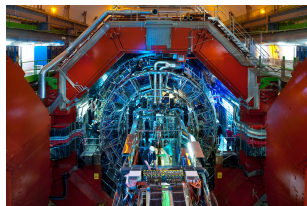


Hands On Session

Looking for strange particles in ALICE

Arlette Melo Galindo, Luis Díaz Calvo,
Sushanta Tripathy, Antonio Ortiz Velásquez

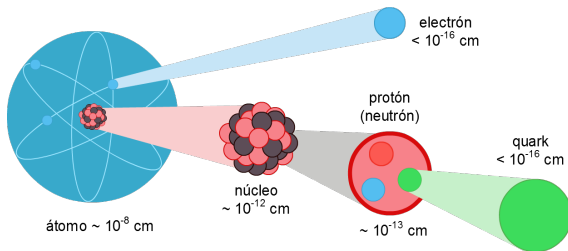


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El mundo microscópico

- 1 La física de partículas estudia a los bloques fundamentales de la materia.



- 2 La unidad de energía son los electron-voltios [eV],

$$1 \text{ eV} \simeq 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}.$$



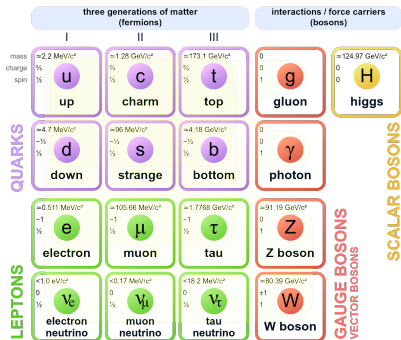
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El Modelo Estándar

- 1 Conjunto de teorías que describen a las partículas como las conocemos.

Standard Model of Elementary Particles



| Interacción | Partícula mediadora |
|---------------|-----------------------|
| Fuerte | gluón |
| Débil | bosones W^\pm y Z |
| Eléctrica | fotón |
| Gravitacional | gravitón (hipotética) |

\Rightarrow hadrones = baryones (qqq)
y mesones ($q\bar{q}$)

Imagen tomada de <https://cutt.ly/RzWg1ih>



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El mundo microscópico

- 1 Una forma de estudiar a las partículas elementales es **haciéndolas chocar**.



La vieja rutina 'físico de partículas bueno/físico de partículas malo'

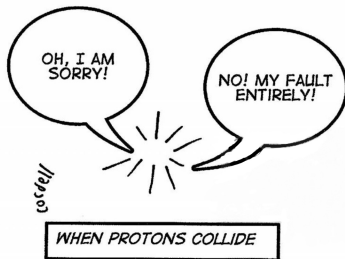


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El mundo microscópico

- 1 **La relatividad especial de A. Einstein** nos dice que ningún objeto en el universo puede desplazarse con a una velocidad igual o superior a la de la luz $c \simeq 3 \times 10^8$ m/s.
- 2 Por ejemplo, las partículas que colisionan con 7 TeV de energía, alcanzan el 99.9999991 % de la velocidad de la luz.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El Gran Colisionador de Hadrones (LHC)

El LHC, ubicado en la frontera entre Suiza y Francia, es un colisionador de hadrones. Tiene un radio de $\simeq 27$ km y 4 detectores principales.

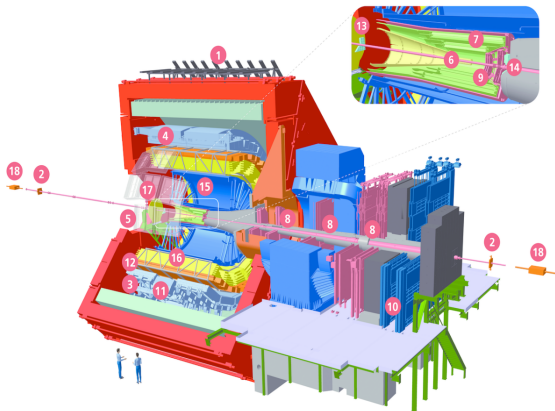


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El experimento ALICE

A Large Ion Collider Experiment (ALICE) es uno de los 4 experimentos del LHC. Incluye a más de 1800 científicos y científicas de más de 174 instituciones en 42 países.



- 1 ACORDE | ALICE Cosmic Rays Detector
- 2 AD | ALICE Diffractive Detector
- 3 DCal | Di-jet Calorimeter
- 4 EMCal | Electromagnetic Calorimeter
- 5 HMPID | High Momentum Particle Identification Detector
- 6 ITS-IB | Inner Tracking System - Inner Barrel
- 7 ITS-OB | Inner Tracking System - Outer Barrel
- 8 MCH | Muon Tracking Chambers
- 9 MFT | Muon Forward Tracker
- 10 MID | Muon Identifier
- 11 PHOS / CPV | Photon Spectrometer
- 12 TOF | Time Of Flight
- 13 T0+A | Tzero + A
- 14 T0+C | Tzero + C
- 15 TPC | Time Projection Chamber
- 16 TRD | Transition Radiation Detector
- 17 V0+ | Vzero + Detector
- 18 ZDC | Zero Degree Calorimeter



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Qué física busca ALICE?

- Estudio de **rayos cósmicos**.
- Estudio de la **Cromodinámica Cuántica** (teoría que describe a la interacción fuerte).
- **Búsqueda del plasma de quarks y gluones (QGP)**.

En esta sesión, estudiaremos un efecto que confirmaría la existencia del QGP: la presencia de partículas extrañas. Para motivar la discusión, recordemos el caso del **diagrama de fases del agua**.

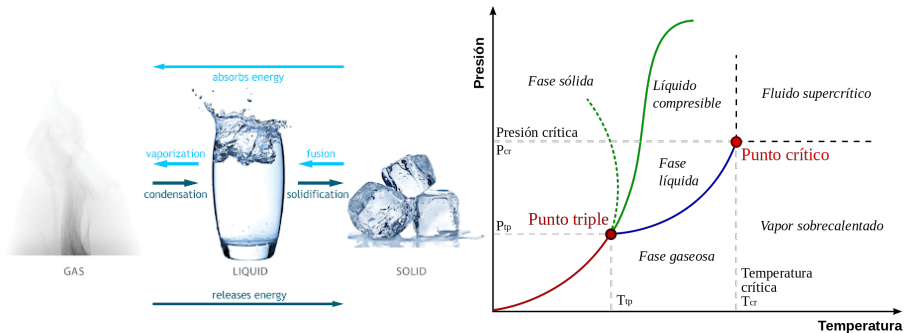


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El plasma de quarks y gluones

- 1 El agua presenta 3 fases, dependiendo de sus condiciones de temperatura y presión.

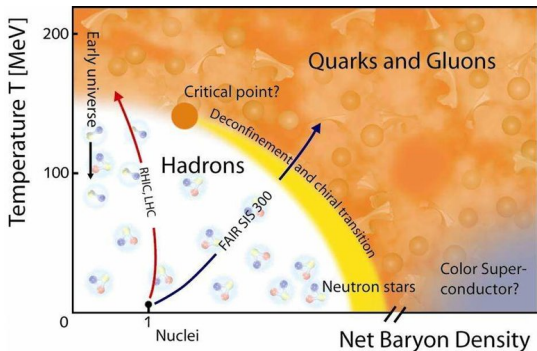


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El plasma de quarks y gluones (QGP)

- Lo mismo pasa con la materia nuclear. Dependiendo de su temperatura y **densidad bariónica**, puede estar confinada (estado hadrónico) o deconfinada (QGP).

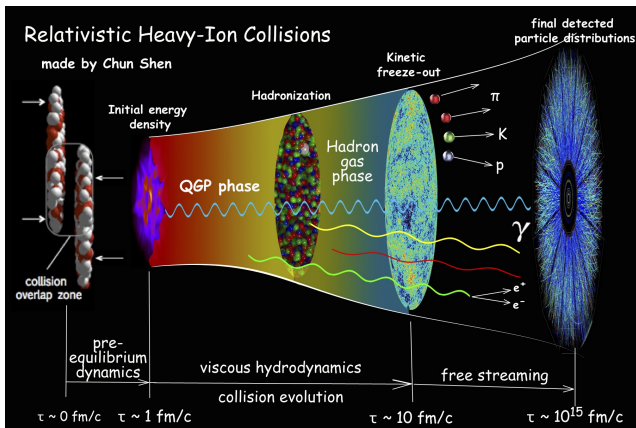


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El plasma de quarks y gluones

- 1 Se cree que se presenta en las primeras etapas una colisión de iones pesados.

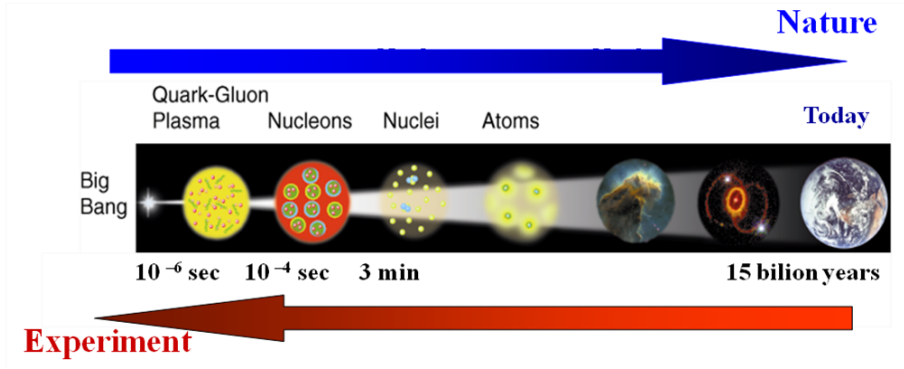


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



El plasma de quarks y gluones

- 1 Comprender al QGP en su totalidad permitiría entender la etapa temprana del Universo.

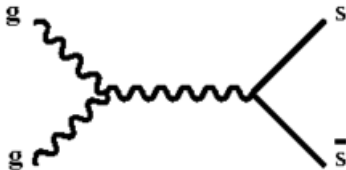


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Cómo hallar evidencia de la existencia del QGP?

- 1 ¿Cómo encontrar evidencia de la existencia del QGP?
- 2 A las temperaturas del QGP (~ 200 MeV), ocurren **fusiones de gluones**.
- 3 En particular, ocurre la fusión a un **par-antipar de quarks extraños** $s\bar{s}$.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Cómo encontrar evidencia de la existencia del QGP?

- En la etapa de hadronización, se forman las **partículas extrañas**: bariones o mesones con al menos un quark o antiquark extraño. También se conocen como **V0's** a los productos de los decaimientos.
- Algunas partículas extrañas son el mesón K_s^0 y los bariones Λ y $\bar{\Lambda}$.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Cómo encontrar evidencia de la existencia del QGP?

- Detectar una gran abundancia de partículas extrañas confirmaría que las condiciones del QGP fueron alcanzadas.



9 October 1997

PHYSICS LETTERS B

Physics Letters B 411 (1997) 225–229

Strangeness enhancement – a potential signature for QGP phase

V.K. Tiwari, C.P. Singh

Department of Physics, Banaras Hindu University, Varanasi 221 005, India

Received 2 July 1997

Editor: L. Montanet



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Cómo hallar evidencia de la existencia del QGP?: Partículas extrañas

- Sin embargo, no es posible detectar directamente partículas extrañas. Muchas son neutras (no son visibles a los PID).
- También tienen un tiempo de vida corta y decaen. Los decaimientos son bien conocidos.

$$K_s^0 \longrightarrow \pi^+ + \pi^- ,$$

$$\Lambda \longrightarrow p^+ + \pi^- ,$$

$$\bar{\Lambda} \longrightarrow p^- + \pi^+ ,$$

$$\Xi^- \longrightarrow \pi^- + \Lambda (\longrightarrow p + \pi^-) .$$



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Cómo hallar evidencia de la existencia del QGP?: Partículas extrañas

- Por ende, detectar a las partículas hijas de los decaimientos es una forma indirecta de detectar partículas extrañas.
- Eso es fácil porque los PID nos proporcionan la masa y energía de partículas con carga (como los piones π^\pm o el protón y antiprotón p^\pm).



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Cómo hallar evidencia de la existencia del QGP?: Partículas extrañas

- Basta encontrar una expresión de la masa en reposo de la partícula extraña en términos de los parámetros conocidos de las partículas extrañas.
- Es posible demostrar que la masa en reposo m de la partícula extraña es

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2E_1E_2 - 2\mathbf{p}_1\mathbf{p}_2,$$

donde m_1 y m_2 son las masas de las $V0$'s, p_1 y p_2 sus momentos y E_1 y E_2 sus energías.



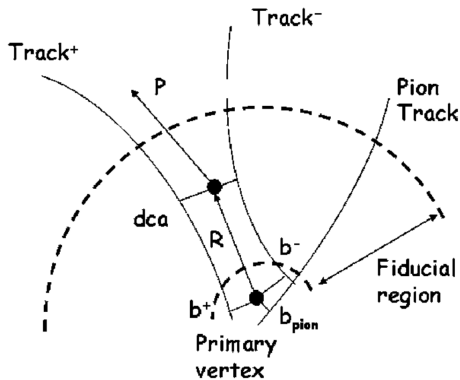
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Medición de la masa invariante de partículas extrañas

El momento de las partículas hijas se mide a partir del radio de curvatura R de los tracks de los decaimientos. Conocemos la carga q de los productos, y el campo magnético B . Esto permite usar la relación

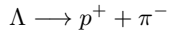
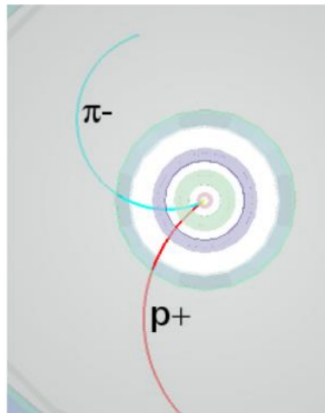
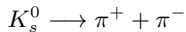
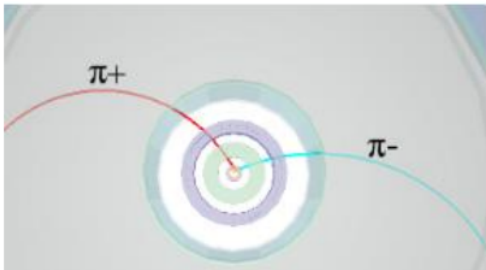
$$p = qBR.$$



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



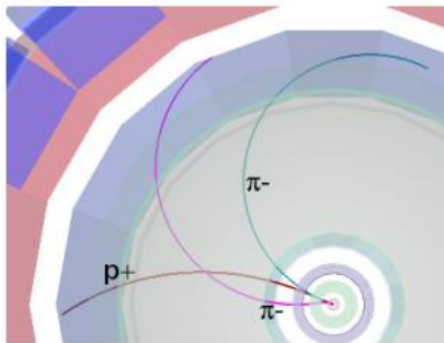
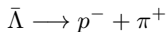
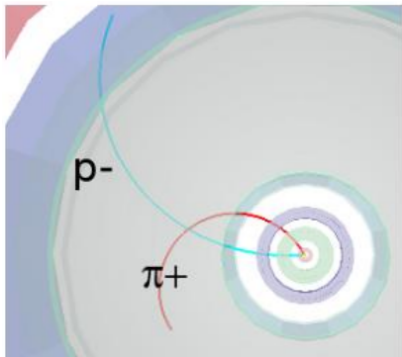
Búsqueda de extrañeza en ALICE



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Búsqueda de extrañeza en ALICE

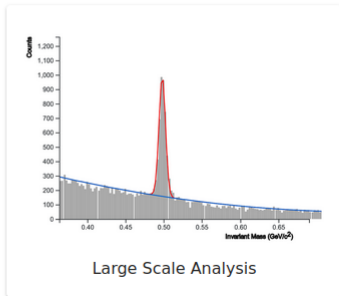
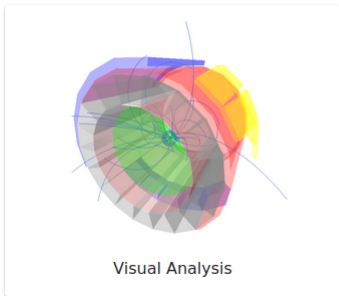


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¡Manos a la obra!

Welcome to ALICE Masterclass! Looking for strange particles



<https://masterclass.fizyka.pw.edu.pl>



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¡Manos a la obra!: Análisis Visual

Pasos a seguir:

- 1 Seleccionar un set de datos que se indique.
- 2 Activar la opción de "Decays" para poder encontrar los V0s.
- 3 Clasificar los V0s de acuerdo a la masa invariante obtenida.
- 4 Llenar los histogramas.

Please select dataset for Visual Analysis:

Dataset

Start Visual Analysis

Please select dataset for Visual Analysis:

Demo Dataset

Dataset 1

Dataset 2

Dataset 3

Dataset 4



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¡Manos a la obra!: Análisis Visual

CERN Accelerating science

ALICE

Event handler
Event 0
previous next

View
Detector
Tracks
Decays
Clusters

3D View
View 1 Zoom
View 2 Zoom

Visual Analysis

View 1
View 2

Particle
Invariant Mass (GeV/c²) 0.492 Kaon Add

Histograms
Kaon Lambda
Counts
K_S⁰
Entries 1
Invariant Mass (GeV/c²)

Calculator

| Particle masses | (+) | (-) | (b) |
|----------------------------|---------------------------|---------|-----|
| e^-, e^+ | 0.0005 GeV/c ² | | |
| π^-, π^+ | 0.1396 GeV/c ² | | |
| K_S^0 | 0.4976 GeV/c ² | | |
| p, \bar{p} | 0.9383 GeV/c ² | | |
| | | | |
| p_x (GeV/c) | -0.015 | 0.310 | |
| p_y (GeV/c) | -0.346 | -0.219 | |
| p_z (GeV/c) | 0.176 | -0.030 | |
| mass (GeV/c ²) | 0.13957 | 0.13957 | |



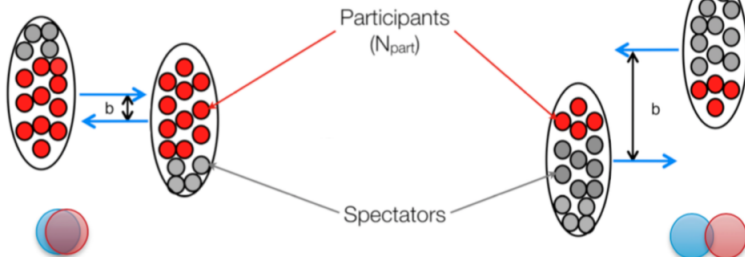
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Centralidad de una colisión

Colisión central

- **Menor** distancia entre los centros de los núcleos
- **Mayor** número de participantes



Colisión periférica

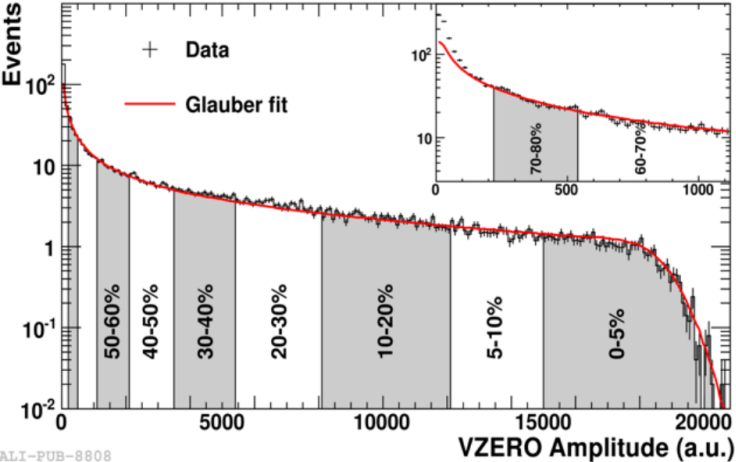
- **Mayor** distancia entre los centros de los núcleos
- **Menor** número de participantes



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



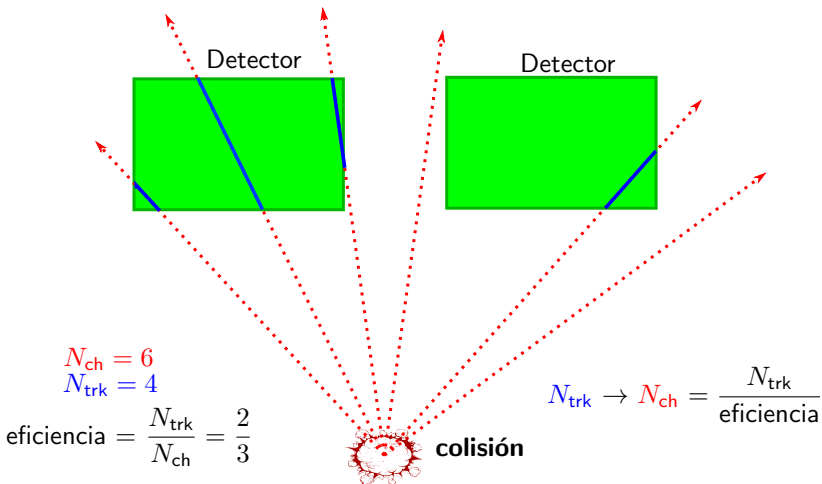
Centralidad de una colisión



Instituto de
 Ciencias
 Nucleares
 UNAM



Rendimiento e Incremento de Extrañeza



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Rendimiento e Incremento de Extrañeza

- El rendimiento o yield lo definimos como:

$$\text{rendimiento} = \frac{N_{\text{ch}}}{N_{\text{events}}}.$$

- La eficiencia de un detector se obtiene con simulaciones Monte Carlo.
- Llamamos $N_{\text{ch}}^{\text{MC}}$ y $N_{\text{trk}}^{\text{MC}}$ a las partículas producidas y medidas en la simulación Monte Carlo.
- La eficiencia se calcula como:

$$\text{eficiencia} = \frac{N_{\text{trk}}^{\text{MC}}}{N_{\text{ch}}^{\text{MC}}}.$$



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Rendimiento e Incremento de Extrañeza

- Llamemos $N_{\text{ch}}^{\text{datos}}$ y $N_{\text{trk}}^{\text{datos}}$ a las partículas producidas y medidas en el experimento.
- El número de partículas producidas en el experimento es

$$N_{\text{ch}}^{\text{datos}} = \frac{N_{\text{trk}}^{\text{datos}}}{\text{eficiencia}}$$

- Por tanto, podemos definir el rendimiento como

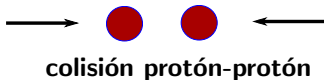
$$\text{yield (rendimiento)} = \frac{N_{\text{ch}}^{\text{datos}}}{N_{\text{events}}} = \frac{N_{\text{trk}}^{\text{datos}}}{\text{eficiencia} \times N_{\text{events}}}$$



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM

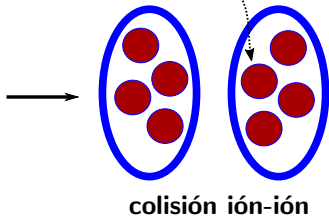


Rendimiento e Incremento de Extrañeza



$$\text{yield por protón} = \frac{\text{yield}}{2}$$

nucleones $N_{\text{nucleones}}$



$$\text{yield por nucleón} = \frac{\text{yield}}{N_{\text{nucleones}}}$$

$$\text{strangeness enhancement} = \frac{\text{yield en colisiones ión-ión}}{\frac{N_{\text{nucleones}}}{\text{yield en colisiones pp}}}$$



Instituto de Ciencias Nucleares UNAM



¡Manos a la obra!: Análisis a Gran Escala



Navigation

Particle Type
Kaon

Collision & Centrality
pp

Plot Invariant mass

Fit

Signal range
0 2

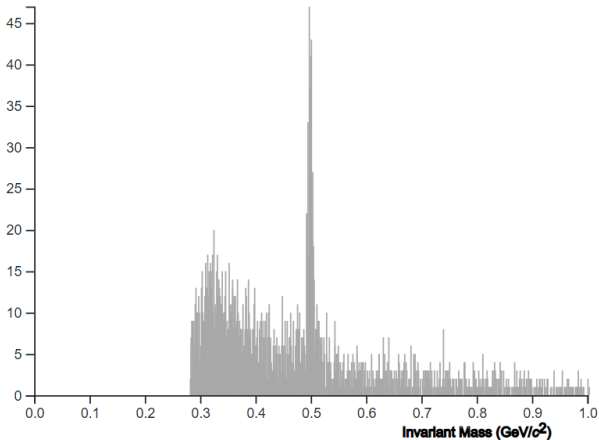
Background range
0 2

Fit

Accept

Large Scale Analysis

Counts



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¡Manos a la obra!: Análisis a Gran Escala

Pasos a seguir:

- 1 Seleccionar el tipo de partícula (Kaon/Lambda/Anti-Lambda).
- 2 Seleccionar el tipo de partícula y centralidad de la colisión.
- 3 Encontrar los rangos de señal y fondo que mejor ajusten el pico y el fondo.
- 4 La señal es el número de partículas producidas, anótala.

Navigation

Particle Type ▾

Collision & Centrality ▾

Plot Invariant mass

Fit

Signal range

0 2

Background range

0 2

Fit

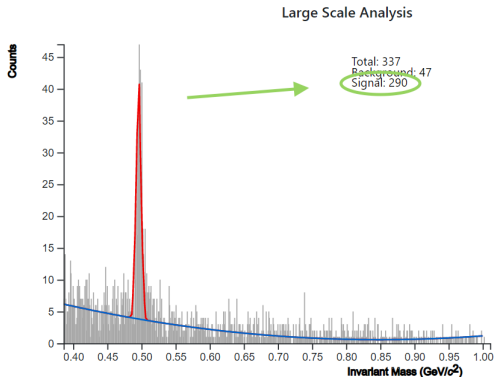
Accept



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¡Manos a la obra!: Análisis a Gran Escala



Señal: Curva roja

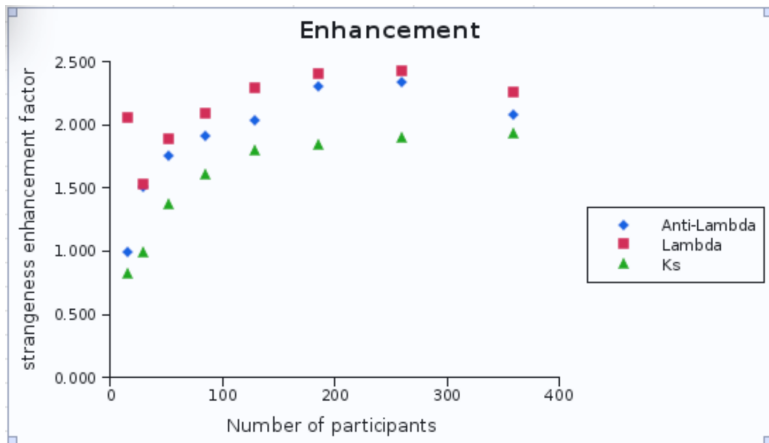
Fondo: Curva azul



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Resultados esperados



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Algunos datos

| Partícula | Background | Signal |
|-------------------------|------------|-----------|
| K_s^0 | 0.4-0.6 | 0.45-0.54 |
| $\Lambda \bar{\Lambda}$ | 1.08-1.15 | 1.11-1.13 |

Tabla: Rangos sugeridos para la clasificación.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



BackUp



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¿Qué detectores usamos en ALICE?

- Para esta práctica se emplean los **detectores de identificación de partículas** (PID, particle identification detectors).
- Los PID detectan partículas a partir de su **carga eléctrica y su interacción con el medio**.
- Permiten conocer la masa y energía de las partículas.
- Principalmente se usan la TPC (Time Projection Chamber), el detector V0+ y el detector TOF (Time of Flight).



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Masa invariante de partículas extrañas

Supongamos que una partícula extraña de masa m decae en dos partículas de masa m_1 y m_2 . Por conservación de energía y momento, se cumple

$$E = E_1 + E_2,$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2.$$

De la relatividad (con $c = 1$)

$$E^2 = m^2 + p^2,$$

$$E_1^2 = m_1^2 + p_1^2,$$

$$E_2^2 = m_2^2 + p_2^2.$$

Por tanto

$$\begin{aligned} m^2 &= E^2 - p^2 \\ &= (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2 \\ &= E_1^2 + E_2^2 \\ &\quad + 2E_1E_2 - p_1^2 - p_2^2 - 2\mathbf{p}_1\mathbf{p}_2 \end{aligned}$$

Sustituyendo las relaciones relativistas llegamos a

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2E_1E_2 - 2\mathbf{p}_1\mathbf{p}_2.$$



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Preguntas de referencia

- ¿Por qué las trazas de las partículas V0 (las partículas resultantes de los decaimientos de las partículas extrañas) se curvan en direcciones opuestas?

Porque los productos del decaimiento de la partícula neutra, son partículas con cargas de signos contrarios (por conservación de la carga), que se mueven en un campo magnético.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Preguntas de referencia

- ¿Por qué el radio en la curvatura de la traza del protón es mayor que la del pión en los decaimientos de las partículas Λ y $\bar{\Lambda}$?

Porque el protón tiene más masa que los piones.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Preguntas de referencia

- ¿Por qué ocurre lo anterior?

Recordemos que el momento p es el producto de la masa por la velocidad mv . Vimos que la relación entre el momento, el campo magnético B y el radio de curvatura R es

$$p = qBR.$$

Claramente, si aumenta p , consecuentemente tiene que aumentar R porque el campo magnético B es el mismo para ambas V0's.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Preguntas de referencia

- ¿Por qué no observamos a las Λ 's o al K_s^0 después de que decaen?

Por qué el mesón K_s^0 y los bariones Λ y $\bar{\Lambda}$ son partículas neutras, es decir, son invisibles para los detectores de identificación de partículas. Estos detectores solo ven partículas con carga, ya que estas interactúan con un medio. Por ejemplo, con un gas. Al interactuar la partícula con el medio, esta ioniza al gas (le arranca electrones) y produce una señal eléctrica.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Preguntas de referencia

- ¿Por qué la partícula Λ no decae en 2 piones como el K_s^0 ?

Porque Λ es un barión, lo que significa que está formado por 3 quarks (qqq), mientras que el K_s^0 es un mesón, y por lo tanto está formado por un quark y un antiquark ($q\bar{q}$). En todas las interacciones, el número de bariones se conserva, por lo que en el decaimiento de Λ hay un barión, que es el protón.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Preguntas de referencia

- ¿Por qué la distribución de masas de las partículas extrañas tiene un ancho en el pico?

El cálculo de la masa invariante depende de la precisión de los instrumentos usados para hacer la medición. Esto implica que los resultados no siempre caen en un punto, sino alrededor del mismo (en el histograma, se distribuyen alrededor de un pico).



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM

