

Identificación de Partículas Cargadas

Diego Alejandro Milanés

Universidad Nacional de Colombia



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics
LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

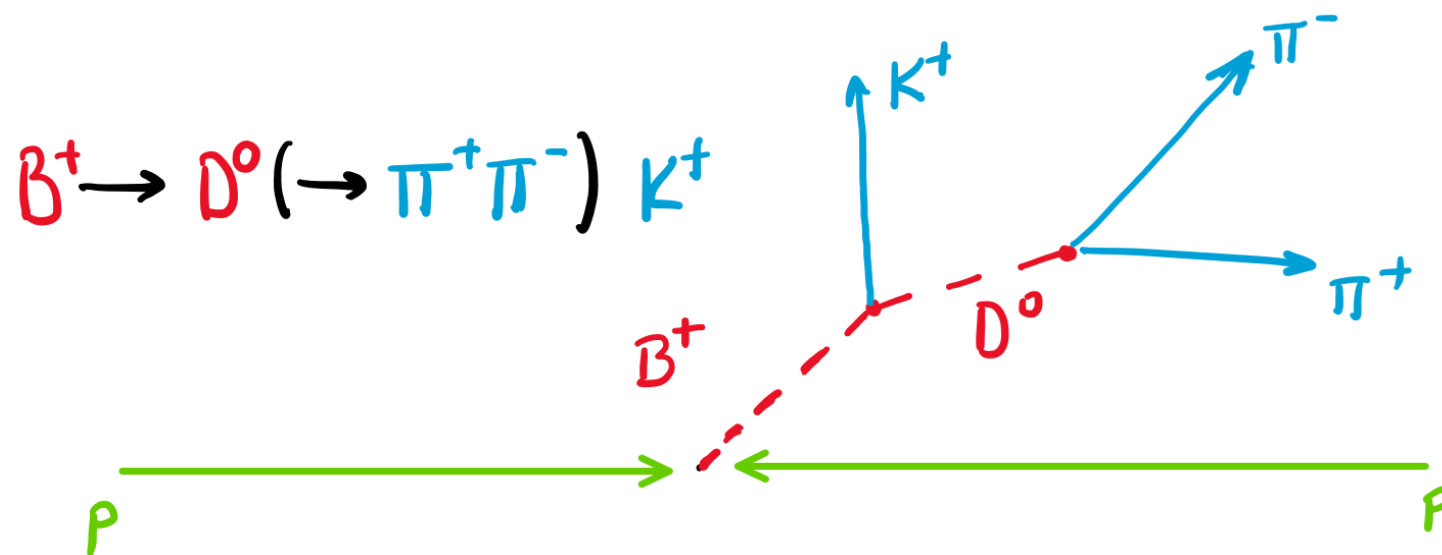


¿ Qué es la identificación de partículas cargadas?



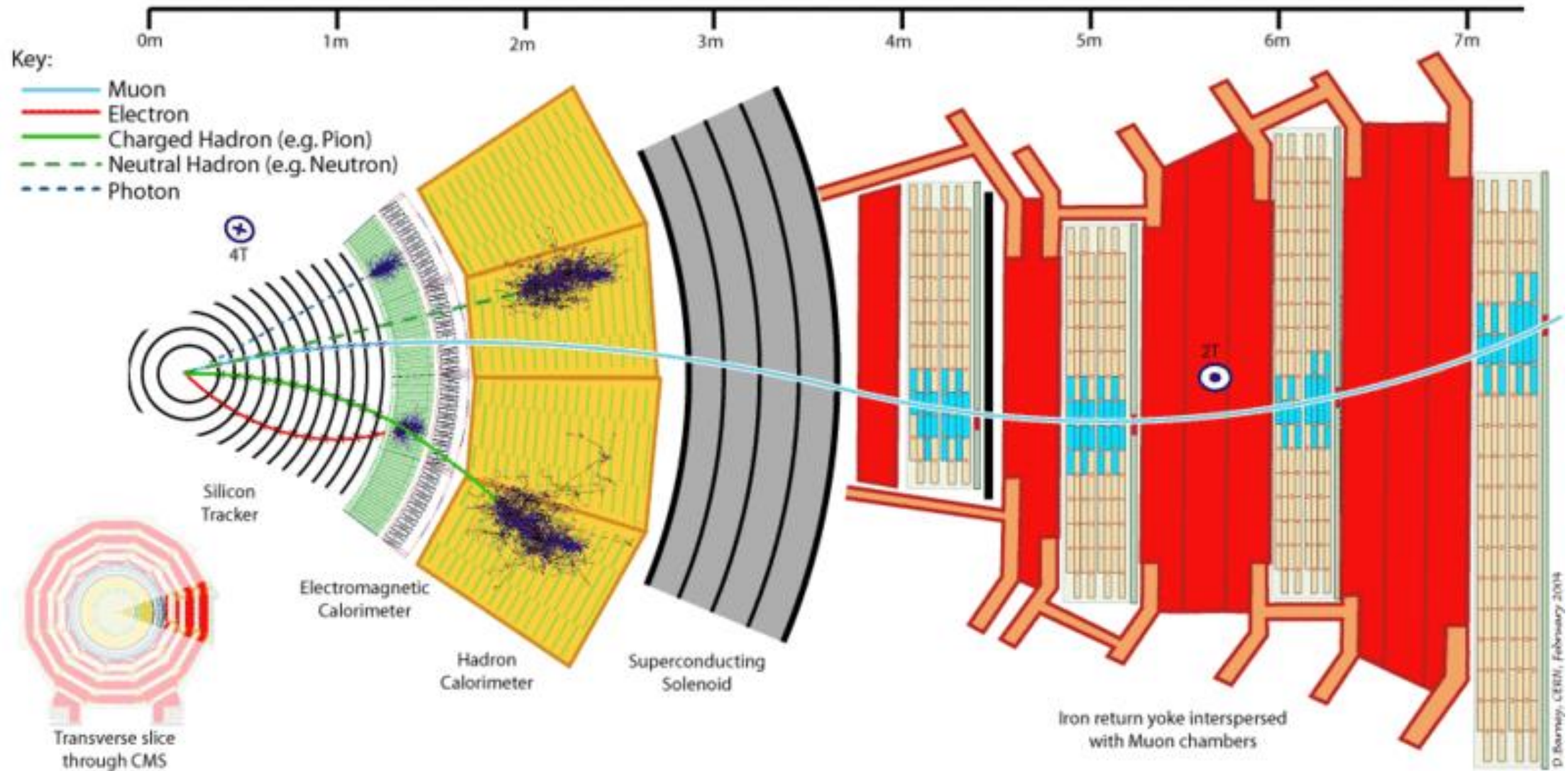
Identificación de partículas

- Distinguir entre los distintos tipos de partículas que existen
- **Partículas estables**: atraviesan trozos activos de detector y no se desintegran dentro de éste. Tiempo de vida $>10^{-9}$ s
- **Partículas inestables**: se identifican mediante la reconstrucción de las partículas estables que salen a partir de su desintegración



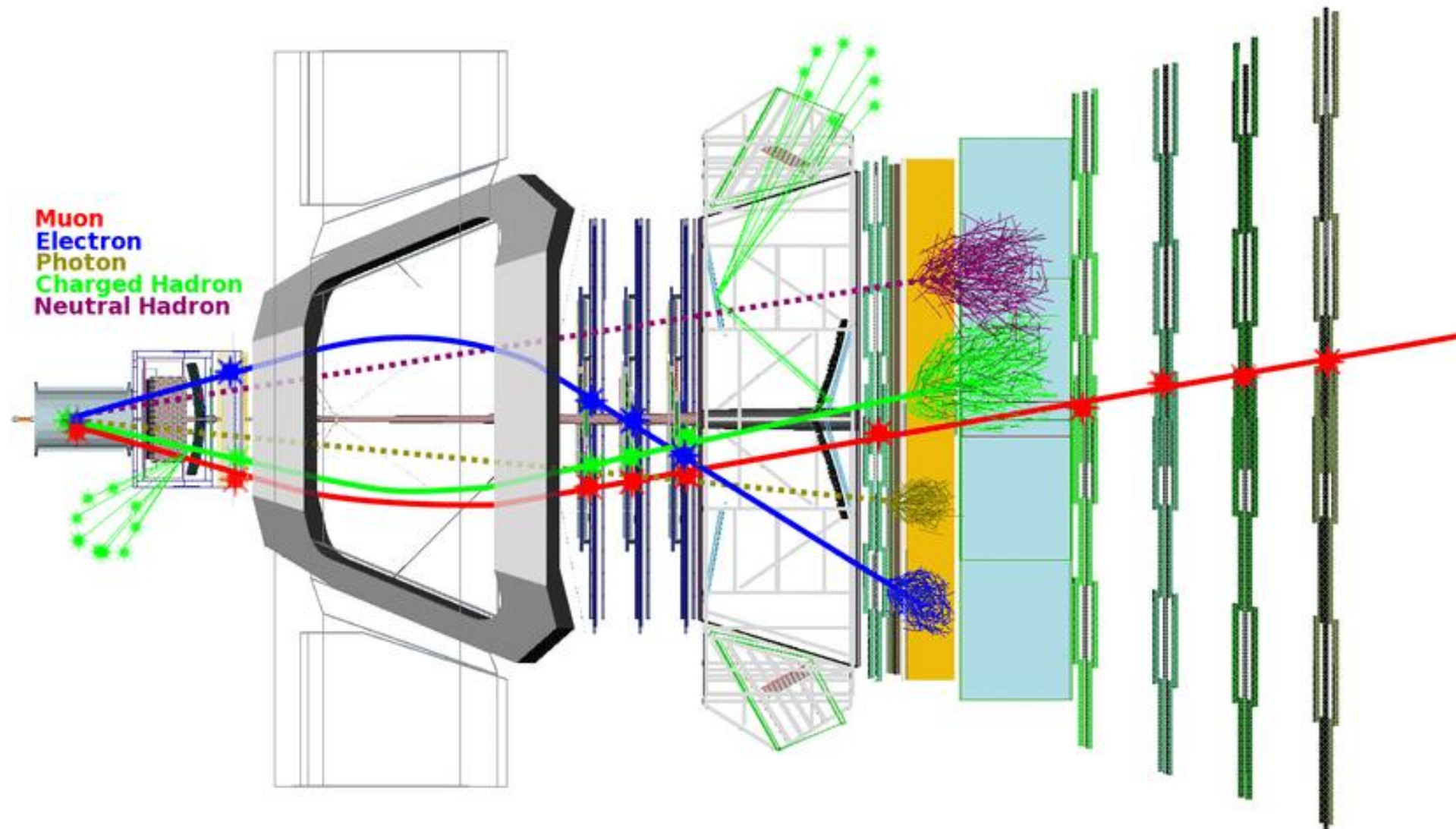


Identificación de partículas





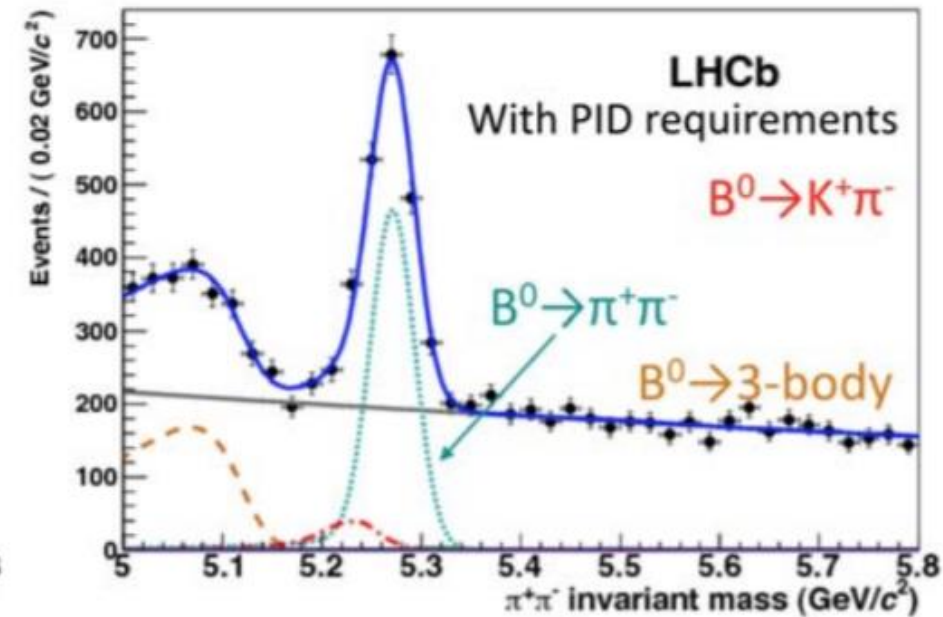
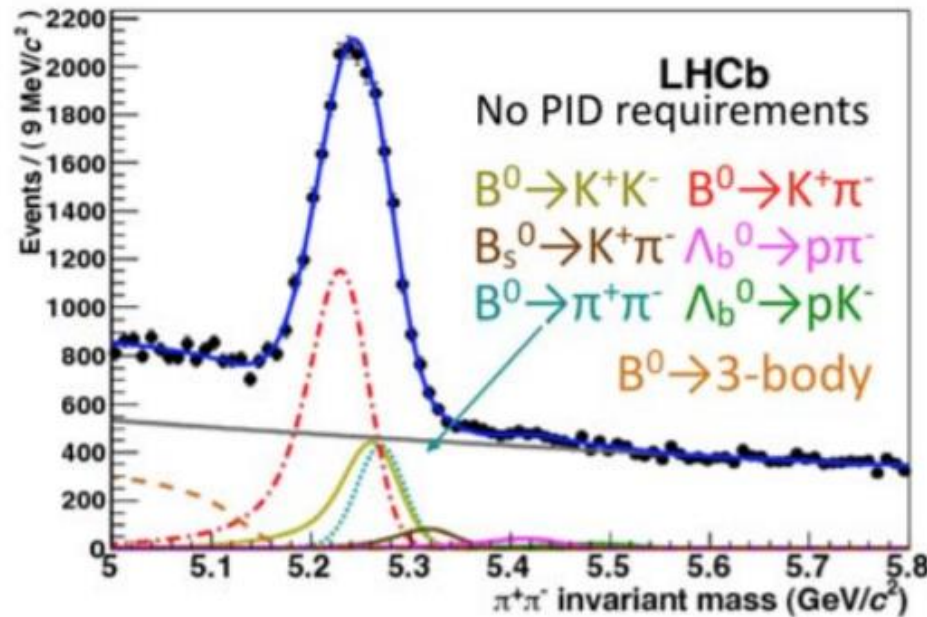
Identificación de partículas





Identificación de partículas

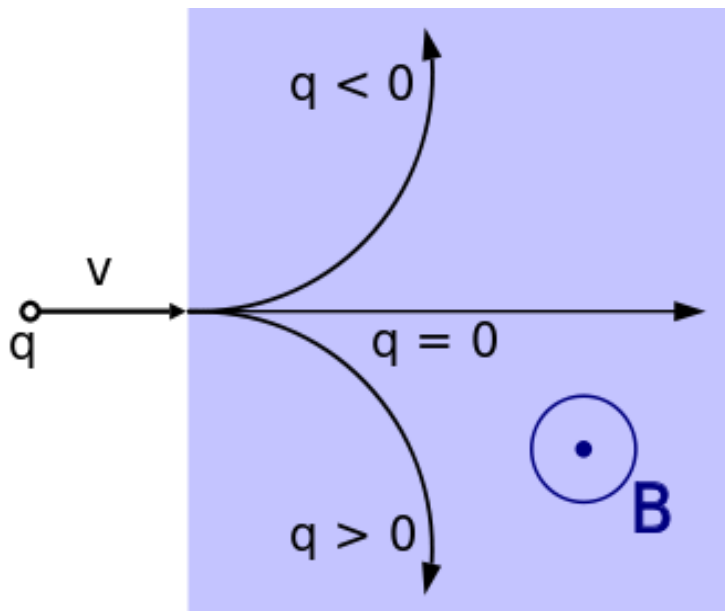
- Interacciones fundamentales (ATLAS, CMS, ...)
- Física hadrónica y nuclear (COMPASS, JLAB, BES,..)
- Física de sabor y violación de CP (LHCb, Belle, BaBar, ...)
- Física de iones pesados (ALICE, RHIC, ...)
- Física de neutrinos (SuperK, ANTARES, ...)





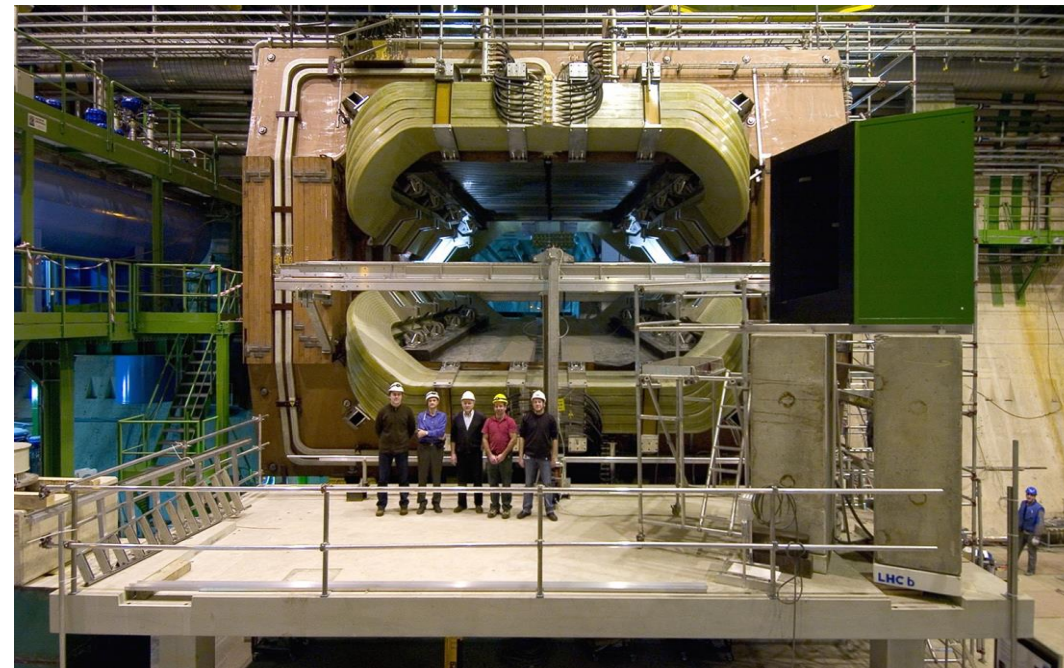
Identificación de la carga eléctrica

- Las partículas se diferencian las unas de las otras en sus propiedades: **carga**, **masa** y **forma de interacción**
- Tipos de partículas cargadas “estables”: **piones, kaones, muones, electrones/positrones y protones/antiprotones**
- Determinación del signo de la carga mediante un campo magnético (Fuerza de Lorentz):



$$R = \frac{p}{qB}$$

Radio de curvatura





$$\beta = \frac{v}{c}$$

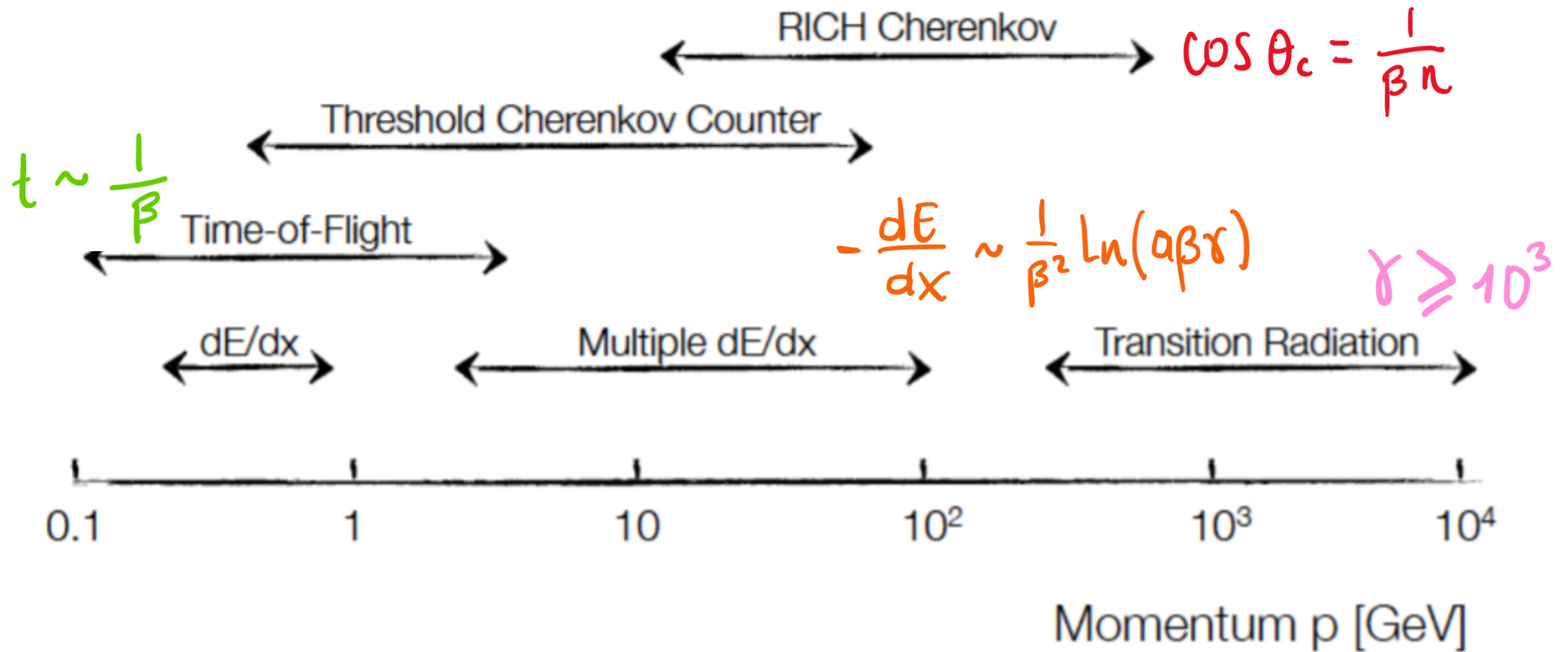
$$\gamma = \{1 - \beta^2\}^{-1/2}.$$

$$p = mv = m_0 \gamma \beta c$$

- Para medir la masa, necesitamos determinar el momento y alguna otra cantidad: β o γ
- Este segundo observable depende de la varios factores:
 - Precisión
 - Rango de momento
 - Tamaño
 - Costos
 - ...



Separación pión/kaón

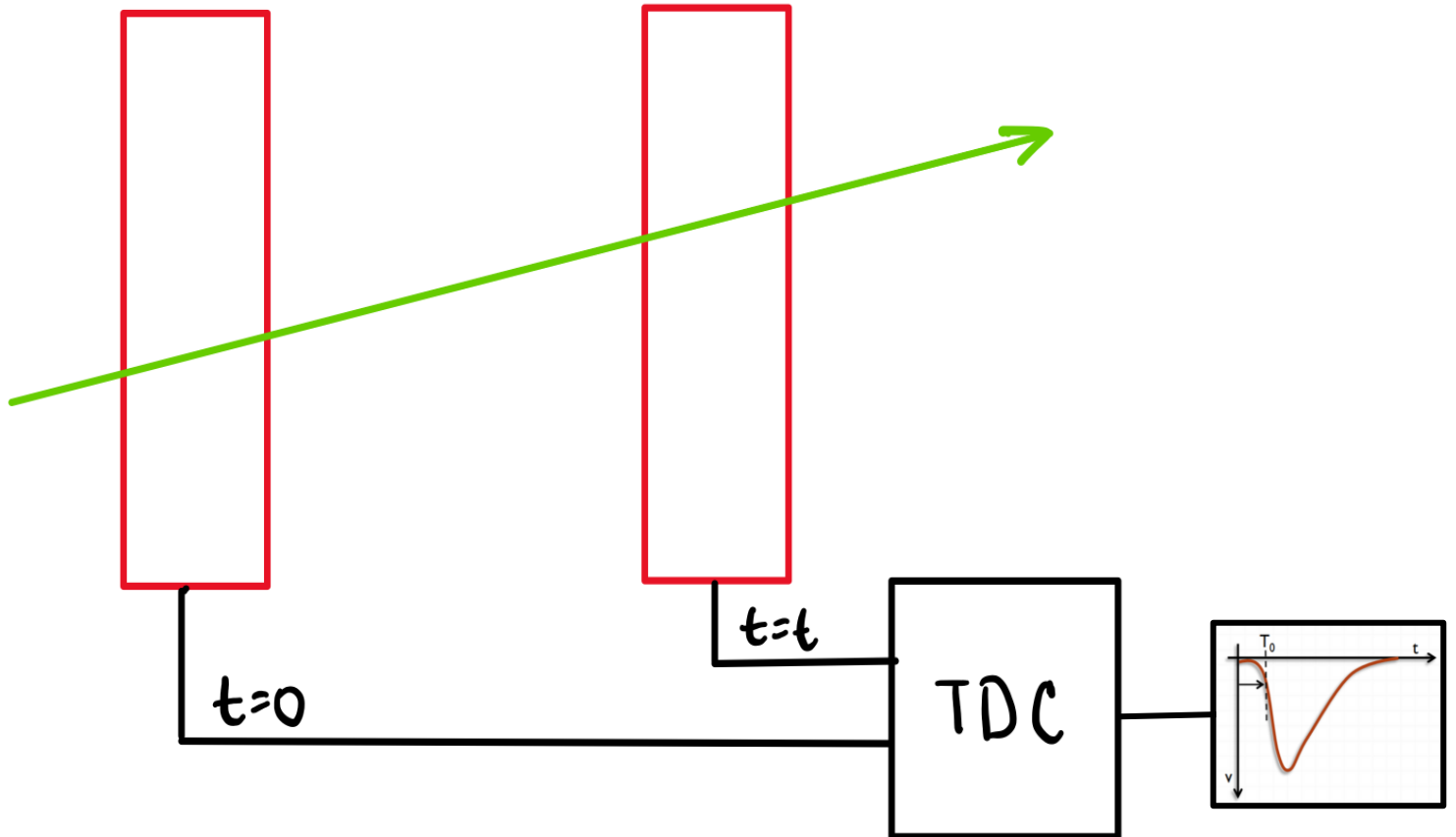


Método Time-of-flight (TOF)



Método TOF

- Medir la diferencia de tiempo de la señal entre 2 detectores con buena resolución temporal
- Centelladores (luz), RPC (cascada em), ...
- Múltiples detectores para mejorar la resolución





$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$1 = \gamma^2(1-\beta^2) = \gamma^2 \left\{ 1 - \left(\frac{p}{m_0 \gamma c} \right)^2 \right\} = \gamma^2 - \left(\frac{p}{m_0 c} \right)^2$$

$$\gamma = \left\{ 1 + \left(\frac{p}{m_0 c} \right)^2 \right\}^{1/2} = \frac{1}{m_0 c} \left\{ m_0^2 c^2 + p^2 \right\}^{1/2}$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{L}{\beta c} = \frac{L}{c} \frac{m_0 \cancel{\gamma} c}{p} = \frac{L m_0}{p} \gamma = \frac{L}{pc} \left\{ m_0^2 c^2 + p^2 \right\}^{1/2}$$

El tiempo que toma una partícula, de momento p y masa m_0 , en recorrer una distancia L



Método TOF, cálculo de Δt

Para un par de partículas de igual momento pero distintas masas

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{L}{pc} \left[\{m_1^2 c^2 + p^2\}^{1/2} - \{m_2^2 c^2 + p^2\}^{1/2} \right]$$

$p \gg mc$

$$\Delta t \approx \frac{L}{pc} \left[p \left(\cancel{1} + \frac{m_1^2 c^2}{2p^2} + \dots \right) - p \left(\cancel{1} + \frac{m_2^2 c^2}{2p^2} + \dots \right) \right]$$

$$\Delta t \approx \frac{Lc}{2p^2} (m_1^2 - m_2^2)$$

$mc \gg p$

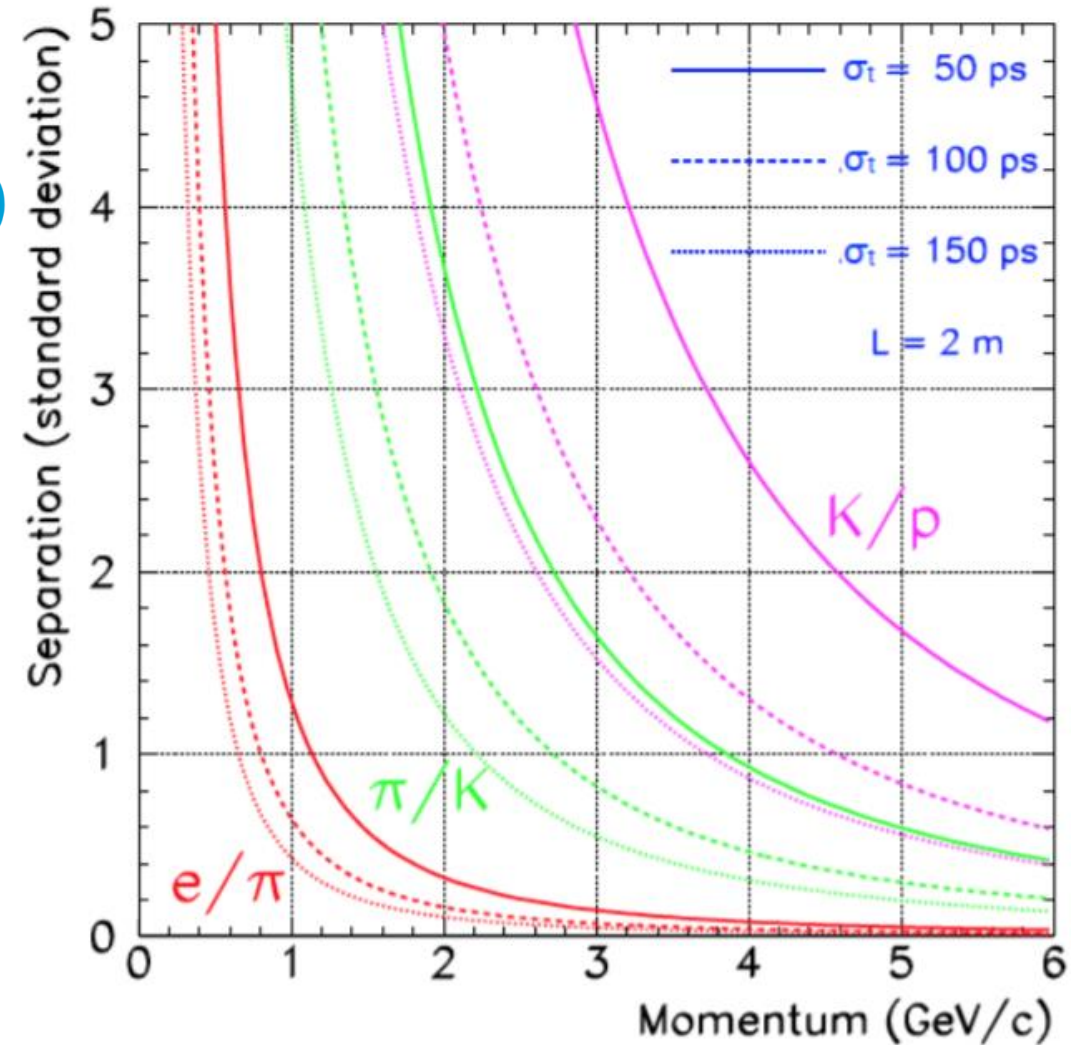
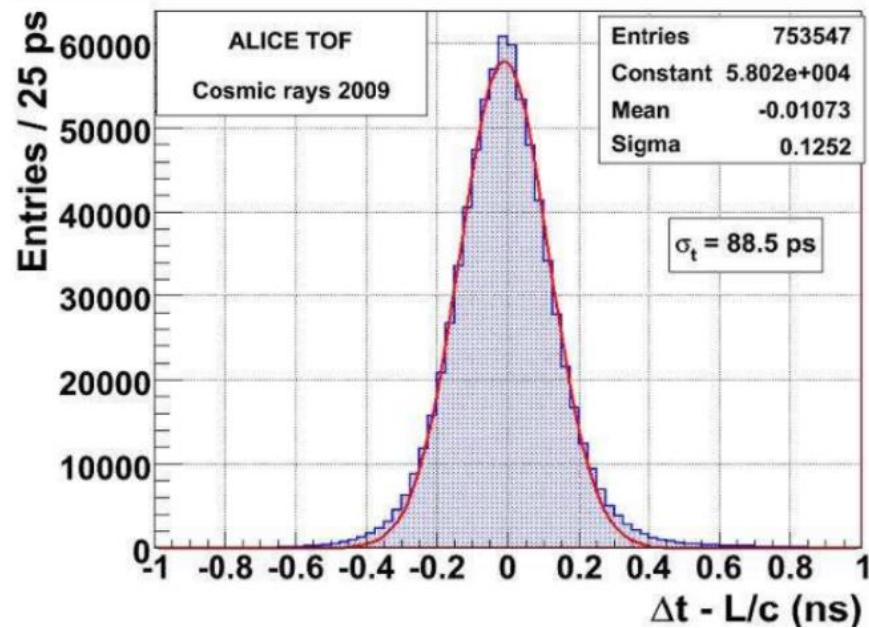
$$\Delta t \approx \frac{L}{pc} \left[m_1 c \left(1 + \frac{p^2}{2m_1^2 c^2} + \dots \right) - m_2 c \left(1 + \frac{p^2}{2m_2^2 c^2} + \dots \right) \right]$$

$$\Delta t \approx \frac{L}{p} (m_1 - m_2)$$



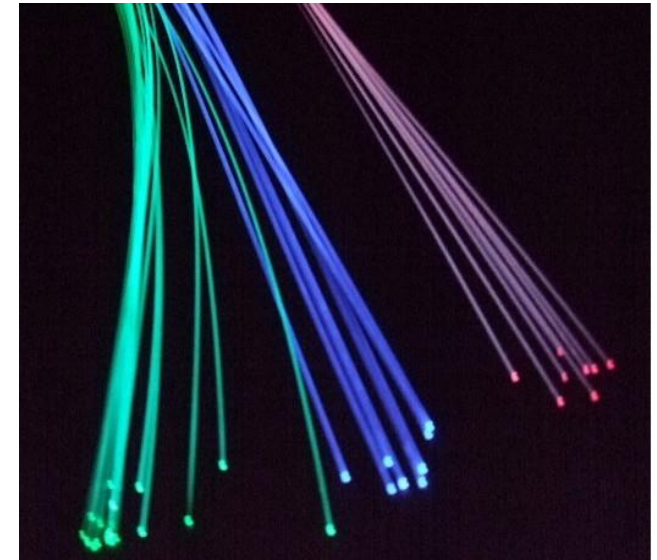
Método TOF

$$\left. \begin{aligned}
 m_{\pi} &\sim 150 \text{ MeV}/c^2 \\
 m_K &\sim 500 \text{ MeV}/c^2 \\
 p &\sim 1 \text{ GeV}/c \\
 L &\sim 2 \text{ m}
 \end{aligned} \right\} \Delta t = \frac{Lc}{2p^2} (m_K^2 - m_{\pi}^2) = 800 \text{ ps}$$



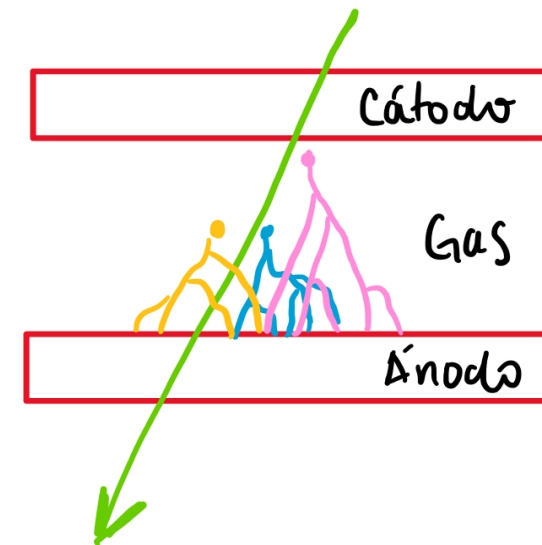


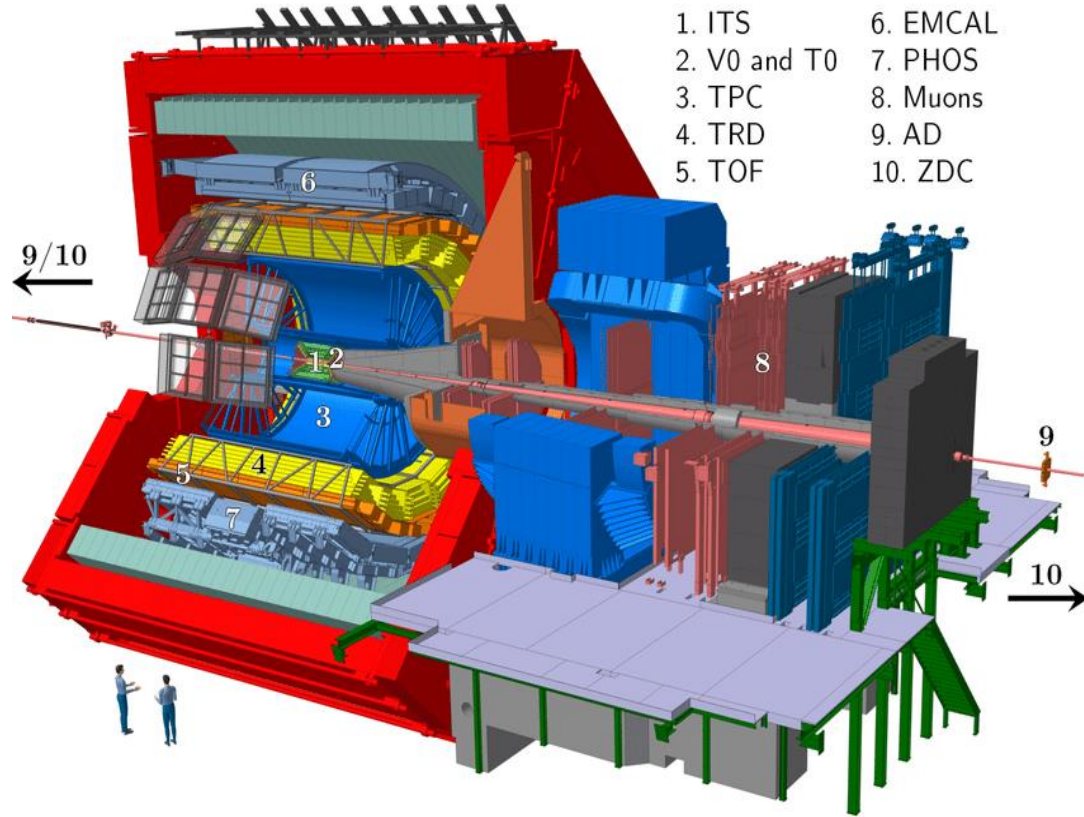
- Material centellador (orgánico/plástico)
 - La partícula libera energía al pasar por el medio,
 - el medio absorbe la energía y emite luz,
 - la luz es llevada por una guía de onda a un PMT,
 - la luz es recibida por fotocátodos que emiten electrones,
 - voltaje dentro del PMT amplifica la cascada electrónica,
 - un pulso eléctrico es determinado cuando se superan los límites
- Incertidumbres en el tiempo
 - Tiempo de fluorescencia
 - Ganancia del material: Número de fotones por MeV
 - Velocidad efectiva de propagación en la guía de onda
 - Tiempo de respuesta del PMT y la electrónica



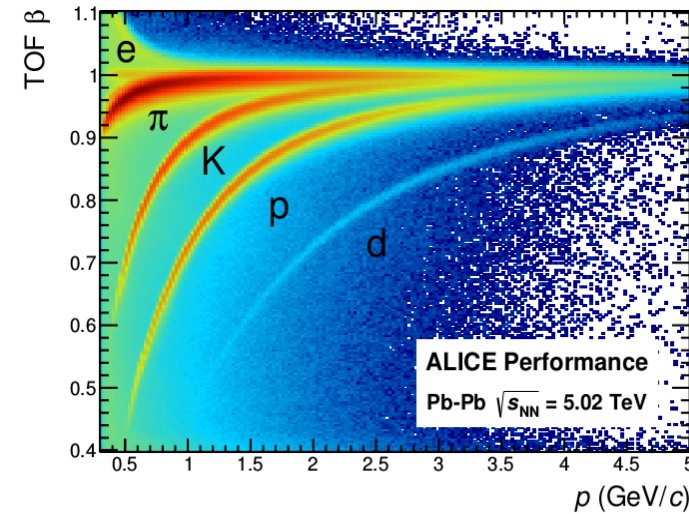
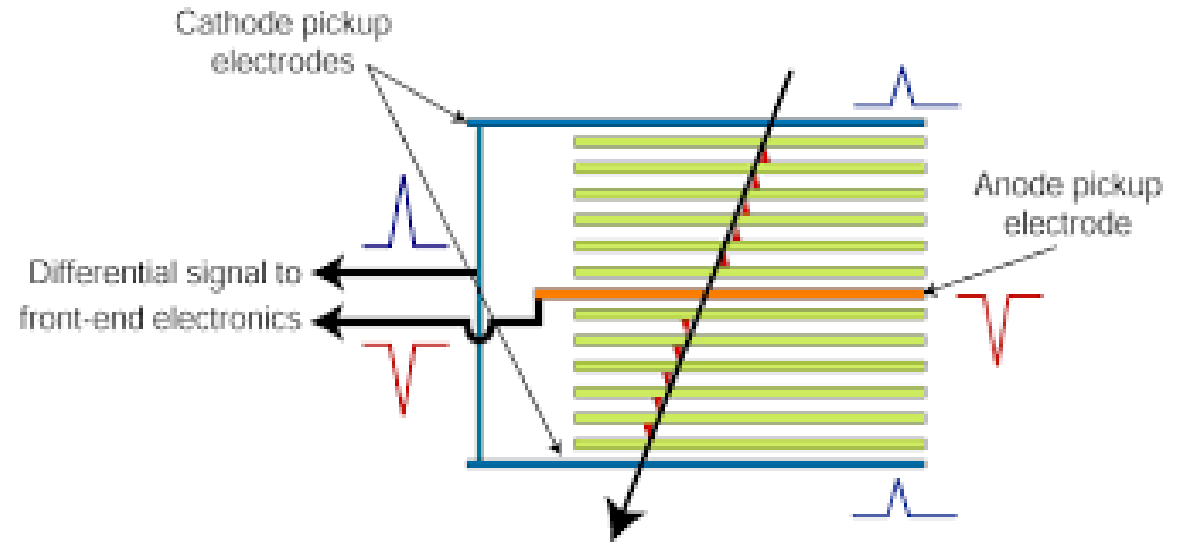


- Resistive plate chambers
 - Gas ionizable,
 - la partícula cargada libera iones,
 - un campo eléctrico entre los electrodos genera una avalancha de iones,
 - la avalancha es exponencial por lo que si se genera cerca al ánodo no será detectable.
 - Arreglo de gaps pequeños MRPC
- Desventajas
 - Gas a alta presión
 - Región activa limitada
 - Eventos tardíos producen colas temporales





Experimento ALICE



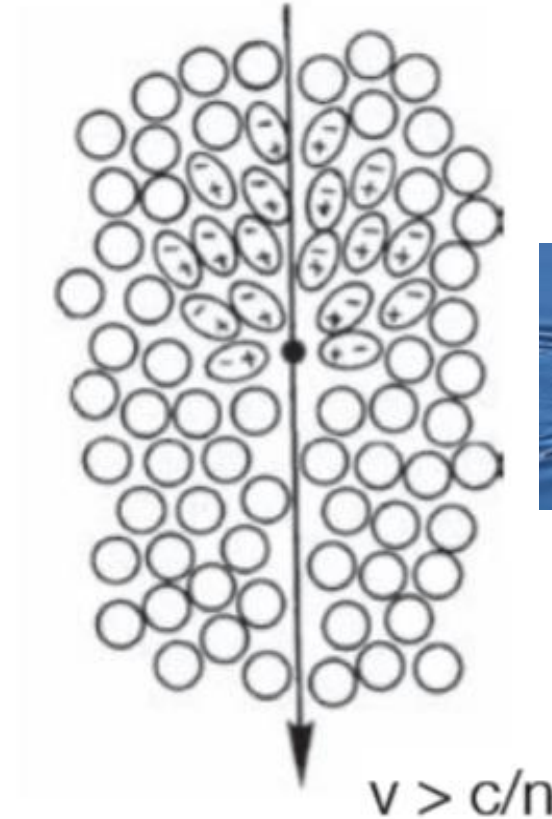
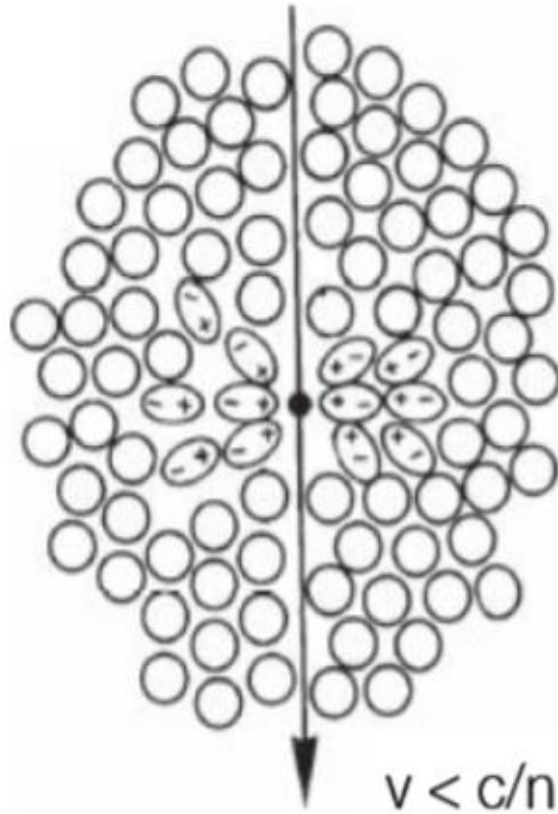
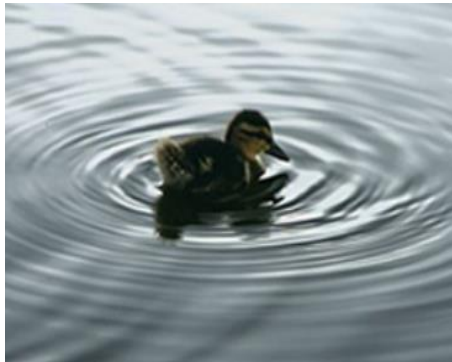
ALI-PERF-106336

Radiación Cherenkov



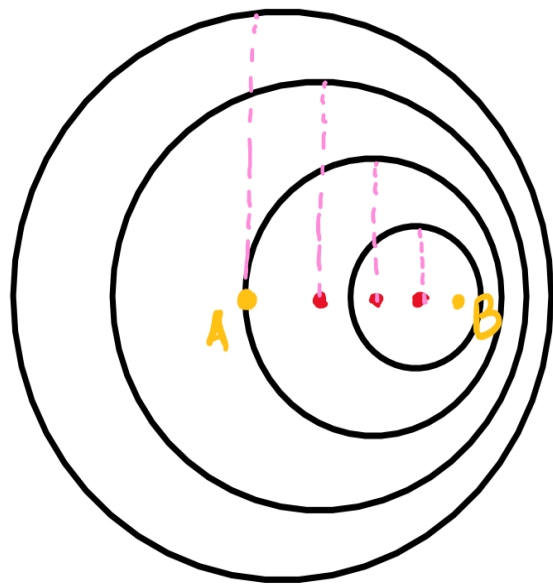
Efecto Cherenkov

- Nada puede viajar más rápido que la luz... **en el vacío...**

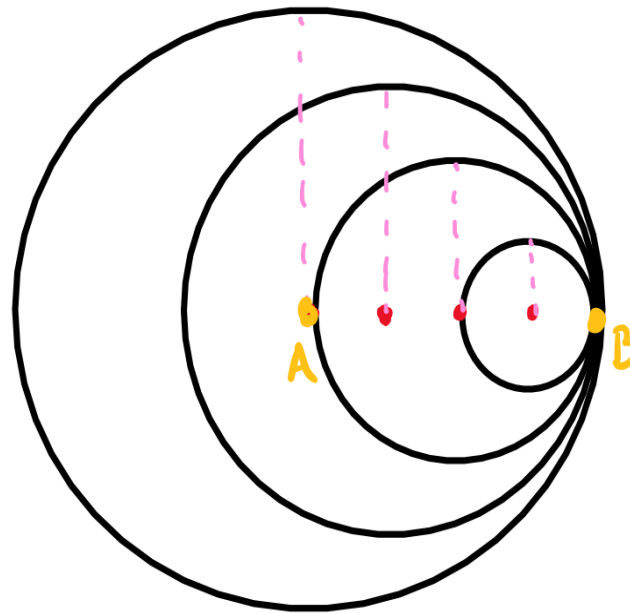




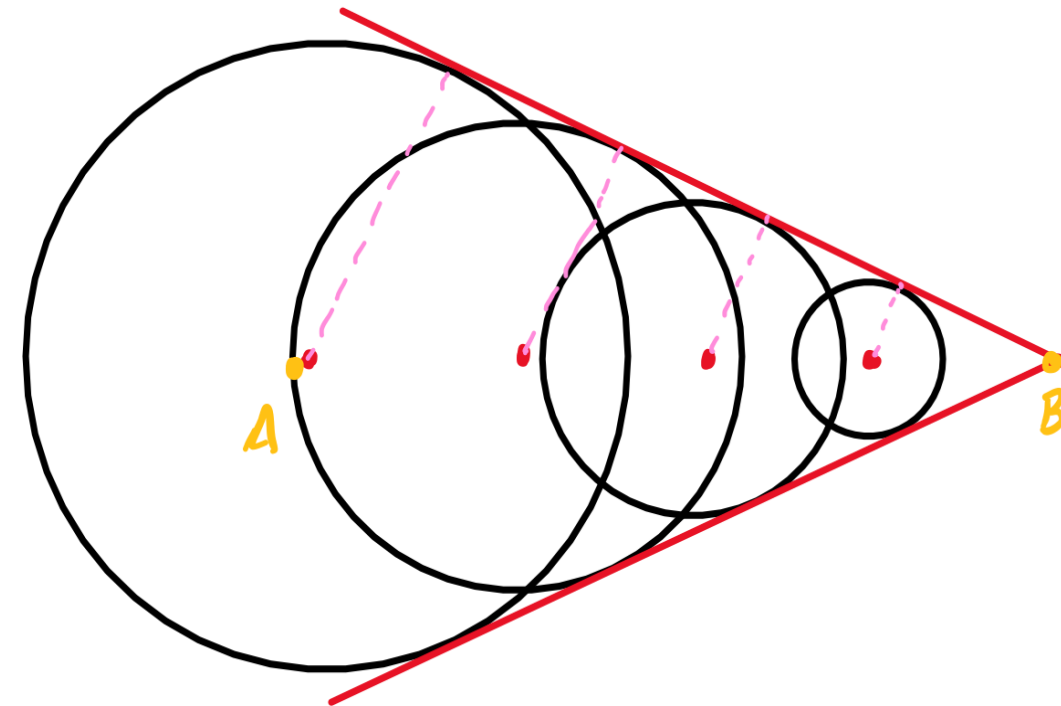
Efecto Cherenkov, frente de onda



$$v < c/n$$



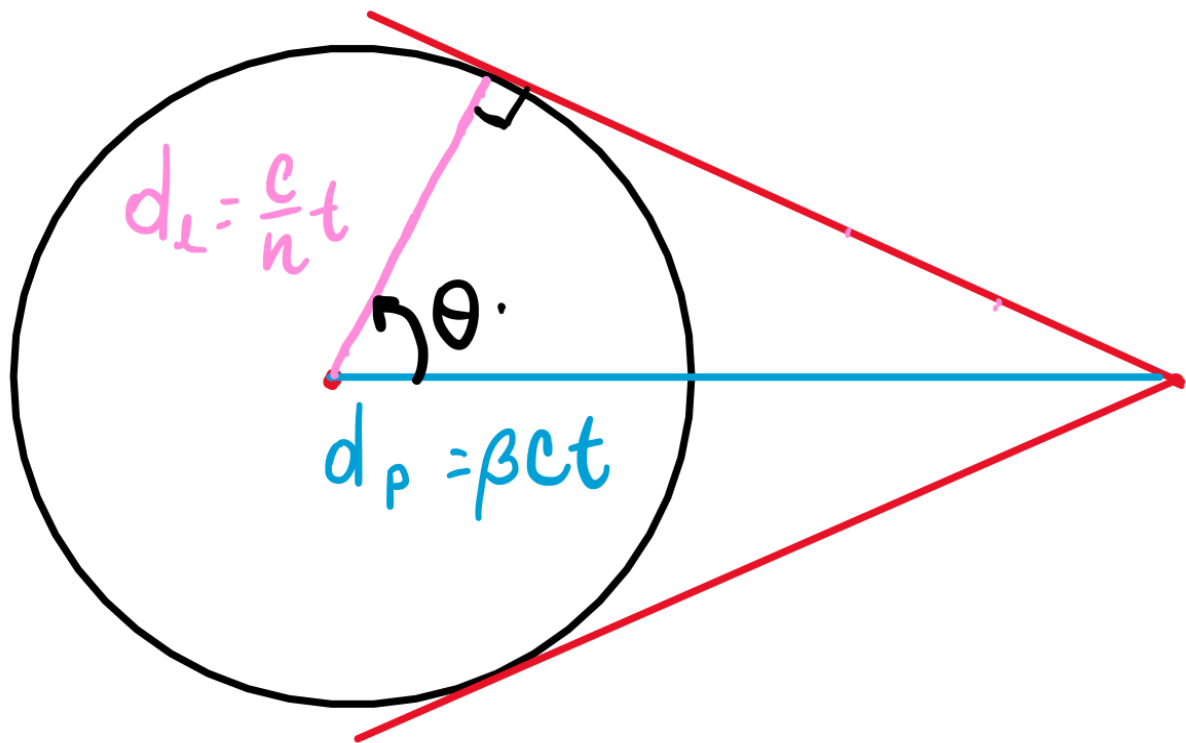
$$v = c/n$$



$$v > c/n$$



Ángulo Cherenkov



$$\cos \theta = \frac{d_L}{d_p} = \frac{1}{\beta n}$$

- Descubierta en los 30's por Pavel Cherenkov, explicado en 1937 Tamn-Frank, lleva al premio Nobel en 1958
- Polarización eléctrica del medio
- Superposición coherente de las ondas, choque superlumínico
- θ es el ángulo de emisión de la radiación Cherenkov
- Se debe añadir una corrección por retroceso de la partícula cargada al emitir el fotón

$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta} + \frac{\hbar k}{2p} \left\{ 1 - \frac{1}{n^2} \right\}$$



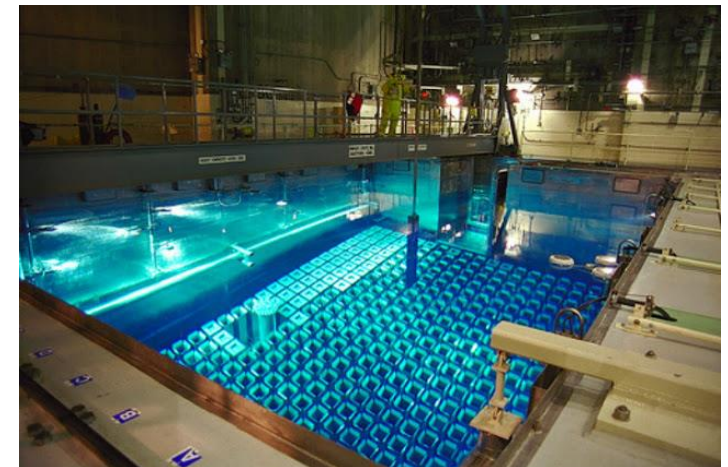
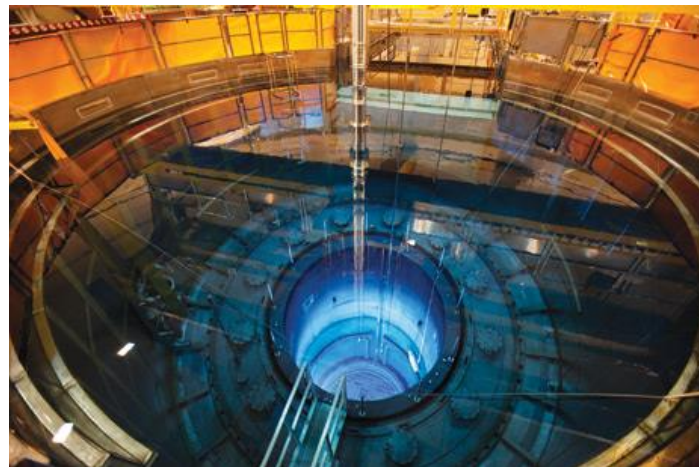
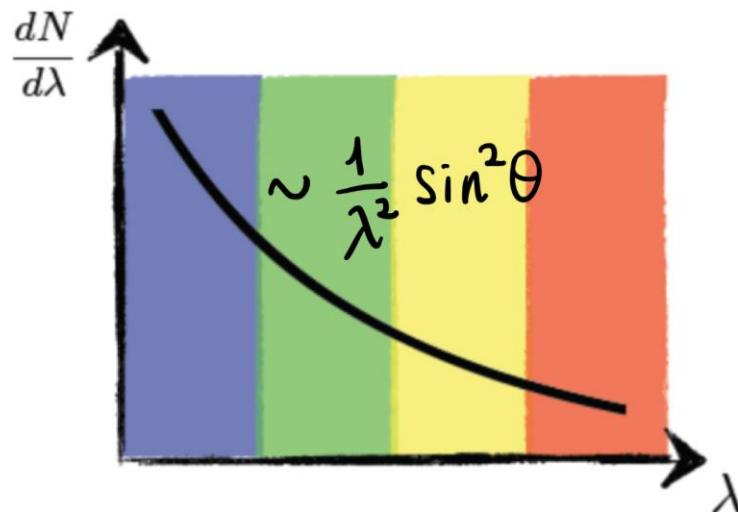
Efecto Cherenkov, características

- Existe un límite β_{th} , para que el efecto ocurra.

$$\rightarrow \theta_{mín} = 0, \beta_{th} = \frac{1}{n}, \gamma_{th} = \{1 - \beta_{th}^2\}^{-\frac{1}{2}} = \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

$$\rightarrow \theta_{máx} = \arccos\left(\frac{1}{n}\right), \beta \rightarrow 1$$

- La intensidad de la radiación Cherenkov es función de la longitud de onda (Tamn-Frank)

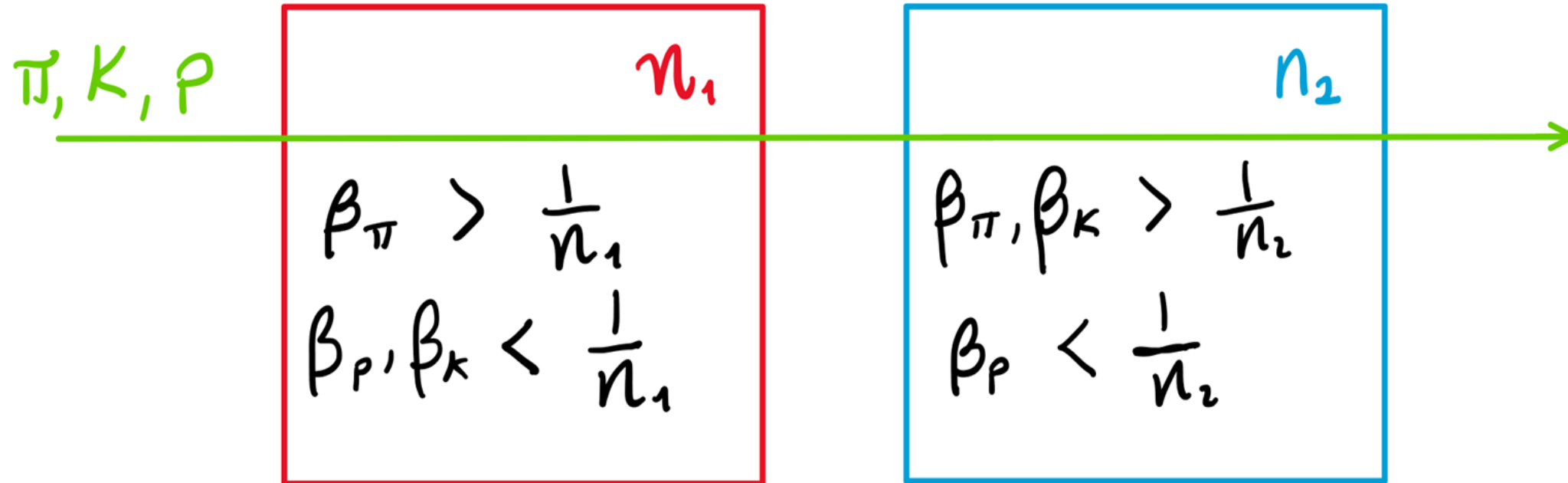




- Medio
 - Rango de velocidad de la partícula
 - Pequeña dispersión cromática
- Intensidad de la radiación
 - Maximización del número de fotones Cherenkov, con el tamaño del medio activo.
Desventajas mecánicas y económicas
 - Maximización de la eficiencia de recolección de fotones: guías de ondas y espejos
 - Maximizar la eficiencia de detección: buena resolución
- Espectro de emisión
 - Materiales transparentes a UV, medio y detectores
- Fondo
 - Electrones secundarios, que causan señales falsas (rayos delta)



Efecto Cherenkov, Esquemas de límite

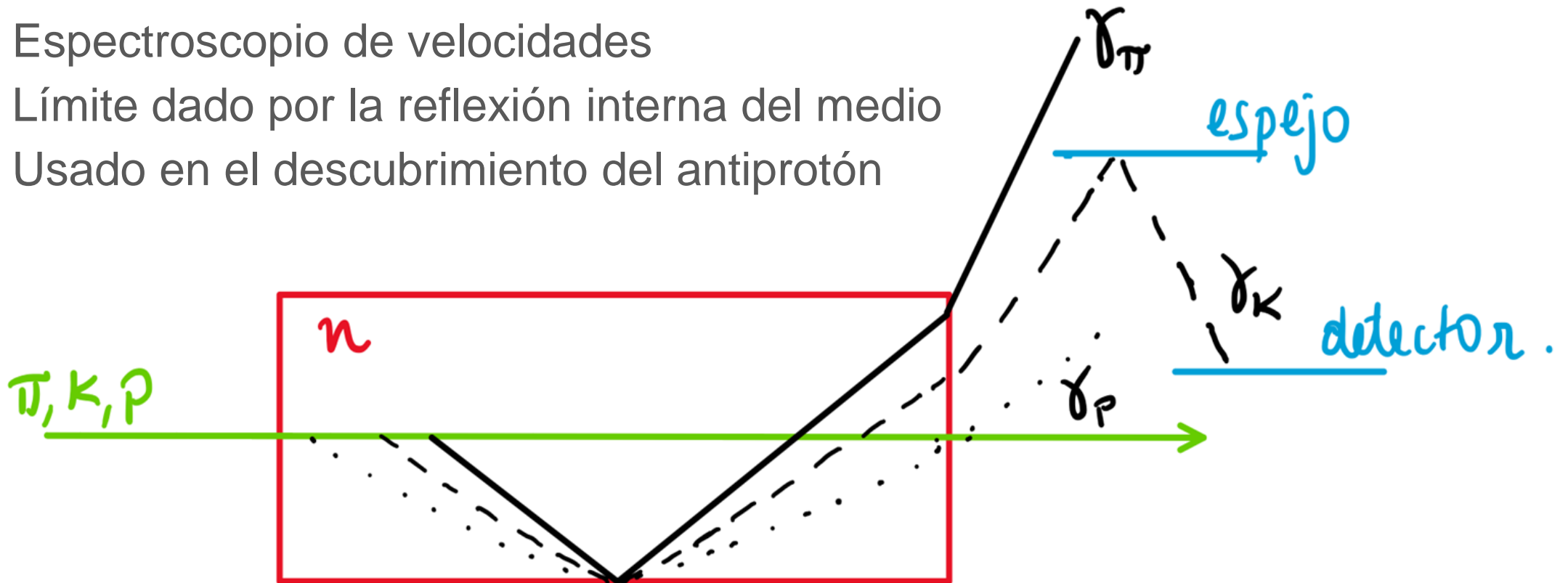


- Luz en 1 y 2, es un pión
- Luz solo en 2, es un kaón
- No luz, es un protón
- Detectores auxiliares, i.e. Belle ACC



Efecto Cherenkov, Esquemas diferenciales

- Espectroscopio de velocidades
- Límite dado por la reflexión interna del medio
- Usado en el descubrimiento del antiprotón

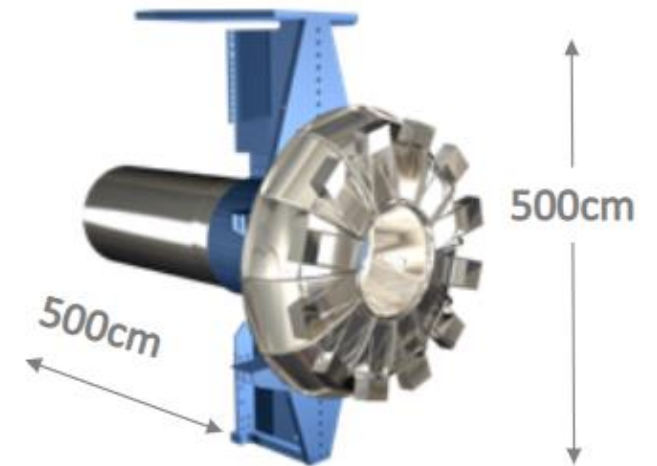
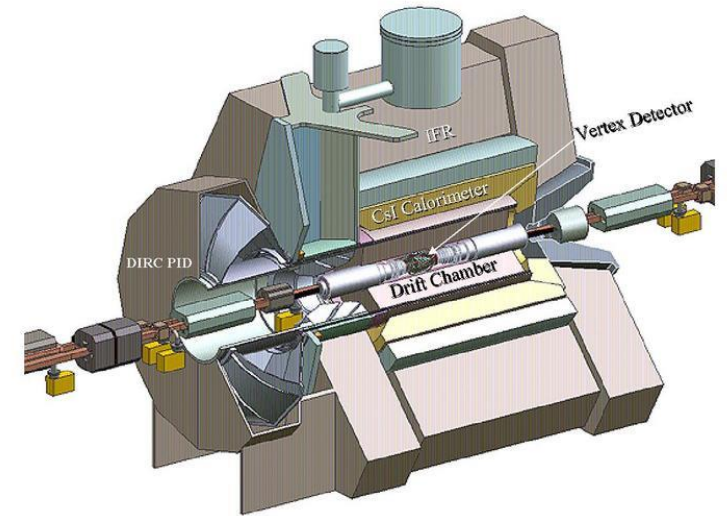
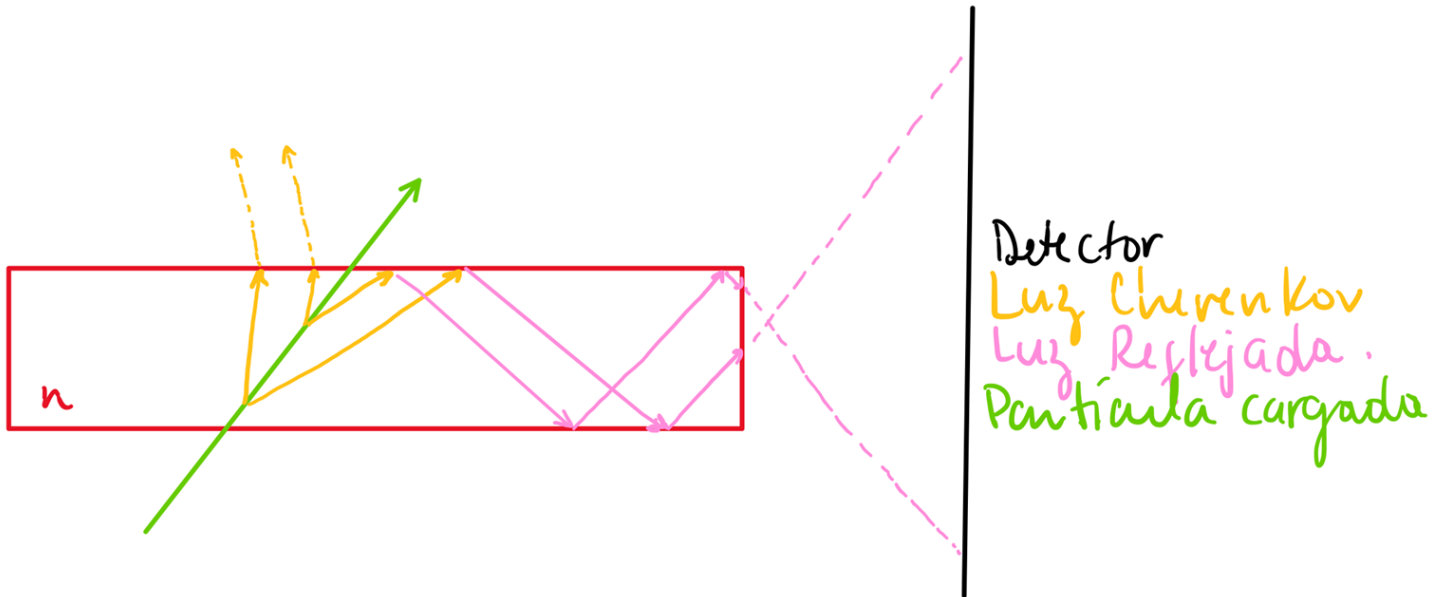


$$\cos \theta_{\max} = \left(1 - \sin^2 \theta_T\right)^{1/2} = \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)^{1/2} = \frac{1}{\beta_{\max} n}$$
$$\beta_{\max} = \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}}$$



Efecto Cherenkov, DIRC

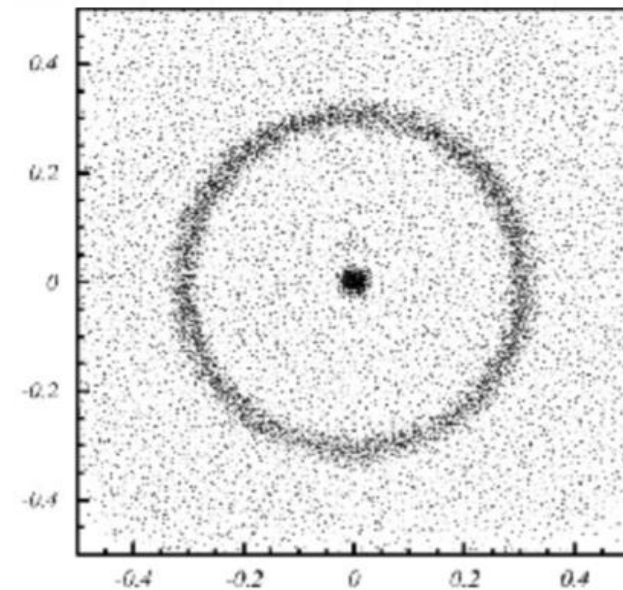
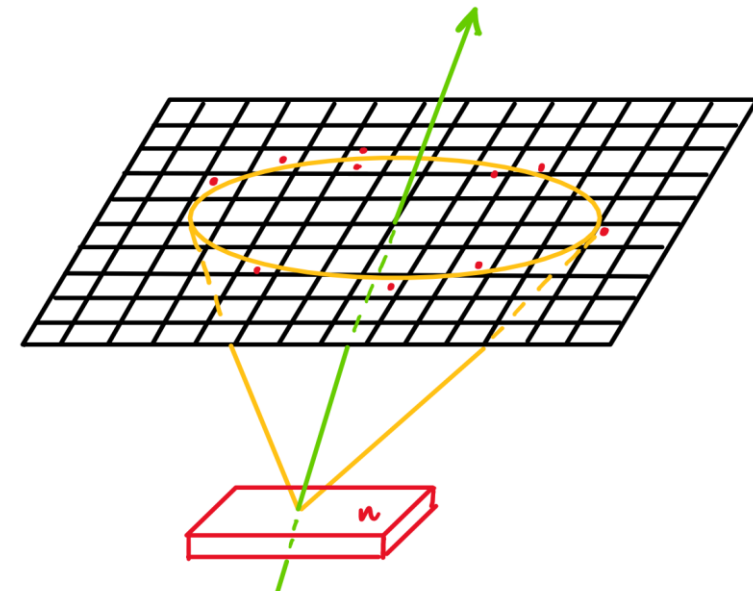
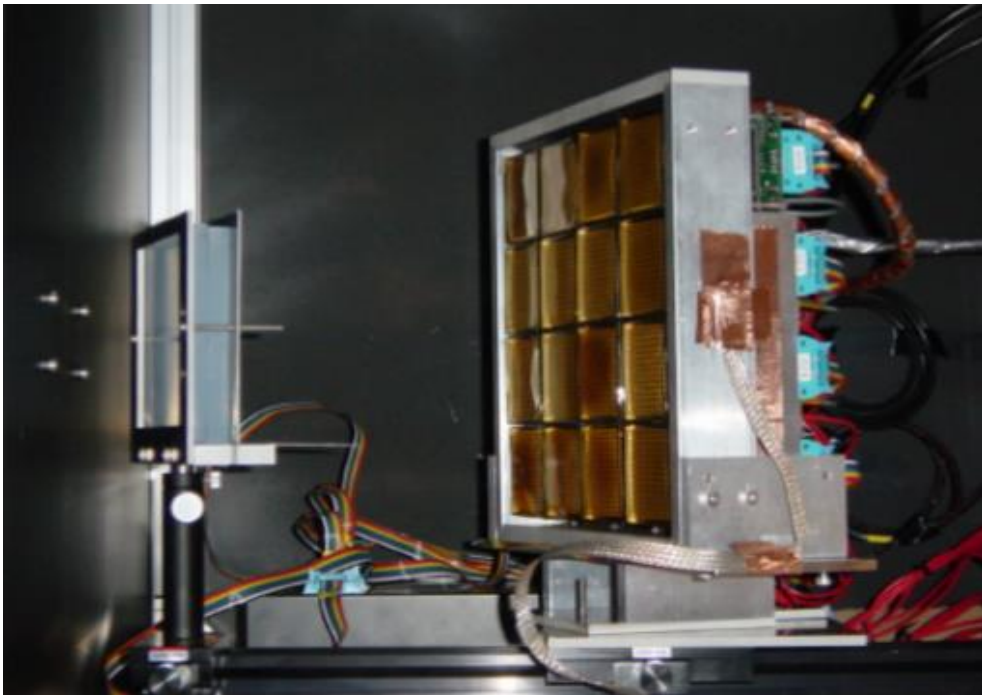
- Detection of Internally Reflected Cherenkov light





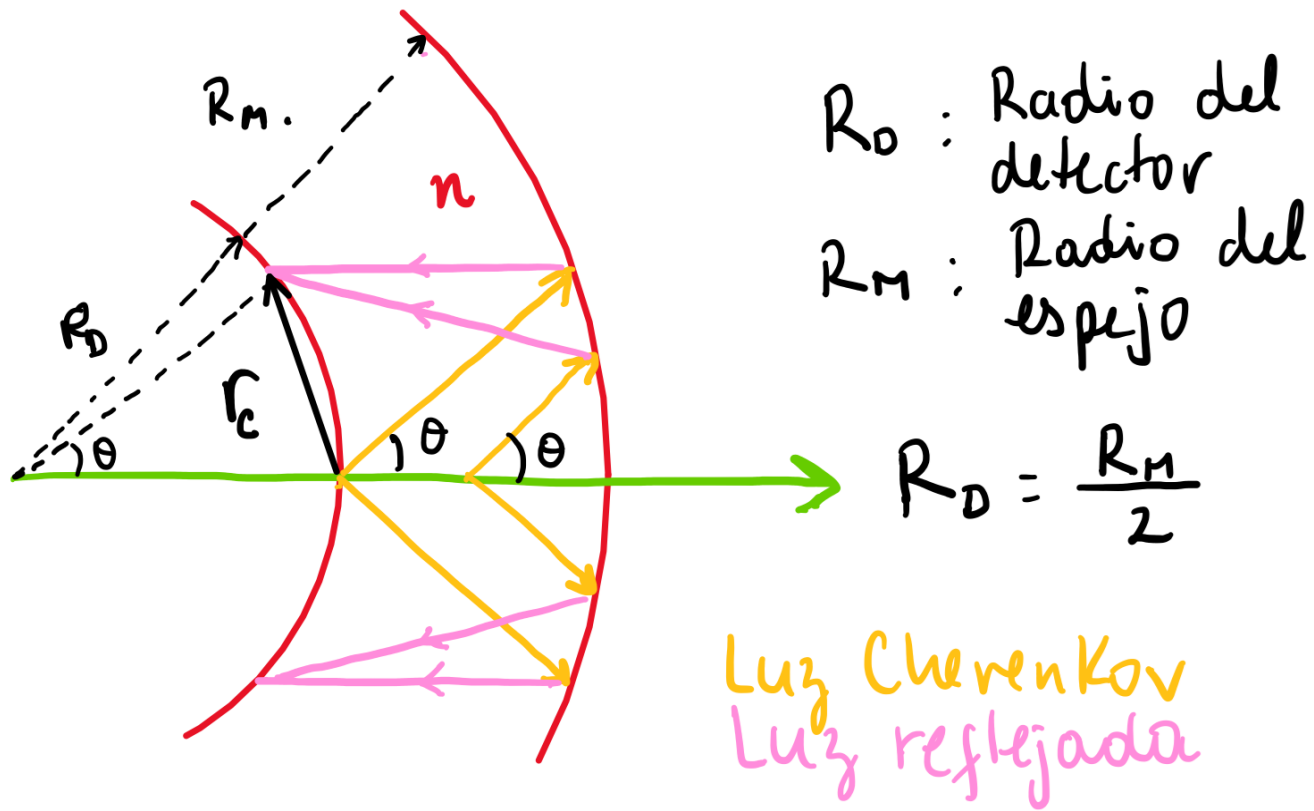
Efecto Cherenkov, RICH

- Ring Imaging Cherenkov detectors
- Enfoque de proximidad, ej. Belle, separación K/π 4.8σ hasta $4\text{GeV}/c$
- Resolución: granularidad, ancho del radiador, distancia





Efecto Cherenkov, RICH



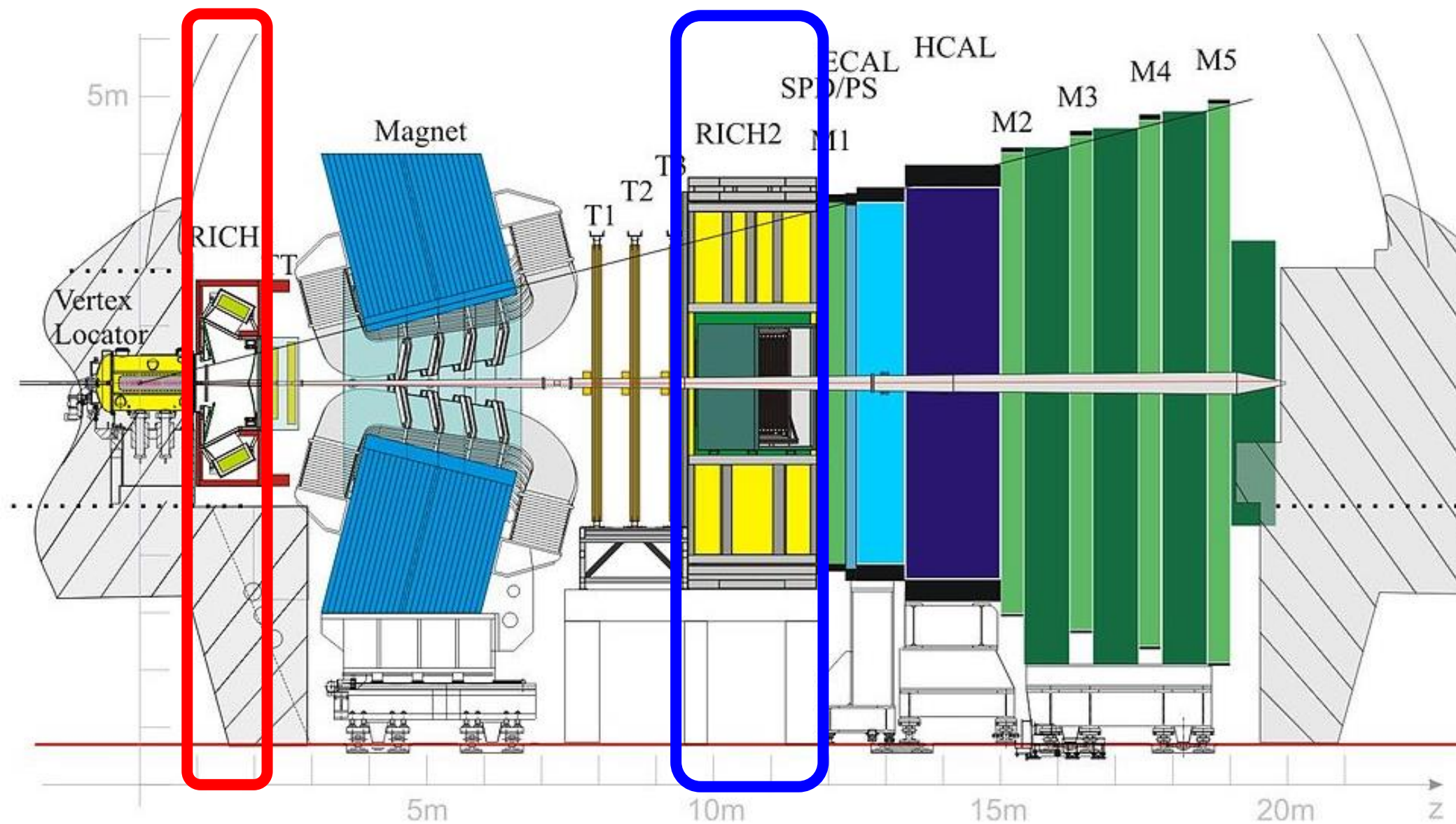
$$r_c = R_0 \theta = \frac{R_m}{2} \theta$$

$$\beta = (n \cos \theta)^{-1} = \left(n \cos \left(\frac{2r_c}{R_m} \right) \right)^{-1}$$

- Óptica complicada para enfocar la luz
- Mecánica más complicada
- Mejoras notables en la resolución



Efecto Cherenkov, LHCb-RICH





Efecto Cherenkov, LHCb-RICH

- RICH1

- Aerogel

- $L = 5\text{cm}$

- $n = 1.03$

- p entre 2 y 10 GeV/c

- Gas C_4F_{10}

- $L = 85\text{cm}$

- $n = 1.0014$

- $p < 70\text{ GeV}$

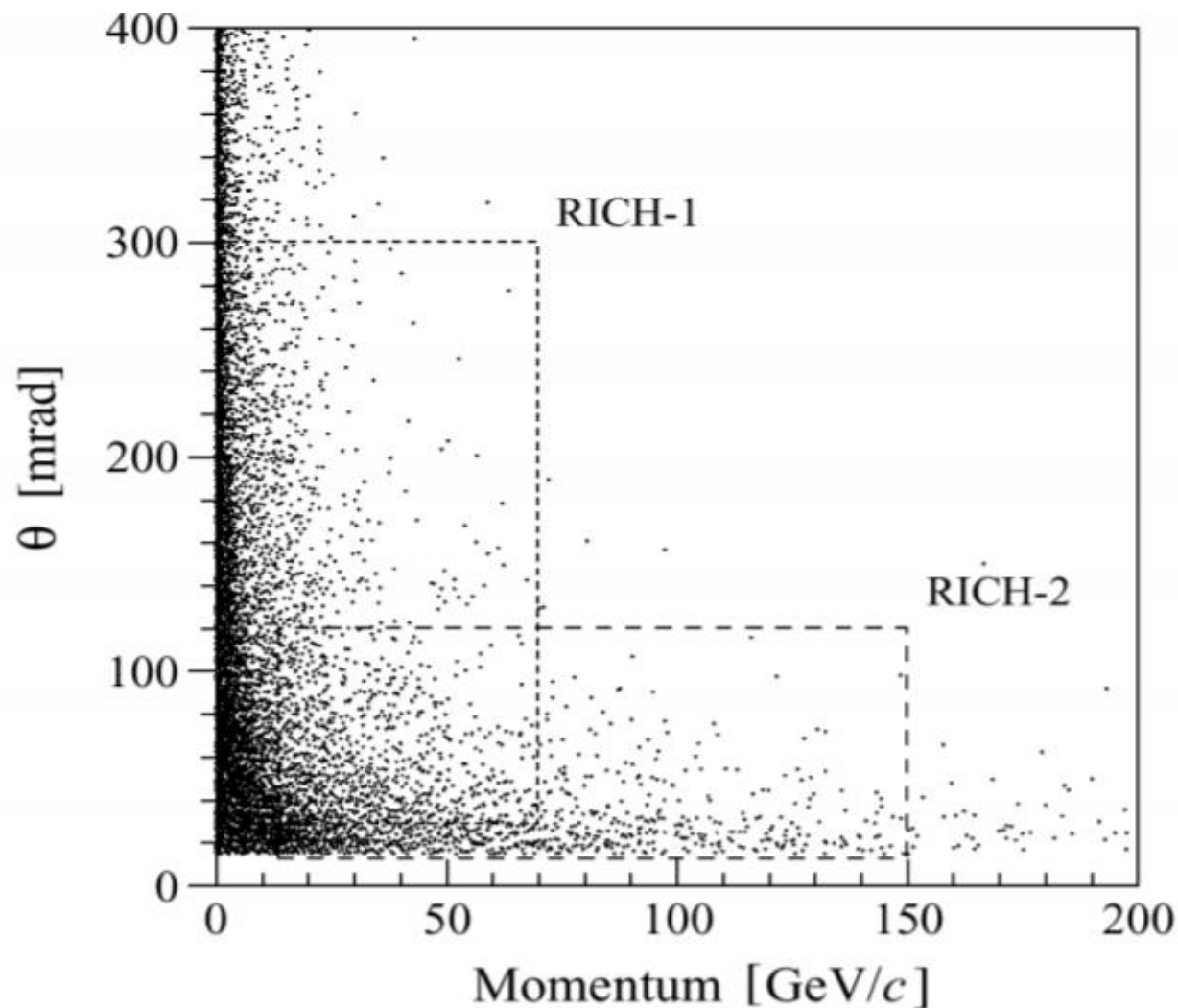
- RICH2

- Gas CF_4

- $L = 196\text{ cm}$

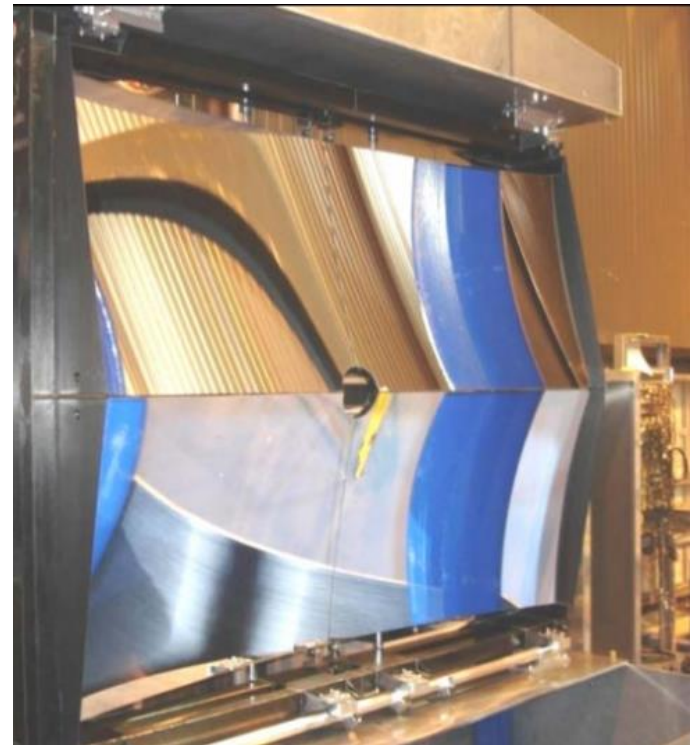
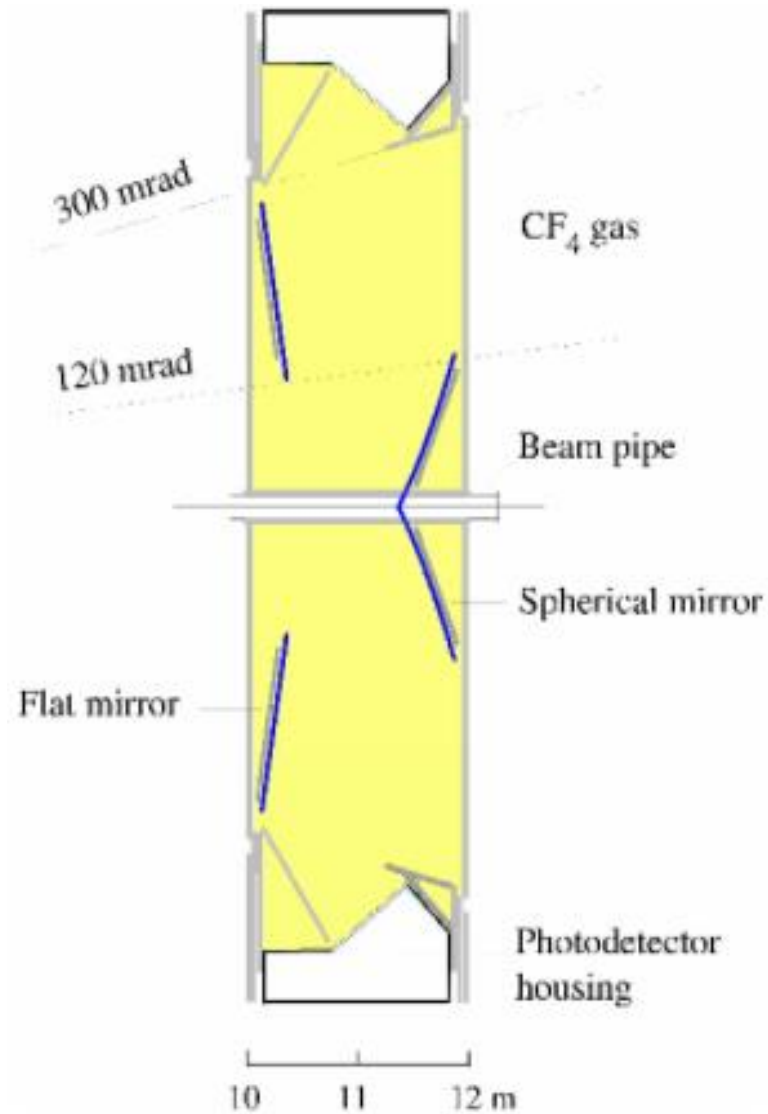
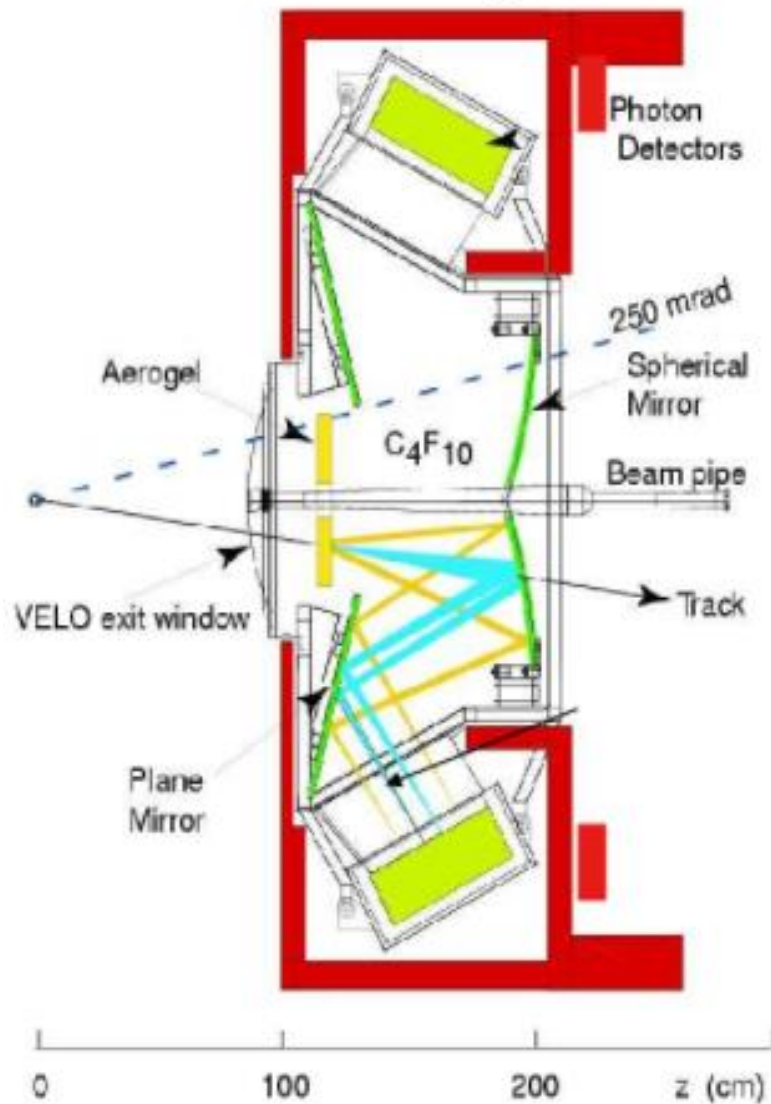
- $n = 1.0005$

- $p < 100\text{ GeV/c}$



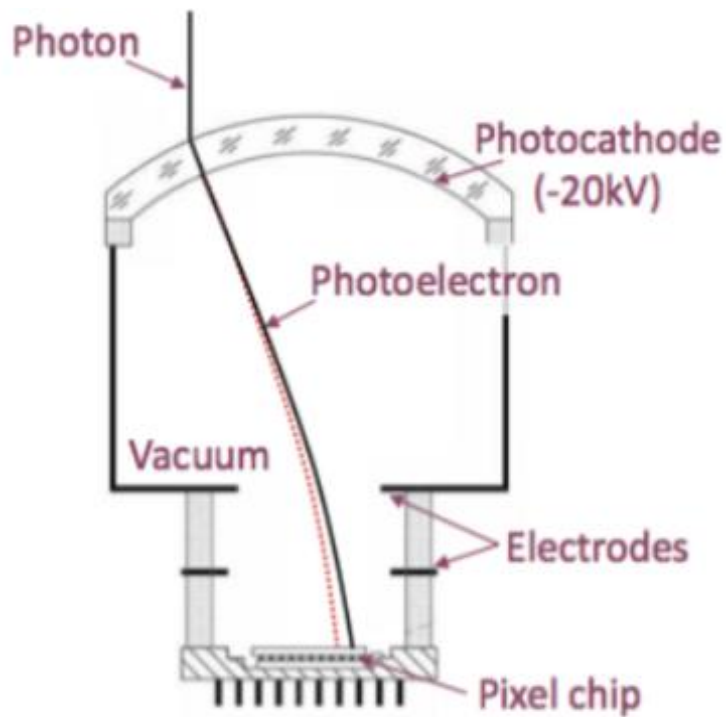


Efecto Cherenkov, LHCb-RICH





Efecto Cherenkov, LHCb-RICH

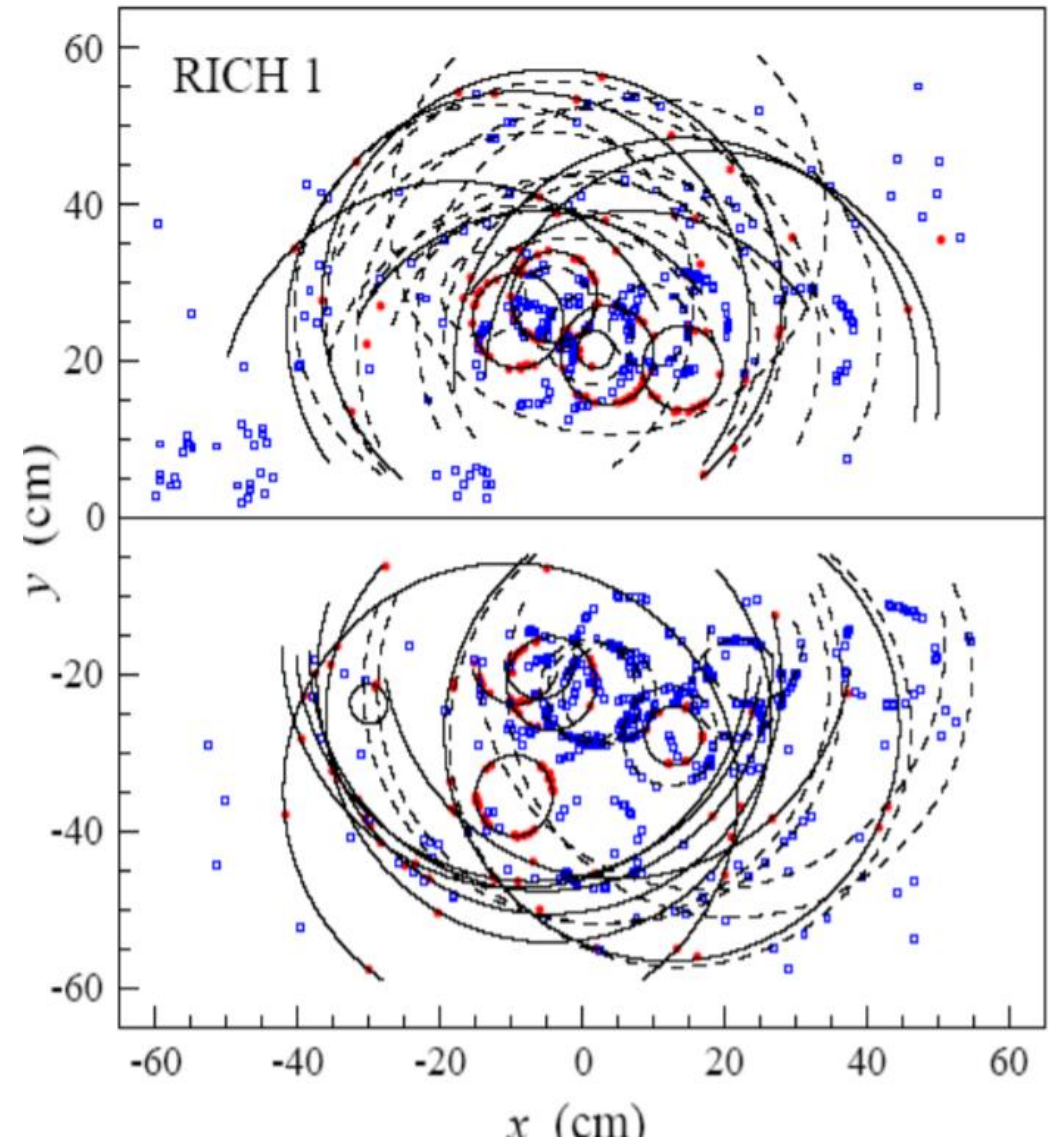


- HPD
- 196 en RICH1 y 288 en RICH2
- 3.3 m² de área fotosensible



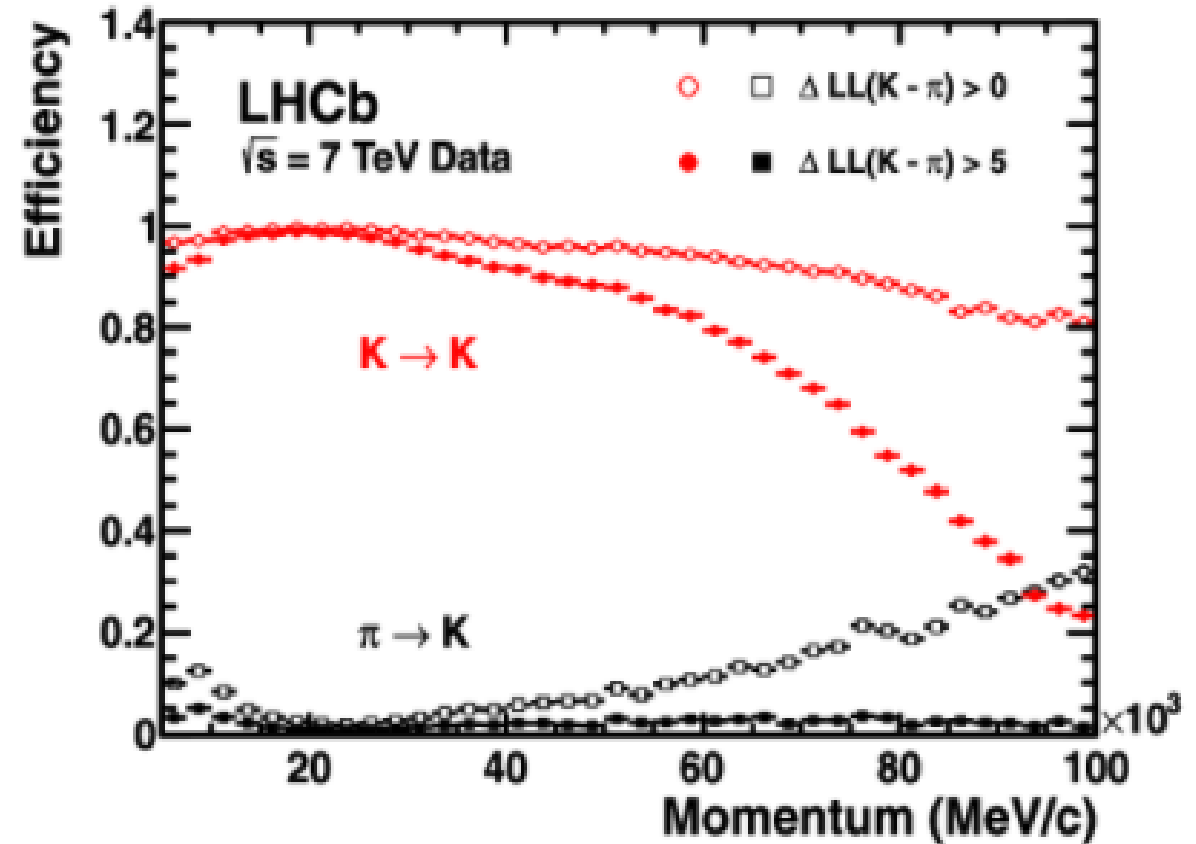
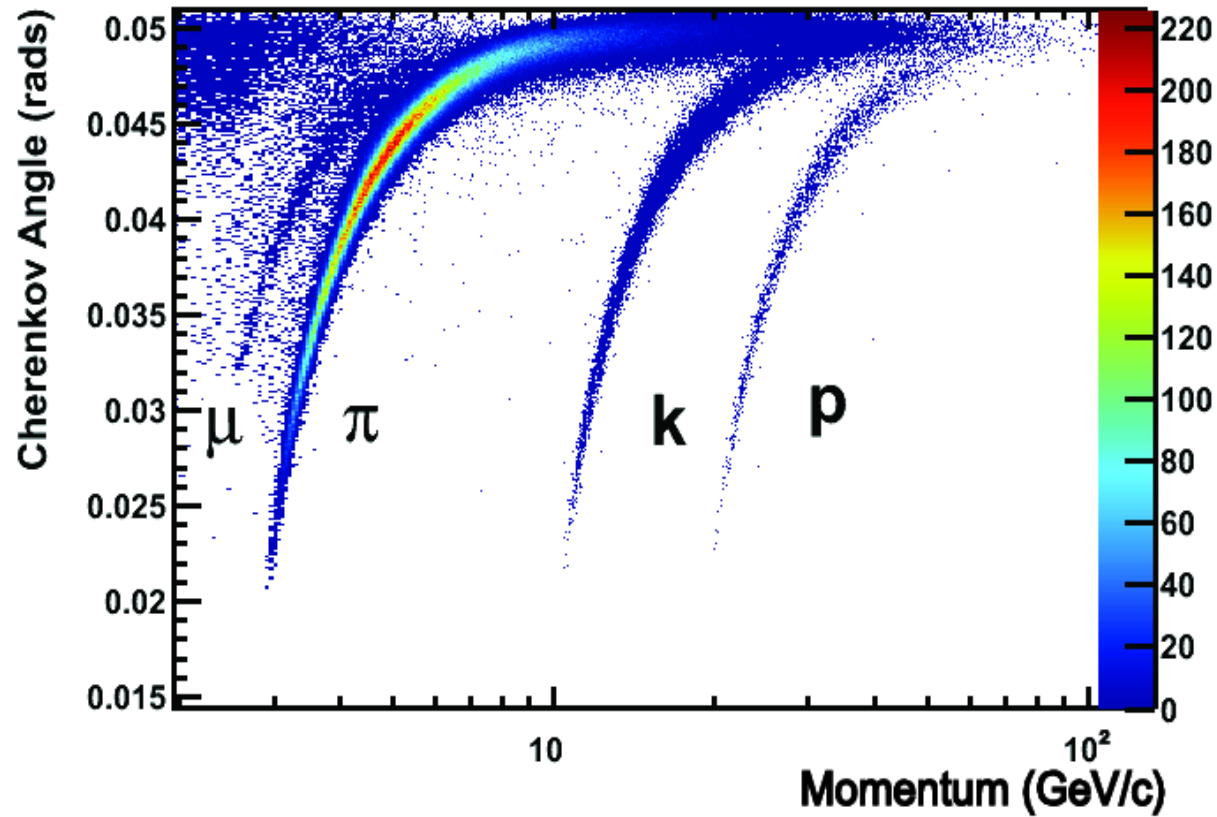
Efecto Cherenkov, LHCb-RICH

- Hits en RICH1, MC
- Radio de los anillos
 - Grande aerogel
 - Pequeño gas
- **PV y SV. Física principal**
- Fondo o partículas no reconstruidas
- Reconocimiento de patrones
 - Para cada traza, dada una hipótesis de masa, proyectar los anillos
 - Comparar con el conjunto de anillos observados, crear una función de verosimilitud
 - Repetir con distintas hipótesis de masa y maximizar la función





Efecto Cherenkov, LHCb-RICH





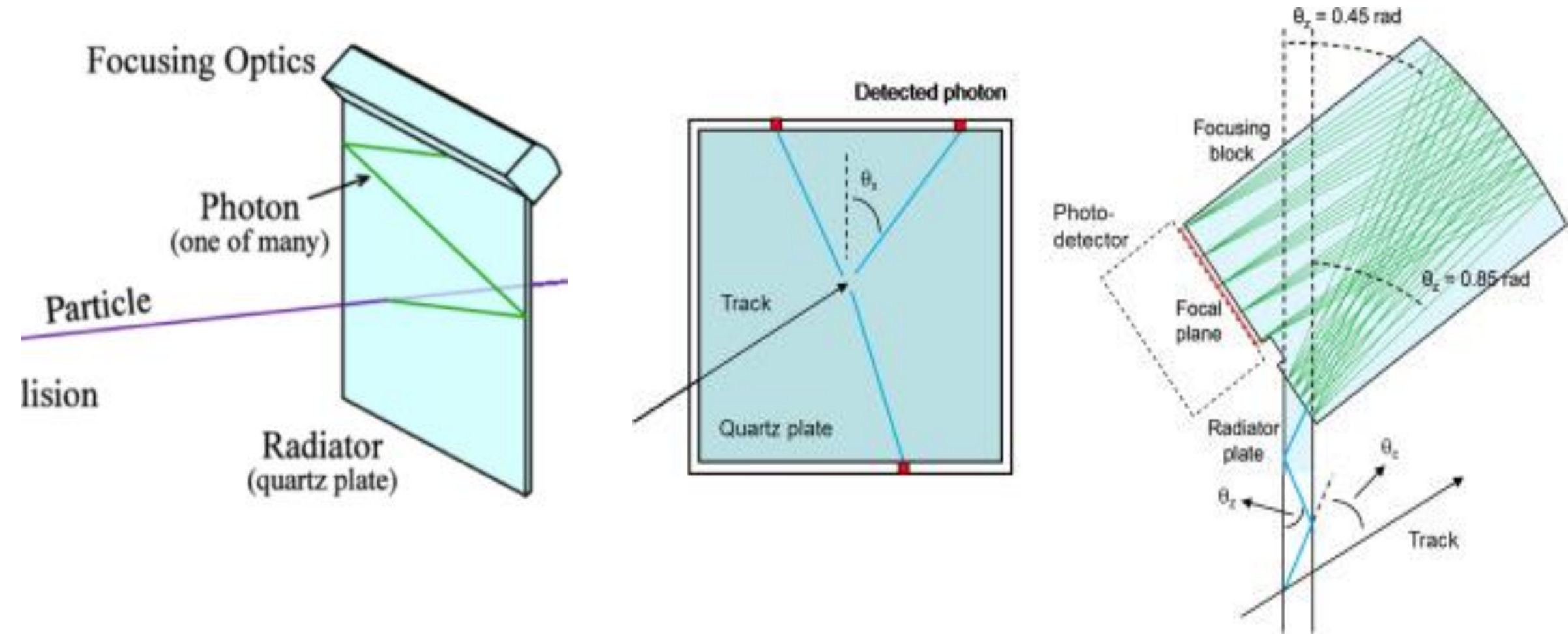
Conclusions

- La identificación de partículas es un elemento fundamental en la física de altas energías
- Existen distintos métodos, y combinaciones de estos, los cuales determinan distintas cantidades para en últimas determinar la identidad de las partículas cargadas que atraviesan los detectores
- Métodos como TOF y efecto Cherenkov permiten determinar la velocidad de las trazas, hasta 100 GeV/c a día de hoy, pero existen otros métodos que permiten medir la velocidad de partículas ultrarelativistas (radiación de transición)
- Otros métodos determinan otras cantidades como energía y pérdida de energía

Backup

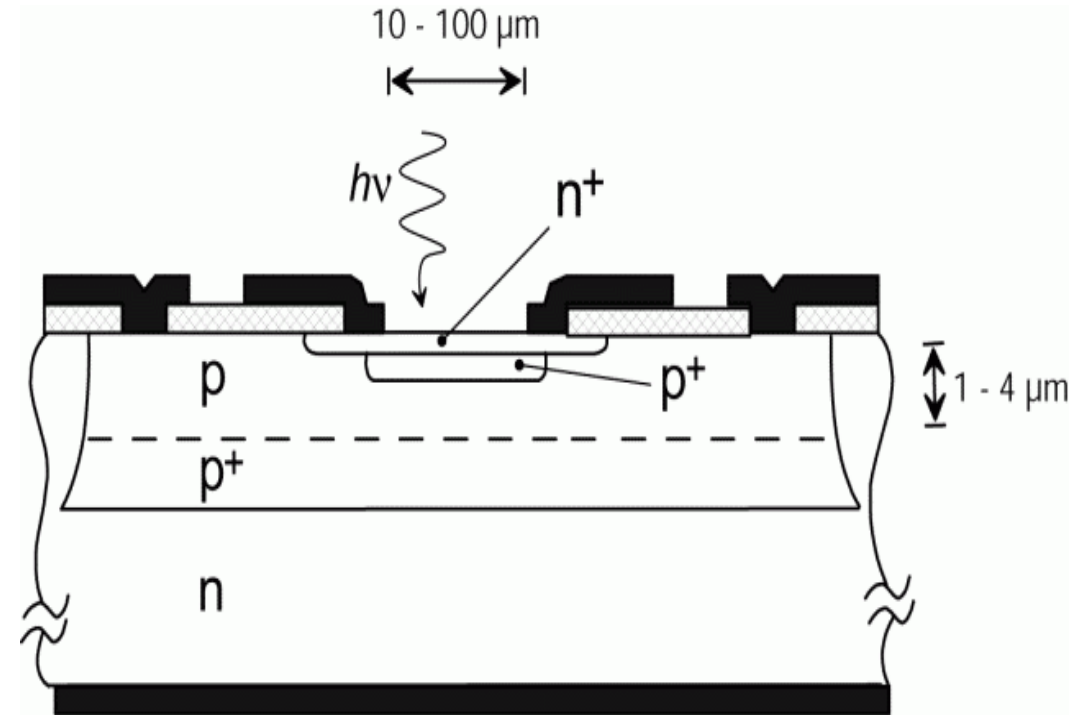
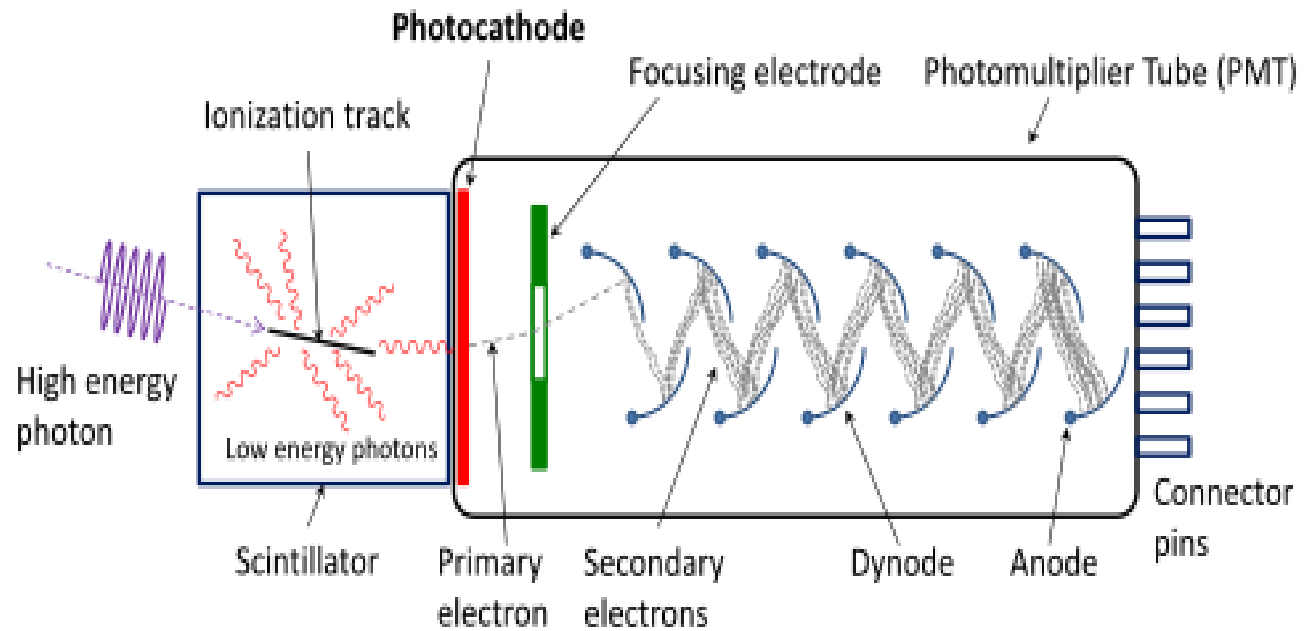


TORCH = TOF IR + RICH





Fotomultiplicadores





<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.