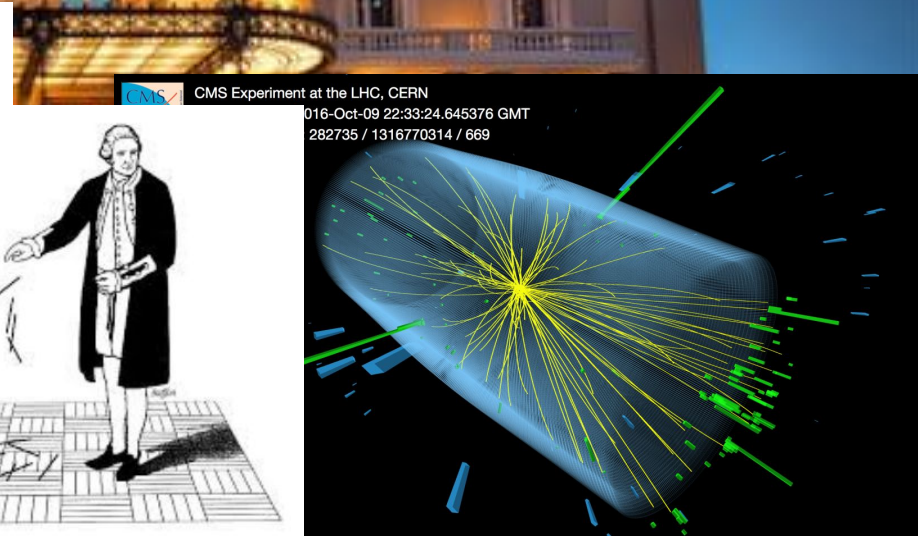
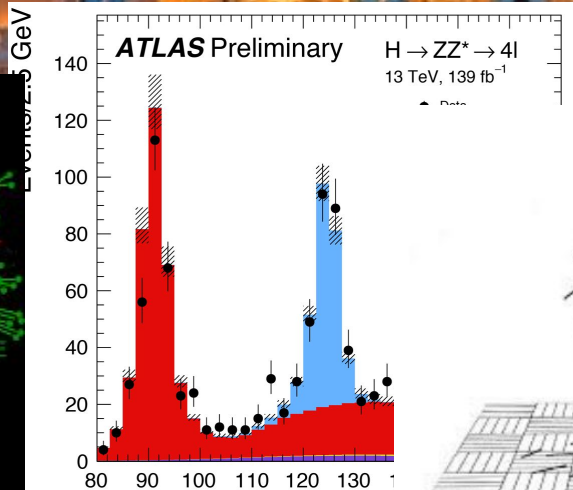
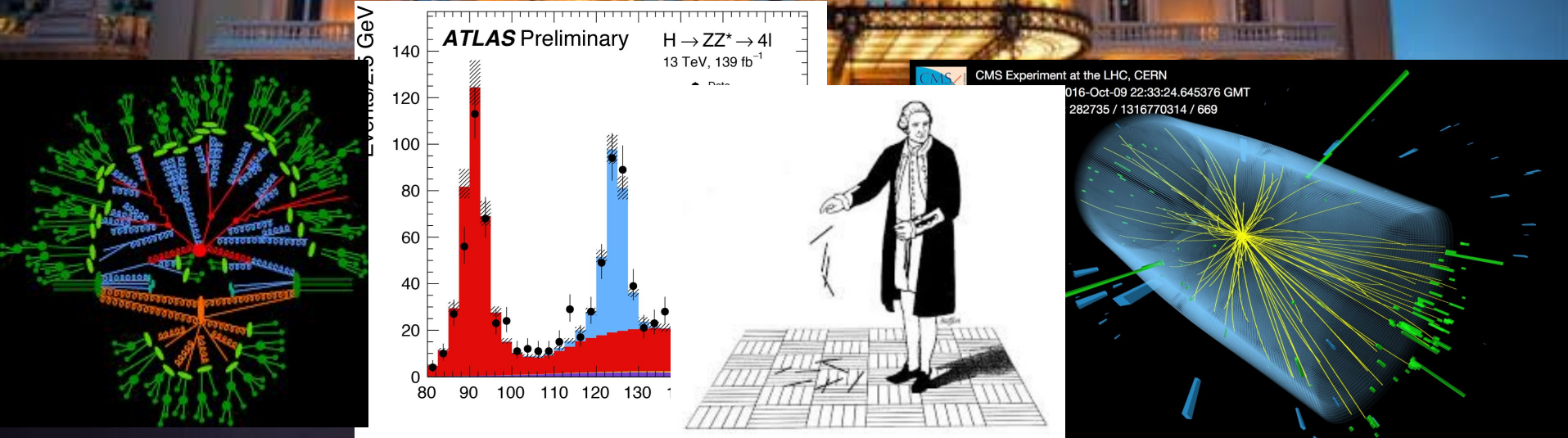


Geradores de Monte Carlo



Geradores de Monte Carlo

Uma breve introdução



Índice

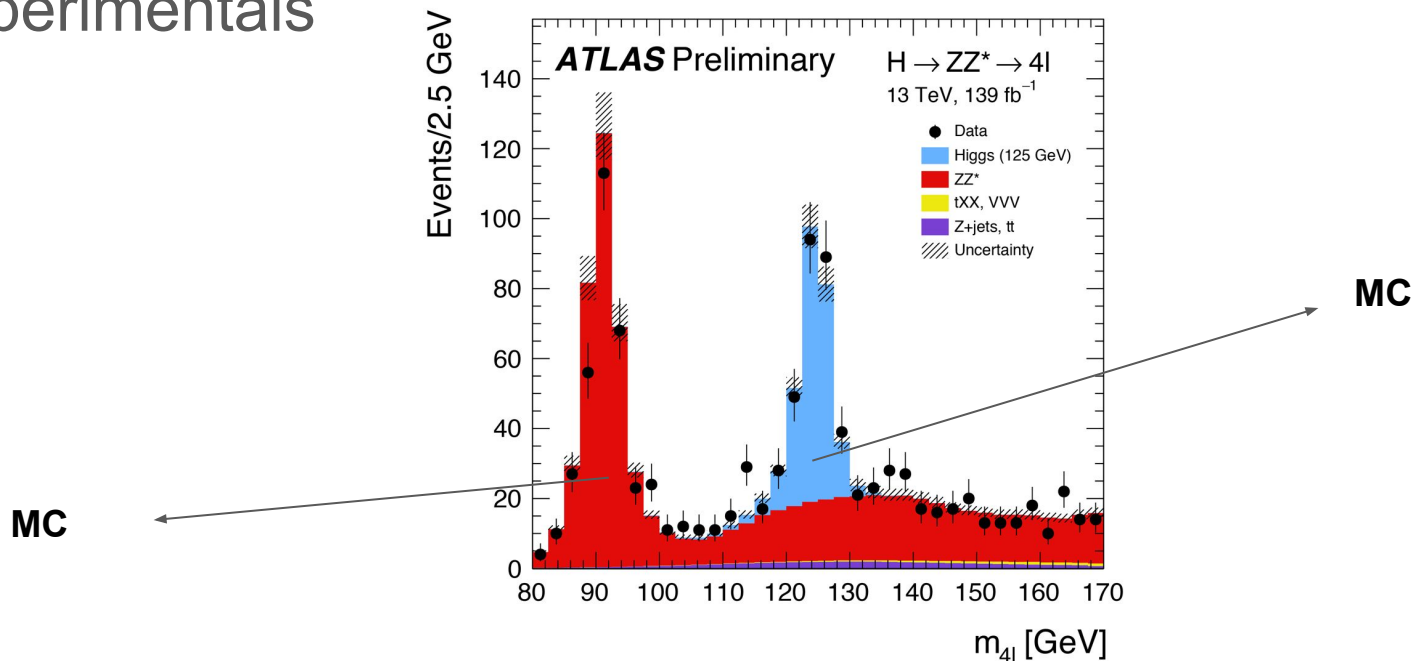
- Por que usar?
- O que é?
- Histórico
- Método da Rejeição Simples
- Algumas aplicações simples
- Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

Por que usar?

- Melhor maneira estatística de descrever dados experimentais

Por que usar?

- Melhor maneira estatística de descrever dados experimentais



O que é?

- Métodos a Monte Carlo são algoritmos numéricos que se utilizam da geração de números aleatórios
- É aplicado em diferentes áreas da física para resolver diferentes problemas
- Em Física de Altas Energias é usado em grande escala
 - Geração de eventos
 - Simulação de detectores

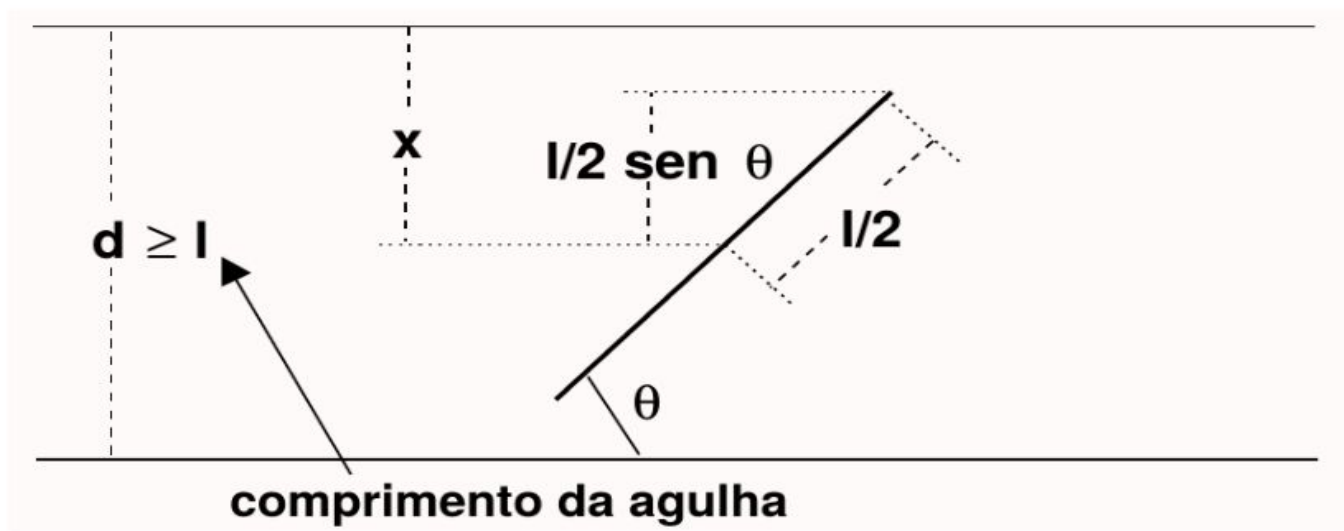
Histórico

- Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon
- Cientista francês do século XVIII
- Determina o valor de π através de lançamentos aleatórios de uma agulha



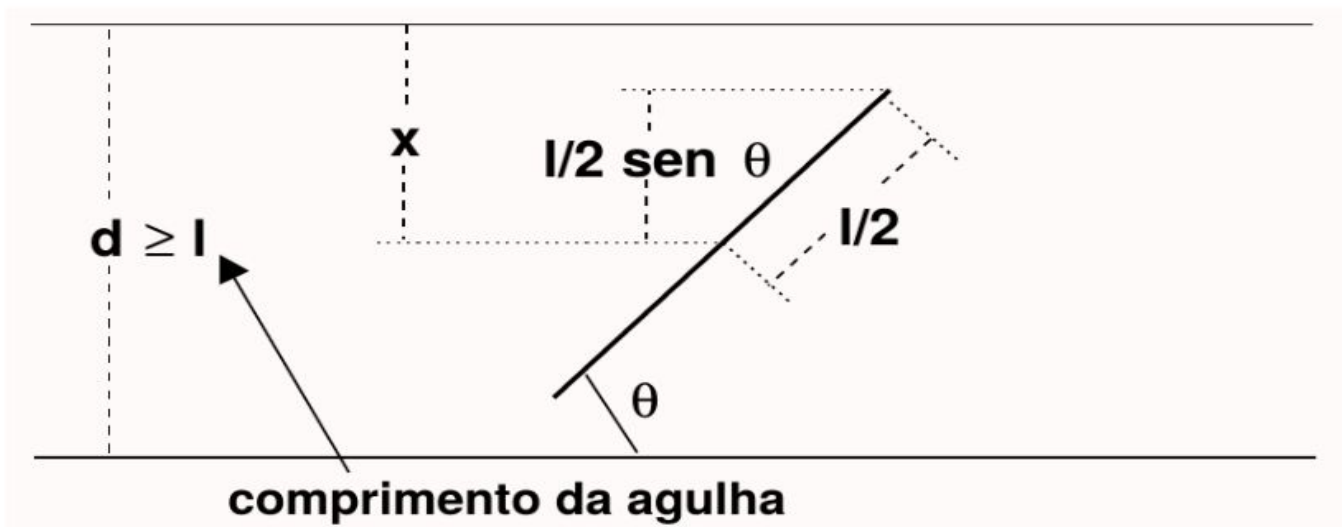
Histórico – O Experimento de Buffon

- Determinar o valor de π a partir do lançamento de uma agulha de comprimento l sobre um folha de papel, onde foram traçadas linhas



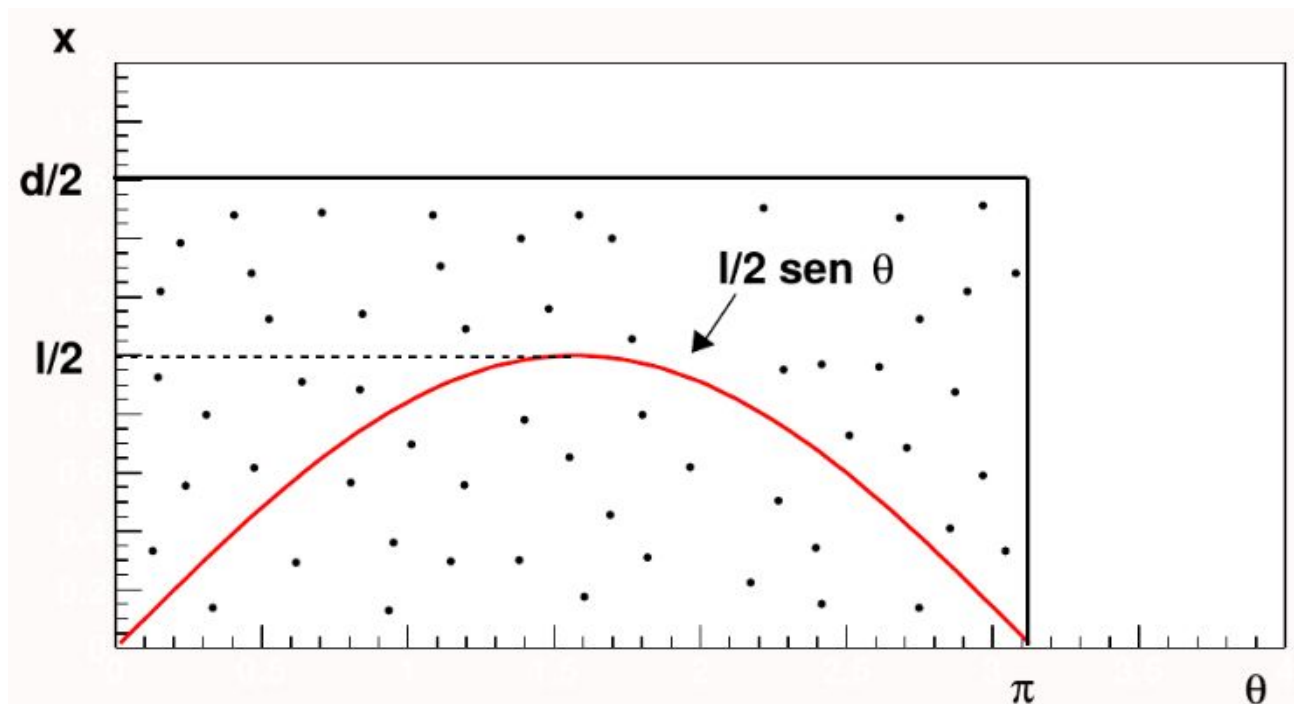
Histórico – O Experimento de Buffon

- x e θ configuram a posição espacial da agulha
- logo lançamentos da agulha são como sortear valores aleatórios de x e θ
- A agulha só interceptará alguma linha se: $x \leq (\ell/2) \sin\theta$



Histórico – O Experimento de Buffon

- Espaço de configuração:



Histórico – O Experimento de Buffon

- Probabilidade, *a priori*, de a agulha interceptar alguma linha:

Histórico – O Experimento de Buffon

- Probabilidade, *a priori*, de a agulha interceptar alguma linha:

$$p = \frac{I}{A}$$

Histórico – O Experimento de Buffon

- Probabilidade, *a priori*, de a agulha interceptar alguma linha:

$$p = \frac{I}{A} = \frac{2 \ell}{\pi d}$$

Histórico – O Experimento de Buffon

- Probabilidade, *a priori*, de a agulha interceptar alguma linha:

$$p = \frac{I}{A} = \frac{2 \ell}{\pi d}$$

- Probabilidade, *a posteriori*, de a agulha interceptar alguma linha:

$$p =$$

Histórico – O Experimento de Buffon

- Probabilidade, *a priori*, de a agulha interceptar alguma linha:

$$p = \frac{I}{A} = \frac{2 \ell}{\pi d}$$

- Probabilidade, *a posteriori*, de a agulha interceptar alguma linha:

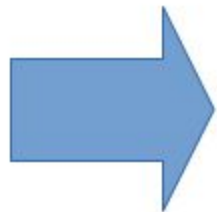
$$p = m/N$$

onde **m** é o número de intercepções em **N** lançamentos

Histórico – O Experimento de Buffon

- logo:

$$\frac{2 \ell}{\pi d} = \frac{m}{N}$$

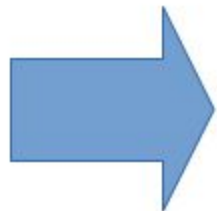


$$\pi = \left(\frac{2N}{m} \right) \left(\frac{\ell}{d} \right)$$

Histórico – O Experimento de Buffon

- logo:

$$\frac{2 \ell}{\pi d} = \frac{m}{N}$$



$$\pi = \left(\frac{2N}{m} \right) \left(\frac{\ell}{d} \right)$$

Sugestão: Estimar π para $N = 10, 50, 100, 1000$

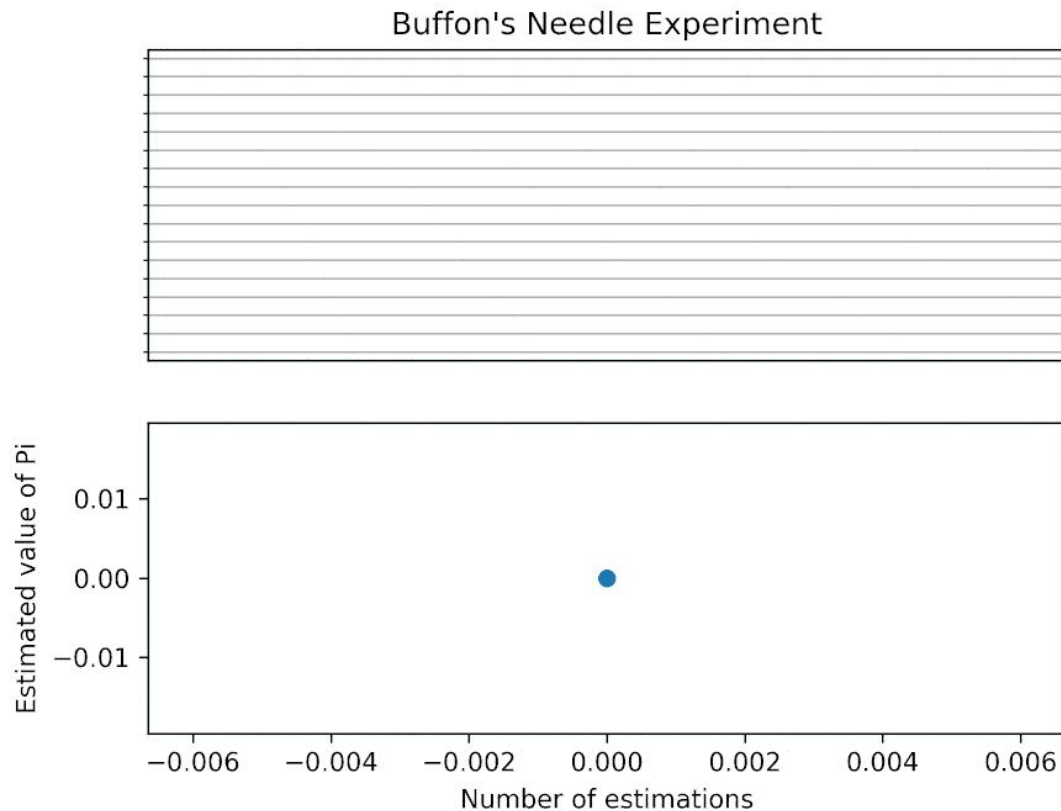
Histórico – O Experimento de Buffon

- Testando:

<https://mste.illinois.edu/activity/buffon/#simulation>

Histórico – O Experimento de Buffon

- Testando:



Histórico

- Durante a Segunda Grande Guerra Stanisław Ulam estudou a possibilidade de utilizar o método da simulação durante seu trabalho com armas nucleares em Los Alamos
- O nome do método vem do Monte Carlo Cassino, onde o tio de Ulam perdia dinheiro em jogos de apostas



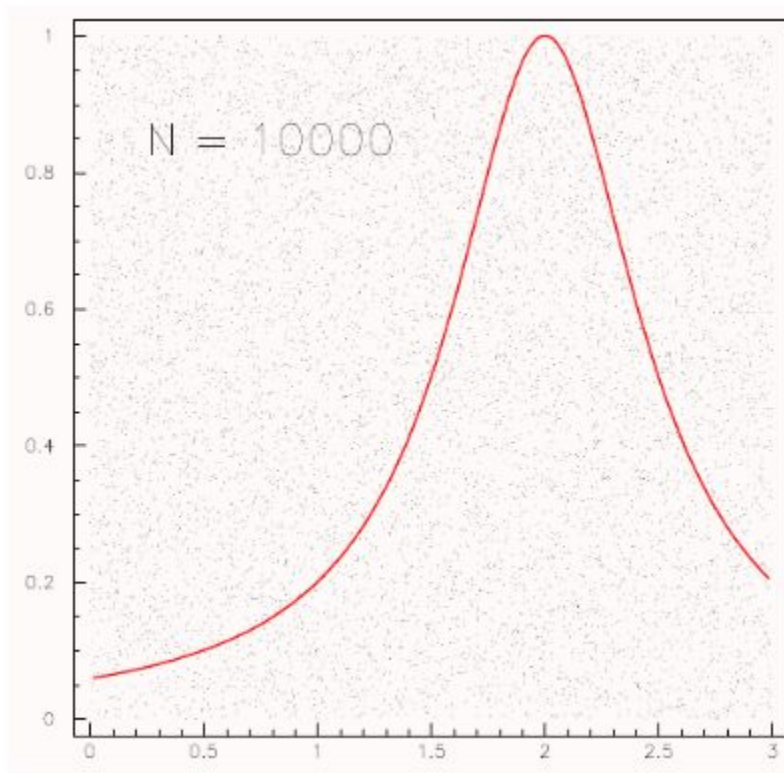
Método da Rejeição Simples

- Obter uma distribuição de números aleatórios segundo uma dada função $f(x)$
- Pode ser encarado como uma sequência de tentativas de acertar um alvo, a partir de disparos aleatórios distribuídos uniformemente em uma região
- A condição para que um ponto genérico (x,y) esteja na região limitada pela curva $f(x)$ é dada por:

$$y \leq f(x)$$

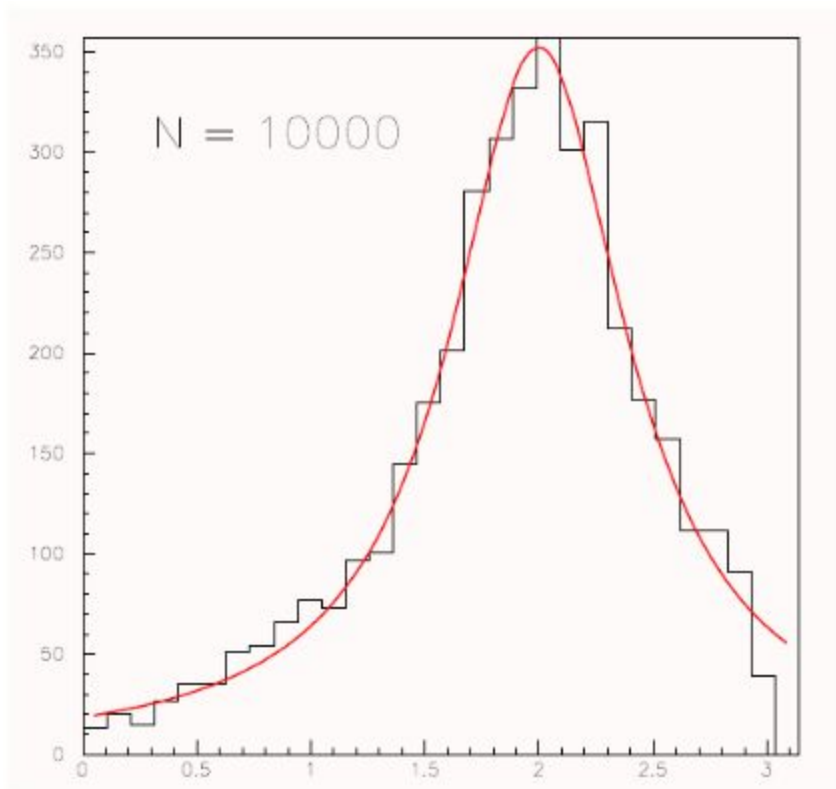
Método da Rejeição Simples

- Um exemplo:



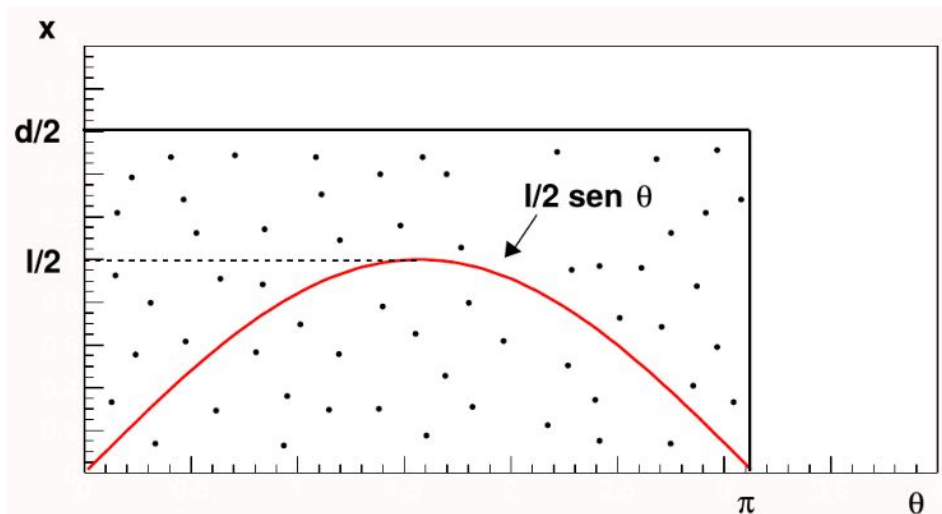
Método da Rejeição Simples

- Um exemplo:



Algumas Aplicações Simples

- Cálculo de integrais
 - Pode ser usado o método de rejeição simples
 - Uma integral definida nada mais é do que o cálculo de uma área
 - Por exemplo:



Algumas Aplicações Simples

- Cálculo de integrais

- Calcular a área da função $f(x) = (l/2)\text{sen}(\theta)$ no intervalo de 0 a π
- Podemos gerar pontos aleatórios genéricos (x,y)
- A partir do teste de rejeição simples, aceitamos os m pontos abaixo da curva, após N lançamentos
- Semelhante ao problema de Buffon, o valor da integral definida será dado por:

$$I = A \frac{m}{N}$$

onde A é a área do retângulo definido previamente

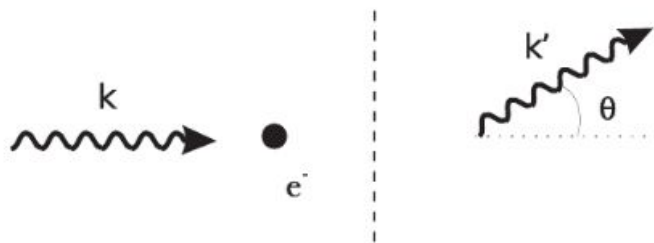
Algumas Aplicações Simples

- Cálculo de integrais

Sugestão: Fazer um programa que resolva integrais definidas usando o método

Algumas Aplicações Simples

- Geração de Eventos
 - **Espalhamento Compton**



$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{2m^2} \left(\frac{k'}{k} \right)^2 \left(\frac{k'}{k} + \frac{k}{k'} - \sin^2 \theta \right)$$

$$k' = \frac{k}{1 + (k/m)(1 - \cos \theta)}$$

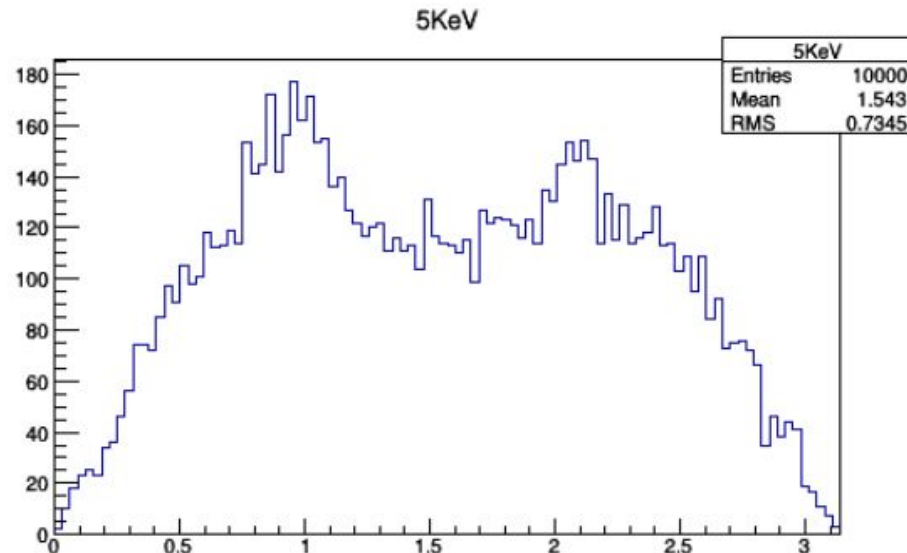
Algumas Aplicações Simples

○ Espalhamento Compton

```
1  #include "TMath.h"
2  #include <iostream>
3  #include "TRandom.h"
4  #include "TH1.h"
5  #include <math.h>
6
7  using namespace std;
8  Double_t m = 0.511;
9  Double_t k;
10 Int_t nexp = 10000;
11 Int_t cont = 0;
12
13 ///////////////////////////////////////////////////  usar o método da rejeição  ///////////////////////////////////////////////////
14 ///////////////////////////////////////////////////  f(x) = (((1/(1+0.01*(1-cos(x))))^2)*(((1/(1+0.01*(1-cos(x))))+(1+0.01*(1-cos(x)))-sin(x)*sin(x))*sin(x)))*sin(x)  ///////////////////////////////////////////////////
15 ///////////////////////////////////////////////////
16
17 void theta() {
18
19     TFile f("histo2.root", "recreate");
20     TH1D * h1 = new TH1D("5KeV", "5KeV", 100, 0, 3.141);
21
22     for (Double_t j = 0; j < nexp; j++) {
23         //
24         for (Double_t i = 0; i < 1200; i++) {
25             Double_t zz = 1.076*(gRandom->Rndm());
26             Double_t x = 3.14*(gRandom->Rndm());
27             if (zz <= ((pow((1/(1+0.01*(1-cos(x))))), 2))*(((1/(1+0.01*(1-cos(x))))+(1+0.01*(1-cos(x)))-sin(x)*sin(x))*sin(x))*sin(x)) {i-1200;}
28         }
29         h1->Fill(x);
30     }
31
32     h1->Write();
33
34     cout << cont << endl;
35     cont = cont + 1;
36 }
37
38
```

Algumas Aplicações Simples

- Geração de Eventos
 - **Espalhamento Compton**



Algumas Aplicações Simples

- Geração de Eventos
 - **Espalhamento Compton**

Sugestão: Refazer o programa, testar diferentes valores de energia e números de eventos. Comparar com outras predições teóricas.

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Pythia8
- Simulação Vs Realidade
- O Evento
- Estrutura da Geração de Eventos
- Saída



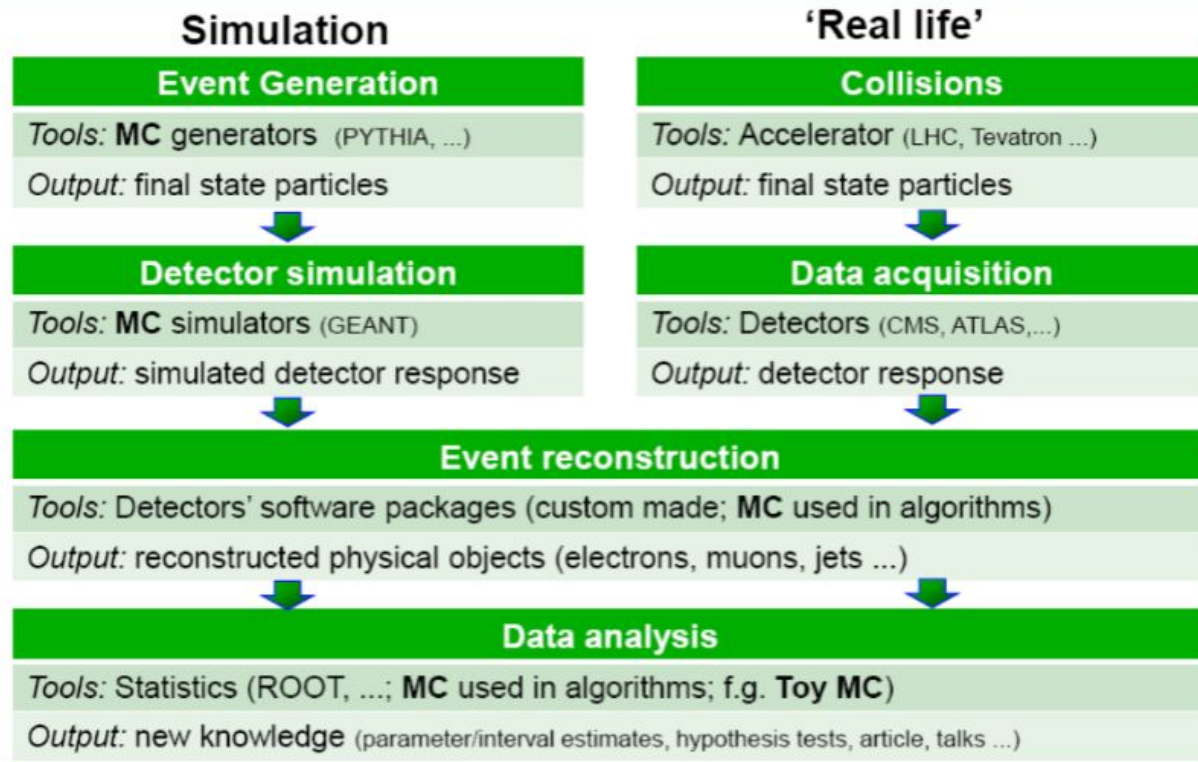
Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Pythia8
 - Um dos geradores mais completos e mais utilizados em Física de Altas Energias
 - Vem de uma longa história desde a década de 70
 - Pode ser associado com outros geradores: Herwig, SHERPA, FPMC...



Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

Simulation Vs Reality



Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento



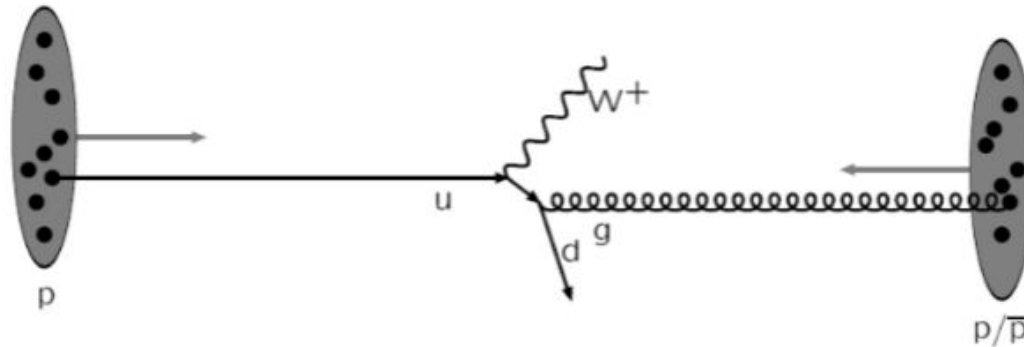
Two beams coming in towards each other. Each particle is characterized by a set of parton distribution function, which defines the partonic substructure in terms of flavor composition and energy sharing.

Incoming beams: parton densities

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento

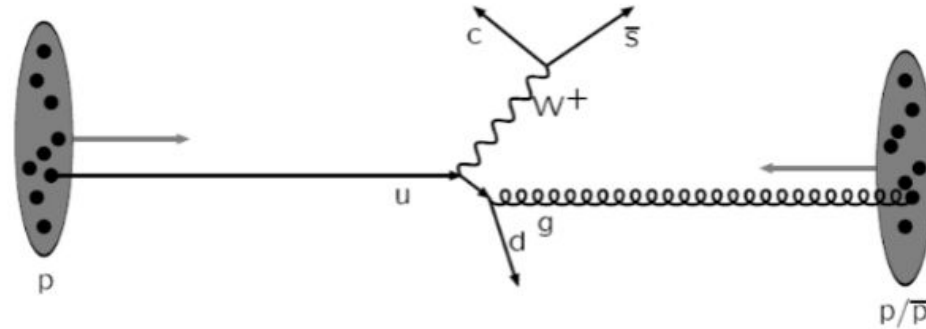
One incoming parton from each of the two showers enters the hard process, where then a number of outgoing partons are produced, usually two. It is the nature of this process that determines the main characteristics of the event.



Hard subprocess: described by matrix elements

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento

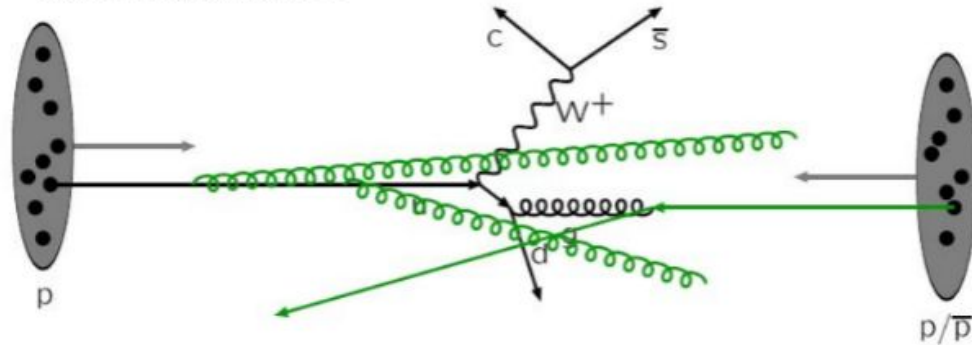


Resonance decays: correlated with hard subprocess

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento

One shower initiator parton from each beam starts off a sequence of branchings such as $q \rightarrow qg$, which build up an **initial-state shower**.

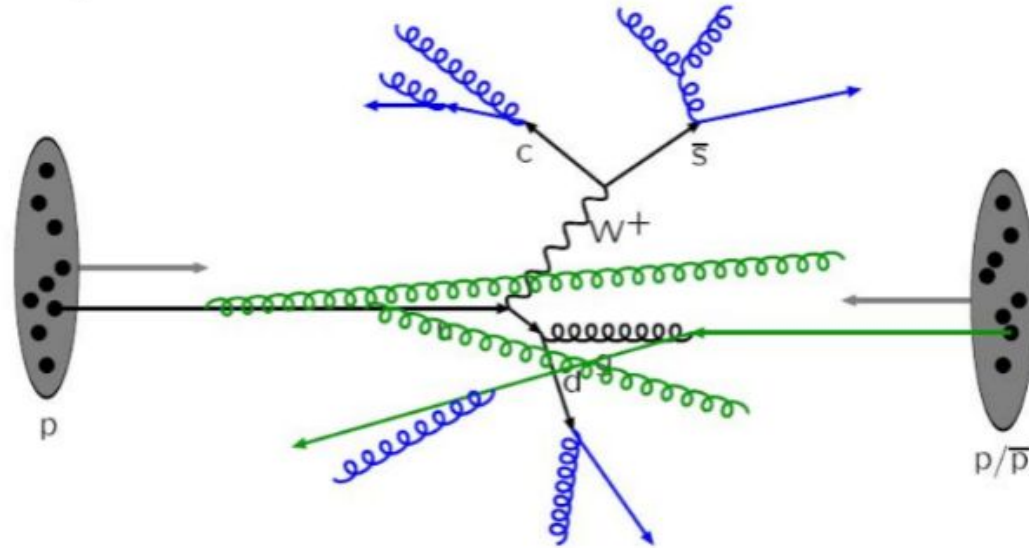


Initial-state radiation: spacelike parton showers

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

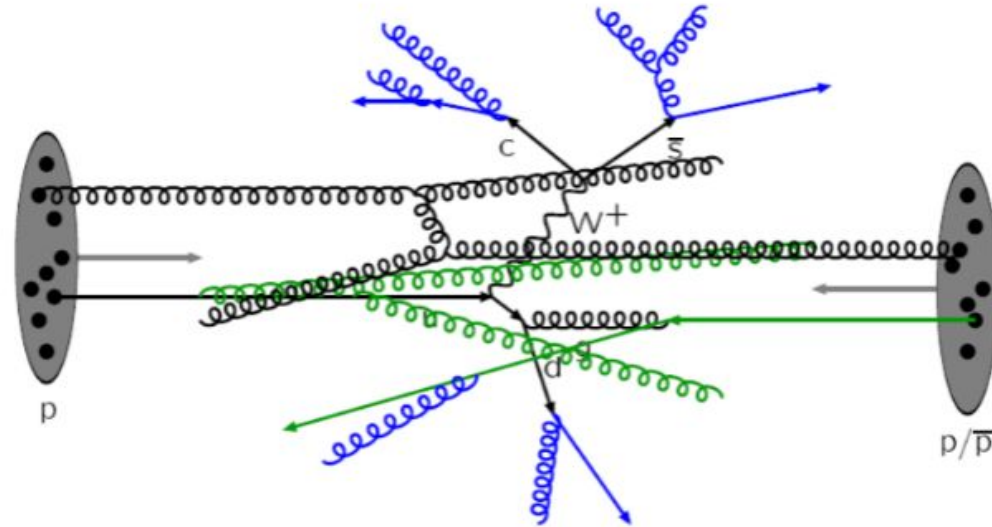
- O Evento

Also the outgoing partons may branch (multiple interactions), to build up final-state-showers



Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento

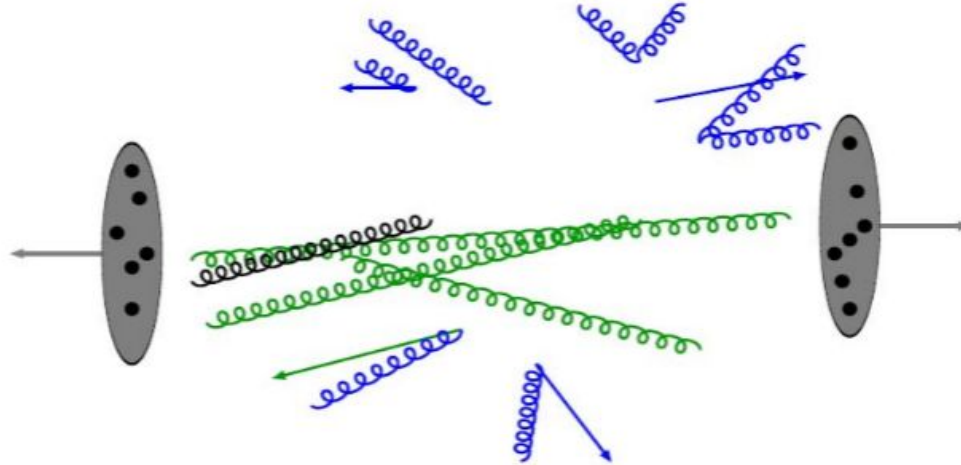


Multiple parton-parton interactions ...

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento

When a shower initiator is taken out of a beam particle, a beam remnant is left behind. This remnant may have an internal structure, and a net color charge that relates it to the rest of the final state.

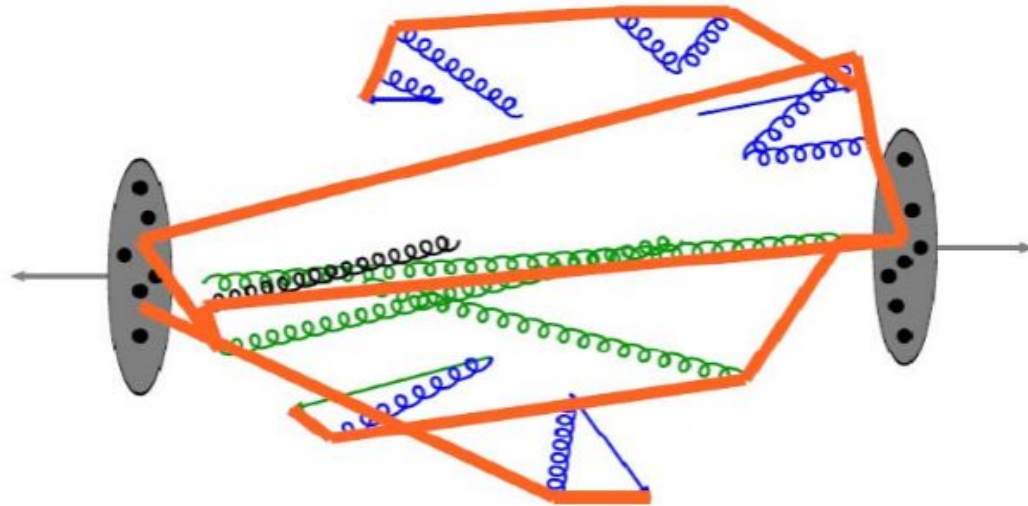


Beam remnants and other outgoing partons

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento

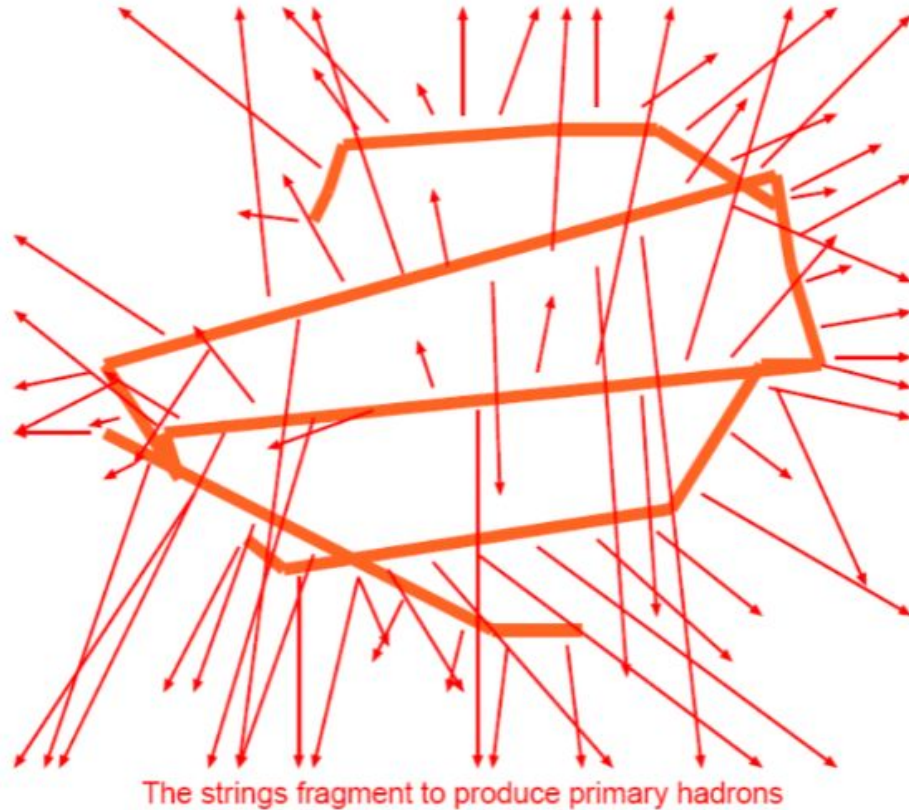
The QCD confinement mechanism ensures that the outgoing quarks and gluons are not observable, but instead fragment to color neutral hadrons.



Everything is connected by colour confinement strings
Recall! Not to scale: strings are of hadronic widths

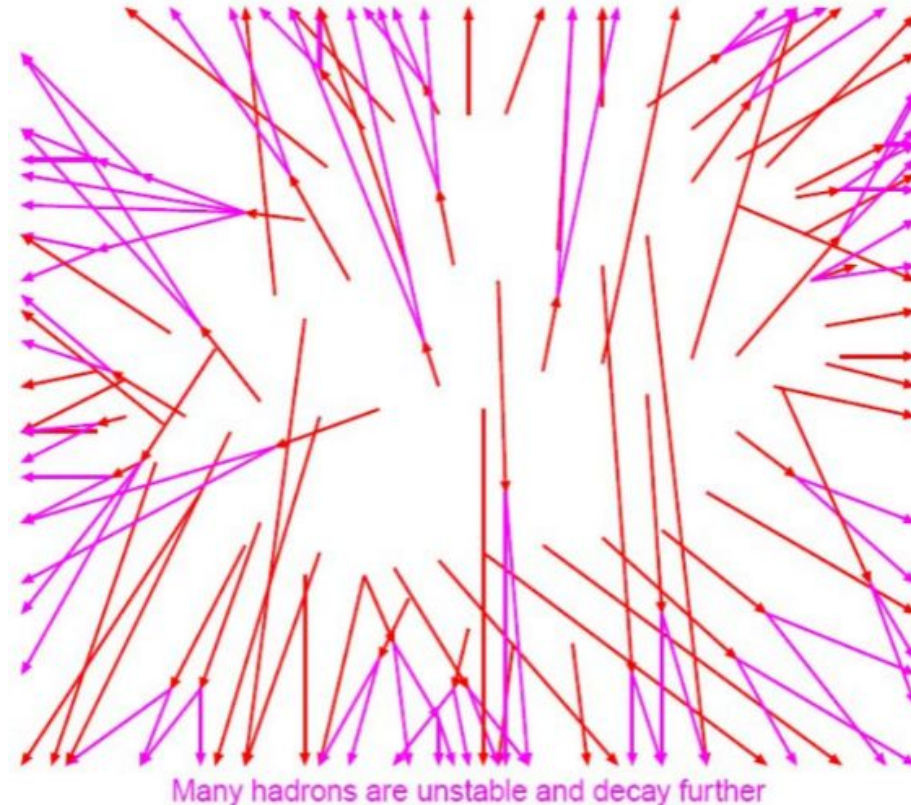
Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento



Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- O Evento



Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Estrutura da Geração de Eventos

- **Initialization step**

- Select process to study
 - Modify physics parameters
 - Set kinematic constraints
 - Modify generator settings
 - Initialize generator
 - Book histograms

- **Generation loop**

- Generate one event at a time
 - Analyze it
 - Add results to histograms

- **Finishing step**

- Print cross-sections/BR
 - Print/save histograms

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Saída:
 - Informações como a cadeia de decaimento, Id, status, momentos, energia...
 - Diversos tipos de formato:
 - LHE
 - HepMC
 - ROOT
 - ...

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Saída:
 - Exemplo de LHE

```
<event>
  12   81  1.000000E+00  1.733125E+02  7.819848E-03  1.156692E-01
    2   -1   0   0  101   0  0.0000000000E+00  0.0000000000E+00  1.0838163607E+02  1.0838163607E+02  0.0000000000E+00  0. 9.
   -2   -1   0   0   0  102  0.0000000000E+00  0.0000000000E+00 -2.7976111253E+02  2.7976111253E+02  0.0000000000E+00  0. 9.
    6    2    1    2  101   0  3.3629095553E+01  8.9115695965E+00 -1.1059648961E+02  2.1241781824E+02  1.7798711709E+02  0. 9.
   -6    2    1    2   0  102 -3.3629095553E+01 -8.9115695965E+00 -6.0782986840E+01  1.7572493036E+02  1.6116559038E+02  0. 9.
   24    2    3    0   0   0 -3.0884654830E+01 -1.2140252163E+01 -4.7852784957E+00  8.6623320800E+01  7.9871479200E+01  0. 9.
    5    1    3    0  101   0  6.4513750383E+01  2.1051821759E+01 -1.0581121112E+02  1.2579449744E+02  4.8000000000E+00  0. 9.
  -24    2    4    0   0   0 -5.0940382043E+01  3.4880802250E+01 -7.5291578188E+01  1.2621743906E+02  8.0314552164E+01  0. 9.
   -5    1    4    0   0  102  1.7311286490E+01 -4.3792371846E+01  1.4508591348E+01  4.9507491299E+01  4.8000000000E+00  0. 9.
   -1    1    5    0   0  103  1.8584463332E+01  9.1657242037E+00  1.8652036768E+01  2.7881896512E+01  3.3000000000E-01  0. 9.
    2    1    5    0  103   0 -4.9469118162E+01 -2.1305976366E+01 -2.3437315264E+01  5.8741424288E+01  3.3000000000E-01  0. 9.
   13    1    7    0   0   0  9.6912588119E+00  3.9074488577E+01 -2.5560060185E+01  4.7687147069E+01  1.0566000000E-01  0. 9.
  -14    1    7    0   0   0 -6.0631640855E+01 -4.1936863270E+00 -4.9731518002E+01  7.8530291993E+01  0.0000000000E+00  0. 9.
#pdf    2   -2  1.1059350620E-01  2.8547052299E-01  1.7331247164E+02  5.5300424188E-01  3.5718362666E-01
</event>
```

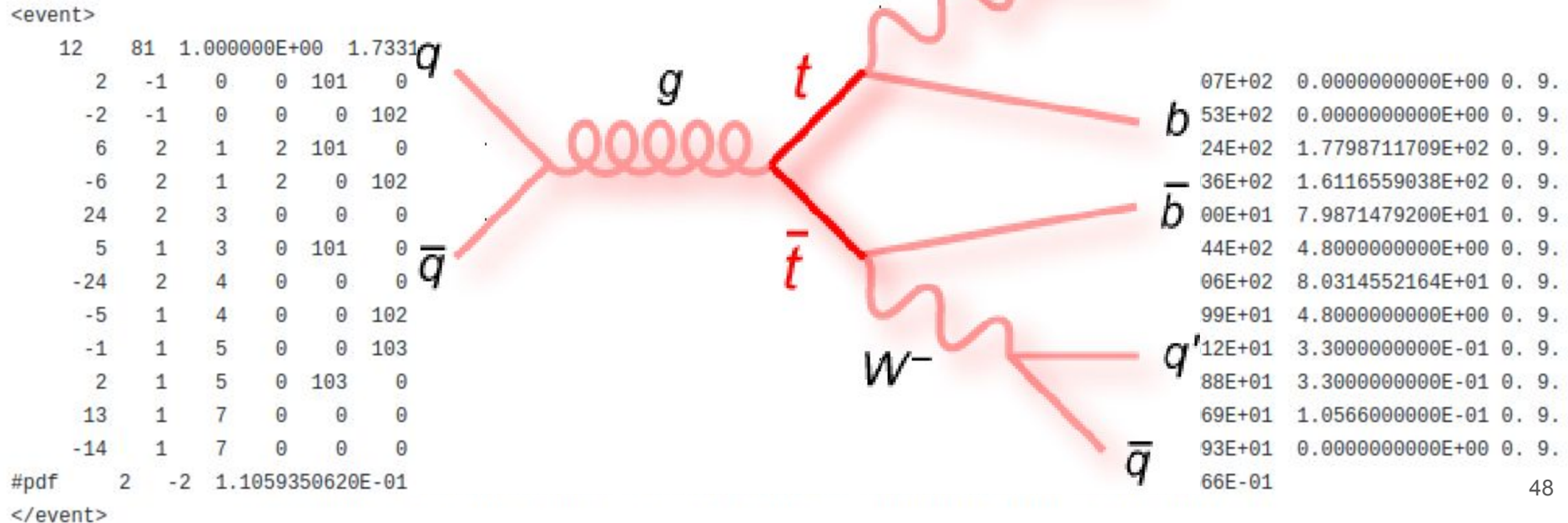
Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Saída:
 - Exemplo de LHE - ids <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Main/PdgId>

```
<event>
  12   81  1.000000E+00  1.733125E+02  7.819848E-03  1.156692E-01
    2   -1   0   0  101   0  0.0000000000E+00  0.0000000000E+00  1.0838163607E+02  1.0838163607E+02  0.0000000000E+00  0. 9.
   -2   -1   0   0   0  102  0.0000000000E+00  0.0000000000E+00 -2.7976111253E+02  2.7976111253E+02  0.0000000000E+00  0. 9.
    6    2    1    2  101   0  3.3629095553E+01  8.9115695965E+00 -1.1059648961E+02  2.1241781824E+02  1.7798711709E+02  0. 9.
   -6    2    1    2   0  102 -3.3629095553E+01 -8.9115695965E+00 -6.0782986840E+01  1.7572493036E+02  1.6116559038E+02  0. 9.
   24    2    3    0   0   0 -3.0884654830E+01 -1.2140252163E+01 -4.7852784957E+00  8.6623320800E+01  7.9871479200E+01  0. 9.
    5    1    3    0  101   0  6.4513750383E+01  2.1051821759E+01 -1.0581121112E+02  1.2579449744E+02  4.8000000000E+00  0. 9.
  -24    2    4    0   0   0 -5.0940382043E+01  3.4880802250E+01 -7.5291578188E+01  1.2621743906E+02  8.0314552164E+01  0. 9.
   -5    1    4    0   0  102  1.7311286490E+01 -4.3792371846E+01  1.4508591348E+01  4.9507491299E+01  4.8000000000E+00  0. 9.
   -1    1    5    0   0  103  1.8584463332E+01  9.1657242037E+00  1.8652036768E+01  2.7881896512E+01  3.3000000000E-01  0. 9.
    2    1    5    0  103   0 -4.9469118162E+01 -2.1305976366E+01 -2.3437315264E+01  5.8741424288E+01  3.3000000000E-01  0. 9.
   13    1    7    0   0   0  9.6912588119E+00  3.9074488577E+01 -2.5560060185E+01  4.7687147069E+01  1.0566000000E-01  0. 9.
  -14    1    7    0   0   0 -6.0631640855E+01 -4.1936863270E+00 -4.9731518002E+01  7.8530291993E+01  0.0000000000E+00  0. 9.
#pdf    2   -2  1.1059350620E-01  2.8547052299E-01  1.7331247164E+02  5.5300424188E-01  3.5718362666E-01
</event>
```

Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

- Saída:
 - Exen



Métodos de Monte Carlo na Física de Altas Energias

Referências

- Notas de aula do Professor Oguri
- Notas Técnicas CBPF-NT-001/01
- <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/talks/karlsruhe10a.pdf>