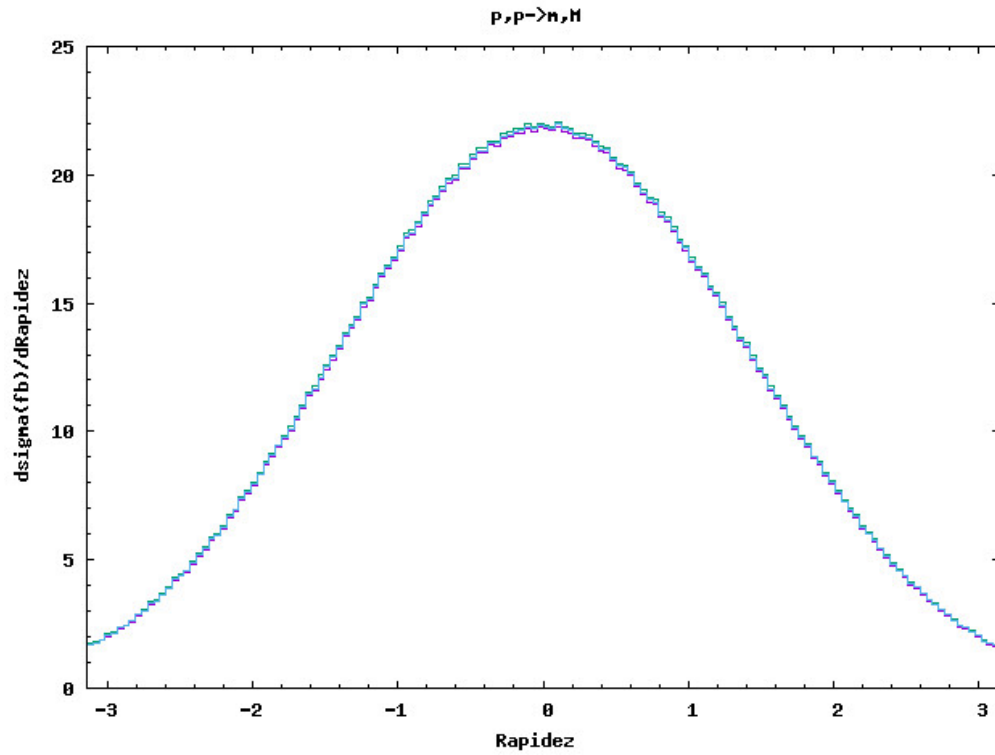


Figura 3: Seção de choque em função da rapidez.

invariante podem ser vistos nas Figuras [3](#), [4](#), [5](#) e [6](#).

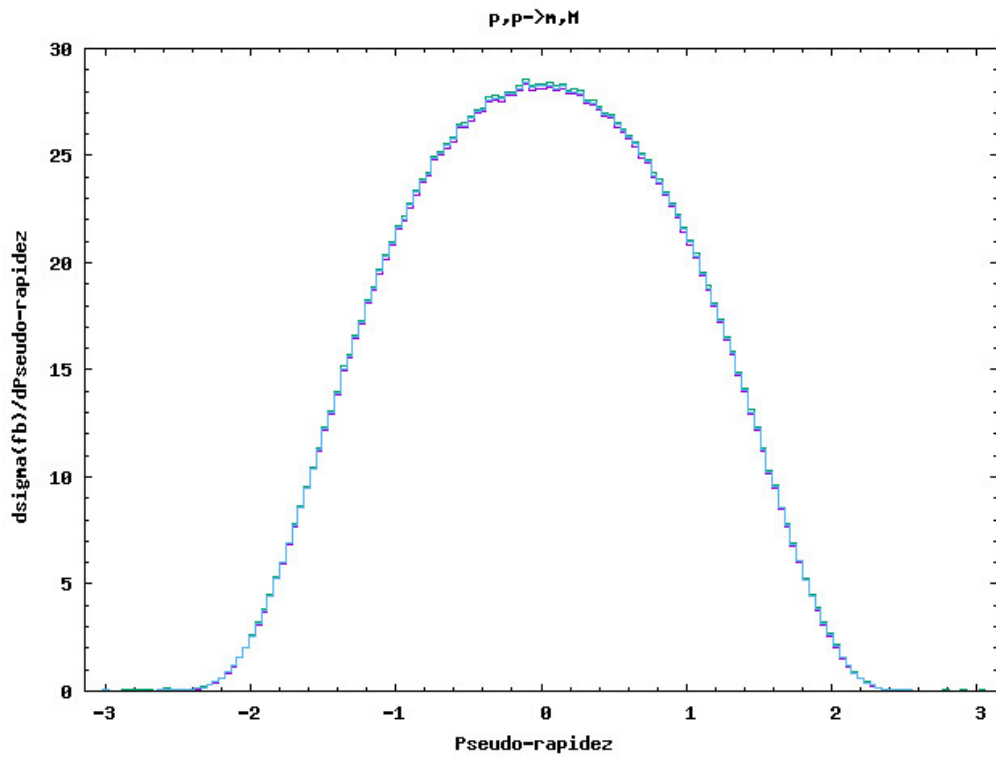


Figura 4: Seção de choque em função da pseudo-rapidez.

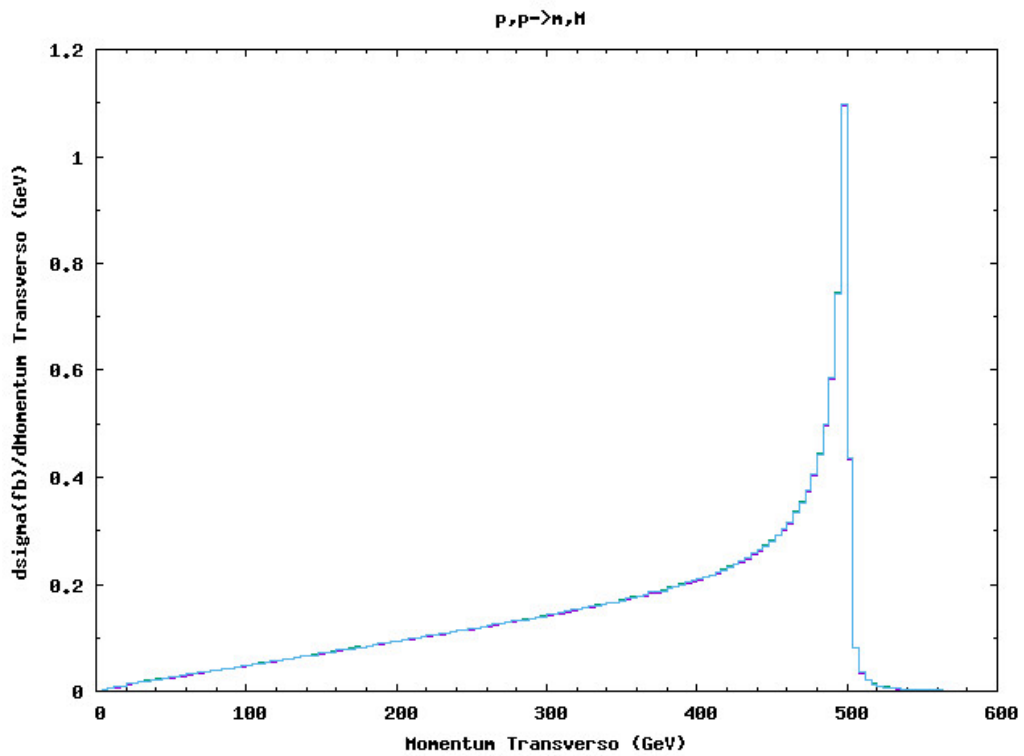


Figura 5: Seção de choque em função do *momentum* transverso.

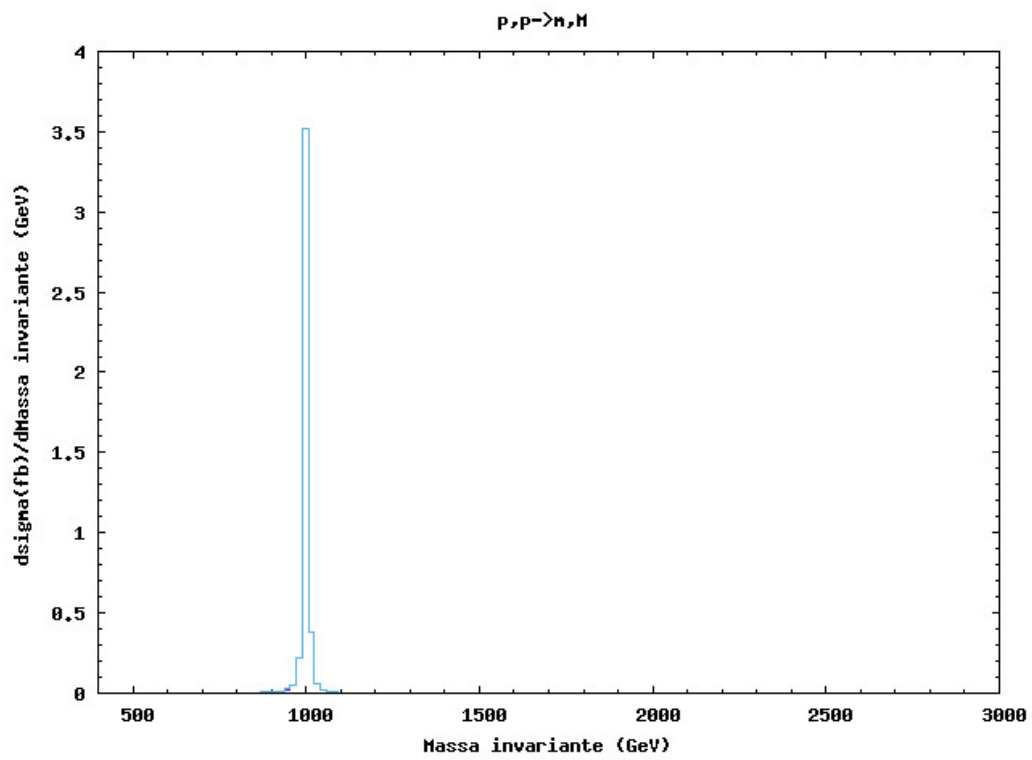


Figura 6: Seção de choque em função da massa invariante.