

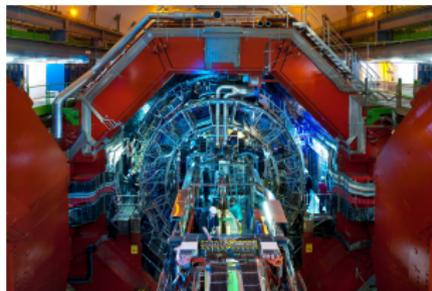
Hands On Session

Looking for strange particles in ALICE

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



ALICE

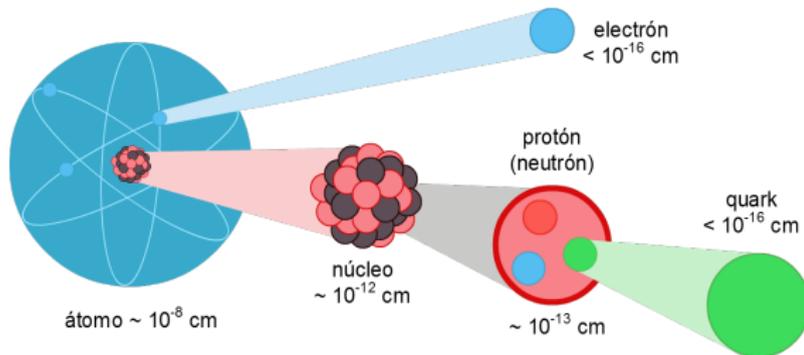


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



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],

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



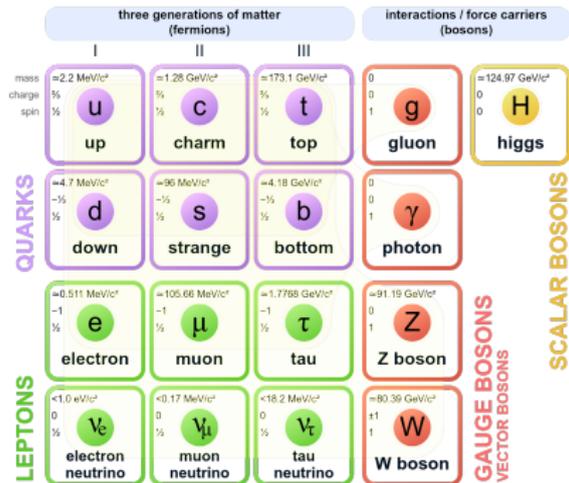
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



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)

⇒ hadrones : baryones (qqq)
y mesones ($q\bar{q}$)



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*

The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:



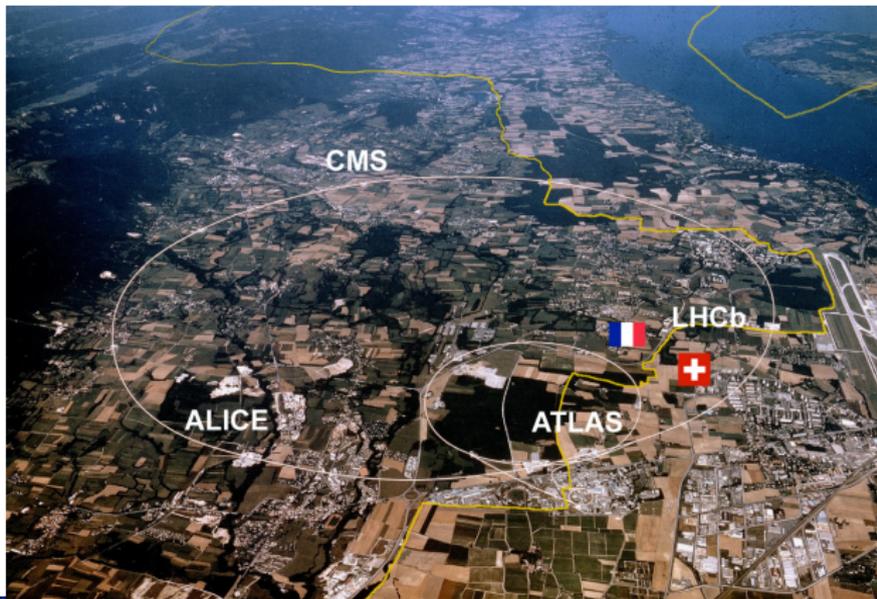
Instituto de Ciencias Nucleares UNAM



INTERNATIONAL MASTERCLASSES
hands on particle physics

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.



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

MARCH 2023



Instituto de Ciencias Nucleares UNAM

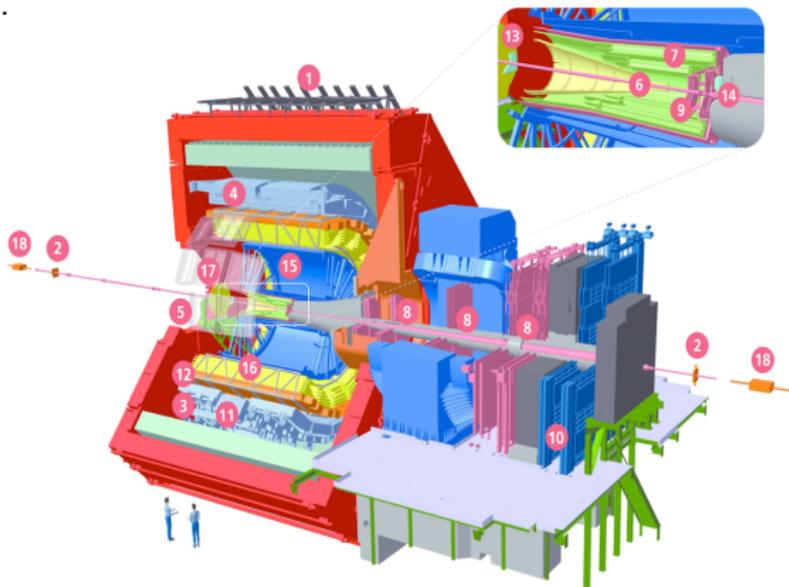


INTERNATIONAL MASTERCLASSES

hands on particle physics

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


The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:
ALICE ICN class 2023
MARCH 2023



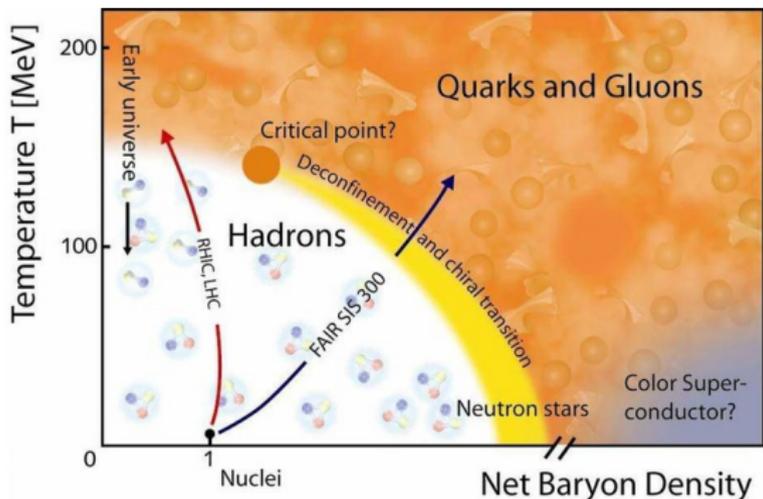
Instituto de Ciencias Nucleares UNAM



INTERNATIONAL MASTERCLASSES
hands on particle physics

¿Qué física busca ALICE?

- **Búsqueda del plasma de quarks y gluones (QGP).**



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

6 MARCH 2023



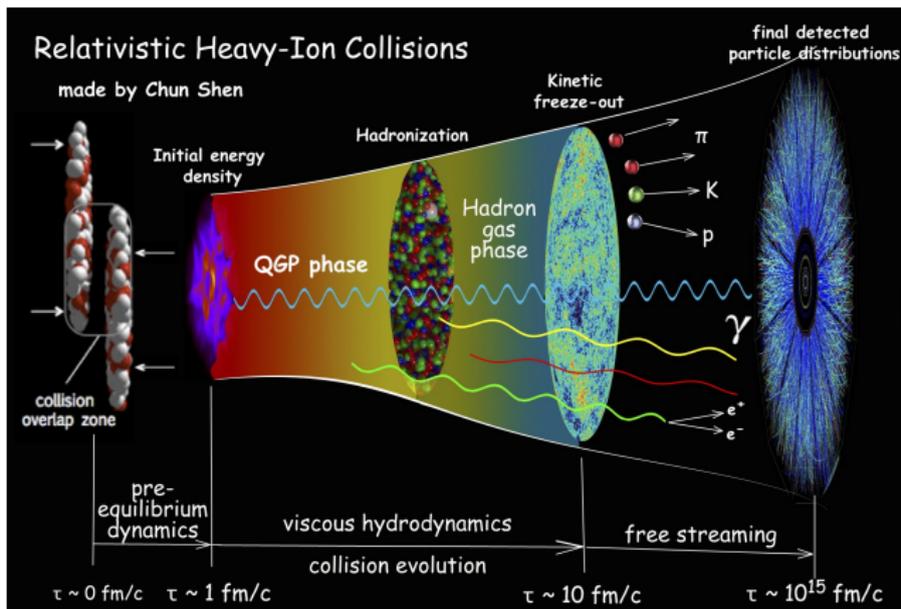
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

El plasma de quarks y gluones

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



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

6 MARCH 2023



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM

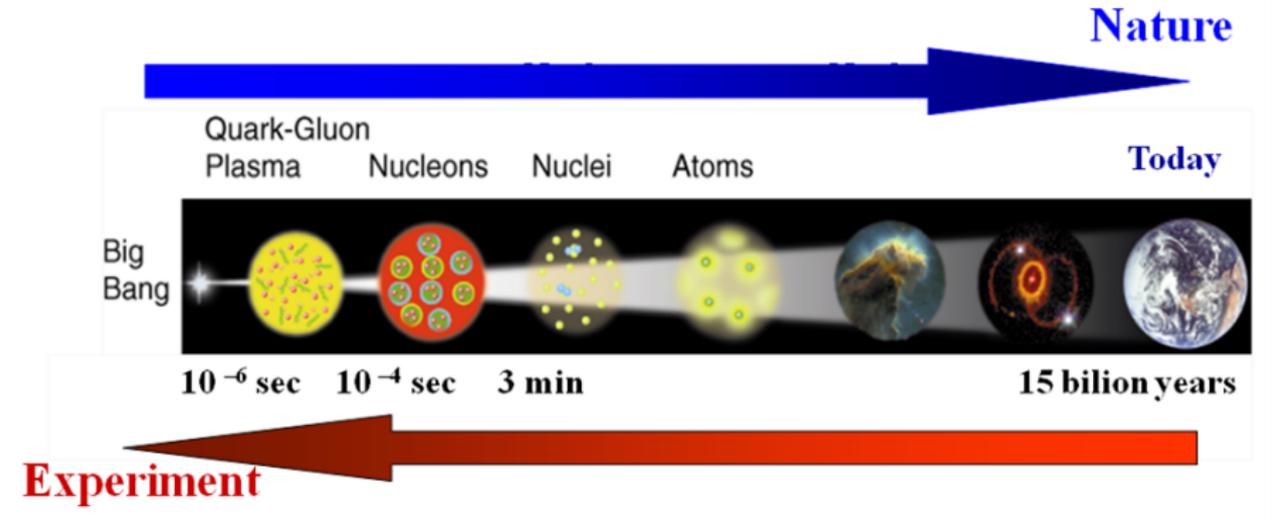


**INTERNATIONAL
MASTERCLASSES**

hands on particle physics

El plasma de quarks y gluones

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



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

6 MARCH 2023



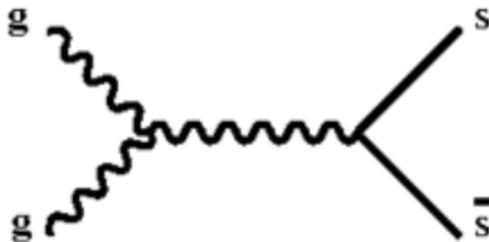
Instituto de Ciencias Nucleares UNAM



INTERNATIONAL **MASTERCLASSES**
hands on particle physics

¿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 hallar 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

- 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.



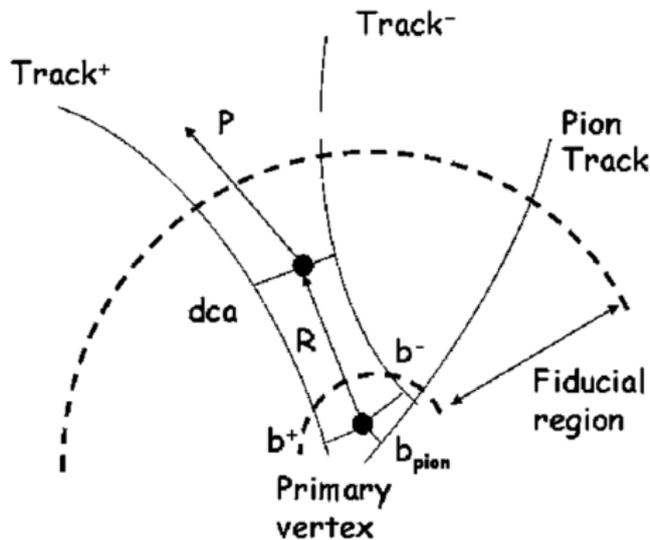
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



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



¡Manos a la obra!

ALICE Masterclass

EN

Welcome to the ALICE Masterclass!

ALICE

The ALICE Collaboration has the potential of nucleus-nucleus physics of strongly interacting matter in the laboratory. In such collisions, a quark-gluon plasma is formed.

Our universe is thought to have existed for a few millionths of a second after the Big Bang. Issues for Quantum Chromodynamics include deconfinement and chiral phase transition.

For this purpose, we are carrying out experiments with electrons, muons and photons. We are also studying proton-proton and nucleus-nucleus collisions.

Please fill in your Student Number and the Session Password (both should be given to you by your supervisor). You can skip this by clicking Cancel, but you won't be able to share your results! You can return to this window later by selecting the Password option from the Menu.

Student Number *

Session Password *

Proceed Cancel

European Funds Knowledge Education Development

Republic of Poland

Warsaw University of Technology

European Union European Social Fund

Copyright © 2022 CERN, Warsaw University of Technology
Piotr Nowakowski, Łukasz Graczykowski, Małgorzata Janik

<https://alice-web-masterclass.app.cern.ch/home>

The ALICE ICN team invites high school students to participate in the: **ALICE Masterclass 2023** **MARCH 2023**



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics



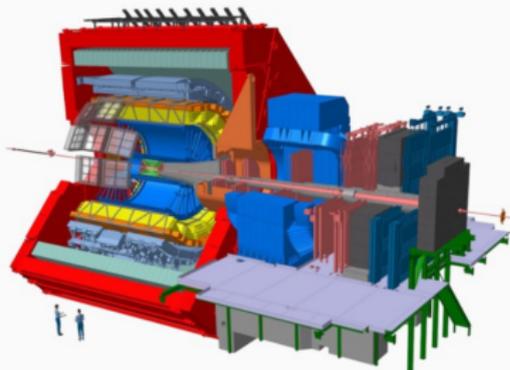
ALICE

Welcome to the ALICE Masterclass!

The ALICE Collaboration has built a dedicated detector to exploit the unique physics potential of nucleus-nucleus collisions at LHC energies. Our aim is to study the physics of strongly interacting matter at the highest energy densities reached so far in the laboratory. In such condition, an extreme phase of matter - called the quark-gluon plasma - is formed.

Our universe is thought to have been in such a primordial state for the first few millionths of a second after the Big Bang. The properties of such a phase are key issues for Quantum Chromo Dynamics, the understanding of confinement-deconfinement and chiral phase transitions.

For this purpose, we are carrying out a comprehensive study of the hadrons, electrons, muons and photons produced in the collisions of heavy nuclei. ALICE is also studying proton-proton and proton-nucleus collisions both as a comparison with nucleus-nucleus collisions and in their own right.



European
Funds

Knowledge Education Development



Republic
of Poland

Warsaw University
of Technology



European Union
European
Social Fund

Copyright © 2022, CERN, Warsaw University of Technology
Piotr Nowakowski, Łukasz Graczykowski, Małgorzata Janik



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM

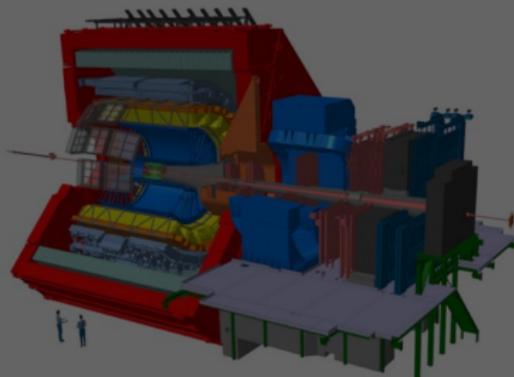


Welcome to the ALICE Masterclass!

ALICE Collaboration has built a dedicated detector to exploit the unique physics of nucleus-nucleus collisions at LHC energies. Our aim is to study the properties of strongly interacting matter at the highest energy densities reached so far in the laboratory. In such condition, an extreme phase of matter - called the quark-gluon plasma - is formed.

It is believed that such a primordial state existed for the first few microseconds of a second after the Big Bang. The properties of such a phase are key to understanding Quantum Chromo Dynamics, the understanding of confinement and chiral phase transitions.

In this purpose, we are carrying out a comprehensive study of the hadrons, pions, kaons, muons and photons produced in the collisions of heavy nuclei. ALICE is studying proton-proton and proton-nucleus collisions both as a comparison with nucleus-nucleus collisions and in their own right.



an

Education Development



Republic
of Poland

Warsaw University
of Technology



European Union
European
Social Fund

Copyright © 2022 CERN, Warsaw University of Technology
Piotr Nowakowski, Łukasz Graczykowski, Małgorzata Janik

The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

6 MARCH 2023



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM

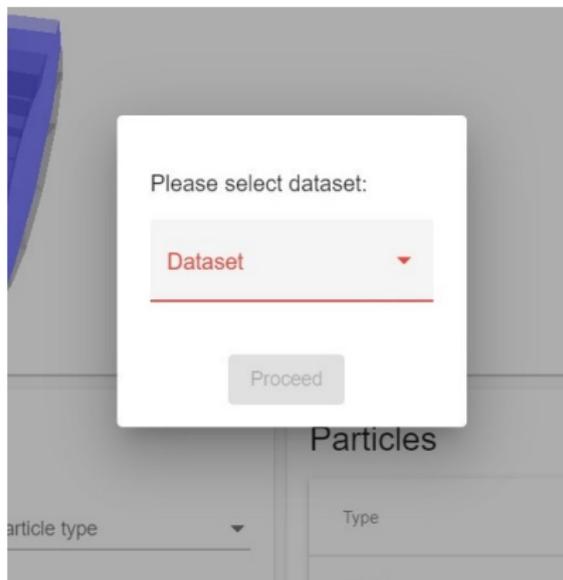


INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

¡Manos a la obra!: Análisis Visual

Pasos a seguir:

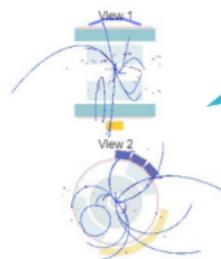
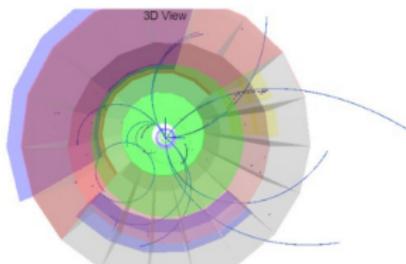
- 1 Seleccionar un set de datos que se indique.
- 2 Activar la opción de "Decays" para poder encontrar los V0s.
- 3 Clasificar los V0s de acuerdo a la masa invariante obtenida.
- 4 Llenar los histogramas.



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



Event 0



Calculator

Charge	p_x (GeV/c)	p_y (GeV/c)	p_z (GeV/c)	mass (GeV/c ²)
(+)				
(-)				
(b)				
Total				

Select particle type

Add

Particles

Type	mass (GeV/c ²)
e^-, e^+	0.0005
π^-, π^+	0.1396
K^0	0.4976
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	0.9383



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

Event 0

3D View



- Detector
- Clusters
- Axes
- Tracks
- Decays

Cluster Size

- S
- M
- L

Track Width

- S
- M
- L

Calculator

Charge p_x (GeV/c) p_y (GeV/c) p_z (GeV/c) mass (GeV/c²)

(+)

(-)

(b)

Total

Select particle type

Add

Particles

Type	mass (GeV/c ²)
e^+, e^-	0.0005
π^+, π^-	0.1396
K^0	0.4976
p, \bar{p}	0.9383



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

ALICE Masterclass 2023

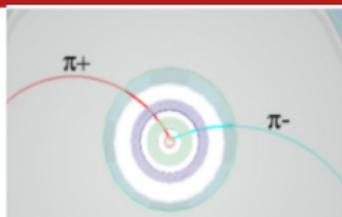
6 MARCH 2023



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

(a) $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 

- Clusters
- Axes
- Tracks
- Decays

Cluster Size

- S M L

Track Width

- S M L

Calculator

Charge	p_x (GeV/c)	p_y (GeV/c)	p_z (GeV/c)	mass (GeV/c ²)
(+)	-0.015	-0.346	0.176	0.140
(-)	0.310	-0.219	-0.030	0.140
(b)				
Total				0.492

Color and Labels

Kaon

Lambda

Anti-Lambda

Xi

Background

Particles

Type	mass (GeV/c ²)
e^-, e^+	0.0005
π^+, π^-	0.1396
K^0	0.4976
p, \bar{p}	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

The ALICE ICN team invites high school students to participate in the: **MARCH 2023** Masterclass



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

Calculator

Charge	p_x (GeV/c)	p_y (GeV/c)	p_z (GeV/c)	mass (GeV/c ²)
(+)	-0.015	-0.346	0.176	0.140
(-)	0.310	-0.219	-0.030	0.140
(b)				
Total				0.492

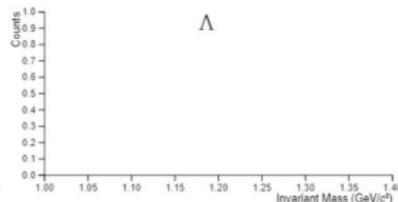
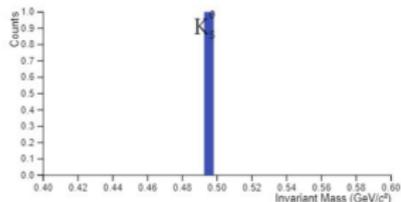
Select particle type

Kaon

Add



Histograms



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

MARCH 2023

Masterclass



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

Calculator

Charge	p_1 (GeV/c)	p_2 (GeV/c)	p_z (GeV/c)	mass (GeV/c ²)
(+)	-0.798	0.688	-0.813	0.140
(-)	-0.047	0.210	-0.297	0.140
(b)				
Total				0.493

Select particle type
Kaon

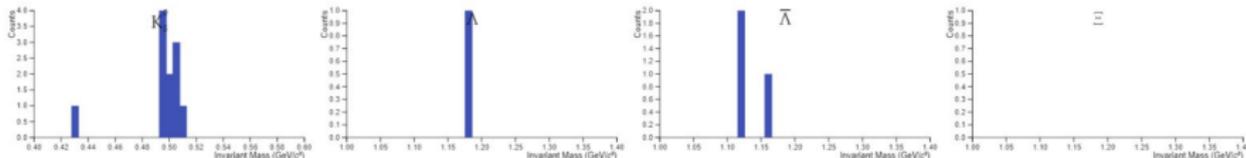
Add

Particles

Type	mass (GeV/c ²)
e^-, e^+	0.0005
π^+, π^-	0.1396
K^0	0.4976
p, \bar{p}	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217



Histograms



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

6 MARCH 2023



Instituto de Ciencias Nucleares UNAM



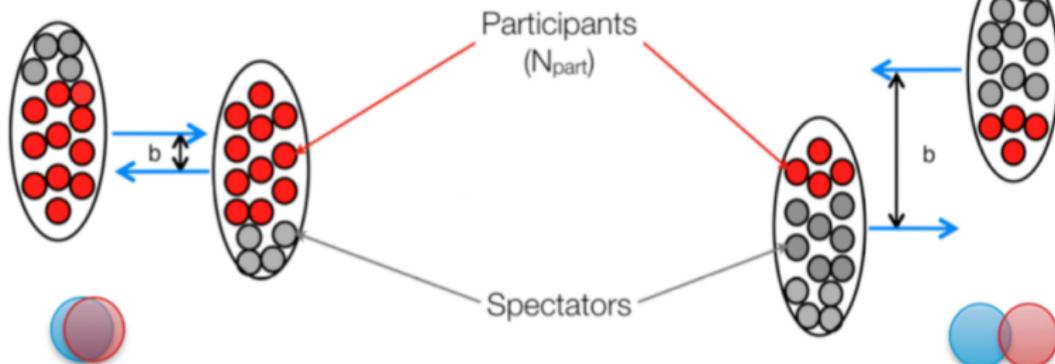
INTERNATIONAL MASTERCLASSES

hands on particle physics

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

The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

Masterclass 2023

6 MARCH 2023

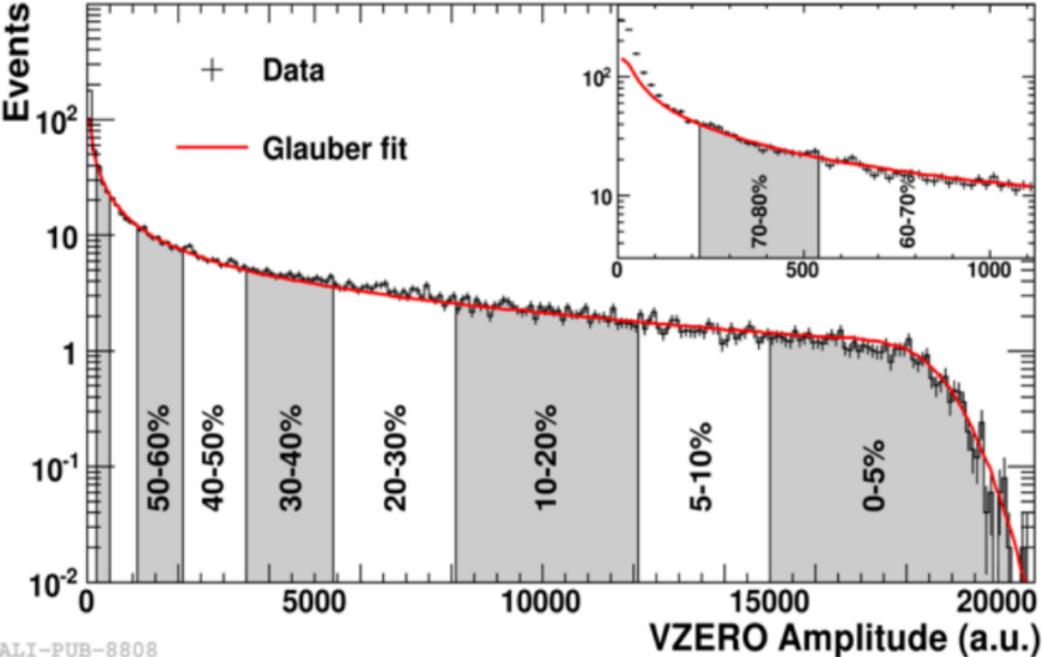


Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

Centralidad de una colisión



The ALICE ICN team invites high school students to participate in the:

6th INTERNATIONAL MASTERCLASSES 2023

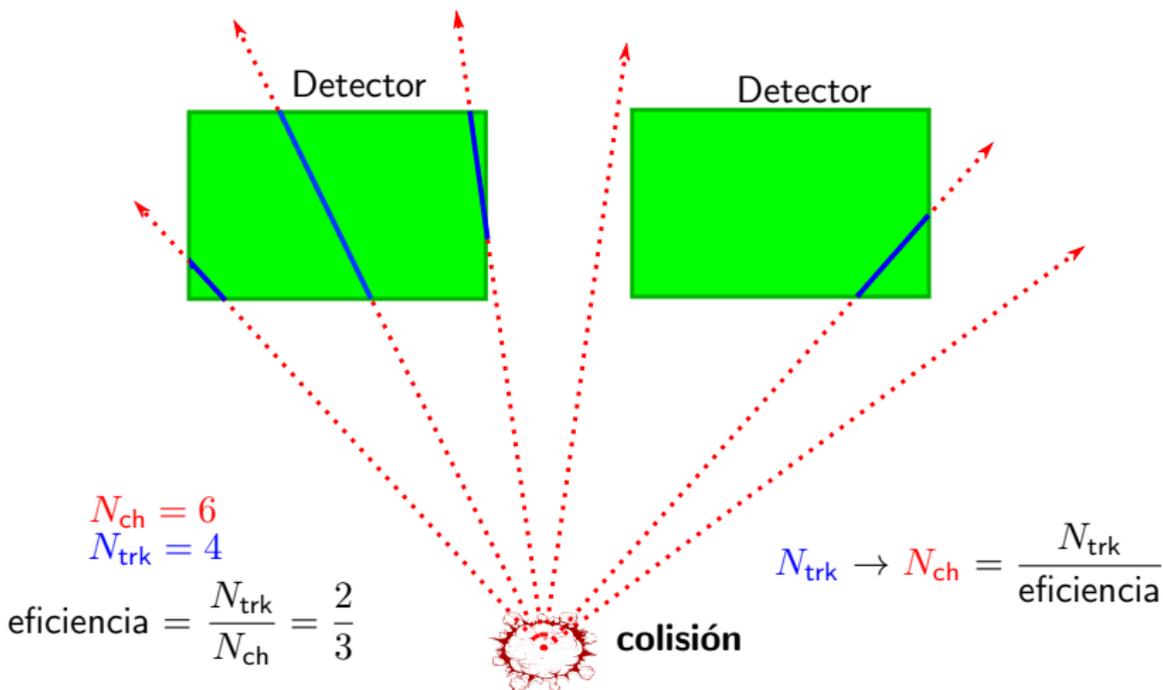


Instituto de
 Ciencias Nucleares
 UNAM



INTERNATIONAL MASTERCLASSES
 hands on particle physics

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

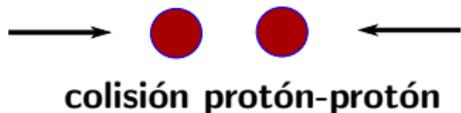
$$\text{yield (rendimiento)} = \frac{N_{\text{ch}}^{\text{datos}}}{N_{\text{events}}} = \frac{N_{\text{trk}}^{\text{datos}}}{\text{eficiencia} \times N_{\text{events}}}$$



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM

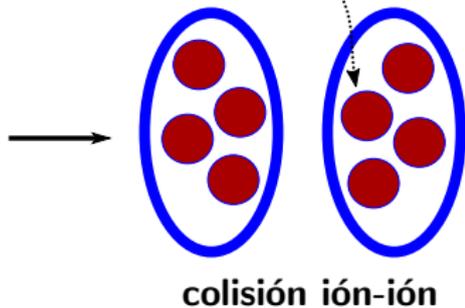


Rendimiento e Incremento de Extrañeza



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

nucleones $N_{\text{nucleones}}$



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

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



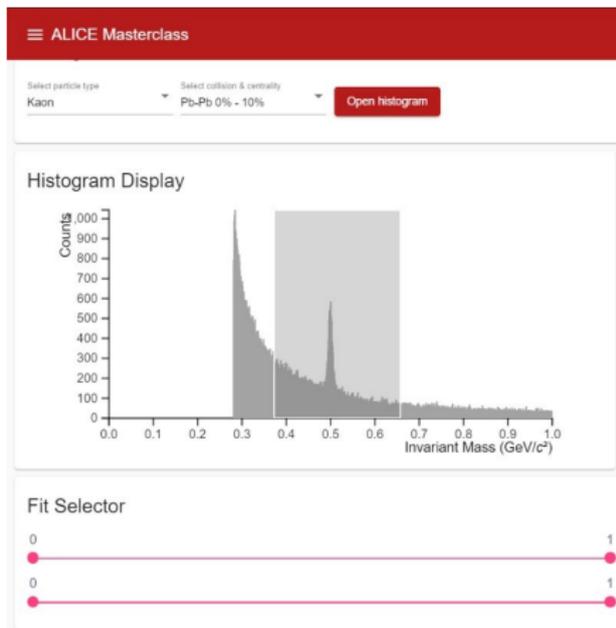
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



¡Manos a la obra!: Análisis a Gran Escala

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 Guardar la señal obtenida.



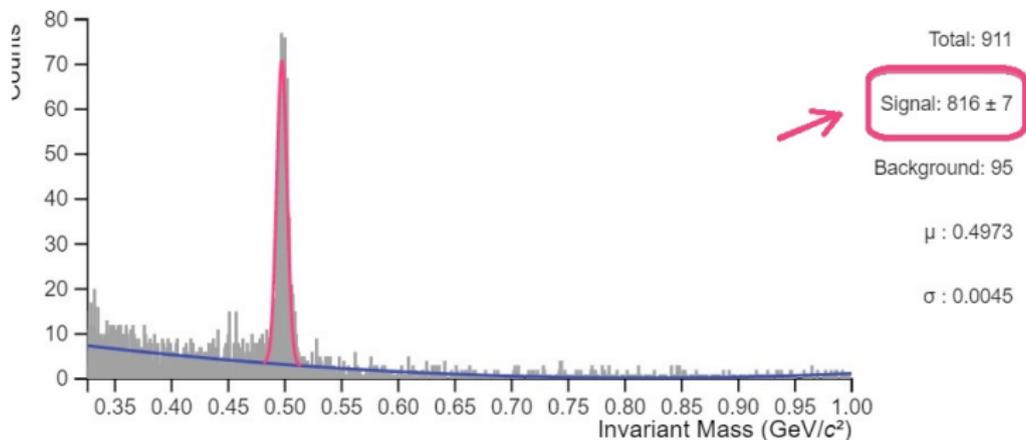
Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

¡Manos a la obra!: Análisis a Gran Escala

Histogram Display



Señal: Curva rosa

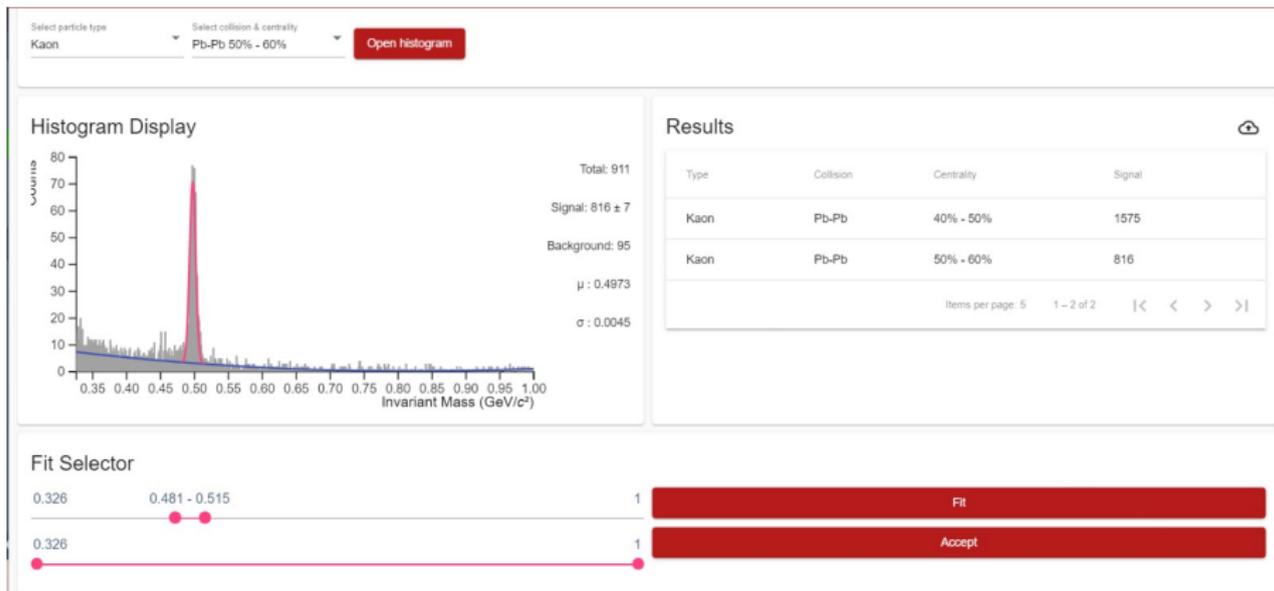
Fondo: Curva azul



Instituto de
Ciencias
Nucleares
UNAM



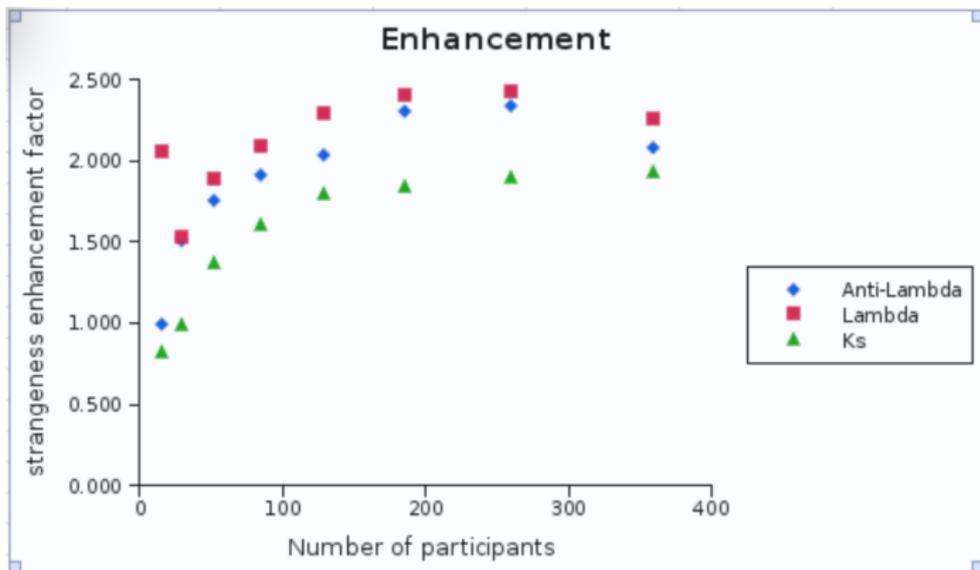
¡Manos a la obra!: Análisis a Gran Escala



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

