

## 1. Resumo

O exercício proposto consiste na busca de partículas estranhas, que são produzidas a partir de colisões entre partículas no acelerador LHC e medidas pelo experimento ALICE. Este exercício se baseia em reconhecer o decaimento típico dessas partículas, chamadas de  $V^0$ , como por exemplo,  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$  e  $\Xi \rightarrow \Lambda + \pi^-$  ( $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ ). A identificação dessas partículas estranhas é baseada na sua topologia de desintegração e na identificação dos produtos dessa desintegração; as informações da trajetória dessas partículas são usadas para calcular a massa invariante da partícula mãe e, assim, confirmar a identidade dessa partícula.

Nas seções seguintes, o experimento ALICE e seus objetivos são brevemente apresentados, assim como a motivação desta análise. A metodologia utilizada para a identificação das partículas estranhas e as ferramentas dessa metodologia serão apresentadas em detalhe; em seguida, o exercício é explicado passo a passo, assim como, a apresentação dos resultados. No final, a maneira de organizar os resultados é apresentada.

## 2. Introdução

ALICE (do inglês, *A Large Ion Collider Experiment* – Um Grande Experimento de Colisor de Íons), é um dos grandes experimentos do CERN LHC (do inglês, *Large Hadron Collider* - Grande Colisor de Hádrons), destinado ao estudo de colisões entre íons pesados. Ele também é destinado para o estudo da colisão entre prótons, que fornecem dados utilizados como referência para as colisões núcleo-núcleo. Além disso, os dados de colisões entre prótons também são úteis para os estudos específicos da física hadrônica de prótons. O detector ALICE foi concebido para lidar com a maior multiplicidade de partículas previstas em colisões entre íons pesados nas energias extremas do LHC.

## 3. A Física do ALICE

Os quarks estão presos nos prótons e nêutrons por uma força chamada de interação forte, que são mediadas por trocas de partículas mediadoras chamadas glúons. A interação forte também é responsável pela ligação entre prótons e nêutrons em núcleos atômicos.

Embora saibamos que quarks são partículas elementares que constituem todos os hádrons, nunca um quark isolado foi observado: os quarks, assim como os glúons, parecem estar permanentemente juntos e confinados em partículas como prótons e nêutrons. Esse fenômeno é conhecido como confinamento. O mecanismo exato que causa esse fenômeno ainda permanece desconhecido.

Ainda que a Física das interações fortes seja bem compreendida hoje, duas questões continuam não resolvidas: a origem do confinamento e o mecanismo que geram as massas dos quarks ligados. A resposta para ambas questões está relacionada à forma como a interação forte modifica as propriedades do vácuo.

A teoria atual da interação forte (chamada Cromodinâmica Quântica) prevê que em temperaturas e densidades muito altas, quarks e glúons se libertam das partículas que

eles compõem. E com isso, eles podem existir livres em um novo estado de matéria conhecido como o plasma de quarks e glúons.

Essa transição deve ocorrer quando a temperatura ultrapassa um valor crítico, estimado em torno de 100 000 vezes mais elevado que a temperatura do centro do Sol! Essas temperaturas só existiram na natureza no início da formação do Universo. Segundo a teoria do Big Bang, a temperatura do Universo estava durante alguns milionésimos de segundo acima do valor crítico e a toda a matéria do universo estava no estado de plasma de quarks e gluons.

Quando dois núcleos pesados se aproximam a uma velocidade próxima da luz e colidem, essas condições extremas de temperatura podem ser recriadas e os quarks e glúons são liberados. Os quarks e os glúons interagem entre si criando um ambiente em equilíbrio térmico: o plasma de quarks e glúons. Esse plasma se expande e se resfria à temperatura na qual quarks e glúons se agrupam para formarem a matéria comum ( $10^{12}$  graus) em, aproximadamente,  $10^{-23}$  segundos após o início da colisão. O ALICE estuda a formação e as propriedades desse novo estado da matéria.

#### **4. Aumento de produção da estranheza como indicação da formação do plasma de quarks e glúons**

O diagnóstico e o estudo das propriedades do plasma de quarks e glúons (PQG) podem ser realizados com a ajuda de quarks que não estão presentes na matéria que existe a nossa volta. Uma das assinaturas experimentais da existência do PQG se apoia na ideia do aumento na produção de estranheza. Essa foi uma das primeiras propostas para se observar o plasma de quarks e glúons, feita em 1980. Contrariamente aos quarks *up* e *down*, os quarks estranhos não são trazidos pelos núcleos que colidem. Portanto, todo quark ou anti-quark estranho observado na experiência é criado à partir das energias cinéticas dos núcleos em colisão. Como a massa dos quarks estranhos é da ordem de grandeza da temperatura na qual os prótons, nêutrons e outros hádrons se dissolvem em quarks, a abundância de quarks estranhos é sensível às condições, estrutura e dinâmica da fase da matéria não-confinada. Assim, uma produção elevada de quarks estranhos assinala que as condições de não-confinamento foram atingidas.

Na prática, o aumento da estranheza pode ser observado ao se contar o número de partículas estranhas, isto é, as partículas que contém ao menos um quark estranho, e ao se calcular a razão entre partículas estranhas e partículas não-estranhas. Se essa relação é superior àquela dada pelos modelos teóricos que não preveem a criação do PQG, o aumento é observado.

Para colisões entre íons de chumbo, o número de partículas estranhas é normalizado pelo número de nucleons que participam da colisão e comparado com essa mesma razão em colisões entre prótons.

#### **5. Partículas estranhas**

As partículas estranhas são hádrons contendo ao menos um quark estranho. Isto se caracteriza pelo número quântico “estranheza”. O méson estranho neutro mais leve é o  $K_S^0$  ( $d\bar{s}$ ) e o bárion estranho neutro mais leve é o  $\Lambda$  ( $uds$ ), da família dos hyperons.

Nós estudaremos a desintegração dessas partículas, por exemplo,  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ . Nessas desintegrações, o número quântico da estranheza não é conservado, porque os produtos da decomposição são unicamente compostos de quarks *up* e *down*. Consequentemente, não se trata da desintegração forte (que são muito rápidas, que ocorrem em um intervalo de tempo da ordem de  $10^{-23}$  segundos) mas de desintegrações fracas, onde a estranheza pode ser conservada ( $\Delta S = 0$ ) ou modificada em um unidade ( $\Delta S = 1$ ). Para essas desintegrações, a vida média  $\tau$  fica entre  $10^{-8}$  e  $10^{-10}$  segundos. Para as partículas com velocidades próximas a da luz, isso significa que a partícula se desintegra a uma distância (em média) de alguns centímetros do ponto de produção (do ponto de interação entre os prótons).

## 6. Como identificar as partículas estranhas

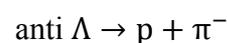
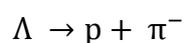
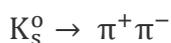
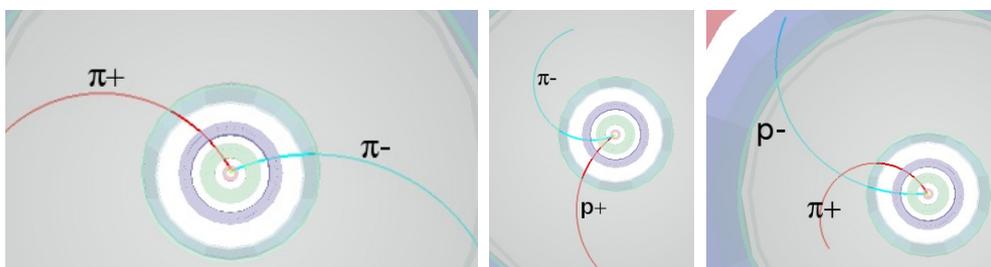
O objetivo deste exercício consiste na busca por partículas estranhas produzidas em colisões entre prótons no LHC e registradas pelo experimento ALICE.

Como mencionado na seção anterior, as partículas estranhas não sobrevivem muito tempo; elas se desintegram pouco após sua produção. No entanto, elas sobrevivem o suficiente para viajar alguns centímetros de distância do ponto de interação (PI), onde elas foram produzidas. Sua busca é baseada na identificação de seus produtos de desintegração, que devem provir de um vértice secundário comum.

As partículas estranhas neutras, como os  $K_S^0$  e  $\Lambda$ , se desintegram dando um padrão característico, chamado V0. A partícula mãe desaparece a alguns centímetros do ponto de interação e duas partículas de cargas opostas aparecem em seu lugar; sua trajetória é curvada em direções opostas pelo campo magnético do solenóide do ALICE.

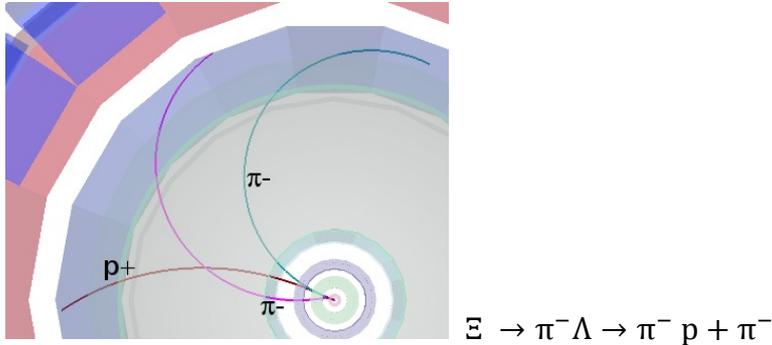
Na figura abaixo, os traços vermelhos indicam partículas de carga positiva; os traços verdes indicam partículas de carga negativa.

As desintegrações que nós procuramos são:



Nós vemos que para um estado final de dois píons, o padrão de decaimento é quase simétrico, enquanto para o estado final de um píon e um próton, o raio de curvatura do próton é maior que o do píon: devido à sua massa mais elevada, o próton transporta a maior parte do momento inicial.

Nós iremos buscar também as desintegrações em cascata de partículas estranhas carregadas, como as  $\Xi^-$ ; essa partícula se desintegra em  $\pi^-$  e  $\Lambda$ ; em seguida o  $\Lambda$  se desintegra em  $\pi^-$  e próton; o pión inicial se chama solteiro representado em roxo na figura.



A procura por VOs é baseada na topologia da desintegração e na identificação dos seus produtos; uma confirmação suplementar da identidade da partícula é o cálculo da sua massa; essa se faz utilizando as informações (massa e momento) dos produtos do decaimento como descrito na seção seguinte

## 7. Calculando a massa (invariante)

Consideramos acima o decaimento de um kaon ( $K^0$ ) neutro em dois píons carregados,  $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Seja  $E$ ,  $\mathbf{p}$  e  $m$  a energia total, o momento (vetor!) e a massa da partícula mãe ( $K^0$ );

Seja  $E_1$ ,  $\mathbf{p}_1$  e  $m_1$  a energia total, o momento e a massa da partícula filha de número 1 ( $\pi^+$ ) e  $E_2$ ,  $\mathbf{p}_2$  e  $m_2$  a energia total, o momento e a massa da partícula filha de número 2 ( $\pi^-$ ).

$$\text{Conservação de energia} \quad E = E_1 + E_2 \quad (1)$$

$$\text{Conservação de momento} \quad \mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 \quad (2)$$

$$\text{Da relatividade (assumindo } c=1) \quad E^2 = p^2 + m^2 \quad (3)$$

Onde  $p = |\mathbf{p}|$  é o comprimento ou magnitude do vetor momento  $\mathbf{p}$ . Isso também se aplica, naturalmente, para as partículas filhas:

$$E_1^2 = p_1^2 + m_1^2 \quad (4)$$

$$E_2^2 = p_2^2 + m_2^2 \quad (5)$$

Aqui  $p_1 = |\mathbf{p}_1|$  e  $p_2 = |\mathbf{p}_2|$  são comprimentos de  $\mathbf{p}_1$  e  $\mathbf{p}_2$ .

Das equações acima encontramos que:

$$m^2 = E^2 - p^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 - \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{p}_2 - 2 \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 \quad (6)$$

Onde introduzimos o produto escalar  $\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2$  de dois vetores  $\mathbf{p}_1$  e  $\mathbf{p}_2$ , que é a igual à soma dos produtos das componentes x, y e z dos dois vetores:

$$\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 = p_{1x} p_{2x} + p_{1y} p_{2y} + p_{1z} p_{2z} \quad (7)$$

$$\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_1 = p_{1x}^2 + p_{1y}^2 + p_{1z}^2 \quad (8)$$

$$\mathbf{p}_2 \cdot \mathbf{p}_2 = p_{2x}^2 + p_{2y}^2 + p_{2z}^2 \quad (9)$$

Portanto, da equação (6), temos:

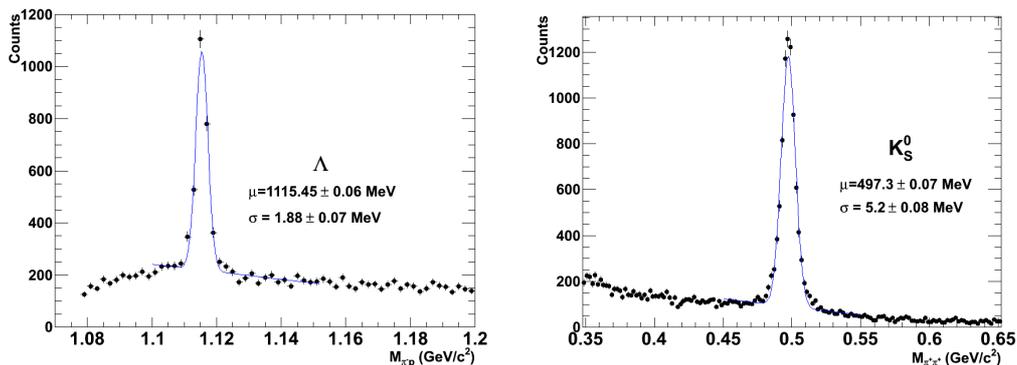
$$m^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 - p_1^2 - p_2^2 - 2 \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 = m_1^2 + m_2^2 + 2.E_1 E_2 - 2 \mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 \quad (10)$$

Assim, podemos calcular a massa da partícula inicial a partir da massa e das componentes do momento das partículas filhas.

A massa das partículas filhas  $m_1$  e  $m_2$  são conhecidas: diversos detectores ALICE identificam-nas.

O momento das partículas filhas  $p_1$  e  $p_2$  são medidos à partir do raio de curvatura da trajetória, devido ao campo magnético que é conhecido. No exercício, são usadas as três componentes do vetor momento associado a cada decaimento V0, como apresentado nas equações acima.

O cálculo da massa invariante apresenta tipicamente uma distribuição como apresentado na figura abaixo. A distribuição apresentada à esquerda corresponde ao cálculo da massa para o par píon-próton; o pico corresponde à partícula  $\Lambda$  e o contínuo é o ruído de fundo proveniente das combinações fortuitas de píons e prótons que parecem vir do mesmo vértice secundário ou que tenham sido identificados de forma errônea; a distribuição à direita corresponde ao cálculo da massa para o par píon negativo e positivo; o pico corresponde ao  $K_S^0$ .



## 8. As ferramentas e como usá-las

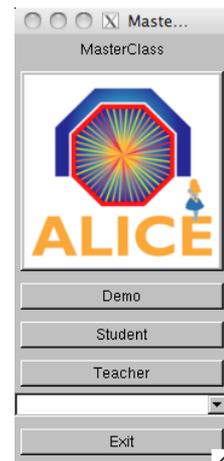
O exercício é realizado com o programa ROOT e uma versão simplificada do visualizador de eventos do ALICE. Em uma janela de linha de comando (terminal), que estará aberta em seu computador (assim você já estará no diretório apropriado para a execução da atividade), você deverá digitar: `root masterclass.C`. Uma pequena janela irá

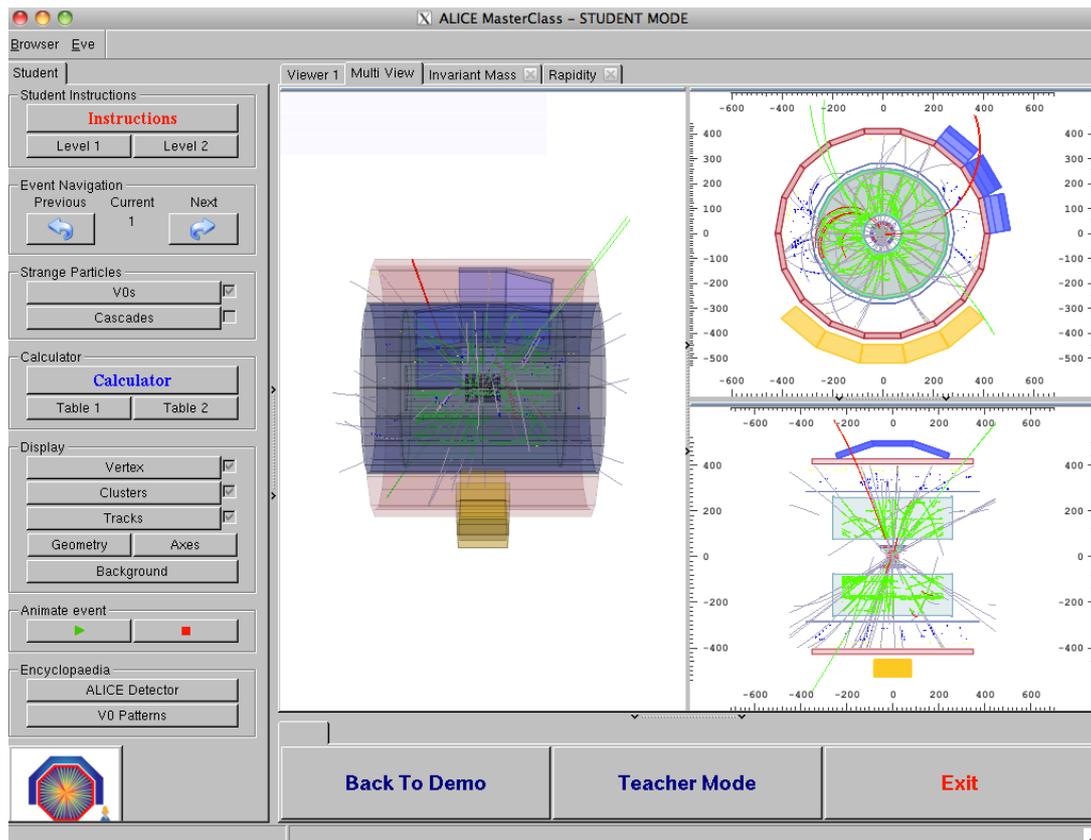
aparecer, como na figura. Essa janela irá oferecer três opções possíveis: modo de demonstração (*Demo*), modo estudante (*Student*) para análise dos eventos e modo professor (*Teacher*) para a coleta e combinação dos resultados.

O modo demonstração apresenta alguns exemplos de decaimento do  $K_s^0$ ,  $\Lambda$ , anti- $\Lambda$  e  $\Xi$ . A escolha do modo estudante (*Student*) para análise e a procura visual por V0s, abre uma janela como aquela mostrada na figura abaixo.

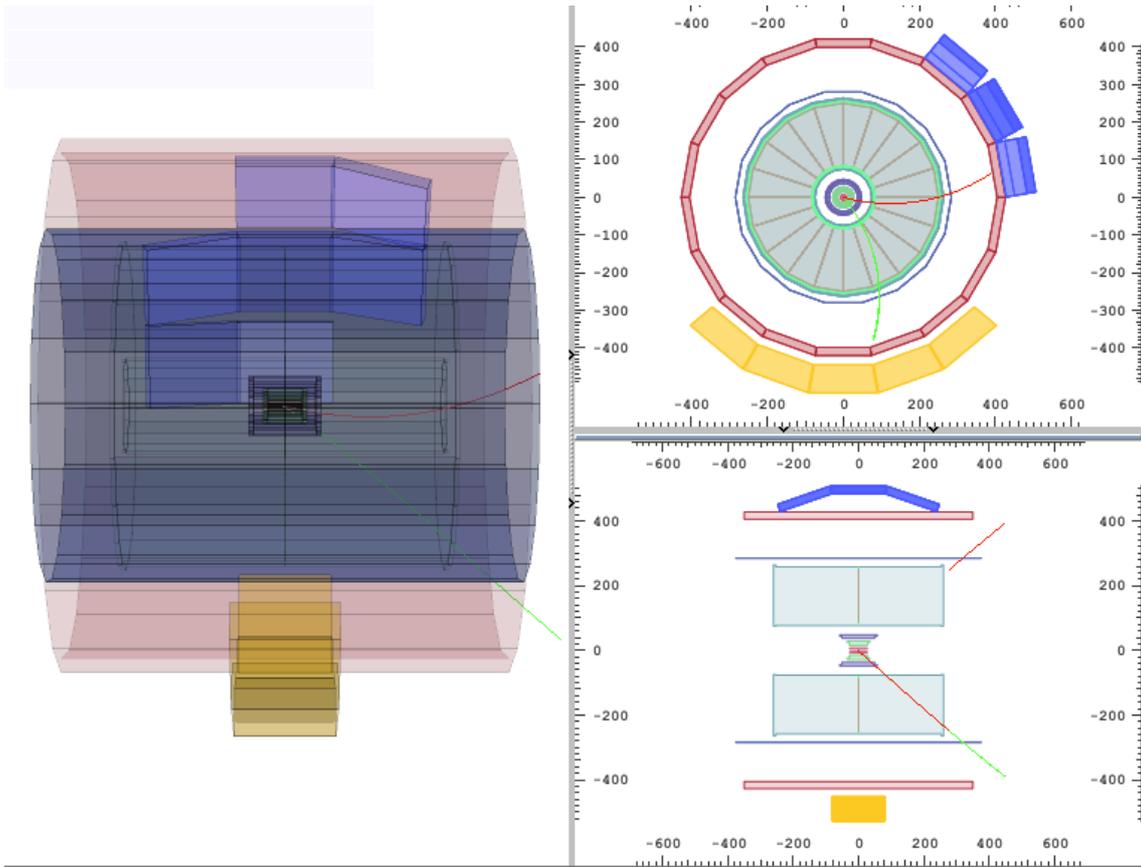
A coluna da esquerda oferece uma série de opções: Instruções (*Instructions*), Navegação de Eventos (*Event Navigation*), Buscador de V0s e Cascatas (*Cascades*), Calculadora (*Calculator*), seleção de tipos de exibição - trajetórias (*Tracks*), geometria do detector (*Geometry*)... Também há, na seção Enciclopédia (*Encyclopedia*), uma breve descrição do detector ALICE e seus componentes, assim como, exemplos de decaimentos V0 e de eventos de colisões entre íons de chumbo.

A tela mostra três pontos de vista do detector ALICE (tridimensional, projeção em  $r\phi$  e a projeção em  $rz$ ). Você pode selecionar a exibição da informação de cada evento. Se você clicar no ícone correspondente, poderá ver todos os pontos (*Clusters*) e trajetórias (*Tracks*) do evento; se você clicar no ícone buscador de V0 (e cascata), os V0s (e cascatas) serão destacados, caso eles existam. Uma vez encontrado um V0, as trajetórias (*Tracks*) e pontos que as compõem (*Clusters*) podem ser removidos da tela e somente as trajetórias associadas ao V0 são mostradas. A cor convencional para os traços de partículas positivas de V0 são vermelhas, enquanto os traços das partículas negativas, verdes. As partículas “solteiras” (*bachelors*) das cascatas são apresentadas na cor roxa.





Clicando em cada traço, os valores das componentes do momento e a massa da partícula (na verdade, o valor de massa mais provável segundo o algoritmo de identificação de partículas do ALICE) aparecem em uma pequena janela (à direita da figura seguinte). Essa informação pode ser copiada na calculadora, que faz o cálculo da massa invariante da partícula mãe, usando a fórmula que foi explicada na seção anterior.



Calculator Instructions

**Instructions**

Particle Table

Particle type	Mass [GeV/c <sup>2</sup> ]
Electron	0.000511
Pion	0.139
Neutral Kaon	0.497
Proton	0.938
Lambda	1.115
Charged Xi	1.321

Calculator

	(-)	(+)	Bachelor
px	-2.2321	-0.62996	0
py	1.42168	0.592987	0
pz	-0.85757	0.094862	0
mass	0.13957	0.13957	0

Invariant Mass

0.494622

Rapidity

0

That's a Kaon!

That's a Lambdal

That's an Anti-Lambdal

That's a Xi!

Load

Save

Close

(-) Particle

MomentumX: [GeV/c]

-2.2321

MomentumY: [GeV/c]

1.42168

MomentumZ: [GeV/c]

-0.85757

Mass: [GeV/c<sup>2</sup>]

0.13957

Copy to calculator

Close

(+) Particle

MomentumX: [GeV/c]

-0.62996

MomentumY: [GeV/c]

0.592987

MomentumZ: [GeV/c]

-0.0948624

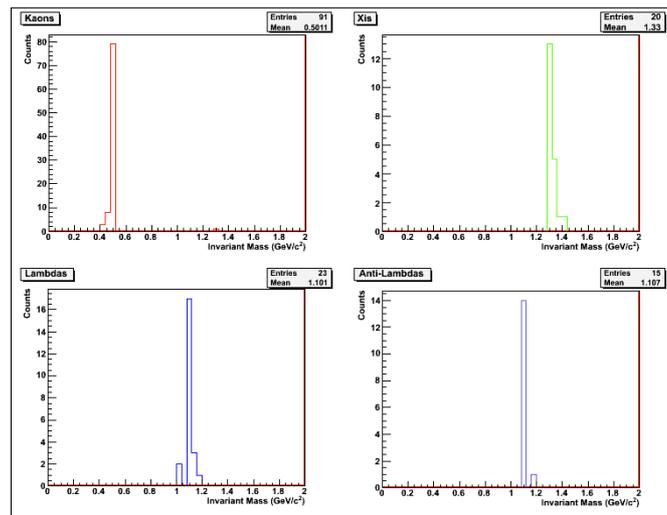
Mass: [GeV/c<sup>2</sup>]

0.13957

Copy to calculator

Close

O programa inclui, também, quatro histogramas de massa invariante (para  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ , anti- $\Lambda$  e  $\Xi$ ). Após inspecionar cada decaimento V0, você pode identificar os produtos do decaimento da partícula mãe e o valor da massa invariante (uma tabela de referência com as massas de algumas partículas são dadas na calculadora, como mostra a figura acima). Em seguida, você deve pressionar o botão “Isto é um Kaon” (*That’s a Kaon*), “Isto é um Lambda” (*That’s a Lambda*), etc. Dessa forma, você estará adicionando uma entrada no histograma correspondente. Os histogramas de massa invariante podem ser exibidos clicando na aba "Massa Invariante" (*Invariant Mass*), logo acima da tela de eventos. Para atualizar os conteúdos você deverá clicar no interior de cada histograma



## 9. O exercício – Analisar eventos e encontrar os hádrons estranhos.

A parte de análise consiste em identificar e contar as partículas estranhas em uma dada amostra, contendo na ordem de 30 eventos. Quando iniciar o exercício, você deverá clicar no modo estudante (*Student*) e selecionar o evento que você quer analisar. Atualmente, existem 6 amostras diferentes de eventos com dados de colisões próton-próton à 7 TeV de energia no centro de massa.

Ao observar cada um desses eventos na tela, clicando inicialmente nos botões para ver os pontos (*Clusters*) e trajetórias (*Tracks*), você notará a complexidade desses eventos e o elevado número de trajetórias produzidas pelas colisões dentro dos detectores. A maioria dessa trajetórias correspondem a píons.

Ao clicar em "V0" e "Cascatas" (*Cascades*), as trajetórias do decaimento V0, quando houverem, e os decaimentos em cascata, quando houverem, aparecerão em destaque. Ao clicar em cada trajetória, você irá obter as informações sobre elas: a carga, as três componentes do vetor momento e a massa mais provável para a partícula associada à essa trajetória. Estas informações proveem de diferentes detectores usados para a identificação de partículas. Dos produtos do decaimento, você pode inferir qual é a partícula mãe; para confirmar isso, você deverá calcular a massa invariante como descrito na seção 7 e comparar os valores com os apresentados na tabela de sua calculadora.

Se a massa é  $497 \text{ MeV} \pm 13 \text{ MeV}$  (no intervalo  $[484, 510] \text{ MeV}$ ) é um Kaon;

Se a massa é  $1115 \text{ MeV} \pm 5 \text{ MeV}$  (no intervalo  $[1110, 1120] \text{ MeV}$ ) e as partículas filhas são um próton e um pión negativo, então é um Lambda.

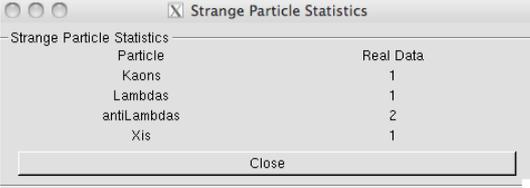
Se a massa é  $1115 \text{ MeV} \pm 5 \text{ MeV}$  (no intervalo  $[1110, 1120] \text{ MeV}$ ) e as partículas filhas são um anti-próton e um pión positivo, então é um anti-Lambda.

Para o decaimento cascata, se a massa calculada pelos 3 caminhos é  $1321 \pm 10 \text{ MeV}$  (em um intervalo  $[1311, 1331] \text{ MeV}$ ) então é um  $\Xi$ .

Dependendo do resultado que você encontrar, clique no “Isto é um Kaon” (*That’s a Kaon*), “Isto é um Lambda” (*That’s a Lambda*), etc. Dessa forma, é adicionada essa entrada no histograma correspondente da massa invariante. No entanto, pode ocorrer que não seja encontrado nenhum valor calculado de massa que corresponda com os valores acima. Isto é um evento de fundo (*background*), ou seja, as trajetórias parecem vir de um vértice secundário comum, mas neste caso, o vértice foi identificado erroneamente. Para os propósitos desse exercício, iremos ignorar esses V0s.

## 10. Apresentação dos resultados

Esta tabela representa o resumo dos resultados. A coluna da direita contém o número de  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ , anti- $\Lambda$  e  $\Xi$ , que você encontrou (lembre-se de que é preciso ter apertado o botão “Isto é um Kaon, Lambda, etc”).



Particle	Real Data
Kaons	1
Lambdas	1
antiLambdas	2
Xis	1

Você também pode olhar os histogramas de massa invariante e verificar o número de entradas para cada tipo de partícula. Quando você analisar todos os eventos de sua amostra de dados, salve os resultados em um arquivo seguindo as instruções do programa de análises.

## 11. Coleta de todos os dados

Selecionando a opção “Professor” (*Teacher*) no menu inicial do MasterClass, você pode coletar todos os resultados. Em “Controle do Professor” (*Teacher Controls*) você deve selecionar a opção “Pegue Arquivos” (*Get Files*) e obter, um a um, os arquivos com os resultados da análise de cada amostra de dados. Obviamente você precisará transferir os arquivos com os resultados, primeiro para o computador do professor! Em seguida, em “Resultados” (*Results*), você poderá observar a Tabela com todos os resultados.

## 12. Análise com estatística elevada

O visualizador de eventos é uma ferramenta poderosa que ajuda a verificar a qualidade dos dados, sua reconstrução e uma ideia de como os eventos se parecem. Entretanto, uma análise real não é feita visualmente - o que seria muito entediante e demorado. A fim de analisar milhões de eventos que são coletados diariamente no LHC, programas de computadores são utilizados e isso que você fará a fim de procurar por V0s em uma amostra grande de eventos.

Na janela de terminal, mude o diretório (através do comando `cd MasterClass_extended`) e digite `root MasterClassExtended.C`. No espaço "coloque seu nome aqui" (*put your name here*), coloque uma combinação de caracteres que formará o nome do arquivo de resultados. Escolha uma amostra de dados para analisar (atualmente existem 6 amostra de colisões pp a 7 TeV com 200 eventos cada); em seguida, escolha "Estudante" (*Student*) para prosseguir com a análise.

Em "Ferramentas de Análise" (*Analysis Tools*), você pode analisar 100 ou 2000 eventos e calcular a massa invariante de pares de partículas tais como  $\pi^+\pi^-$ . Você poderá ver que a massa invariante é uma distribuição contínua - isso porque os pares de píons combinados aleatoriamente, não vem de um vértice secundário comum e podem dar qualquer valor de massa. Isso é o fundo.

Ao prosseguir para a seleção de V0, somente pares vindos de um vértice secundário comum serão considerados; sua massa invariante é calculada a partir da informação das trajetórias e da massa dos produtos de decaimento identificados. Você pode selecionar  $K_S^0$  ou  $\Lambda$  (incluindo anti- $\Lambda$ ). Cada vez que a análise de todos os eventos na amostra terminar (observe o terminal atrás do menu), clique na tela com as distribuições de massa invariante para mostrar o histograma relevante.

A fim de encontrar o número de partículas de um certo tipo, por exemplo  $K_S^0$ , você precisa encontrar o número de eventos no pico depois da subtração do fundo. A fim de ajustar um curva (polinômio de segundo grau) ao fundo, você primeiro escolhe o intervalo do ajuste usando a barra e clicando em "Ajuste do Fundo" (*Fit background*). Quando você clica na tela, a função ajustada é super-imposta ao histograma e você pode verificar visualmente se o ajuste é razoável. Em seguida, você pode ajustar uma distribuição Gaussiana ao sinal, primeiro selecionando o intervalo do pico. Para a subtração do fundo, os coeficientes do polinômio de segundo grau são usados; clicando no histograma, você obtém o número total de eventos no pico, o número de eventos de fundo e aqueles com sinal, assim como o valor médio da Gaussiana (a massa da partícula) e sua largura.

A fim de guardar os histogramas, você primeiro deve selecionar o diretório onde os histogramas serão salvos (o padrão é "*teacher*") e em seguida o subdiretório: K0s (para Kaons), Lambda (para  $\Lambda$  e anti- $\Lambda$  juntos). Clicando em 1, 2, 3 ou 4, você salva o histograma mostrado no canto superior à esquerda, superior à direita, inferior à esquerda ou inferior à direita da tela, respectivamente.

Pode ser difícil ajustar os dados de 2000 eventos - será mais fácil com maior estatística uma vez que todos os resultados foram adicionados, como descrito na próxima seção.

### **13. Coleção de todos os resultados da análise com estatística elevada**

Escolha o modo Professor (*Teacher mode*) no menu "análise de larga escala" (*large-scale analysis*). A opção "Pegue os arquivos" (*Get Files*) funciona da seguinte maneira: clicando em "Professor" (*Teacher*), o diretório padrão, você pode escolher os subdiretórios para Kaons (K0s),  $\Lambda$  e anti- $\Lambda$  (Lambda). Uma vez que você selecionou o diretório onde você guardou os histogramas ("*teacher*" pode ser mudado para o diretório da sua escolha) e subdiretório, clique em 1, 2, 3 ou 4 - todos os arquivos de histogramas naquele diretório serão adicionados (a informação do número e tamanho dos arquivos de histogramas são mostrados na janela do terminal atrás do menu); quando você clica na tela, o histograma resultante será mostrado no canto superior esquerdo (1), superior

direito (2), inferior esquerdo (3) ou inferior direito (4) da tela.

A fim de encontrar o número total de partículas de um certo tipo siga o procedimento para o ajuste do fundo e do sinal como descrito na seção anterior.

#### **14. Cálculo da abundância de partículas**

Usando a informação que será dada a você após o término da análise (por exemplo, eficiência na reconstrução de trajetórias para cada tipo de partícula), calcule a abundância (número de partículas produzidas por interação) para cada tipo de  $V0$ .

#### **15. Esquema do exercício**

Análise visual

1. Veja exemplos de decaimentos de  $V0$  e descubra como usar as ferramentas (buscador de  $V0$ , calculadora, histogramas).
2. Analise visualmente uma amostra de 30 eventos com  $V0$ .
3. Adicione os resultados da análise de todos os grupos.

Análise com elevada estatística

4. Analise 2000 eventos /observe a distribuição de massa do fundo combinatório.
5. Analise 2000 eventos procurando por  $K_S^0$  / ajuste o fundo / ajuste o pico.
6. Analise 2000 eventos procurando por  $\Lambda$  e anti- $\Lambda$ / ajuste o fundo / ajuste o pico.
7. Adicione os resultados das análises de todos os grupos.