

# Contadores Cherenkov

## I.- Introducción

**1. Técnicas de identificación de partículas**

**2. Identificación de partículas y de iones pesados relativistas**

**2.1. Desarrollo histórico del efecto Cherenkov**

## II.- Las bases de la técnica

**3. La formación de la radiación Cherenkov**

**3.1. Límites angulares de la radiación**

**3.2. Consideraciones ...**

**4. La intensidad de la radiación**

**5. Principio de detección**

**6. Tipos de contadores. Clasificación.**

**7. Formación de la imagen de la radiación de Cherenkov**

**8. Resolución  $\Delta\beta/\beta$  de un detector y poder separador**

**9. Elección del material radiador**

**10. Calidad de imagen y error de medida**

## III.- Contadores de umbral y diferenciales

**11. Contadores Cherenkov en régimen umbral**

**11.1. La separación de partículas**

**11.2. La separación de núcleos en Física Nuclear**

**12. Contadores diferenciales**

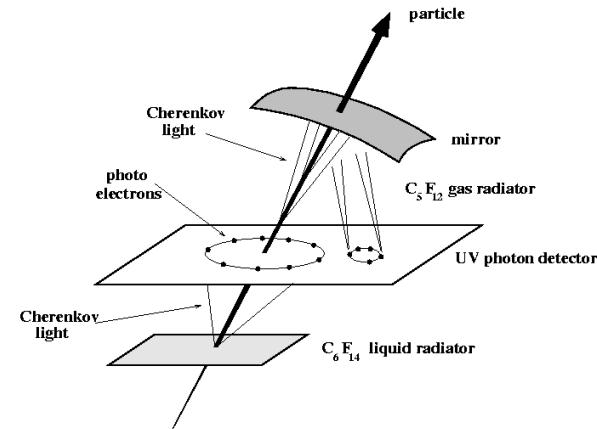
## IV.- Los detectores RICH

**13. Los fotodetectores**

**13.1. Fotoionización en gases**

**13.2. Detección de los fotoelectrones**

**14. Detectores RICH lentes de proyección ter**



# III. LOS CONTADORES CHERENKOV DE UMBRAL Y DIFERENCIALES



# Introducción (III)

- Los detectores Cherenkov clásicos (de umbral o diferenciales) utilizan únicamente PMs como detectores de fotones.

↗ La aceptancia **A**, en el espacio de fase, para un contador Cherenkov con focalización:

$$A = \underbrace{K \cdot s \cdot \Delta\Omega}_{\text{Emitancia del haz}} \cdot \Delta p$$

**K**: Factor resultante de la integral  
**s**: Superficie del fotodetector  
 **$\Delta\Omega$** : Ángulo sólido subtendido por las partículas detectadas  
 **$\Delta p$** : Aceptancia en  $p$

- ☞ La aceptancia es pequeña en contadores diferenciales → La luz pasa por una ventana (rendija):  $\theta_o + \Delta\theta_o$
- ☞ En los de tipo umbral, **A** puede ser mayor ya que basta con que la luz llegue al PM.



# 11. Contadores Cherenkov en régimen umbral.

- Detectan partículas que tienen velocidad suficiente para producir luz de Cherenkov en el radiador.

$$\beta > \beta_o = 1/n \Rightarrow \theta_o = 0$$

En la práctica se necesita un **valor finito del ángulo  $\theta$**  para que la eficiencia del detector sea apreciable.

Para:  $\theta_o = 0 \rightarrow N_\gamma = 0$

Es posible aumentar la eficiencia del detector:

a) Aumentando la longitud del radiador → **mayor número de fotones**

b) Aumentando la eficiencia de detección, mediante el **incremento en la producción de fotoelectrones.**

La elección del índice  $n$  se ha de llevar a cabo de modo que la eficiencia de detección **( $1-\varepsilon$ )** tenga un valor aceptable, donde  $\varepsilon$  es la ineficiencia.

Si el número ( $N$ ) de fotoelectrones detectados es **pequeño**, es decir estamos cerca del umbral, la distribución es de Poisson.

$$P(N) = \frac{e^{-\bar{N}} (\bar{N})^N}{N!} \quad \text{donde: } \bar{N} = N_0 L \sin^2 \theta$$

Si el PM es capaz de reaccionar a un solo fotoelectrón:  $\varepsilon = P(0) = e^{-\bar{N}}$

$$(\varepsilon = 10^{-2} \Rightarrow \bar{N} = 4.6 ; \varepsilon = 10^{-3} \Rightarrow \bar{N} = 6.9)$$

## APLICACIONES:

- Separación de partículas a medianas y altas energías.
- Separación de núcleos de carga  $Ze$ , en Física Nuclear.

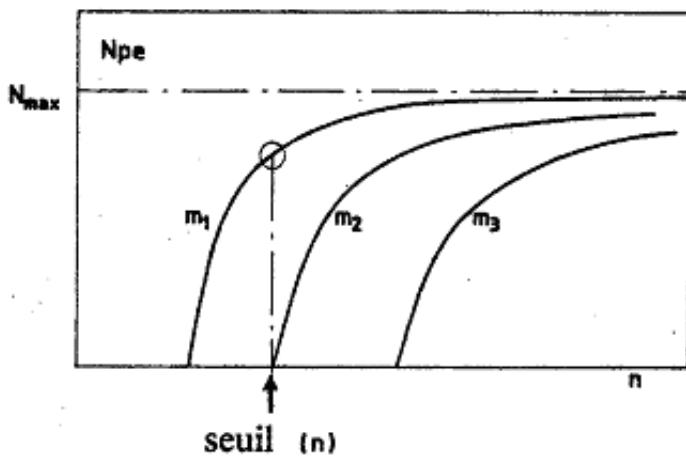


# 11.1. La separación de partículas

- El método consiste en utilizar detectores de Cherenkov umbral en régimen de cascada, optimizando cada detector para un  $\Delta p$  y un tipo de partícula.

Supongamos dos partículas de masas ( $m_1 < m_2$ ).

- La separación de  $m_1$  se obtiene ajustando  $n$  de modo que estemos en el umbral de  $m_2$  y asegurando al mismo tiempo una buena eficiencia de detección de la  $m_1$ .



- Para identificar  $m_2$  se necesita un segundo contador en el umbral de una tercera partícula  $m_3$ . **Ejemplo:**  $\pi$ , K, p

Se podrán identificar partículas utilizando una lógica electrónica

- A partir de las siguientes relaciones:

$$\left. \begin{aligned} \sin^2 \theta &= 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} = \frac{N}{N_0 L} \\ p &= \gamma m \beta = \frac{m \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{aligned} \right\} \sin^2 \theta = \frac{n^2 - 1}{n^2} - \frac{m^2}{p^2 n^2}$$

Expresión general

# 11.1. La separación de partículas (cont.)

↗ Hay que ajustar **n** de modo que:

$$\sin^2 \theta_1 = \frac{n^2 - 1}{n^2} - \frac{m_1^2}{p^2 n^2}$$

y

$$\sin^2 \theta_2 = \frac{n^2 - 1}{n^2} - \frac{m_2^2}{p^2 n^2}$$

$$n^2 - 1 = \frac{m_2^2}{p^2} \rightarrow$$

(Umbral en  $m_2$ :

$$\sin^2 \theta_1 = \frac{m_2^2 - m_1^2}{p^2 n^2} \rightarrow$$



*Relaciones que definen las condiciones de operación del contador*

Condición  $\theta_2=0$ )

*Nos da el índice de refracción*

*Nos da la producción de luz y el  $\theta_1$  de la  $m_1$*

↗ Para un contador gaseoso:  $(n - 1 \ll 1)$  y  $\theta_1 \approx \sin \theta_1$

$$n - 1 \approx \frac{m_2^2}{2p^2}$$

$$(n + 1 \approx 2)$$

$$\theta_1^2 \approx \frac{m_2^2 - m_1^2}{p^2} = \frac{N}{N_0 L} = 2 \left( \frac{\Delta \beta}{\beta} \right)_{m_1, m_2}$$

$$(n \approx 1)$$

Relación con el factor de mérito

Poder separador

☞ Sabiendo o eligiendo **n**, se tiene el número de fotones:  $N = N_0 L \sin^2 \theta$  y la eficiencia de detección deseada.

# 11.1. La separación de partículas (cont.)

Los parámetros de construcción del contador gaseoso tendrán que ser:

$$\langle \theta \rangle = \left( \frac{N}{N_0 L} \right)^{1/2} \leq \frac{(m_2^2 - m_1^2)^{1/2}}{p}$$

$$L \geq \frac{N}{N_0} \frac{p^2}{m_2^2 - m_1^2}$$

- Para que la  $m_2$  no produzca luz, está por debajo del umbral.
- Para asegurar la eficiencia de detección de los fotones producidos.

En la práctica el contador se construye tal que:

$$\left( \frac{\Delta\beta}{\beta} \right)_{m_1, m_2} = \frac{m_2^2 - m_1^2}{2p^2} \geq n_\sigma \left( \frac{N}{2N_0 L} \right) \quad \text{con } n_\sigma \geq 3$$

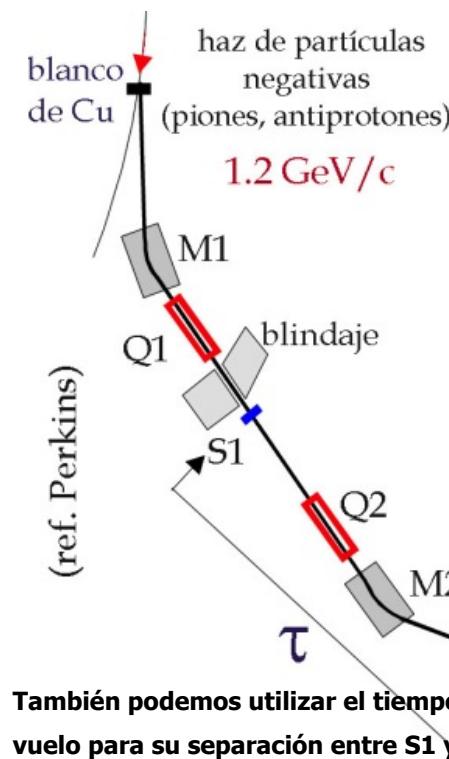


# 11.1. La separación de partículas (cont.)

## CONTADORES DE UMBRAL DE RADIADOR SÓLIDO O LÍQUIDO DESCUBRIMIENTO DEL ANTIPROTÓN

- Principio de contador Cherenkov utilizado en el Tevatrón de Berkeley para el **descubrimiento del antiproton** (1955).

- Haz de partículas no separadas de  $p \approx 1 \text{ GeV}/c$ .
- Selección de  $0.75 < \beta < 0.78$



M1, M2 → imanes curvadores

Q1, Q2 → cuadropolos focalizadores

S1, S2, S3 → centelleadores

C1: Cherenkov de umbral con  $\beta > 0.79$

C2: Contador diferencial con  $0.78 > \beta > 0.75$

⇒ Los  $\pi^-$  tienen  $\beta = 0.99$

⇒ Las partículas con  $m = m_{\text{protón}}$  →  $\beta = 0.76$

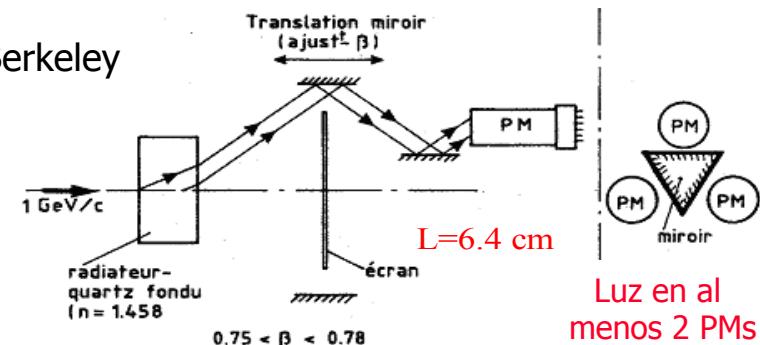
La coincidencia:  $S1+S2+C1+S3-C2 \rightarrow$  paso de un  $\pi^-$   
 $S1+S2+C2+S3-C1 \rightarrow$  corresponde a  $\bar{p}$

$\pi$  da señal en C1 y no C2

Antip da señal en C2 no C1

Dado el alto *background*  $\bar{p}/\pi^- \approx 10^{-6} \rightarrow$  el tiempo de vuelo entre S1 y S2 ( $\approx 40 \text{ ft}$ ) es un dato más para la separación  $\bar{p}/\pi^-$ .

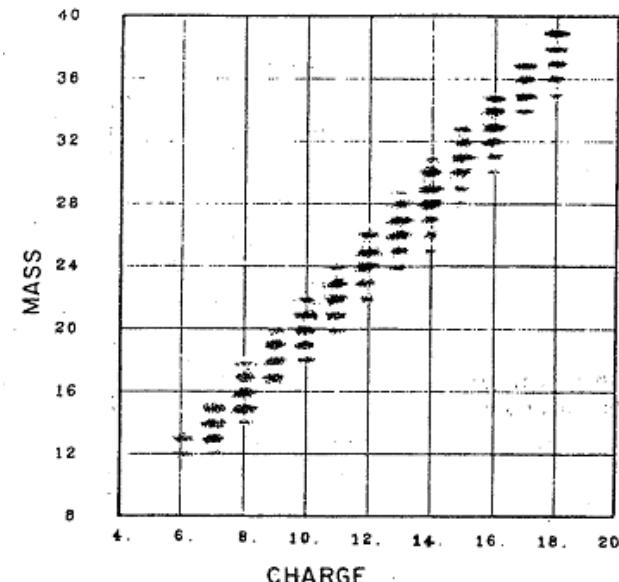
}  $\tau = 40 \text{ ns}$  para  $\pi^-$   
 $\tau = 51 \text{ ns}$  para  $\bar{p}$



# 11.2. La separación de núcleos en Física Nuclear

- En Física Nuclear la identificación de los núcleos exige la medida de su **masa** y carga  **$Ze$** .
  - ☞ Cuando las energías no son relativistas,  **$Z$**  se puede medir a partir de:
    - ☞  $dE/dx$  en una cámara de ionización
    - ☞ **Medidas de centelleo**
    - ☞ **Para energías relativistas estos métodos no son aplicables.**
- La medida de la masa a través de  **$p$**  (espectrómetro magnético) y  **$\beta$** , requiere una gran resolución en  **$\beta$** :  $(p = m\beta c)$ 
  - ☞ Para iones relativistas con energías  $\sim 1 \text{ a } 2 \text{ GeV/nucleón}$   $\rightarrow \Delta\beta \sim 10^{-4}$ , esta precisión es inaccesible mediante medidas de tiempo de vuelo.
- Para resolver el problema se desarrollaron **detectores de Cherenkov de reflexión total**, sensibles a  **$\beta$**  y  **$Z^2$** .
  - Ej.: **Contador FITCH**, permite identificar hasta  **$Z=26$** .  

$$\beta > (n^2 - 1)^{-1/2}$$
    - ☞ La aceptancia se limita a núcleos con
      - ☞ Reflexión total interna (la luz se refleja completamente)
      - y medida de la intensidad de la radiación Cherenkov.
    - ☞ Entre **1 ó 2 GeV/nucleón ( $0.88 < \beta < 0.95$ )** la intensidad de la luz depende fundamentalmente de  **$Z^2$**  y poco de  **$\sin^2 \theta$** , cuando  **$n \approx 1.5$** .



# 12. Contadores diferenciales

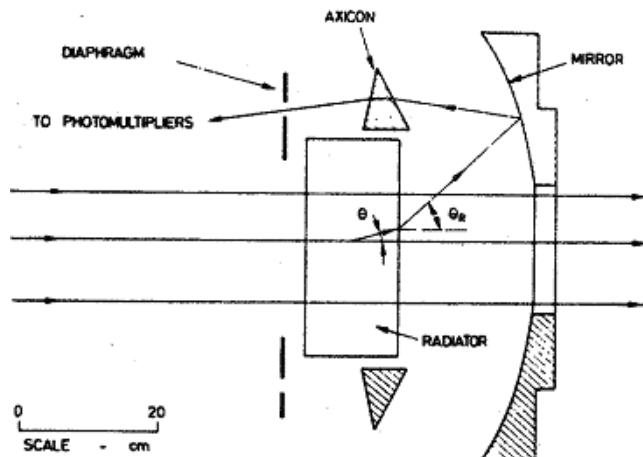
- + Selección de velocidades en  $\beta \pm \Delta\beta/2$
- + Anillos de radio  $r = f \cdot \tan \theta$  en el plano focal de un espejo esférico.
  - ↗ Las aberraciones ópticas y cromáticas determinarán fundamentalmente la anchura del anillo
  - ☒ Dispersión del radio.
- + La luz pasa a través de un diafragma circular de radio  $r$  y apertura  $\Delta r$ , y es detectada por un conjunto de PMs.
  - ↗ Se requiere un mínimo de PMs con señal.
    - ☞ Eliminar ruido.
    - ☞ Optimizar la resolución: 
$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{1}{\beta} d \left( \frac{1}{n \cos \theta} \right) = \tan \theta \cdot \Delta\theta = \frac{m_2^2 - m_1^2}{2p^2}$$

(  $\Delta\theta$  : aceptancia definida por la apertura del diafragma)
- + Podemos distinguir entre:
  - a) Contadores diferenciales de radiador líquido parcialmente corregidos → **DISC**.
  - b) Contadores diferenciales de radiador gaseoso.



# 12. Contadores diferenciales (cont.)

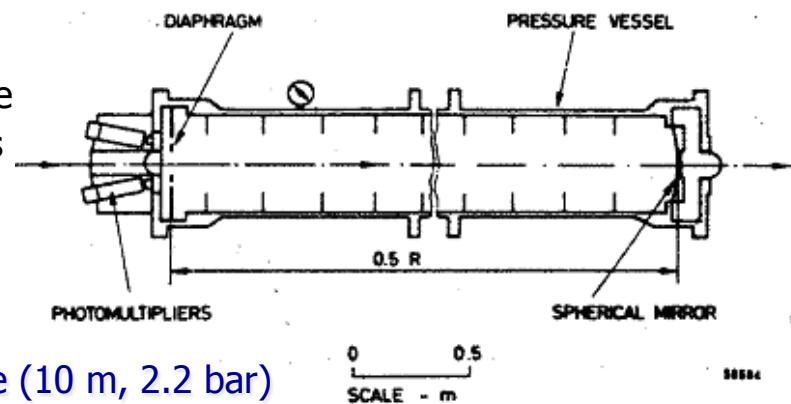
## Contadores DISC → Separación de haces secundarios



- Selección de velocidades variando el índice de refracción o variando la distancia focal mediante el desplazamiento de una lente prismática anular (resolución  $10^{-3} < \beta < 10^{-2}$  ).
- La lente compensa parcialmente la dispersión cromática del radiador.
- El radio de la imagen:  $r = f \cdot \operatorname{tg} \theta_{ref}$
- La resolución:  $\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{\beta^2}{2} \sin(2\theta_{ref}) \Delta\theta_{ref}$   
( $\Delta\theta_{ref}$ : aceptancia angular del diafragma)

## Contadores diferenciales gaseosos

- + Para separar partículas de alta energía se requiere  $\Delta\beta/\beta \leq 10^{-5}$ , lo cual se puede alcanzar con contadores gaseosos.
- ☞ La pérdida de energía en el radiador y la difusión múltiple son prácticamente despreciables, lo cual no ocurre en los radiadores líquidos.
- ☞ La principal contribución al error es la dispersión cromática del radiador.



Contador diferencial de He (10 m, 2.2 bar)

# IV. LOS DETECTORES RICH

# 13. Los fotodetectores

En la técnica RICH se utilizan **fotodetectores en la región UV** y esto permite obtener una localización bi-(o tri-)dimensional de los fotones con resolución y granularidad suficientes → Son capaces de soportar una **elevada tasa de partículas**, de acuerdo con las condiciones requeridas en el experimento.

☞ Debido al **principio del método**: El fotodetector está separado del medio radiador por una ventana (cuarzo fundido, cristales de: CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, NaF) transparente a los fotones UV de energías:  $E_1 < E < E_2$ .

$E_1$ : umbral de la fotoionización

$E_2$  : límite superior de la transmisión UV

☞ Los fotones se detectan a partir de su conversión en **electrones** en el medio gaseoso del fotodetector.

- ☞ La transparencia del fotodetector elegido determinará el límite  $E_2$  de la fotoionización, lo cual limitará las aberraciones cromáticas.
- ☞ El gas debe asegurar, así mismo, que se produzca una multiplicación de fotoelectrones primarios mediante el desarrollo de una avalancha de electrones, en el seno de las cámaras multi-hilos o de placas paralelas, para la posterior reconstrucción.

☞ Los fotodetectores funcionan generalmente a presión atmosférica.

- ☞ Condición necesaria para cubrir grandes superficies de detección y para que las ventanas, que en general son frágiles, puedan soportarlas.

☞ Para la conversión **fotón (UV) → electrón** se puede utilizar:

- ☒ Efecto fotoeléctrico en photocátodos sólidos.
- ☒ Fotoionización en vapores orgánicos.



# 13. Los fotodetectores (cont.)

Fotoionización en vapores orgánicos.

## Principales conversores (agentes fotosensibles mezclados con el gas)

Molécula	Fórmula	$E_1$ [eV] ( $\lambda_1$ [nm])	Max. $\epsilon_Q$ (E[eV])	$I_{ph}$ (a 293K) (longitud de absorción)
Yoduro de Cesio	CsI	7.5	$\leq 0.05$ (7)	
TEA	$(C_2H_5)_3N$	7.5 (164)	$\geq 0.33$ (8.2)	0.43 mm
TMAE	$C_2[(CH_3)_2N]_4$	5.36 (230)	0.51 (8.3)	26 mm
DMA	$(CH_3)_2NH$	8.3 (148)	0.2 (9.2)	
TMA	$(CH_3)_3N$	7.9 (156)	0.27 (8.6)	

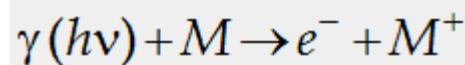
- La mayoría de los experimentos utilizan el TMAE, pero hay que calentar lo para alcanzar una longitud de absorción aceptable → A menor longitud de absorción el detector es más rápido.

Ej.: DELPHI:  $T(TMAE) = 28 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow I_{ph} \approx 16 \text{ mm}$

☞ DMA y TMA son menos atractivos por ser mayor el umbral  $E_1$ .

# 13.1. Fotoionización en gases

✚ Fotoionización de un átomo libre o de una molécula:



- ☞ Se obtiene mezclando, a presión parcial  $p$ , un **vapor orgánico fotosensible con un gas** (portador) en el cual se va a producir la amplificación por el desarrollo de la avalancha electrónica.
- ☞ Los portadores suelen ser **mezclas de hidrocarburos o hidrocarburos con He**:  $\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{CH}_4 + \text{He}$ , ...

✚ La sección eficaz media de fotoabsorción ( $\sigma$ ) en el intervalo ( $E_2 - E_1$ ), la cual determina el recorrido libre medio de los fotones ( $l_{ph}$ ), se define a través de:

$$l_{ph} = \frac{1}{n\sigma} \rightarrow l_{ph} (\text{mm}) = \frac{1.036 T(\text{K})}{P(\text{Torr}) \sigma(\text{Mb})} \quad \text{Para un gas ideal}$$

☞ Para un gas ideal:  $n = P/kT$  (densidad molecular del gas)

Para absorber el **95% de la radiación de Cherenkov**, es necesario que el espesor del fotodetector sea:

$$L \geq 3 \cdot l_{ph}$$

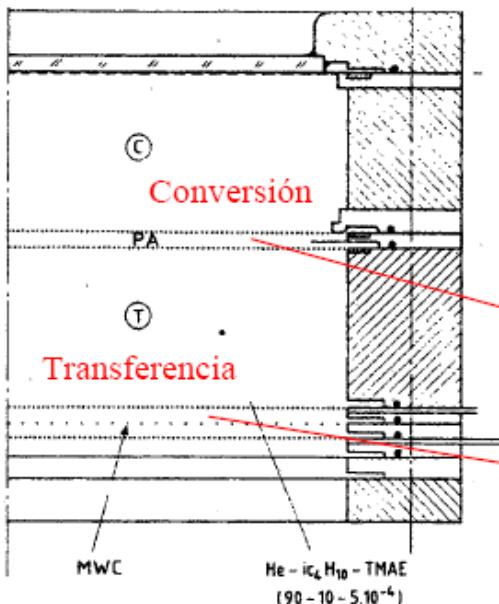
Cuando  $l_{ph}$  es grande y el ángulo de incidencia ( $q$ ) también lo es, se produce un error de paralaje que puede dominar sobre todas las otras fuentes de error.



## 13.2. Detección de los fotoelectrones

✚ Existen dos técnicas experimentales para la detección de los fotoelectrones.

↗ La primera fue desarrollada a partir de los trabajos de Charpak y Sauli: conseguir ganancias altas ( $g > 10^6$ ) mediante avalanchas de electrones en detectores MSAC (MultiStep Avalanche Chamber).



- ☞ Una primera etapa de preamplificación (**PA** →  $g \approx 10^3$ ) y transferencia **T**.
  - ☞ A continuación una cámara proporcional de multihilos (**MWC**) para recoger la carga eléctrica.
- Preamplificación**
- Cámara proporcional (MWC)**

## 13.2. Detección de los fotoelectrones (cont.)

☞ La segunda técnica es de una sola etapa, sin preamplificación, utilizando:

☞  $\text{CH}_4 + \text{TEA}$  o bien

☞  $\text{CH}_4 + \text{iC}_4\text{H}_{10}$  (ó  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) + TMAE

✚ La ganancia de los detectores está limitada por los fotoelectrones secundarios.

☞ Durante el proceso de desarrollo de la avalancha se producen **excitaciones en los niveles atómicos de: C, N, H**, los cuales se desexcitan rápidamente emitiendo fotones.

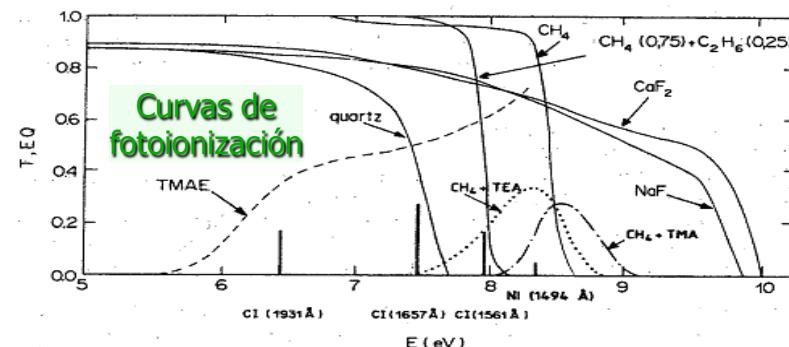
Energía de los fotones  $\left\{ \begin{array}{l} \text{H: } 10.2 \text{ eV} \\ \text{C: } 7.94, 7.48, 6.43 \text{ eV} \\ \text{N: } 8.3 \text{ eV} \end{array} \right.$

☞ Los fotones de **10.2 eV** son absorbidos por el  $\text{CH}_4$ , pero **los del Carbono y Nitrógeno se propagan en el gas** y dan lugar a electrones secundarios (efecto fotoeléctrico en los cátodos, ionización del gas fotosensible), que a su vez producen avalanchas.

✚ Cuando se aumenta la ganancia y la tasa de fotones convertidos es mayor que 1 → la avalancha se mantiene y se genera una descarga por efecto corona.

☞ La ganancia de las MWC funcionando con vapores fotosensibles está limitada por este fenómeno de generación de fotoelectrones secundarios.

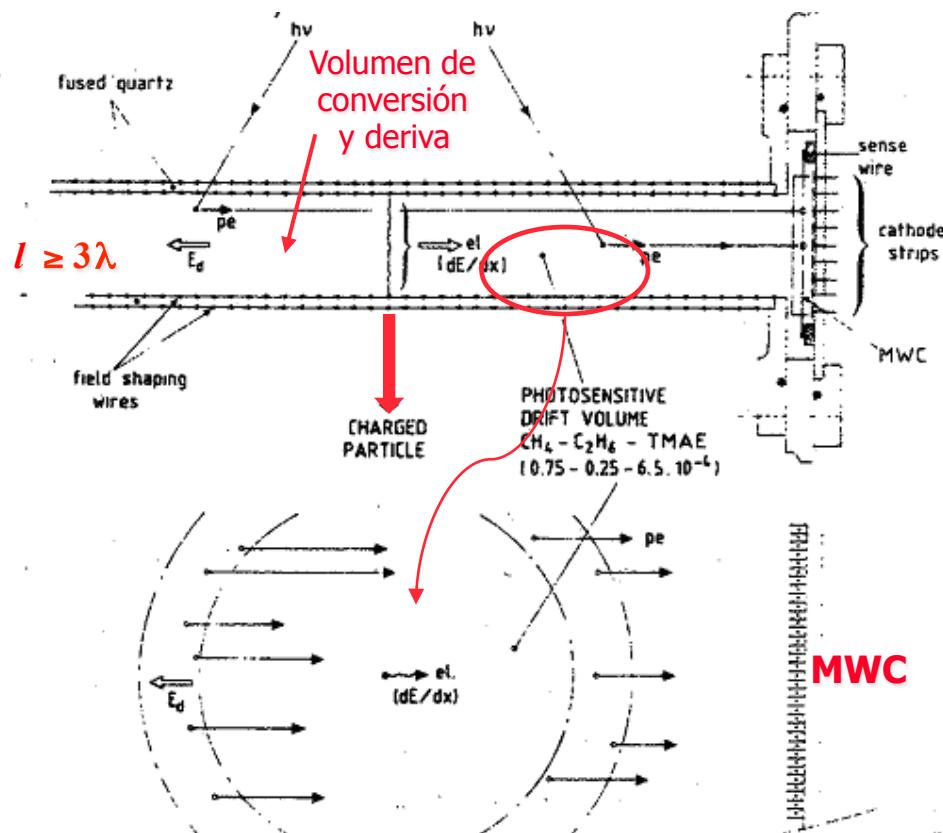
**Límites de ganancia:**  $\text{TMAE} + \text{CH}_4 \rightarrow 5 \text{ a } 7 \times 10^5$  ;  
 $\text{TEA} + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \times 10^6$



# 14. Detectores RICH lento de proyección temporal

✚ Desarrollados a partir de 1981, utilizan el principio de la TPC.

↗ La dispersión temporal en la recolección de los electrones es del orden de varios microsegundos.

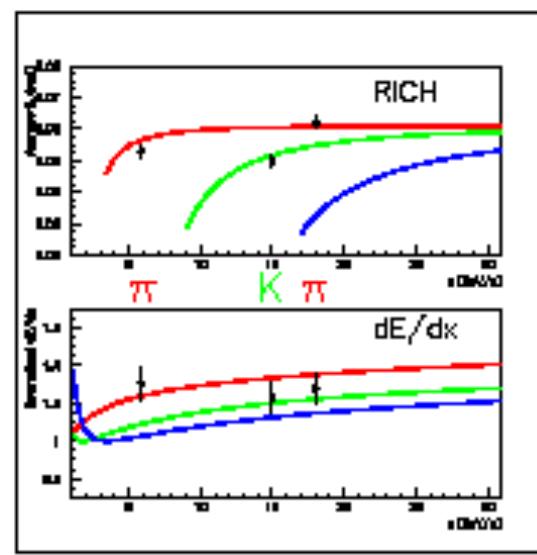
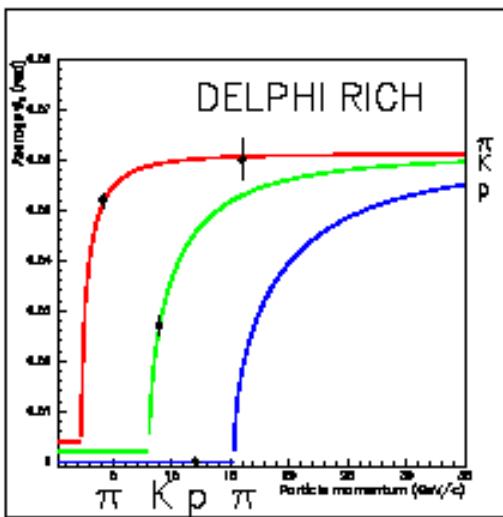
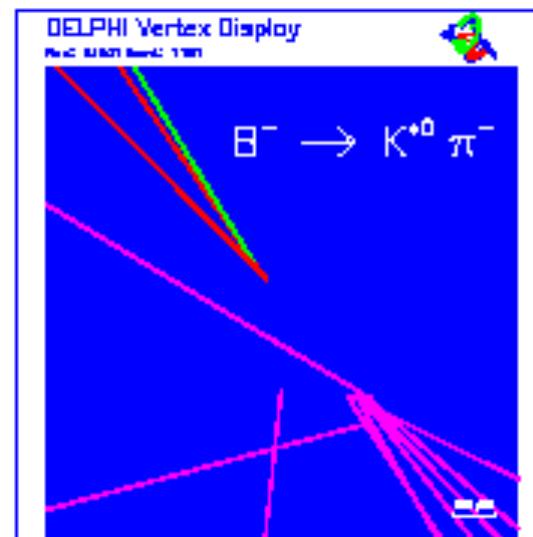
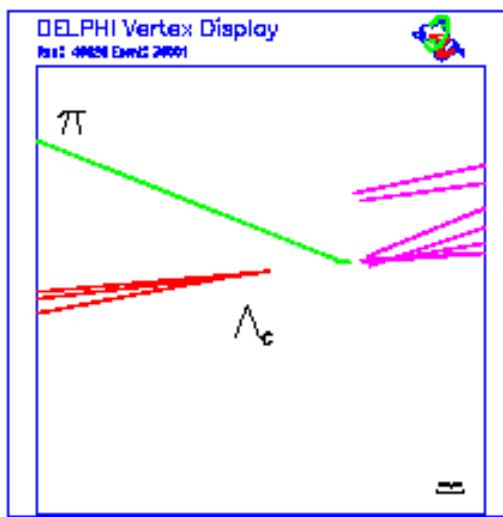


☞ Los fotoelectrones creados en el volumen de conversión derivan hacia una **MWC** en el interior de un campo eléctrico uniforme y homogéneo  $E_d$  paralelo a la ventana de cuarzo.

La **posición del hilo tocado** y el **tiempo de deriva** permiten la reconstrucción bidimensional de las imágenes. Esto explica la visualización de los anillos que vimos en el fichero anterior.

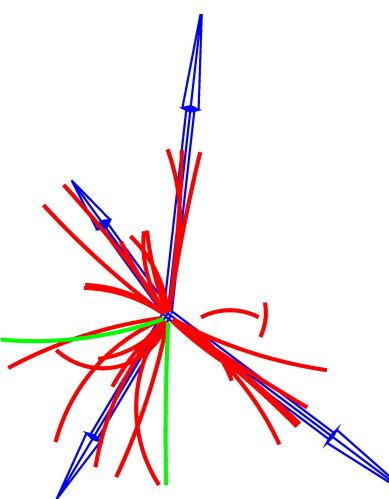
Principio de un detector RICH lento:  
"Proyección temporal de imágenes"

# Ejemplos ...

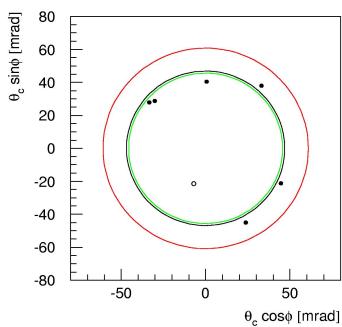


# Ejemplos ...

DELPHI RICH at 161 GeV

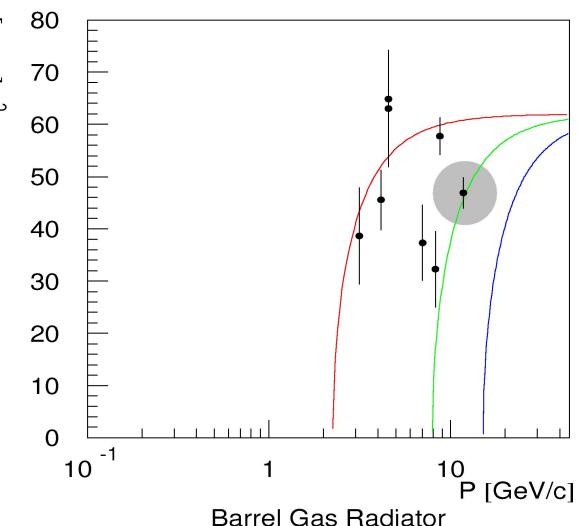


4 Jet Event

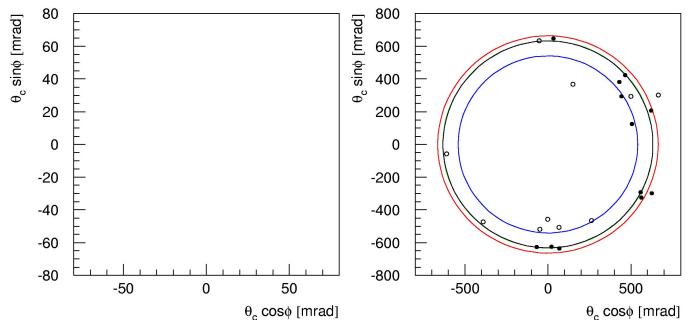
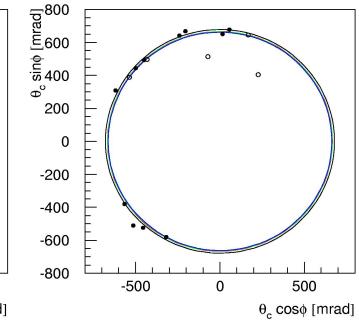
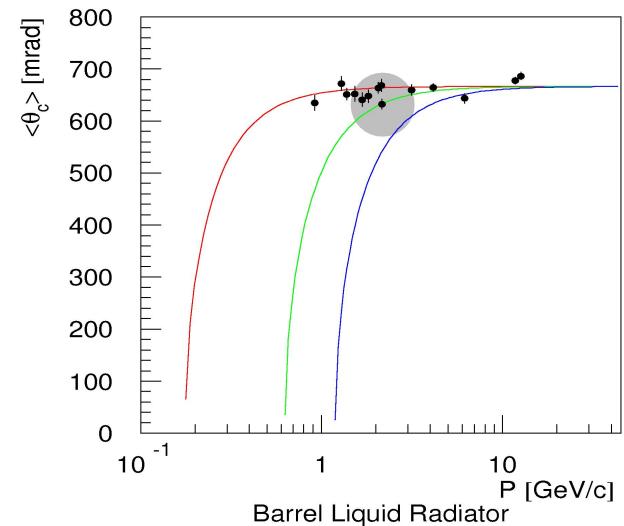


**Kaon 11.8 GeV/c**

Gas Radiator: Ring Identification  
Liquid Radiator: Ambigous



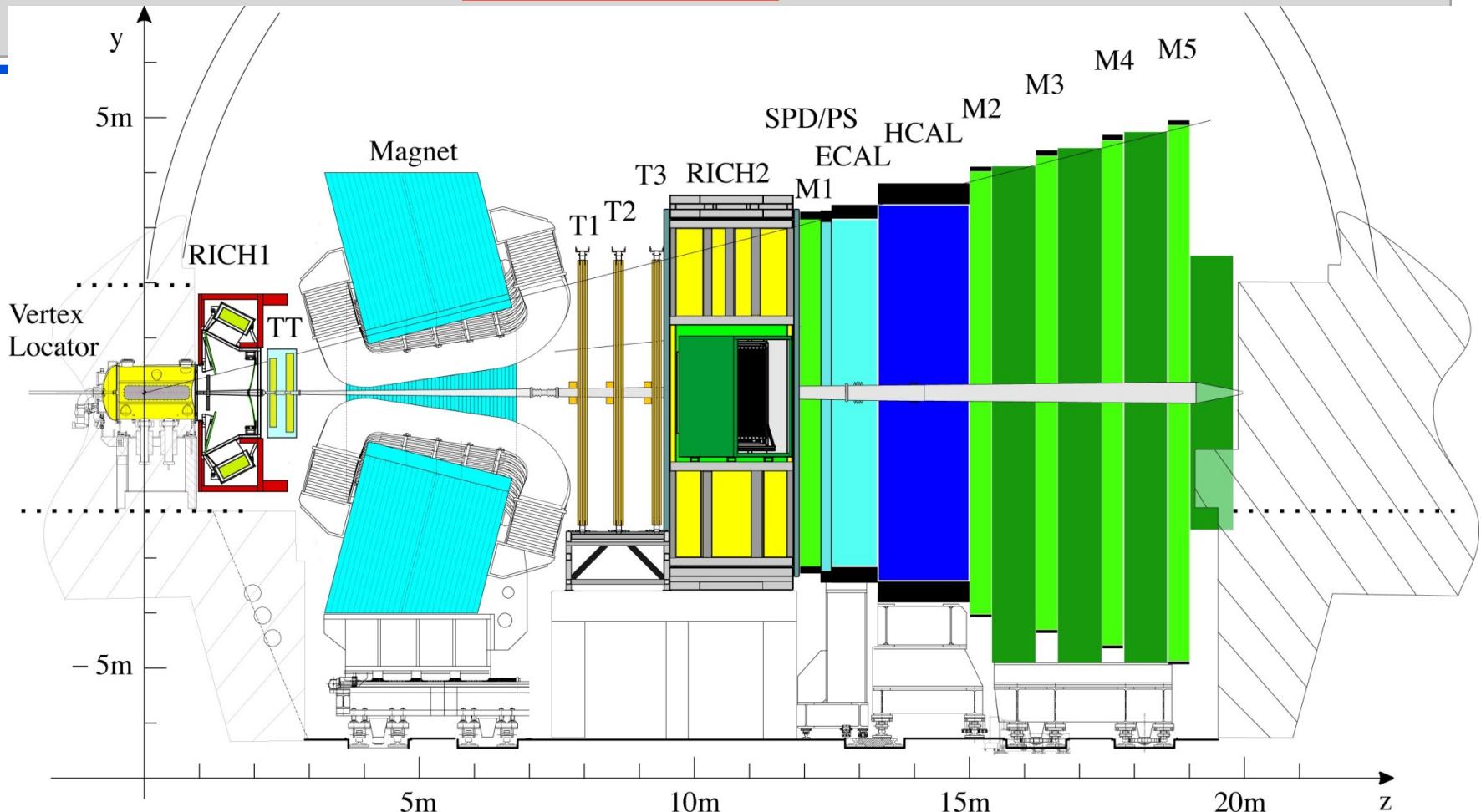
Barrel Liquid Radiator



**Kaon 2.2 GeV/c**

Gas Radiator: Veto Identification  
Liquid Radiator: Ring Identification

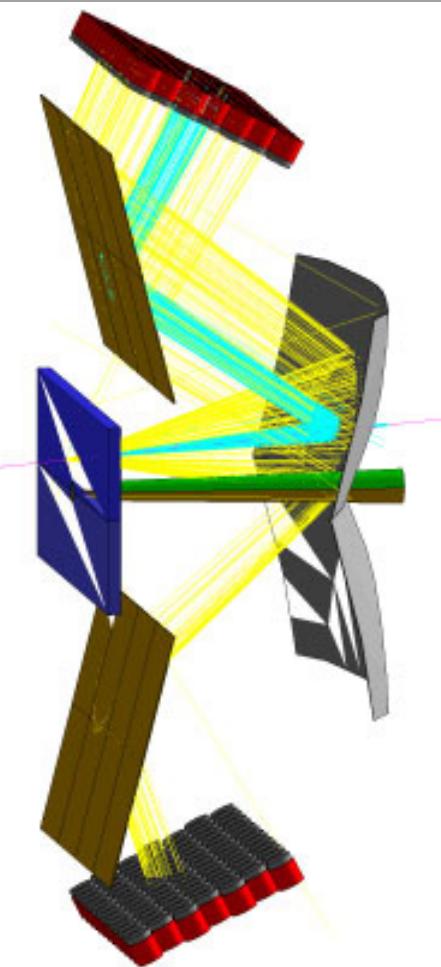
# LHCb Experiment



- Precision measurement of B-Decays and search for signals beyond standard model.
- Two RICH detectors covering the particle momentum range  $1 \rightarrow 100$  GeV/c using aerogel,  $C_4F_{10}$  and  $CF_4$  gas radiators.

# LHCb- RICH1 SCHEMATIC

## RICH1 OPTICS



Magnetic Shield

Gas Enclosure

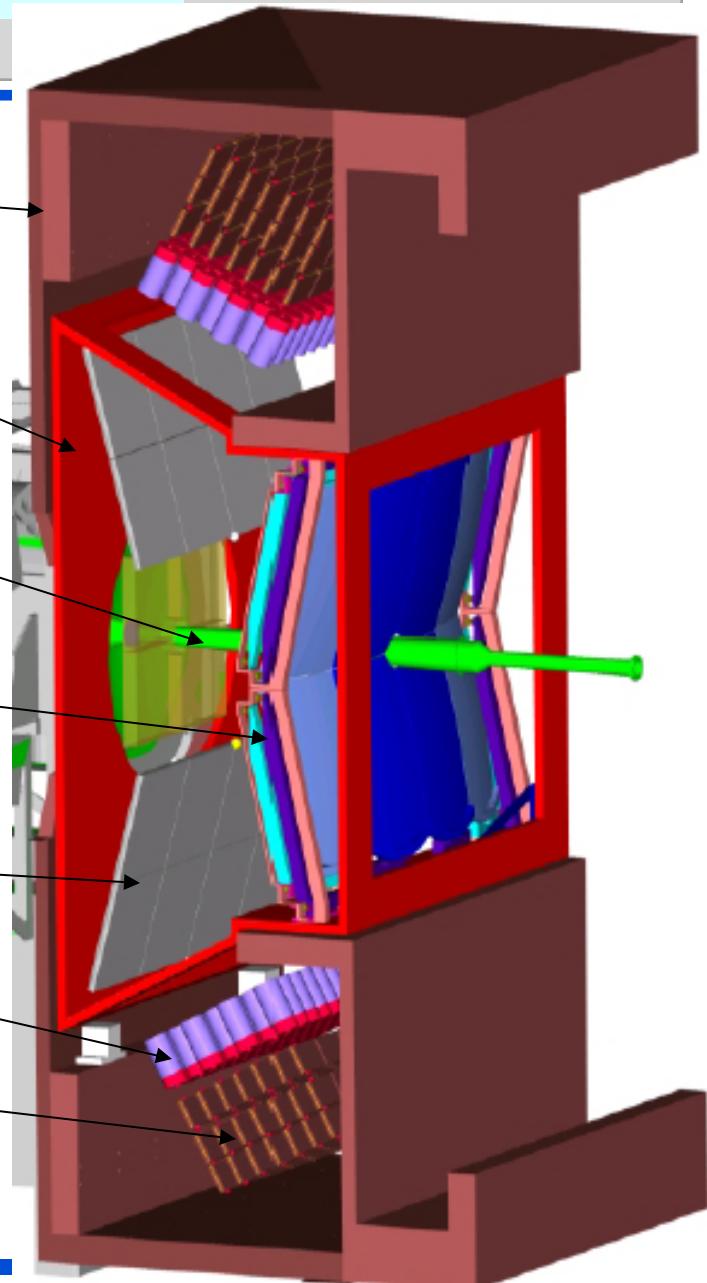
Beam Pipe

Spherical Mirror

Flat Mirror

Photodetectors

Readout Electronics



- **Spherical Mirror tilted to keep photodetectors outside acceptance (tilt=0.3 rad)**



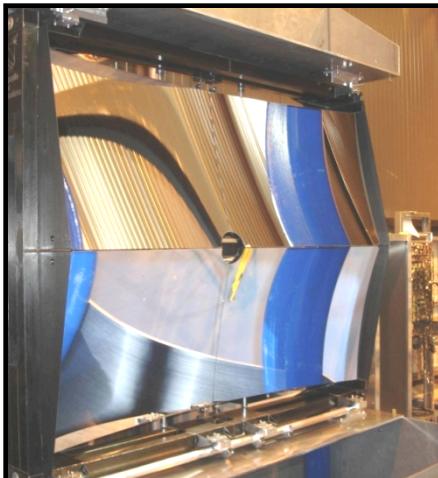
## RICH1 Photos



RICH1-HPDs

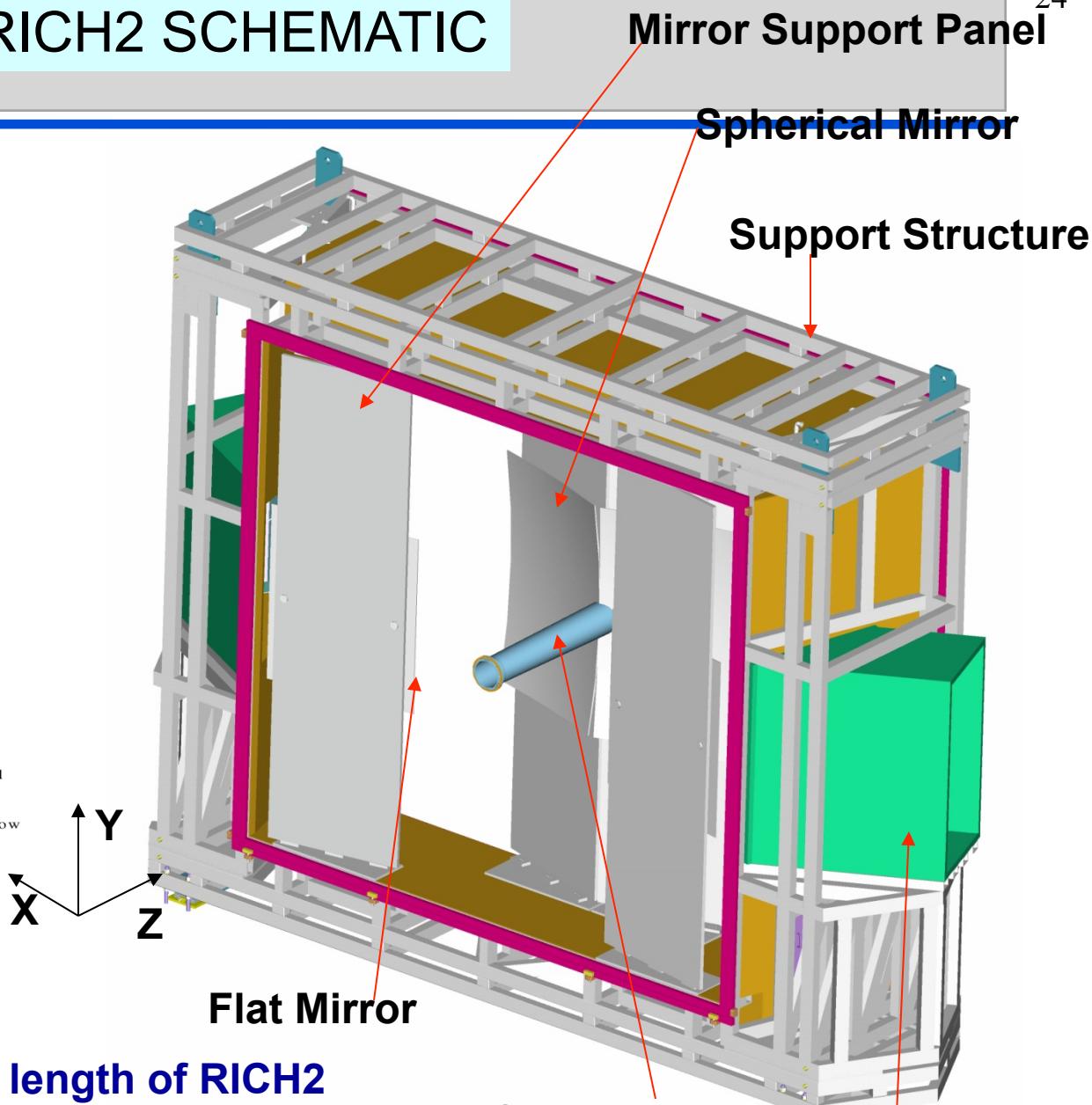
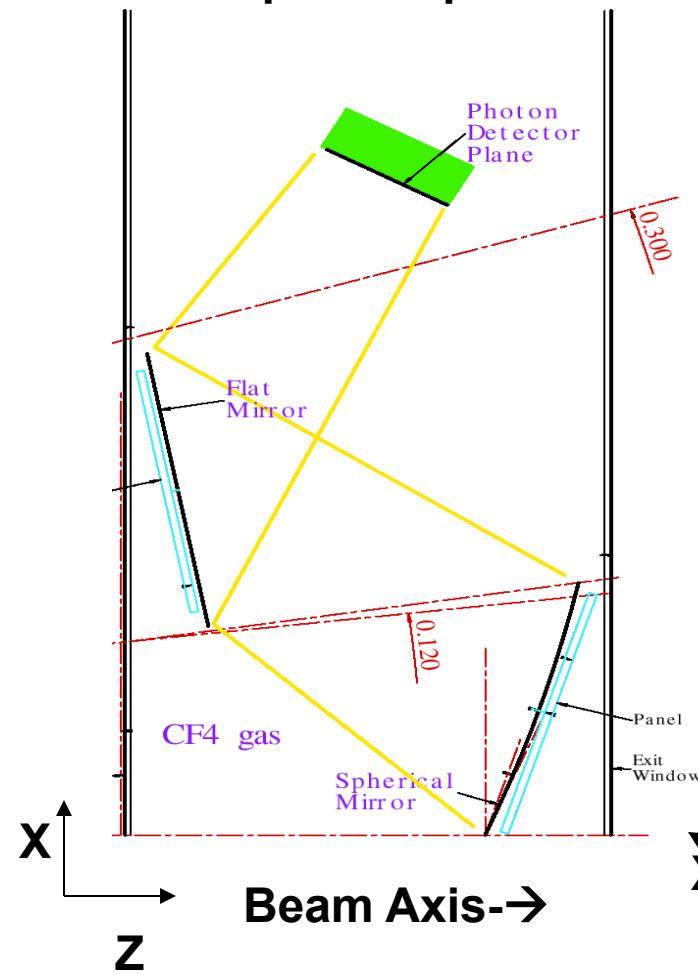


RICH1 mirrors



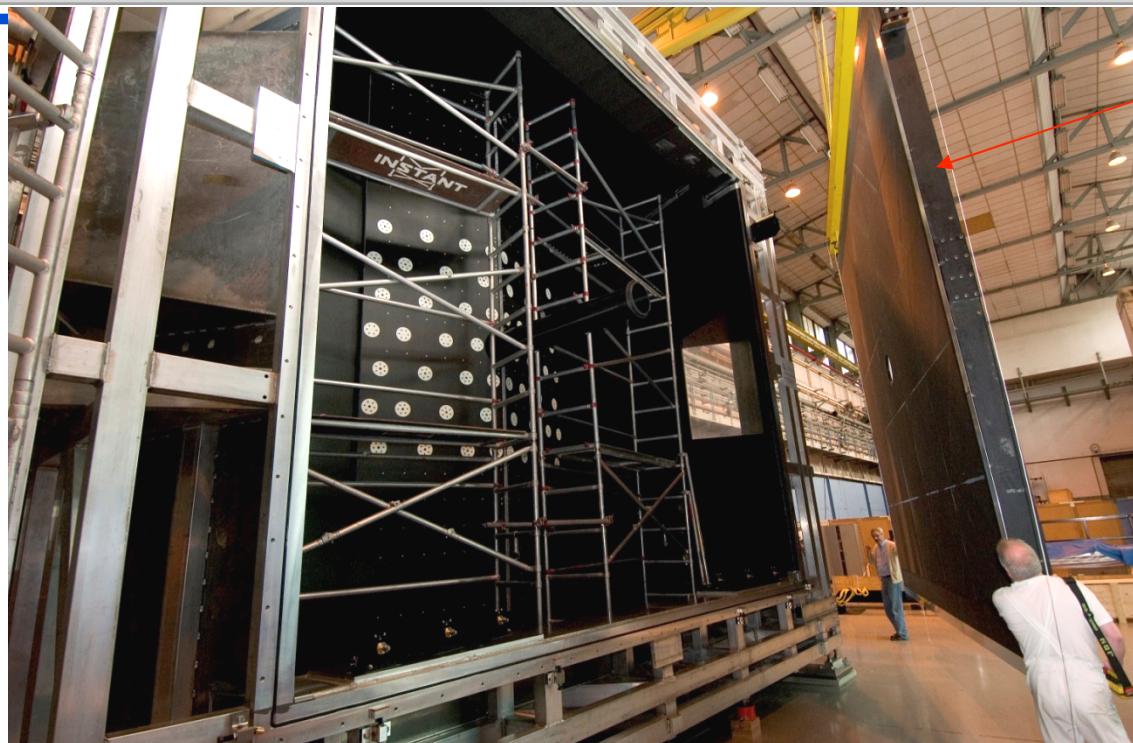
# LHCb-RICH2 SCHEMATIC

## RICH2 Optics Top View



- **Plane Mirrors to reduce the length of RICH2**
- **Spherical mirror tilted to keep photodetectors outside acceptance ( $\text{tilt} = 0.39 \text{ rad}$ )**

# LHCb- RICH2 STRUCTURE



**Entrance Window  
(PMI foam between two  
carbon fibre epoxy Skins)**

RICH2



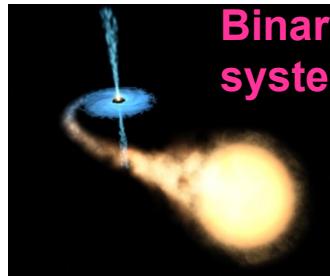
45

# Cherenkov Detectors in Astro Particle Physics

Goal: Contribute to the understanding of our Universe.

- ❖ Understanding production mechanism ('cosmic accelerators') of HE cosmic rays ;
- ❖ Study very energetic galactic / extragalactic objects : SN remnants, microquasars, GRB, AGN,...;
- ❖ Search for Dark matter (wimps)
- ❖ ...

Micro-quasars



**Binary system**

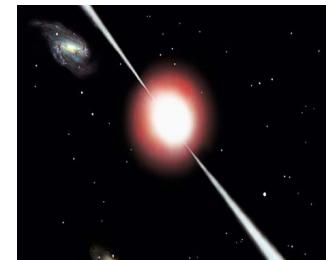
SNR



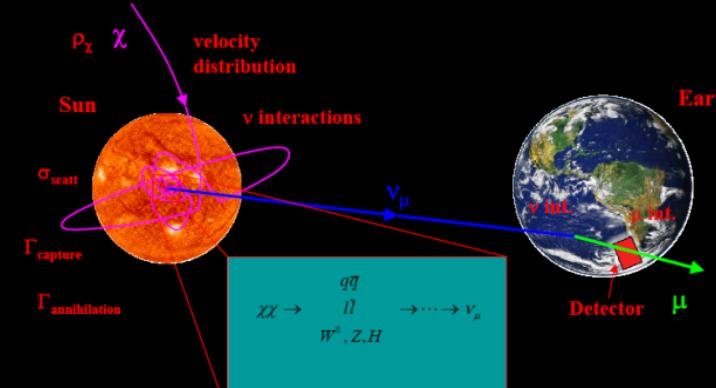
AGN



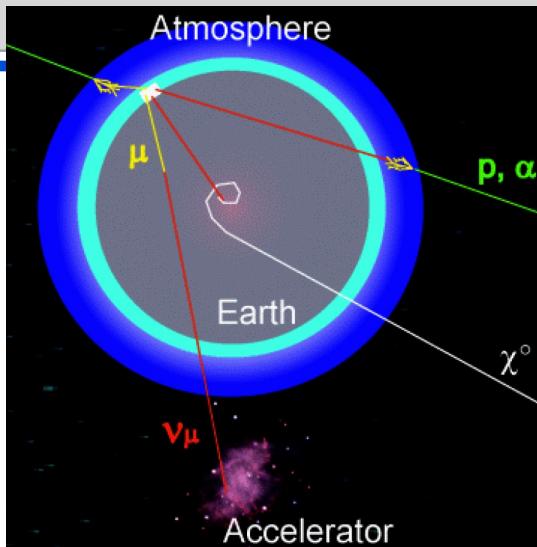
GRB



## Neutralino capture and annihilation



## Astro Particle Physics



Search for :

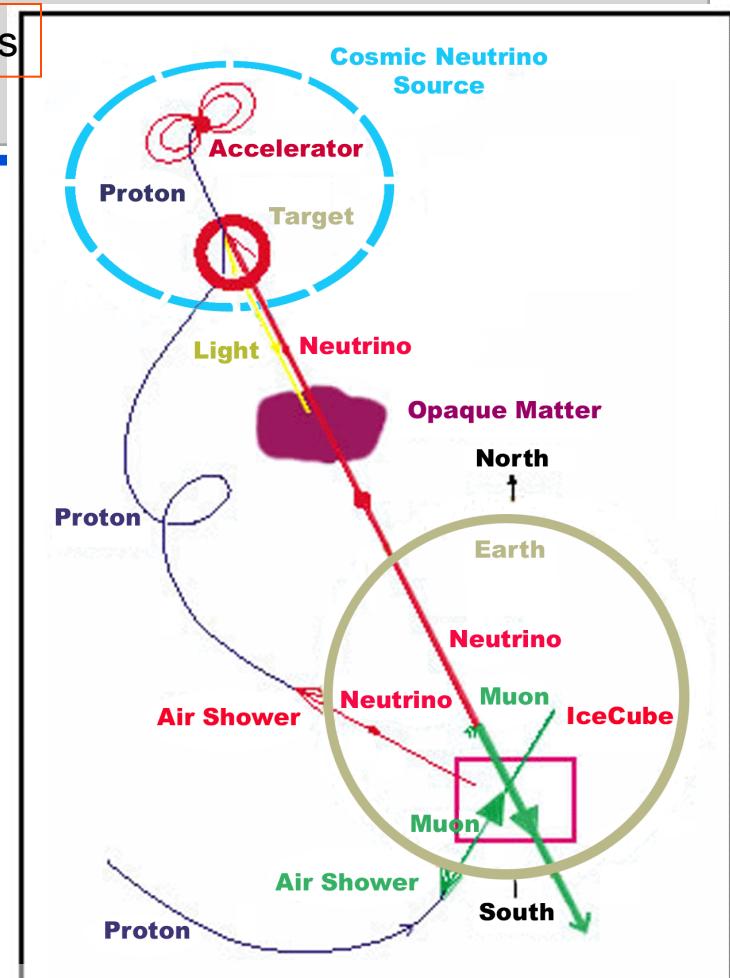
- Neutrinos → muons
- High energy Gamma and other Cosmic rays → Air showers
- Ultra high energy Gamma ( $> 10^{19}$  eV) → Air showers

Neutrinos: Advantages:

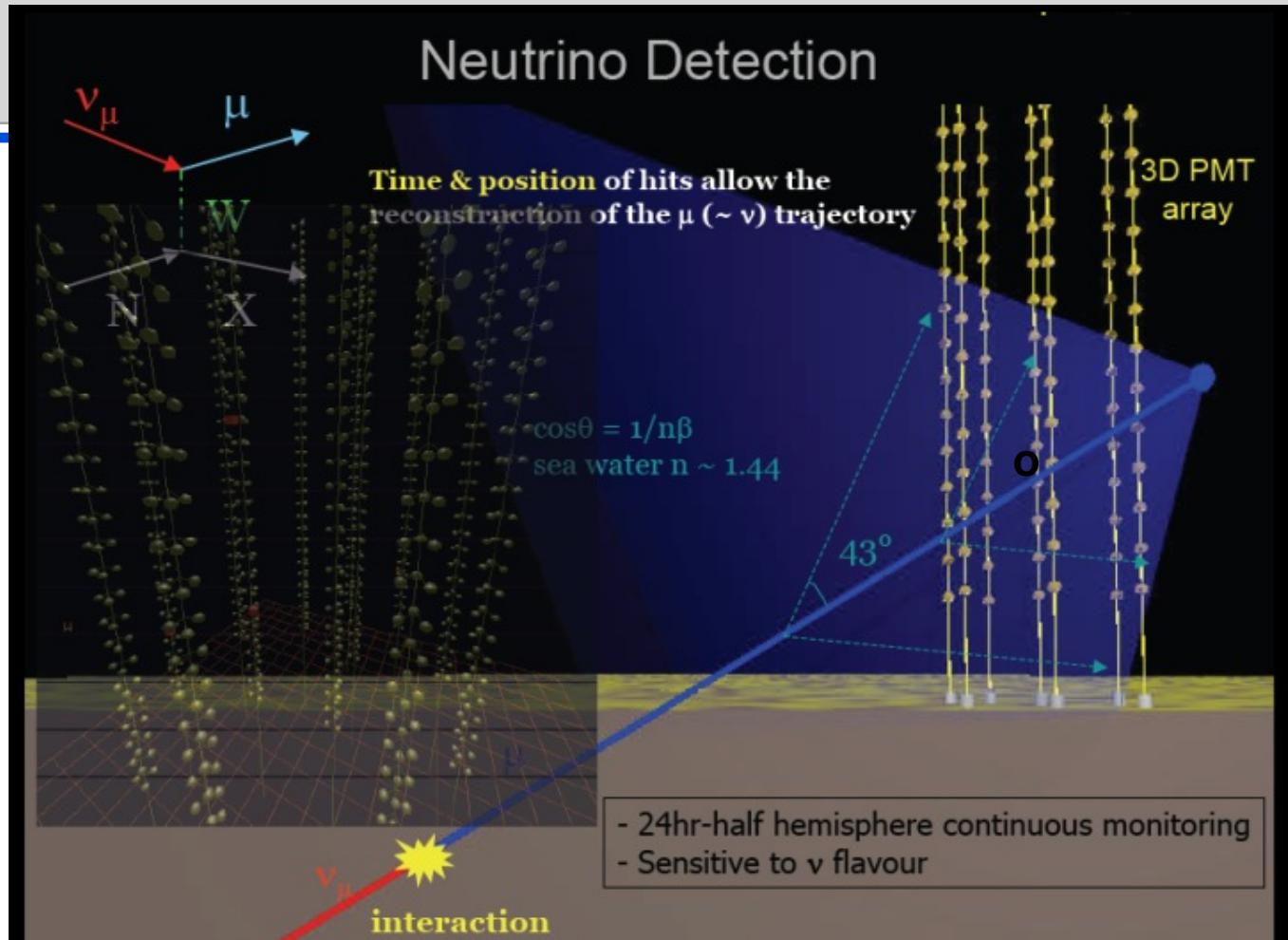
- Neutral : Hence Weak interaction only
- Neutrinos point back to the astrophysical production source
  - Unlike photons which interact with CMB and matter...
  - or protons: which also undergo deflection by magnetic fields

Disadvantages:

- Rate of arrival very low. Hence need very large detectors.
- Using the Ocean , ice in Antarctica etc.



# Neutrino Detection



- Typically 1 $\gamma$  / PMT  
40 m from  $\mu$  axis

- Measure position and time of the hits.

Angle between the  $\mu$  and  $\nu$  direction=

$$\theta \leq \frac{1.5 \text{ deg.}}{\sqrt{E_\nu [\text{TeV}]}}$$

Importance of Timing Resolution

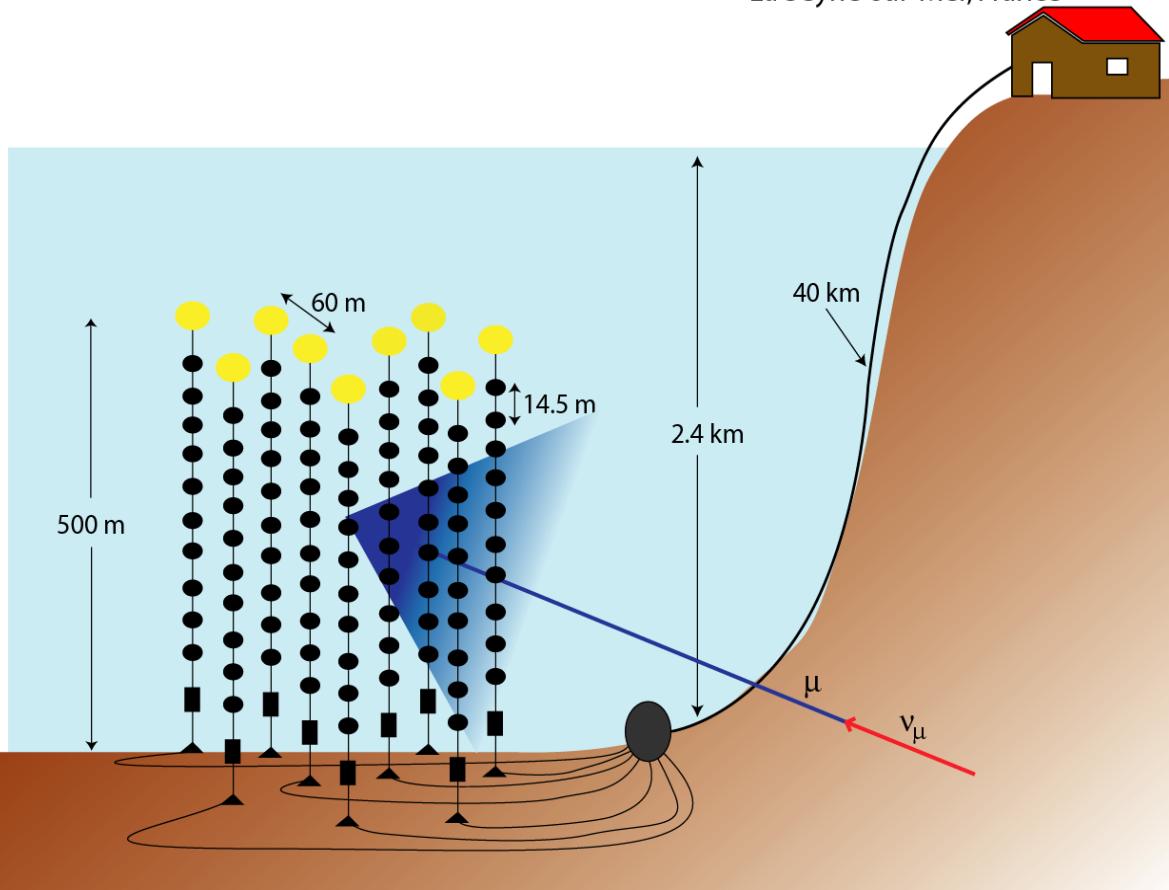
c in water  $\sim 20 \text{ cm/ns}$

Chromatic dispersion  $\sim 2 \text{ ns}$  (40 m typ. Path)

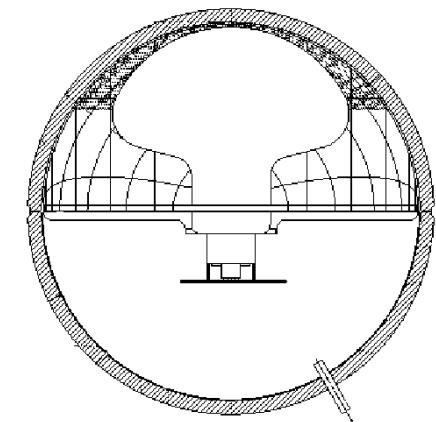
(PMT TTS s  $\sim 1.3 \text{ ns}$ ) so detector not dominant source of error



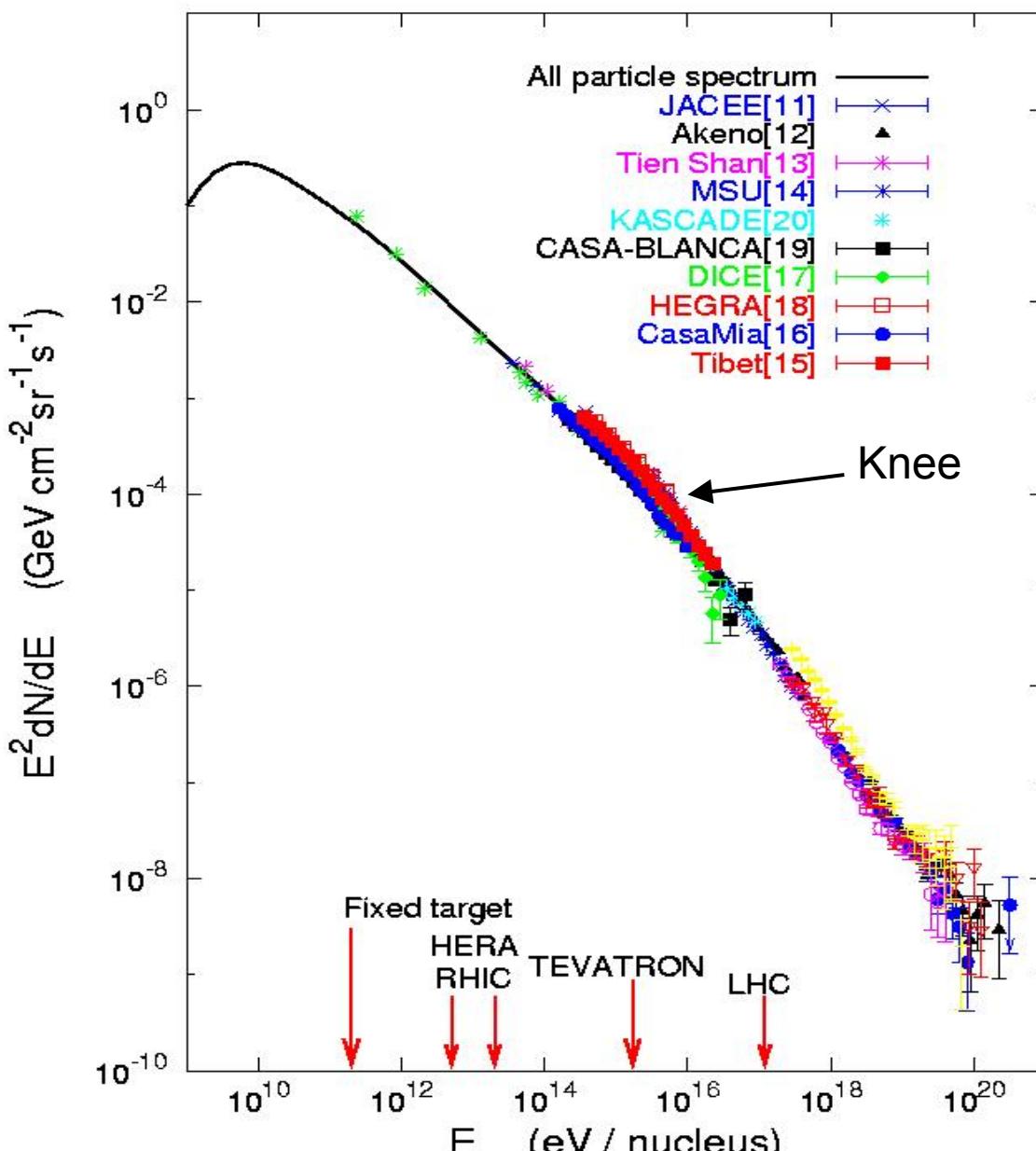
La Seyne-sur-Mer, France



Optical Module

Hamamatsu PMT :  
Size :10 inch

# High Energy Cosmic Ray Spectrum.



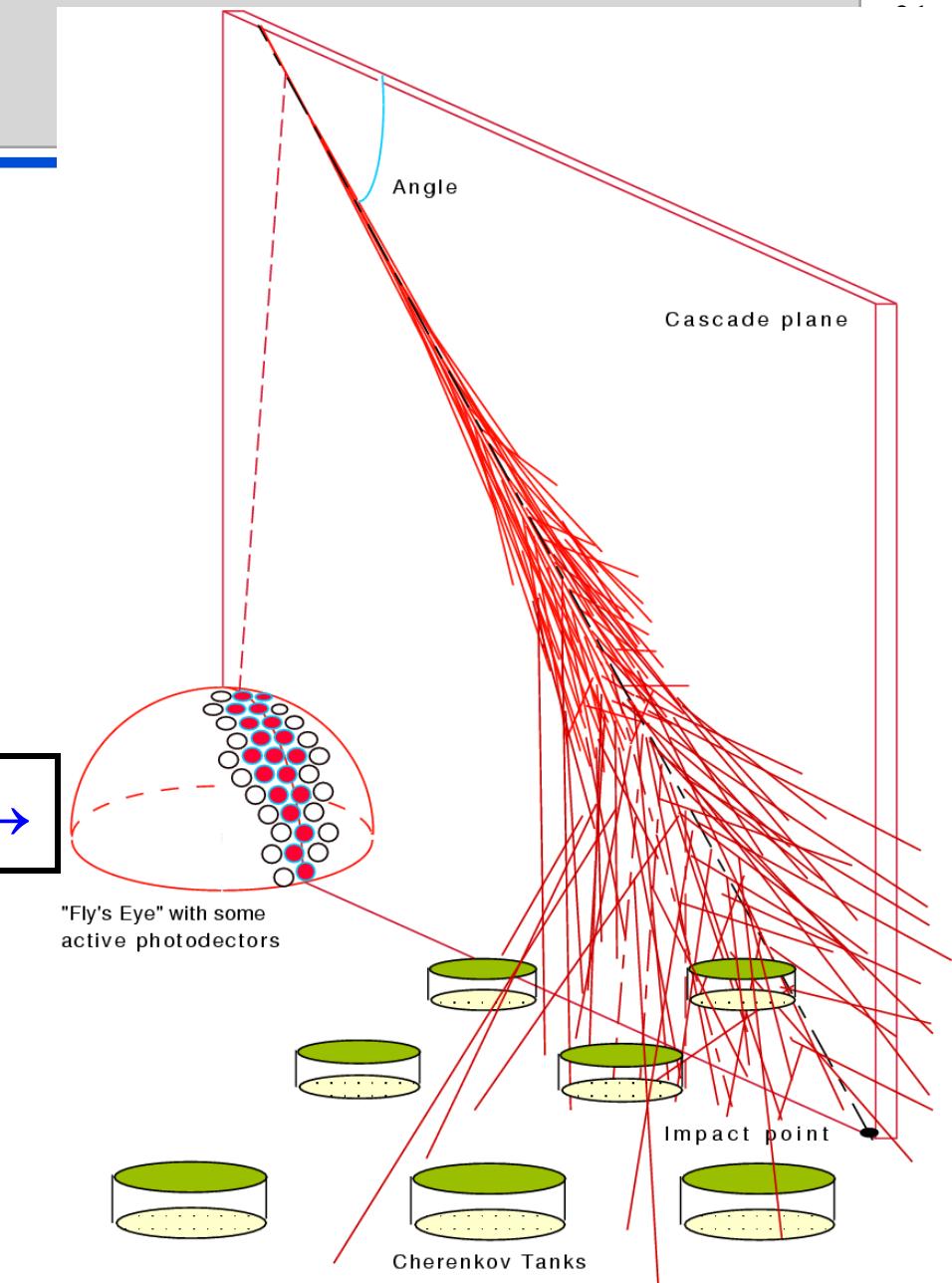
- Measure the Energy Spectrum
- Determine the Arrival Direction distribution etc.
- Composed of Baryons, photons, neutrinos etc.

$>10^{19} \text{ eV}$   
 $1 \text{ km}^{-2} \text{ year}^{-1} \text{ sr}^{-1}$

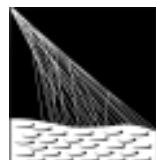


## Principle of Auger Project

**Fluorescence →**  
**Array of water  
Cherenkov detectors** →



Argentina  
Australia  
Bolivia\*  
Brasil  
Czech Republic  
France  
Germany  
Italy  
Poland  
Mexico  
Slovenia  
Spain  
United Kingdom  
USA  
Vietnam\*



**PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY**

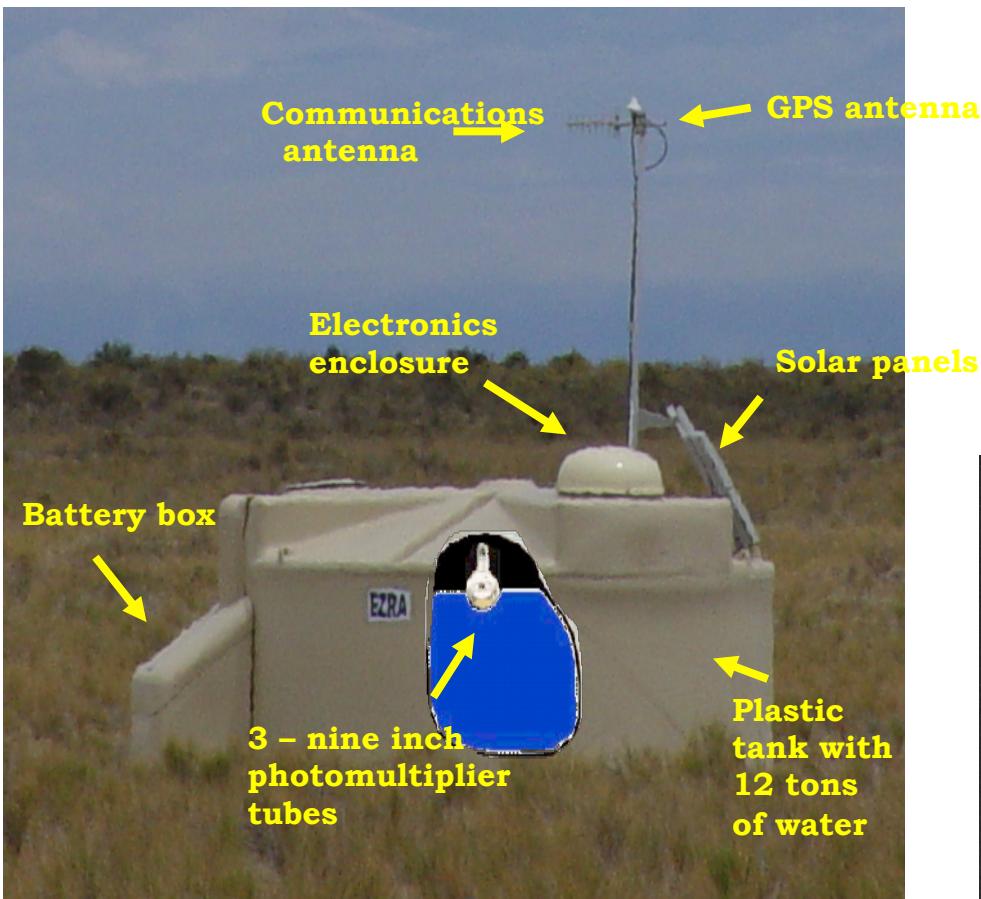
# The Pierre Auger Observatory

38° South, Argentina, Mendoza,  
Malargüe 1.4 km altitude, 850

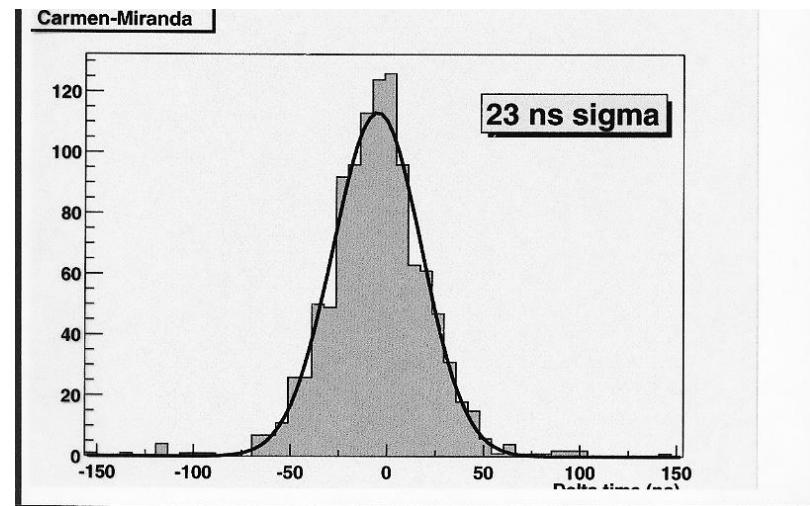


- 1600 surface stations  
1.5 km spacing  
over 3000 square kilometers
- Fluorescence Detectors:  
4 Telescope enclosures,  
each with 6 telescopes.

# AUGER Project: Water Cherenkov Detector

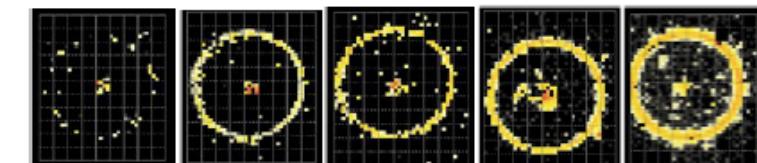
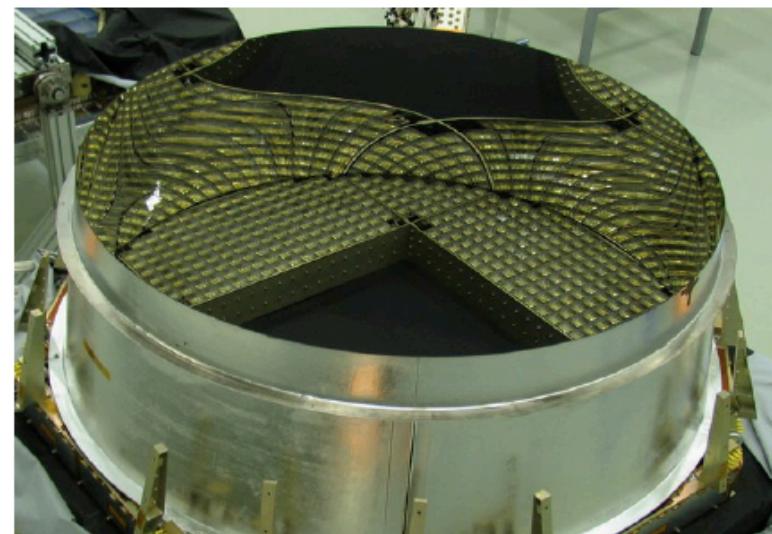
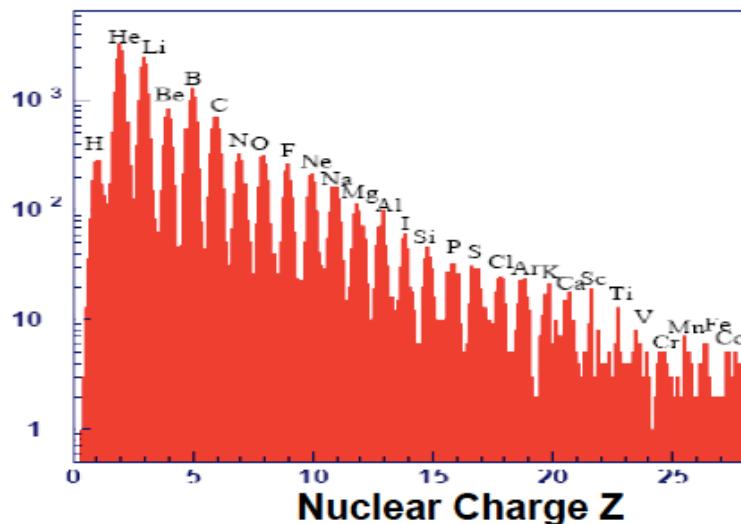
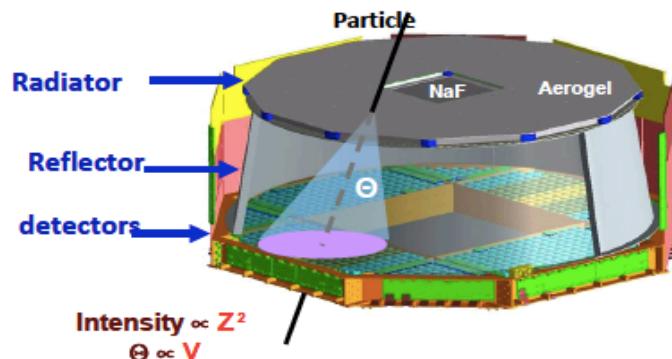


Time difference between test signals from nearby detectors (Carmen-Miranda)



- Installation of the Cherenkov detectors are continuing and data taking started.
- First set of results are published

## Ring Imaging Cherenkov Detector (RICH)



**Single Event Displays**  
**RICH test beam E=158 GeV/n**