Principios de los detectores de partículas

Pedro Ladrón de Guevara.

Departamento de Tecnología.

CIEMAT. Madrid.

Spanish Teachers Programme 09/2008
CERN

15/September/2008 Talk I

De que partículas hablamos ?

Nuestro conocimiento actual de la estructura de la materia se resume en el siguiente esquema cuya descripcion detallada es objeto de otras charlas.

El mundo material que nos rodea esta compuesto de partículas estables :

el **protón** , el **neutrón** (**excepción,con una vida media de 15 minutos**) ,el **neutrino**, el **electrón negativo** y el **fotón**. El riquísimo espectro de otras partículas que existen,(entre ellas la **antimateria**), elementales o no, proviene:

- del espacio exterior (**radiación cósmica**) (por ejemplo, los **muones**)
- o se fabrica "**a la carta**" en los aceleradores (por ejemplo, el **antiprotón**).
- o se produce **espontáneamente** en interacciones donde el intercambio de energía lo haga posible (por ejemplo, la aparición de **antimateria** en forma de **positrones** como producto de conversión de fotones)

- Las partículas que detectaremos de modo "**directo**" serán las

  - **cargadas**, (dejan un rastro en el detector.)
  - con **vida media** suficientemente larga para que ese rastro sea medible.

⇨ **e**(+ -), **μ**(+ -), **π**(+-), **K**(+-), **p** (+-)

- El resto se detecta de modo "**indirecto**", a través de los productos secundarios de sus interacciones que o bien :

  causan su desaparición. (ej. desintegración, absorción…)

  pueden alterar considerablemente su estado inicial (ej. scattering de un neutrón)

Con intención de introducir conceptos necesarios a lo que sigue, veamos qué aspecto presentan las interacciones que se esperan en el LHC una vez reconstruidas en alguno de los sub-detectores de ALICE. Lo que se dirá es válido para los otros detectores.

En el primer ejemplo las trazas reconstruidas son rectas, porque se trabajaba sin campo magnético.

En los ejemplos simulados, las trazas están curvadas por el campo magnético simulado nominal (B = 0.5 Tesla) (1 Tesla = 10 Kgauss = 10000 gauss)

Los detectores del LHC usarán típicamente campos de 0.4 -> 4 Tesla 4 ->5 órdenes de magnitud el campo magnético terrestre (~0.5 gauss) !!!

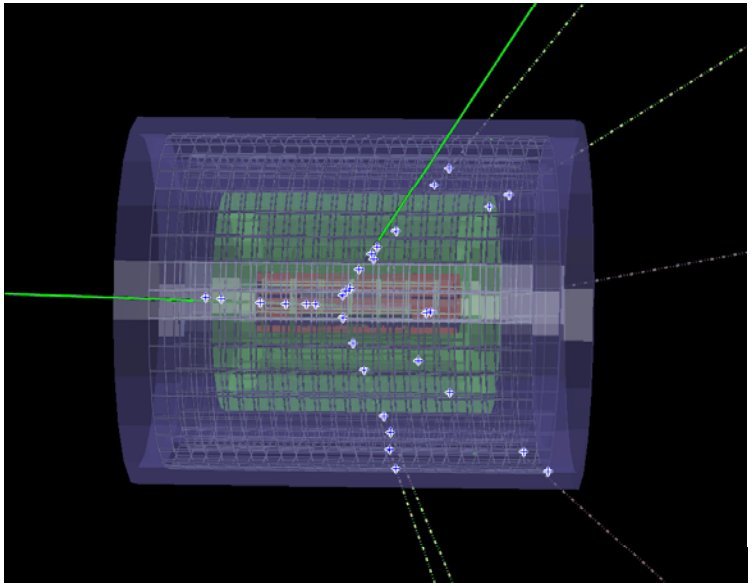
La medida de la curvatura nos permite determinar :

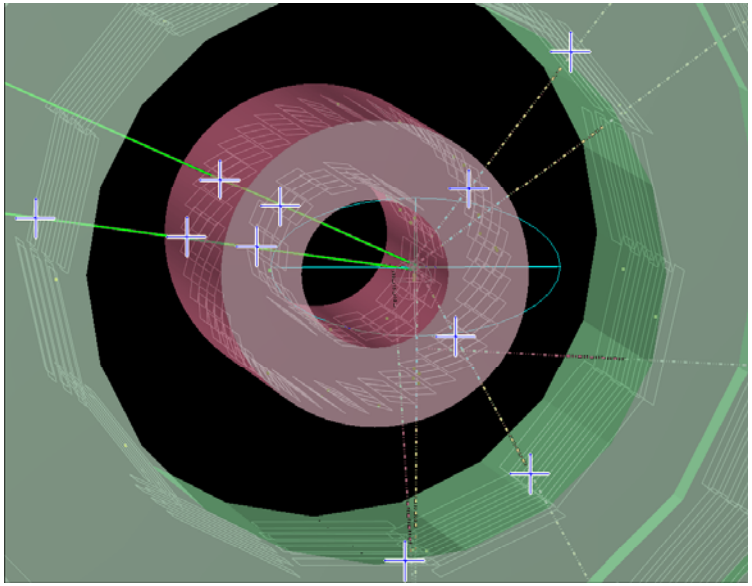
1- El signo de la carga de la partícula.
2- La cantidad de movimiento (o impulso, o momento) de la partícula. Se denomina p y se mide en GeV/c (1 GeV = 10^9 ev (electrón-voltios) . c = velocidad de la luz en el vacío = $3x10^{10}$ cm s^{-1} (Comprobar las unidades) p es función de la masa y de la velocidad y si se determina por separado la velocidad, se puede determinar la masa e identificar la partícula.(Proceso PARTID)
Se detallará en adelante con las fórmulas relativistas.

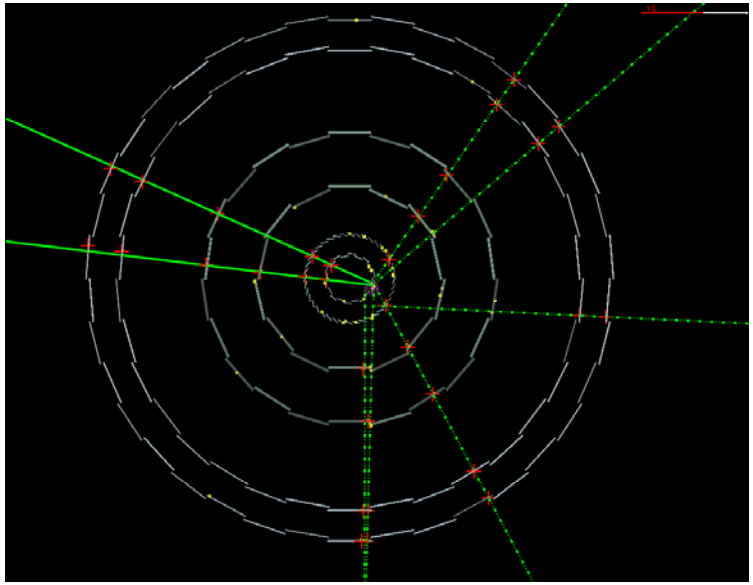
Una interacción en el LHC (9/12/08 6:19 AM
(energía del haz ~ 450 GeV. Sin campo magnético)

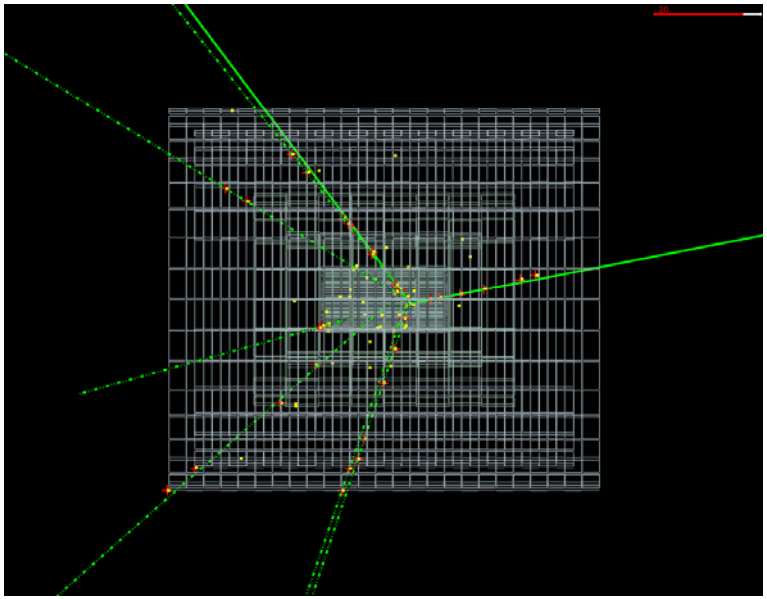
(Cortesía d Andrea Dainese et al,)

Subdetector
ITS
Internal
Tracking
Spectrometer









Interacción p-p simulada en ALICE.
Energia total : 14 TeV
Campo Magnético: 0.5 Tesla

* Las trazas curvas son el resultado de la reconstrucción de los productos de la interacción simulada.

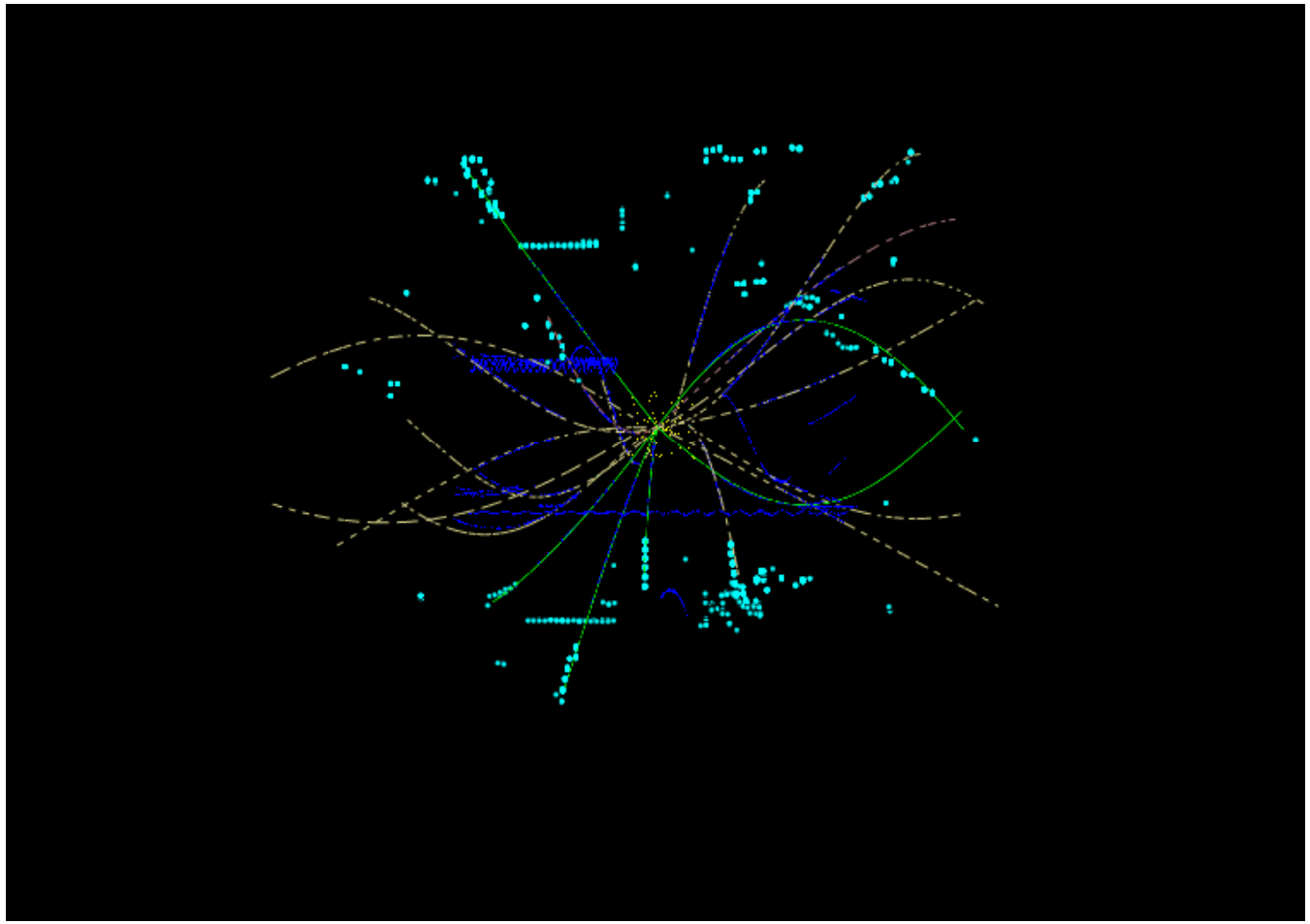
* El signo de la curvatura proporciona la carga (+,-)

* Los puntos azul obscuro son los depósitos de energía que deja la traza en el subdetector TPC (Time Projection Chamber). (Ver más tarde)

* Los puntos azul claro son los depósitos de energía en el subdetector TRD. (Transition Radiation detector) (ver más tarde)

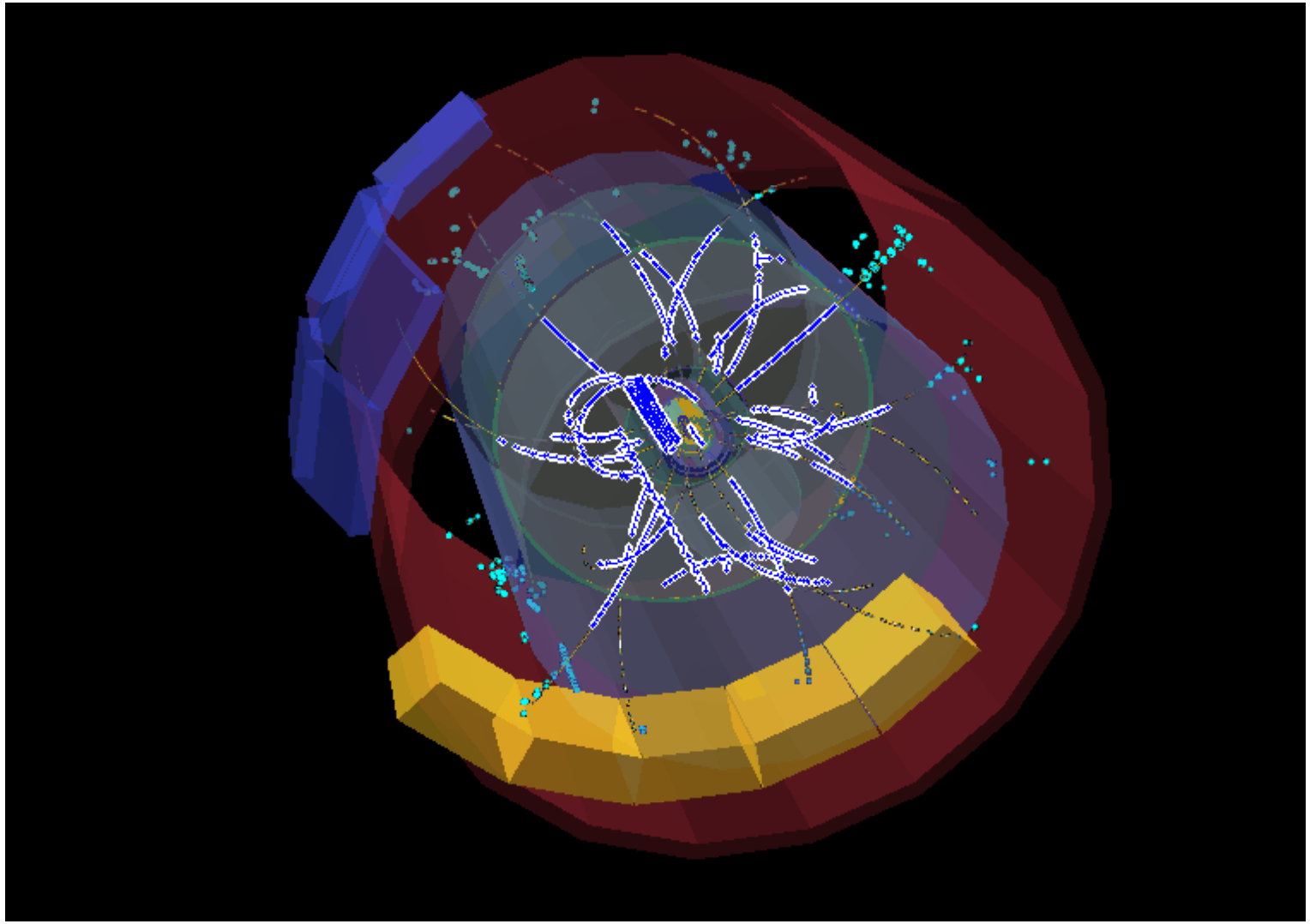
* No visibles en la imagen, hay depósitos de energía en torno al vértice de interacción, en el ITS, que vimos ampliado en el ejemplo anterior.

Estos sirven especialmente Para determinar el vértice con precisiones de ~10 - 100 micras.



La misma interacción ,pero en otro ángulo y presentada dentro del detector ALICE.
Los distintos colores distinguen los subdetectores.
La idea es mostrar que cada partícula cargada proveniente del vértice de la interacción o de otro vértice secundario atraviesa los subdetectores dejando rastros de energía que dependen de cada subdetector, asi como su interpretación.

Aquí sólo se ve la reconstrucción geométrica, pero los subdetectores aportan datos que permiten la identificación de las partículas, midiendo directa o indirectamente su masa.



Producción simulada de una desintegración compleja:

$\chi_c \rightarrow J/\psi + \gamma$ (*J/Ψ es una partícula con charm oculto*)

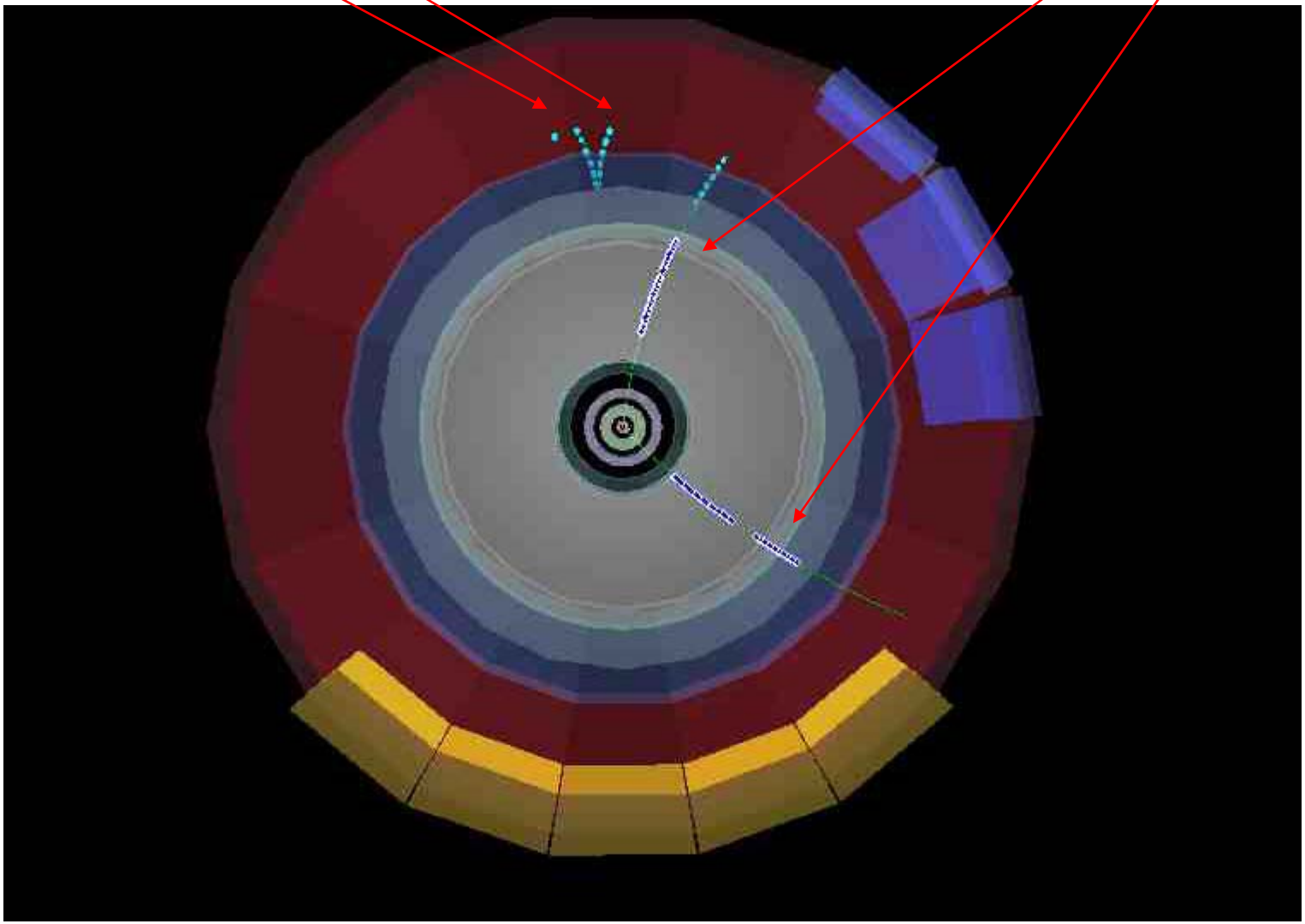
$\gamma \rightarrow e+\ e-$ (*conversión del fotón*) (10 %)

$J/\psi \rightarrow e+\ e-$

El fotón que se convierte no se ve, porque es neutro. Sólo al convertirse en e+ e- puede detectarse.

Es un ejemplo sencillo de detección de partículas neutras por interacción secundaria.

Para simplificar, se han retirado las otras partículas que acompañarían la reacción en estudio.



El principio de la detección de una partícula en un medio.

Interacción con el medio

⇕

Transferencia de energía

⇓

De modo directo o indirecto , a través de los procesos electromagnéticos de :

- **ionización**
- **excitación de los átomos del medio**

La transferencia de energía al medio es bien conocida y se expresa como función:

*** de las características del medio**
*** de las características de la particula que lo atraviesa**
*** de diversas constantes naturales**

Pérdida de energía debida a interacciones con la materia. (fórmula de Bethe-Block)

Pérdida de energía por unidad de longitud

Densidad del medio

Número átomico del medio

Velocidad del proyectil / c , $\beta = \mathbf{v/c}$

Número de Avogadro

Carga del proyectil

Carga del electrón

$$\frac{dE}{dX} = -K\,\frac{Z}{A}\,\frac{\rho}{\beta^2}\left\{\ln\frac{2mc^2\beta^2E_M}{I^2(1-\beta^2)} - 2\beta^2\right\}, \qquad K = \frac{2\pi N z^2 e^4}{mc^2}$$

Número másico del medio

Máxima transferencia de energía permitida por interacción.

Masa del electrón

Velocidad de la luz en el vacío

0.154 MeV g^{-1} cm^2 (z =1)

mc^2 = 0.511 MeV

Potencial efectivo de ionización del medio (depende del material)
Una aproximación:
I = I$_o$ Z (**I$_o$ ~12 eV**)

$$E_M = \frac{2mc^2\beta^2}{1-\beta^2}$$

ej, protones de ~1 GeV/c → EM =1.2 MeV

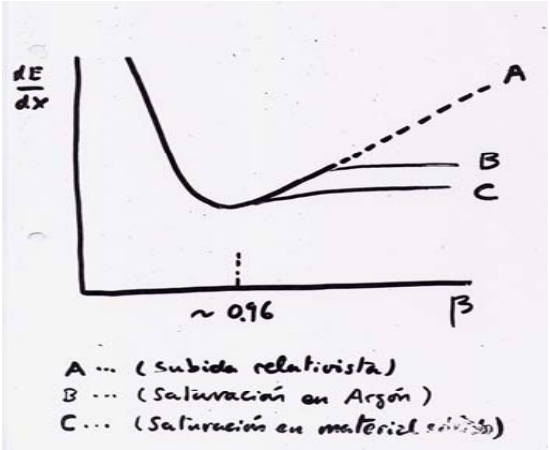
De lo anterior se extrae que dE/dX :

La medida de dE/dx permite, en principio la medida de la velocidad del proyectil…

-1 **depende sólo de la velocidad β del proyectil y de su carga z, no de su masa !!!**.
-2 tras una caída rápida, dominada por **$1/\beta^2$** alcanza un valor mínimo para **β ~0.96 ->0.97**
-3 después comienza una lenta subida (para **β -> 1** , subida relativista)
-4 alcanza la **saturación** para una β dependiente del medio (**mínima ionización : I_0) (~2 MeV g^{-1} cm^2**)

pero con un límite…

Más tarde veremos la utilidad de dE/dX para identificar las partículas



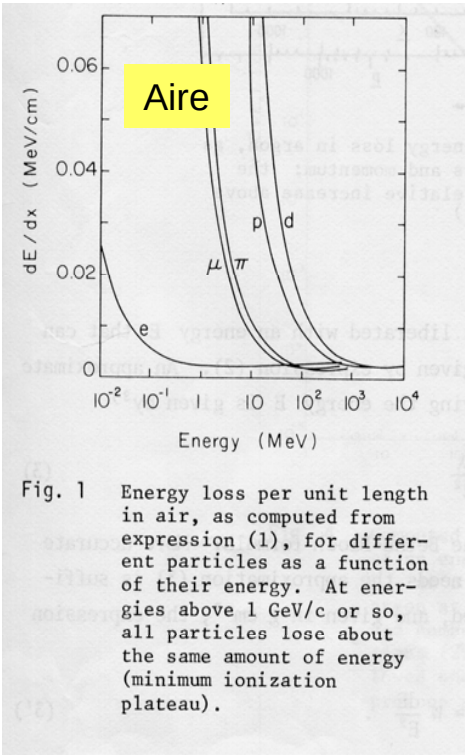


Fig. 1 Energy loss per unit length in air, as computed from expression (1), for different particles as a function of their energy. At energies above 1 GeV/c or so, all particles lose about the same amount of energy (minimum ionization plateau).

La pérdida de energía se produce por :

* ionización del medio a lo largo de la trayectoria,
  (liberación de iones)
* excitación de sus átomos y consiguiente desexcitación,
  (liberación de fotones)

El depósito de energía puede registrarse por medios opticos directos (ej, emulsiones nucleares , cámara de burbujas…

o por medios electrónicos,que serán nuestro principal objetivo.

Como ejemplo introductorio de métodos ópticos usaremos la cámara de burbujas.

Las cámaras de burbujas (Bubble Chambers o BC) tienen un gran interés histórico pero ya no se usan en los experimentos modernos. El efecto dE/dX se podía observar directamente por estar relacionado con la densidad media de burbujas producidas, permitiendo en muchos casos una identificación inmediata de la partícula, posteriormente corroborada por el cálculo.

Aplicadas a experimentos de baja estadística, han perdido su vigencia.

La impresión en emulsiones nucleares, muy utilizada en los primeros tiempos del estudio de la radiación cósmica y tambien en los años 80 para el estudio del charm debido a su extraordinaria resolucion espacial en la búsqueda de vértices de desintegración de partículas de corta vida media ha decaído mucho, pero actualmente se usa en el experimento OPERA situado en el Laboratorio del Gran Saso (Italia) para el estudio de las oscilaciones del neutrino μ (ν_μ) (Ver más adelante)

Las cámaras de burbujas. (Glaser,1952)

Recipiente estanco inmerso en un campo magnético y provisto de :

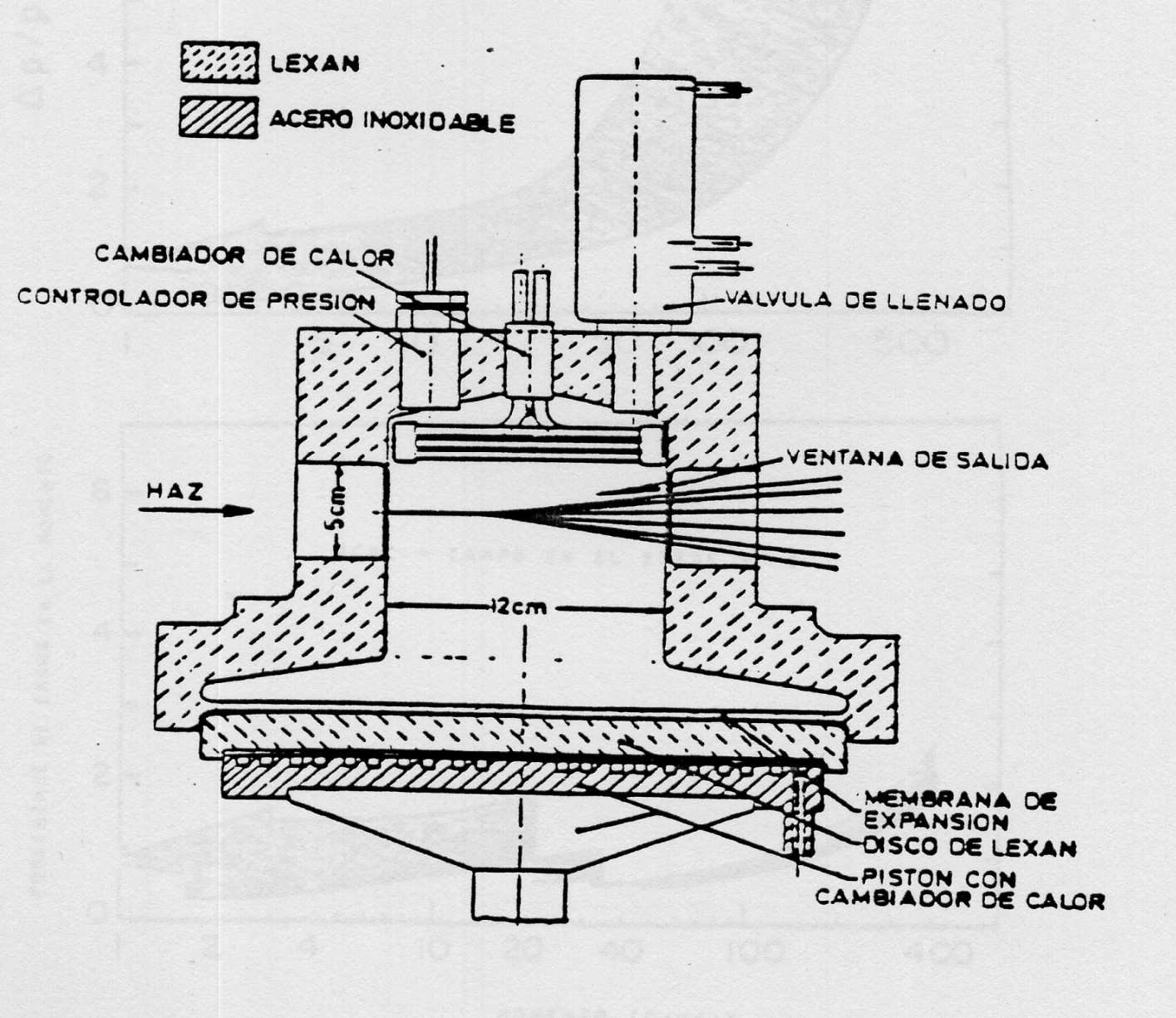
-varias ventanas de observación con cámaras fotográficas acopladas
-un flash para iluminar el interior en el momento apropiado.
-un sistema de refrigeración que permite mantener el recipiente lleno de un gas en fase líquida (ej: hidrógeno, deuterio,freon…) cerca del punto de ebullición.
-un sistema de sobrepresión (5-20 atmósferas) regulable.

Proceso:

a) Cuando pasan partículas cargadas, ionizan el líquido a lo largo de la trayectoria, depositando energía (calor) que inicia un cambio de fase (ebullición)
b) Al mismo tiempo, se relaja la presión súbitamente permitiendo la expansión de las burbujas durante ~ 10 ms (donde alcanzan una talla visible)
c) Se dispara el flash y se toma un conjunto de fotos estereo.
d) Se reestablece la presión para eliminar las burbujas y estar listo para la próxima toma.
e) La sincronización se logra usando el ciclo del acelerador.

Algunos ejemplos entre los 60 y los 80 :
CERN 2m. BC, Big European Bubble Chamber (BEBC, 3.7 m. de diámetro),
Rapid Cycle Bubble Chamber (RCBC) (acoplada al European Hybrid Spectrometer), etc.

La cámara RCBC, “Rapid Cycle Bubble Chamber” ~1980



BEBC (~1970):

“Big European Bubble Chamber”

-Física del neutrino.

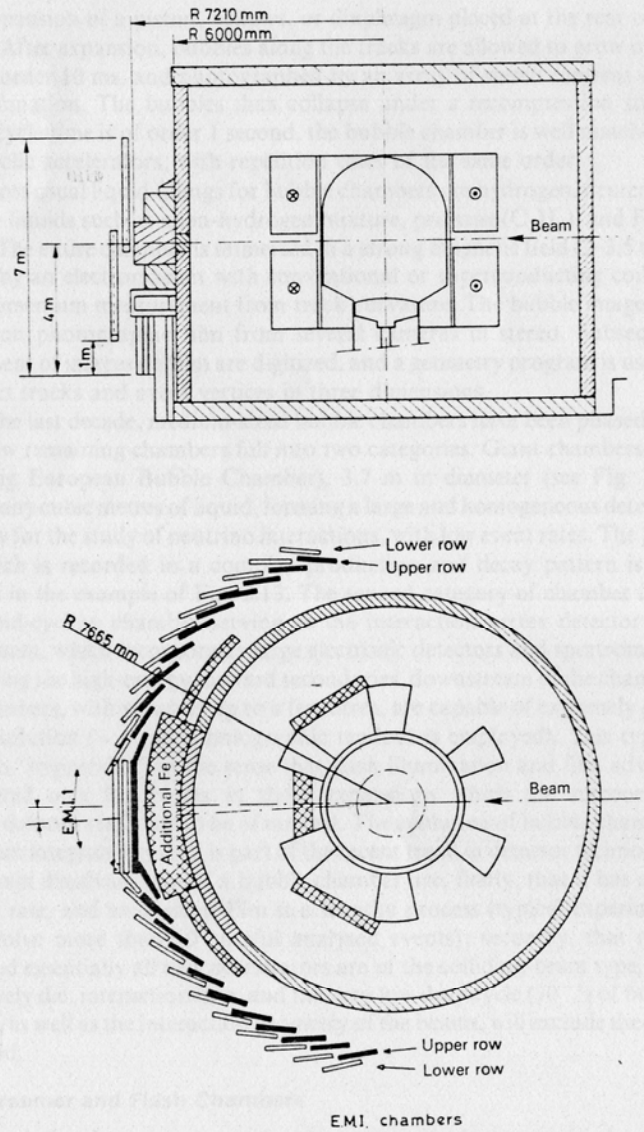


Fig. 2.12 Elevation and plan views of the 3.7-m-diameter bubble chamber (BEBC) at CERN. The chamber is filled with liquid hydrogen, deuterium, or neon-hydrogen mixture, and is equipped for neutrino experiments with an external muon identifier. This consists of 150 m^2 of multiwire proportional chambers placed outside the magnet yoke.

Producción y desintegración del Ω - en cámara de burbujas de hidrógeno.

Observese:

1- Las trayectorias cargadas presentan curvatura diferente según su carga y momento.(debido al campo magnético)

2- Hay una partícula cargada, el Ω^- (observación directa), y dos neutras , Ξ^0, Λ^0 (observacion indirecta) con vida media suficiente para apreciar los vértices de desintegración (indicados como **E, D, A** en la figura)

3- Se aprecia la conversion de dos fotones (γ -> **e+ e-**) (observación indirecta, vértices **B,C**)

4- los, **π, K p, e** tienen largas vidas medias y escapan del detector.

5- El estado inicial es un **K⁻** (haz incidente) contra el **Hidrógeno** de la cámara (en reposo) .(Expto de "blanco fijo"). Vértice **F**

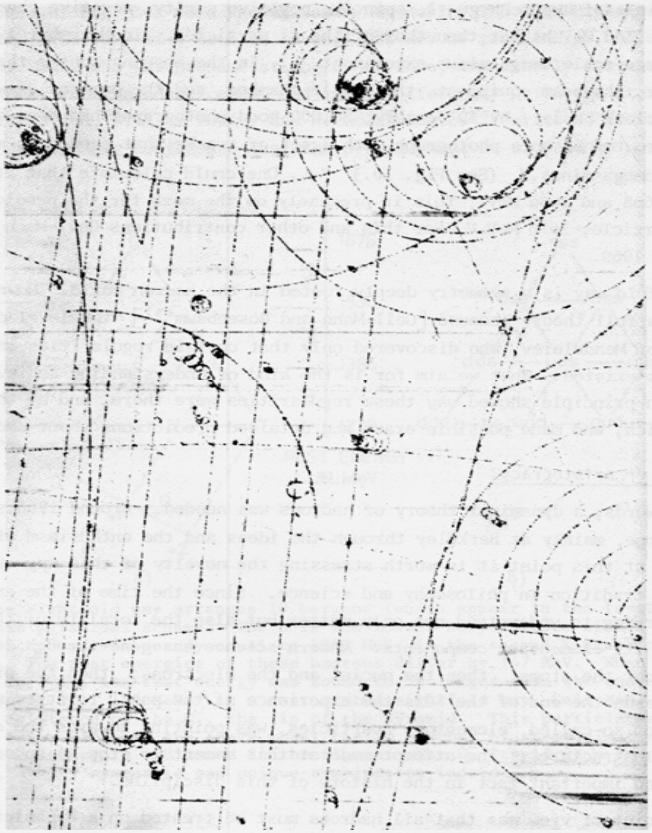


Fig. 16a This bubble chamber picture shows the first example of the production and decay of an Ω^- particle[29].

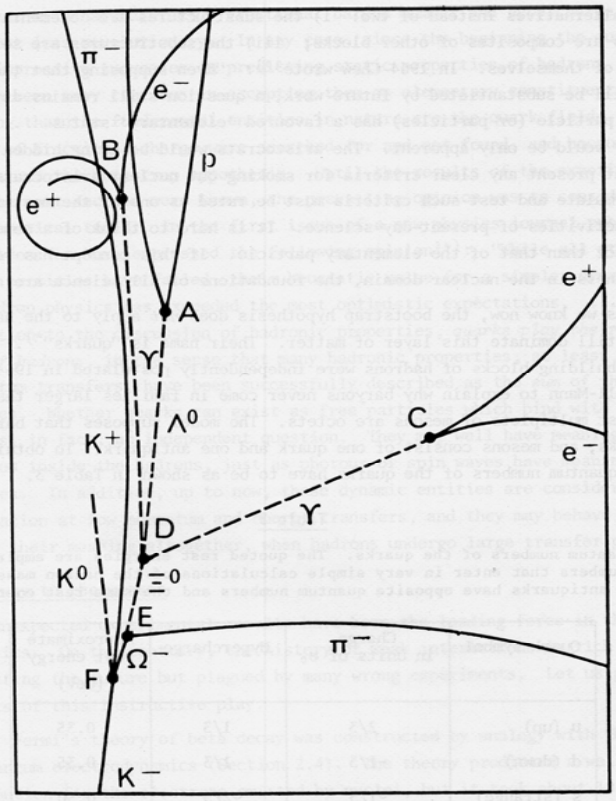


Fig. 16b The drawing shows the chain of events that can be reconstructed by accurately measuring the tracks seen in the picture of Fig. 16a.

Interacción neutrino-protón en la cámara de burbujas BEBC con producción de una partícula con “charm”, el D*

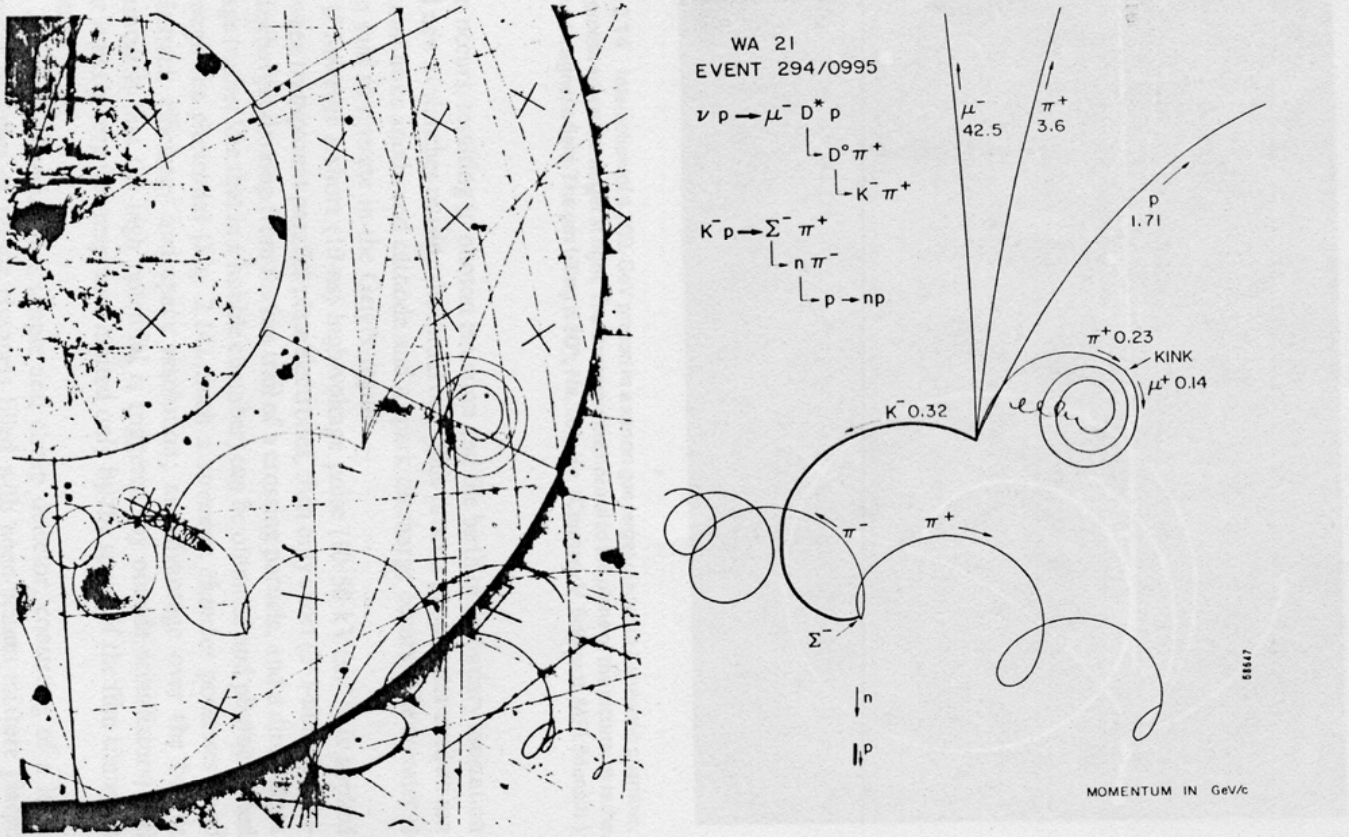


Fig. 2.13 Example of charmed-particle production and decay in the hydrogen bubble chamber BEBC exposed to a neutrino beam at the CERN SPS. (Courtesy CERN)

Tratamiento de las fotos.

- Cada suceso era fotografiado desde al menos tres posiciones (vistas) para poder realizar su reconstrucción espacial.

- Cada suceso era examinado para buscar los casos de interés (**trigger humano**)

- Las vistas de los sucesos de interés se digitalizan manual o semiautomáticamente (ie,**ERASME**)

- A partir de la digitalización de las vistas se reconstruyen las trayectorias en el espacio.

Las estadísticas son muy limitadas (~< 10^5 sucesos interesantes)

"Trackers" electrónicos.

- La captación de una señal se realiza en el espacio-tiempo por medios electrónicos.

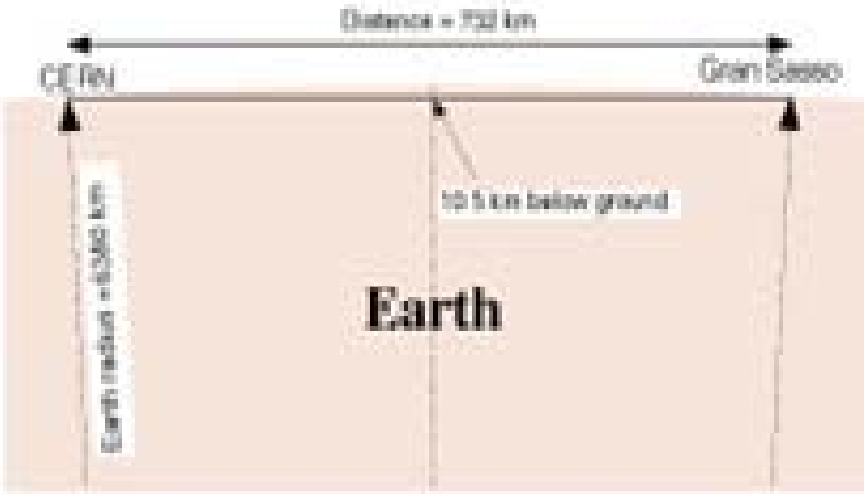
- Los sucesos interesantes se seleccionan "grosso modo" por trigger electrónico.

- La reconstrucción de la trayectoria puede visualizarse igual que en **BC (Bubble Chamber)** pero desde cualquier perspectiva gracias a los métodos gráficos actuales.

Las estadísticas son prácticamente ilimitadas.

Los medios visuales de detección son poco usados actualmente,salvo asociados a otros detectores electrónicos.

Es el caso del experimento OPERA ,(Oscillation Project with Emulsion tRacking) (Gran Sasso,LNGS) que utiliza emulsiones nucleares, y detectores electrónicos para buscar interacciones de un haz de neutrinos μ del CERN CNGS (Cern Neutrinos to Gran Sasso) y observar el fenómeno $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$



Los campos magnéticos y sus efectos sobre las partículas cargadas.(I)

Hemos visto en ejemplos previos que un campo magnético induce curvatura en la trayectoria de una partícula cargada. Se debe a la fuerza de Lorenz:

q : carga
m: masa de la partícula

$\vec{v}$: *velocidad*

$\vec{E}$: *campo eléctrico*

$\vec{B}$: *campo magnético*

$$d(m.\vec{v})/dt = q.(\vec{E} + \vec{v} \times B)$$

Simplificando : Si sólo hay campo magnético , la partícula se mueve en el plano normal a éste y no hay pérdida de energía , la trayectoria es un círculo de radio R:

$$R(m) = P(GeV/c)/(Z * 0.3 * B(Tesla)) \quad [1]$$

Radio de curvatura — Momento — Unidades de carga eléctrica — Carga del electrón — Campo magnético

La medida de R sólo proporciona P/Z
Si 1< Z <-1 hay que medir Z independientemente.

Por ejemplo:

Medida de Z usando un detector Cerenkov con muestreo

Veremos más tarde qué es un detector Cerenkov,pero se aprovecha el hecho de que su respuesta es proporcional a Z^2

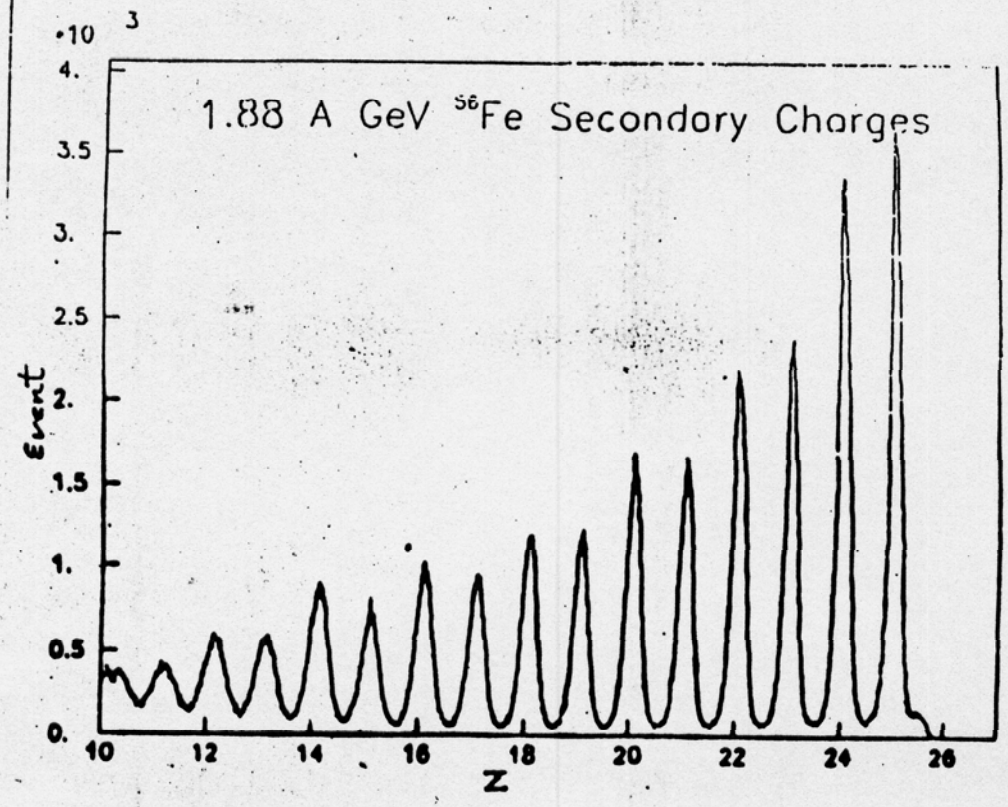


Figure 2: Spectrum of secondary charges resulting from 1.9 AGeV ^{56}Fe fragmentation in lucite. Cerenkov response.

Los campos magnéticos y sus efectos sobre las partículas cargadas.(II)

Unidades:

En la fórmula [1] hemos usado, aparte del metro, dos unidades más "exóticas":

- Para el momento P :

1 GeV /c = 10^3 MeV/c = 10^6 eV/c (también usaremos en adelante el TeV = 10^3 GeV)

El electrón-voltio (eV) es el trabajo que realiza un electrón para recorrer un potencial de 1 voltio y c es la velocidad de la luz.

Las unidades del GeV/c son pues las del "momento":

$[M]\,[L]^2\,[T]^{-2} / [L][T]^{-1} = [M][L][T]^{-1}$ (masa x velocidad= momento) OK !!

Por simplicidad usaremos frecuentemente el sistema de unidades en que c=1 y $h/2\pi = 1$

- Para el campo magnético B hemos usado el Tesla = 10 KG = 10^4 gauss.

Los detectores del LHC usarán típicamente campos de 0.4 -> 4 Tesla más de 4 órdenes de magnitud el campo magnético terrestre (~0.5 gauss) !!!

Espectrómetros magnéticos

Los detectores sometidos a un campo magnético y equipados con algún sistema de medida de trayectorias se denominan "espectómetros magnéticos".

*** Son la base de la detección de partículas cargadas y los encontraremos en la mayor parte de los experimentos.**

*** Hemos visto un ejemplo en la cámara de burbujas.**

*** Un caso particular es el espectrómetro de masas.**

*** Y…un espectrómetro no construído por el hombre es el que proporciona el campo magnético (~dipolar) de la tierra frente a las partículas cargadas de la radiación cósmica.**

Permite, por ejemplo :

- Establecer límites a la medida de la energía de los protones solares (sólo a partir de ciertas energías pueden sobrepasar el "cutoff" magnético)

- Ver la "sombra de la luna"

- Establecer límites a la cantidad de antimateria en el espacio.

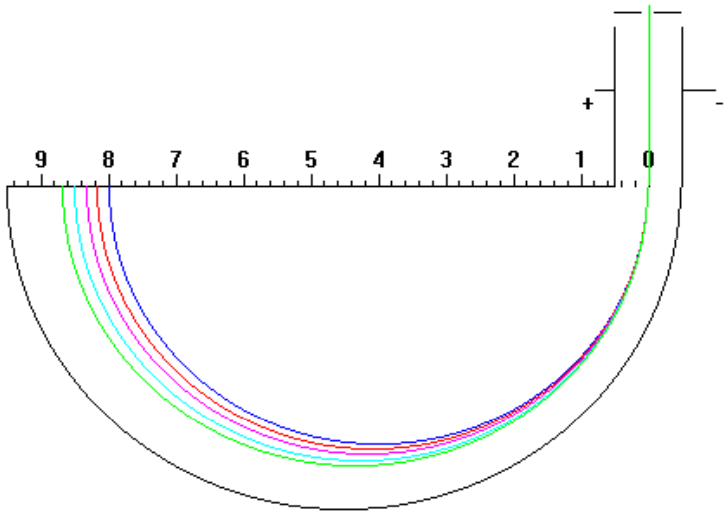
El espectrómetro de masas

Un caso particular de [1] cuando p es constante es el espectrómetro de masas ,un dispositivo que separa iones de la misma velocidad.

- Un campo magnético normal al plano del dibujo les obliga a describir una trayectoria circular.

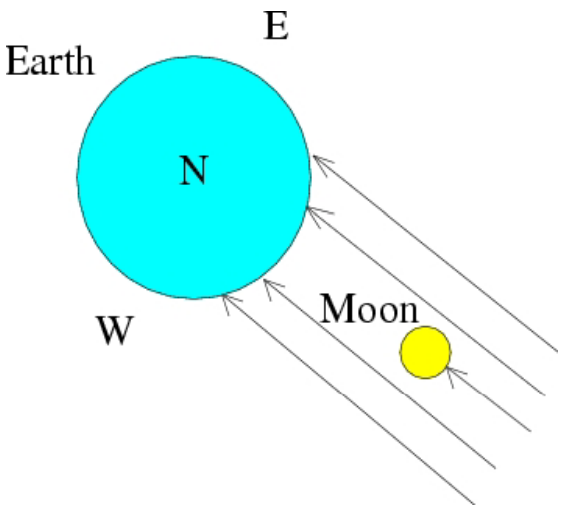
- El radio de la órbita es proporcional a la masa, por lo que iones de distinta masa impactan en lugares diferentes de una placa fotográfica.

En los detectores que estudiaremos el caso sera muy distinto:
P y masa seran variables y la dirección de entrada será arbitraria



La “sombra” de la luna

La luna detiene los rayos cósmicos
→Se debería observar un déficit en la dirección de la luna (Clark,1957)



(Despreciando el campo magnético)

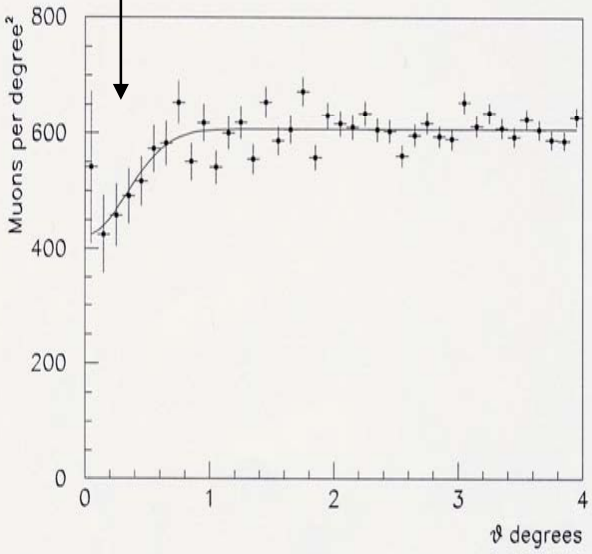


FIG. 2. The angular density of muons, $(1/\pi)dN_\mu/d\theta^2$, versus θ, the angular distance between the muon direction and the nominal position of the centre of the moon.

SOUDAN2 ang. res. ~ 0.30^0

Efecto del campo geomagnético

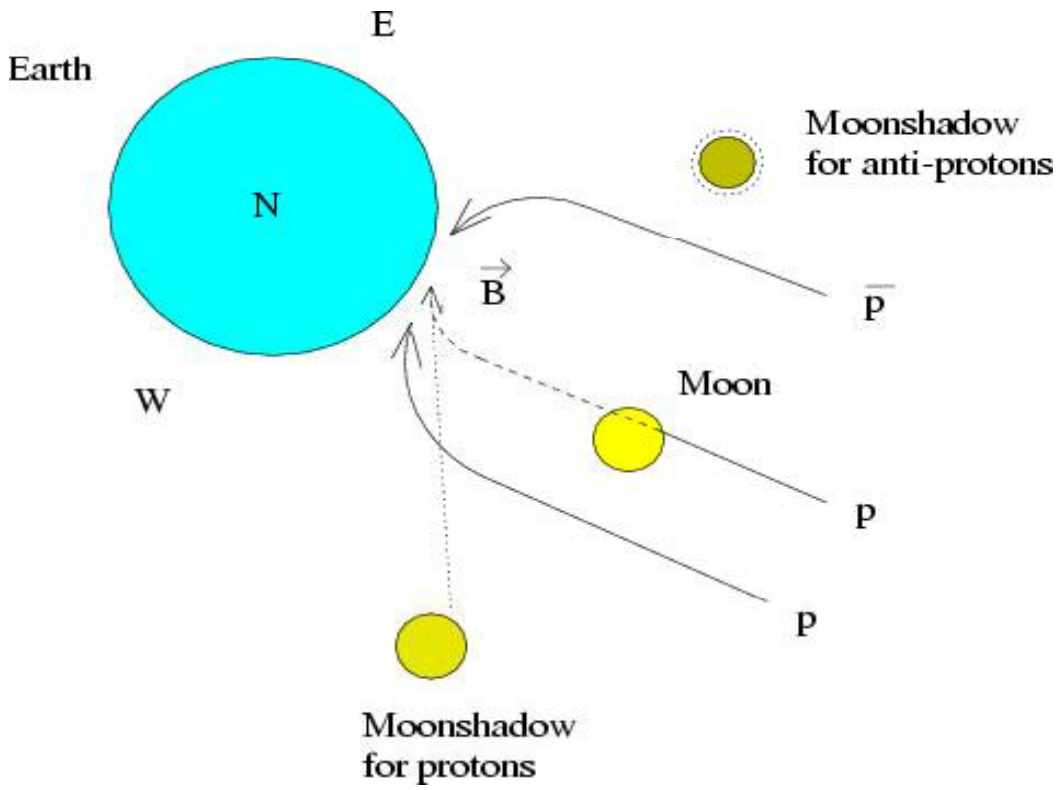
Los primarios negativos se desvían hacia el Oeste →
El déficit se presentará al Oeste

Los positivos, hacia el Este →
Si existe, la antimateria en los CR inducirá un déficit simétrico hacia el Este.

La consecuencia:

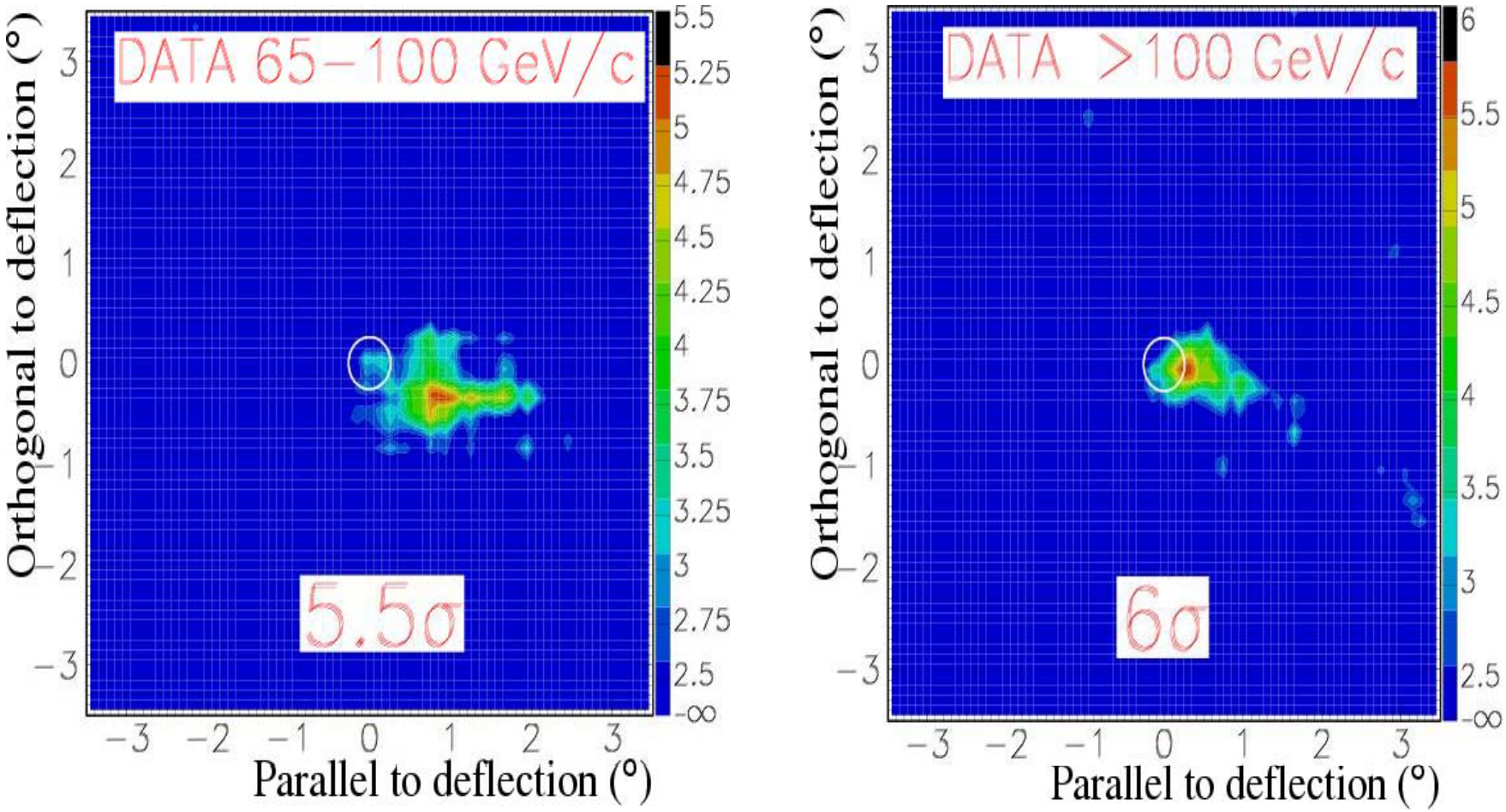
El desplazamiento del centro de la sombra indicará la carga y eventualmente, *la existencia de antimateria en la radiación primaria.*

El sistema Tierra-Luna se usa como un espectrómetro magnético y la atmósfera como parte del detector

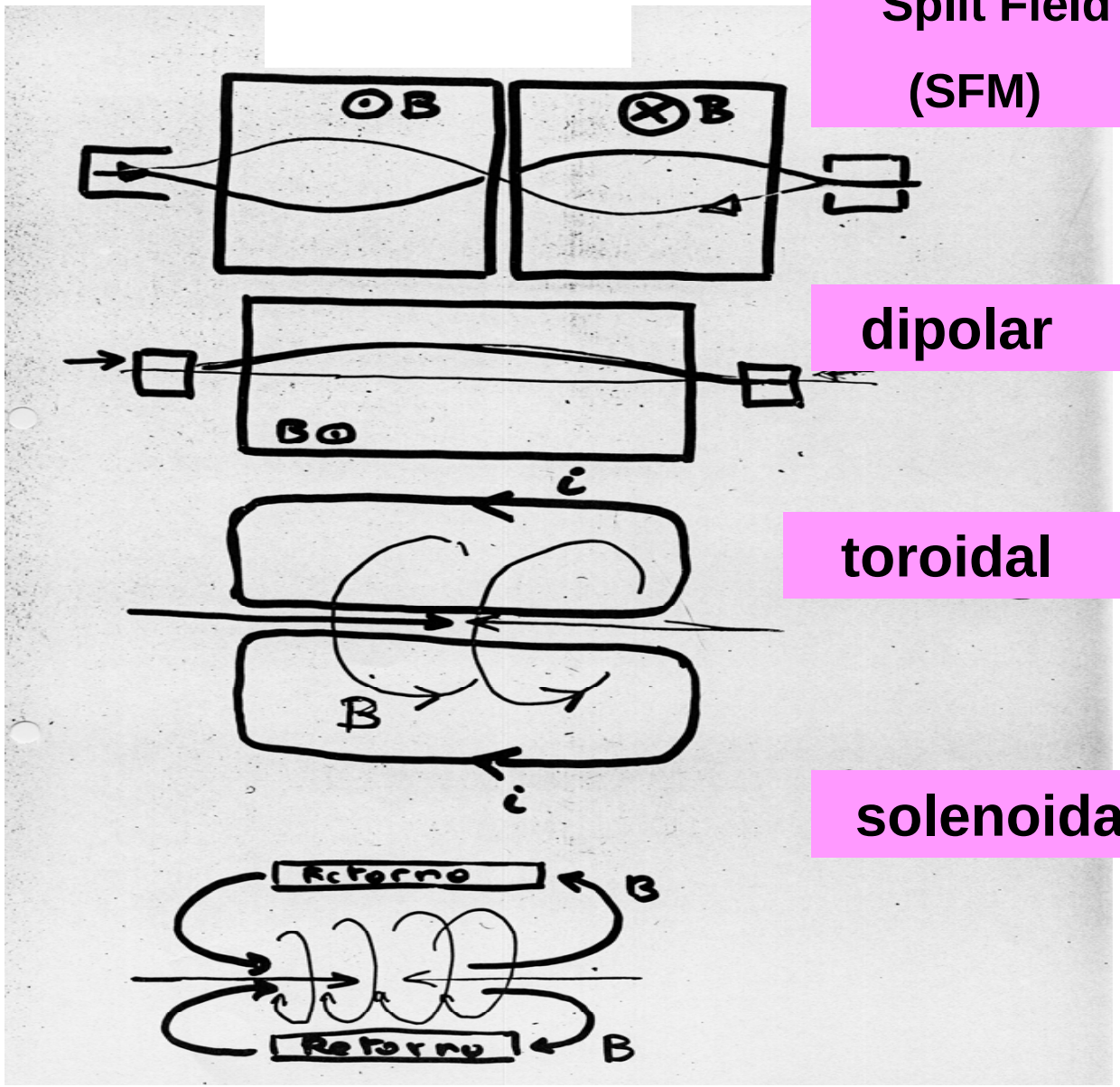


…pero es preciso que la observación sea sensible a la deflexión magnética !!

Comparación entre la posición real (circulo blanco) y aparente (zona roja) para dos segmentos de energía de muones cósmicos detectados en tierra. (experimento L3+Cosmics, 1999-2000)



Algunos imanes usuales en los experimentos



Split Field (SFM)

dipolar

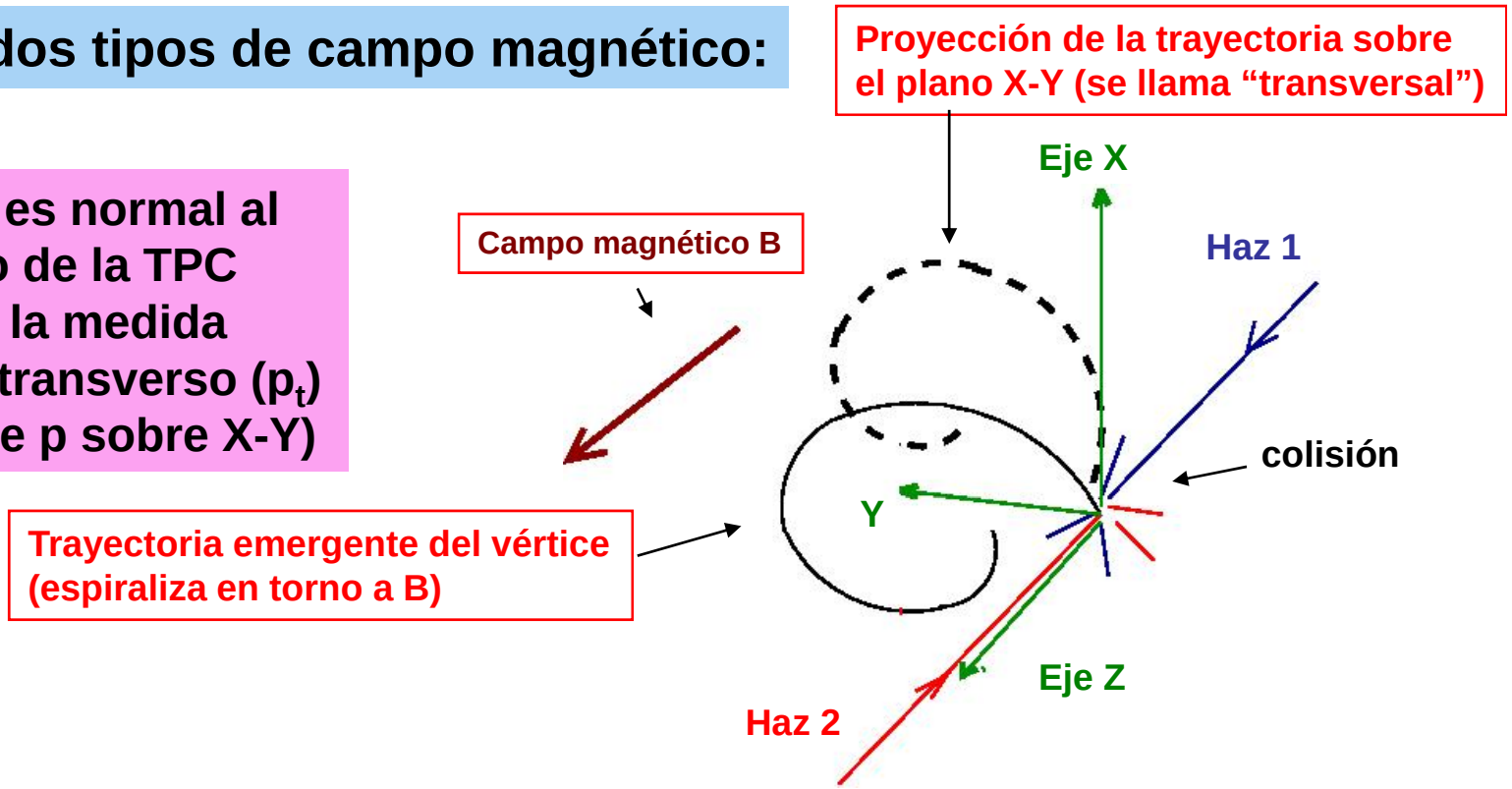
toroidal

solenoidal

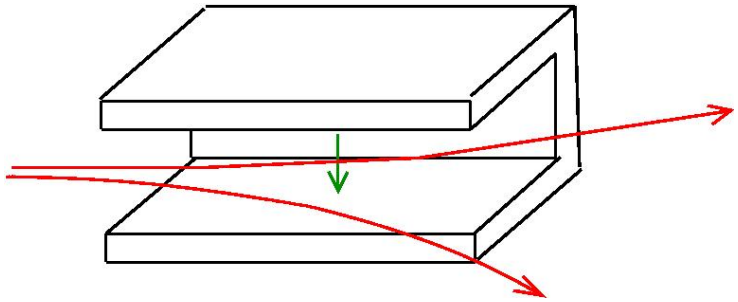
Disposición típica del campo magnético para detectores en colisionadores. (por ejemplo, L3, CMS …)

ALICE tiene dos tipos de campo magnético:

Solenoidal: B es normal al plano anódico de la TPC
Esto optimiza la medida del momento transverso (p_t) (proyección de p sobre X-Y)

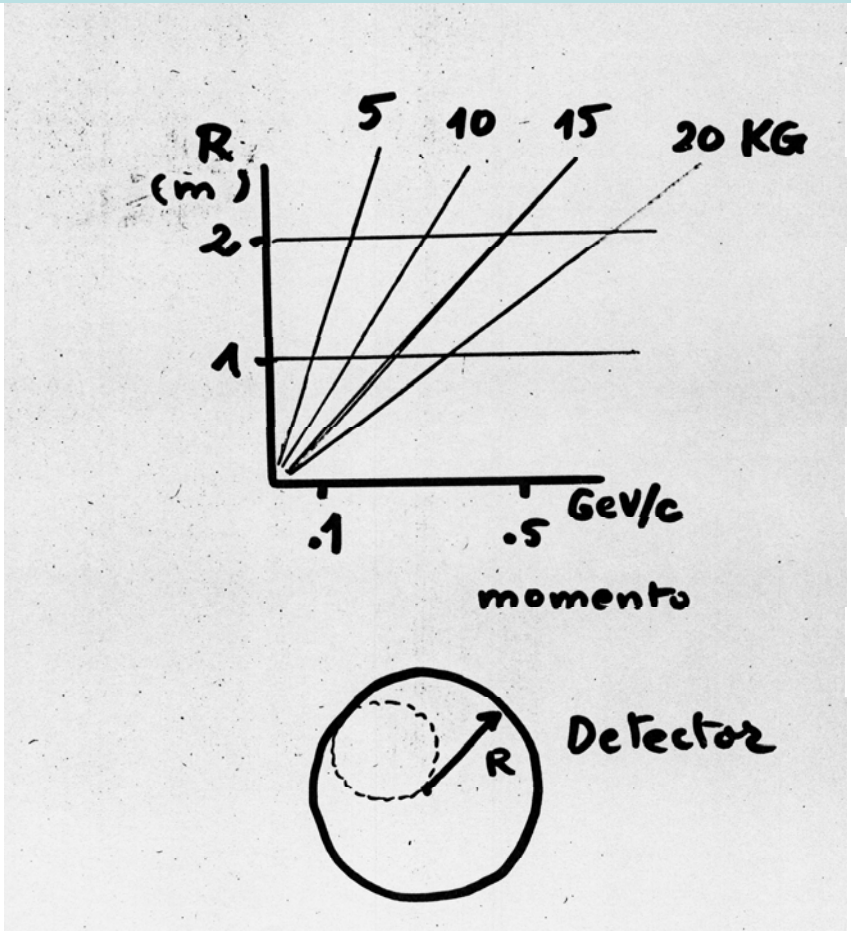


Dipolar : B es normal a Y-Z en el espectrómetro de muones y permite medir la curvatura (p) de los muones en ese plano.La razón es que los muones que se buscan tienen p_t muy bajo y un campo solenoidal no seria apropiado.



Límites impuestos por la espiralización (y ventajas)

Una partícula puede quedar “atrapada”
En un detector con lo que su paso al
detector contiguo queda vedado.
Puede ser un inconveniente,o lo contrario



=> Para el mismo P el radio de curvatura va como B^{-1}

⊳ Si B es muy grande, la partícula espiraliza y queda “atrapada” en el detector.

=> Si P es muy grande, la curvatura es mínima y su
medida puede tener un error del 100 % (límite)

Hay experimentos (**ALICE**) donde se necesita detectar cuantas más partículas posibles procedentes de la reacción en cuantos más detectores posibles.. Eso impone campos débiles **(~0.5 Tesla**) pero tiene el inconveniente de perjudicar la precisión de la medida del momento.

Otros experimentos (**CMS**) desean ver senales concretas a alto momento y pueden prescindir de muchas partículas de bajo momento y funcionan a **~4 Tesla**. La medida del momento se favorece, pero la determinación del vértice fuede ser más difícil.

Un poco de cinemática relativista.

Las más veces trataremos con partículas “relativistas” ($E>m_0 .c^2$) $C = 3 \times 10^{10}$ cm/s

(m_0 : masa en reposo de la partícula, **c**: velocidad de la luz en el vacío)

Fórmulas ,unidades y constantes de uso inmediato:

La velocidad v de una partícula expresada en unidades de c se denomina $\beta = v/c$

La transformación entre magnitudes en su sistema propio y en laboratorio se manifiesta a través de γ:

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

No confundir este símbolo con el fotón !!

$\beta < 1$ o $\beta = 1$ (el fotón)

γ **sin límite**

Sistema propio		**Laboratorio**	
Vida media : t_o	=>	$t = t_0.\gamma$	**[2]**
Masa : m_o	=>	$m = m_0.\gamma$	**[3]**
Energía : $E_0=m_0 c^2$	=>	$E = m_o \gamma c^2$	[4]
Momento,P : $P=0$	=>	$P = m_0 \gamma \beta$	**[5]**

Si tomamos un sistema de unidades donde c=1 se cumplen las relaciones:

$$E^2 = m_0^2+P^2 \quad [6]$$

$$\beta = P/E \quad [7]$$

[2] $t = t_0 \gamma$ explica cómo pueden medirse recorridos detectables.

aunque t_0 sea ínfimo, γ puede ser casi infinita. Algunos ejemplos…

Partícula (máximo recorrido	t_0 (s)	$c.t_0$ (cm)
π^{+-}	$2.6\ 10^{-8}$	780
K^{+-}	$1.2\ 10^{-8}$	371
Ξ^0	$2.9\ 10^{-10}$	8.7
Λ^0	$2.6\ 10^{-10}$	7.9
Ω^-	$0.8\ 10^{-10}$	2.5
D^{+-}	$1.0\ 10^{-13}$	$3.1\ 10^{-2}$
D^0	$0.4\ 10^{-13}$	$1.2\ 10^{-2}$
π^0	$8.4\ 10^{-17}$	$2.5\ 10^{-6}$
J/Ψ	$\sim 10^{-19}$	$\sim 3.0\ 10^{-9}$
χ_c	$3.3\ 10^{-22}$	10^{-11}

partículas con "charm" Son directamente detectables !!

En una foto de cámara de burbujas hemos encontrado las 5 primeras partículas de esta tabla y en los ejemplos ALICE las dos últimas.

Las expresiones [3] => [7] nos dicen:

De P , β => m_0
De P , E => m_0
De P , m_o => E

$$\Rightarrow \left| \begin{matrix} \vec{P} \\ E \end{matrix} \right|$$

* **P/Z** puede determinarse en un campo magnético a partir de la trayectoria. => detectores de "tracking": cámaras de hilo: (WC, MWPC) , de deriva : (DC, TPC), detectores de estado sólido, (SMD, etc,)

* β => detectores basados en el efecto Cerenkov, el efecto de "radiación de transición", TRD y el "tiempo de vuelo", TOF y ,como vimos antes, en la medida de **dE/dX**

* **E** => calorímetros electromagnéticos (EMCAL) y hadrónicos (HCAL)

Un detector es un "kit" de diversos subdetectores especializados.

Un detector de partículas es un volumen espacial instrumentado con objeto de :

- Conocer el paso de las partículas en el espacio-tiempo(discontinuo)
- Determinar la ecuación de la trayectoria de cada una (continuo)
- Determinar el cuadrimomento ($\vec{P}, E$) en cada punto de la trayectoria
- Medir las propiedades intrínsecas de la partícula: masa, carga y vida media.
- Detectar sus interacciones …
  - => con otras partículas libres
  - => con el medio material que atraviesan
  - => con su propios campos (desintegraciones)
- Determinar las probabilidades de dichas interacciones. (X-sections)
- Controlar y autoregular su propio funcionamiento a lo largo del tiempo.
- Registrar de modo seguro los datos obtenidos.

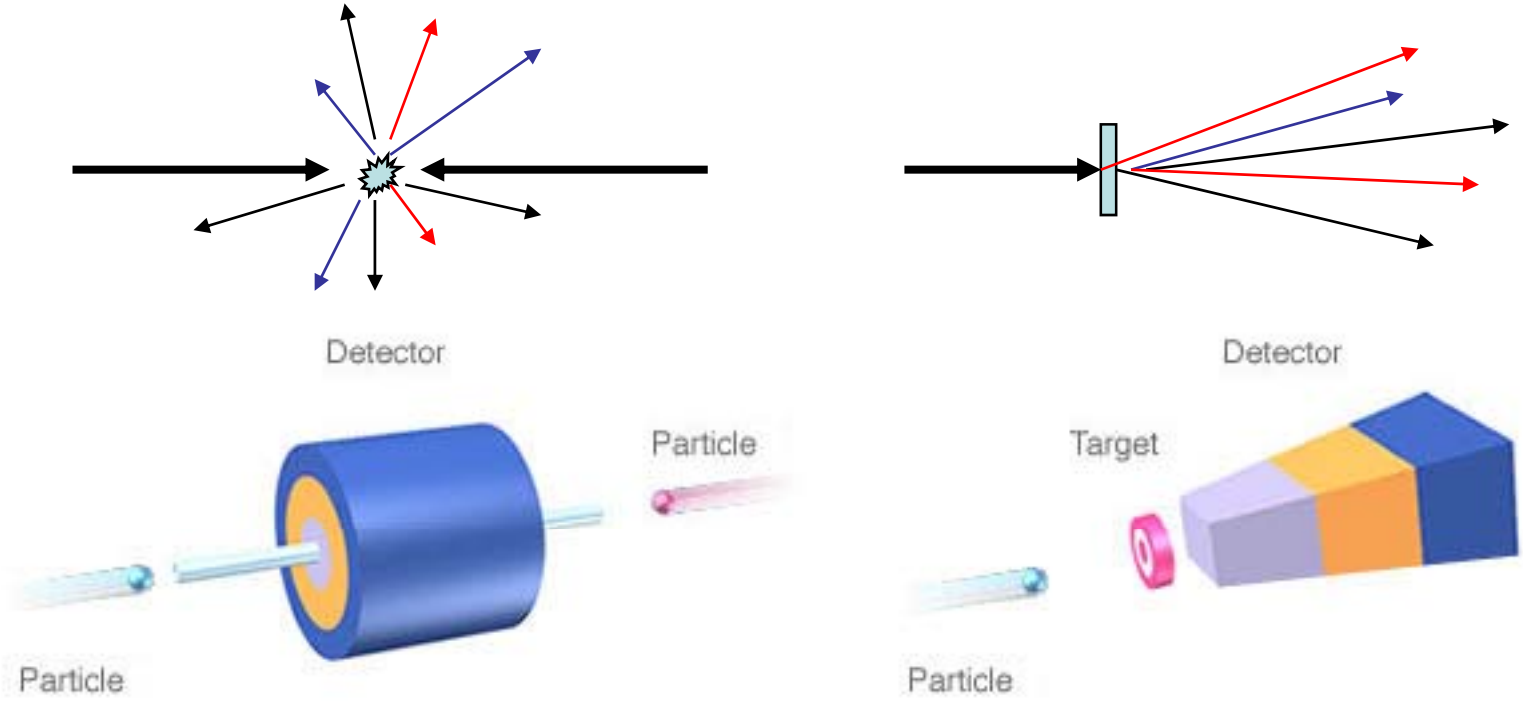
Tal detector ideal no existe, pero intentamos aproximarlo

En lo que sigue describiremos los principios y operación de los detectores más usuales.

Geometría de los detectores

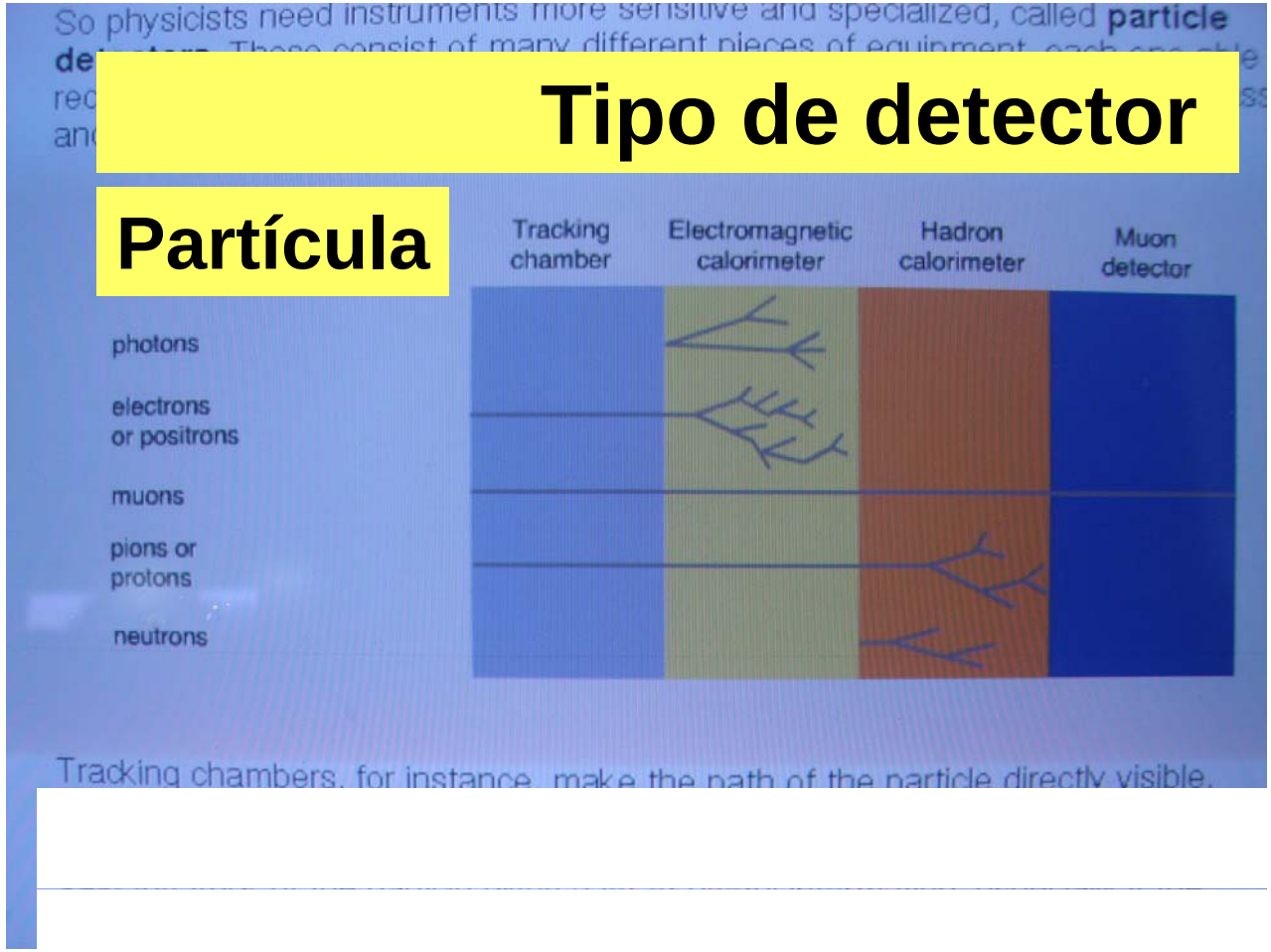
En sus grandes trazos, está determinada por el tipo de acelerador utilizado.

Experimentos de colisionador y de blanco fijo



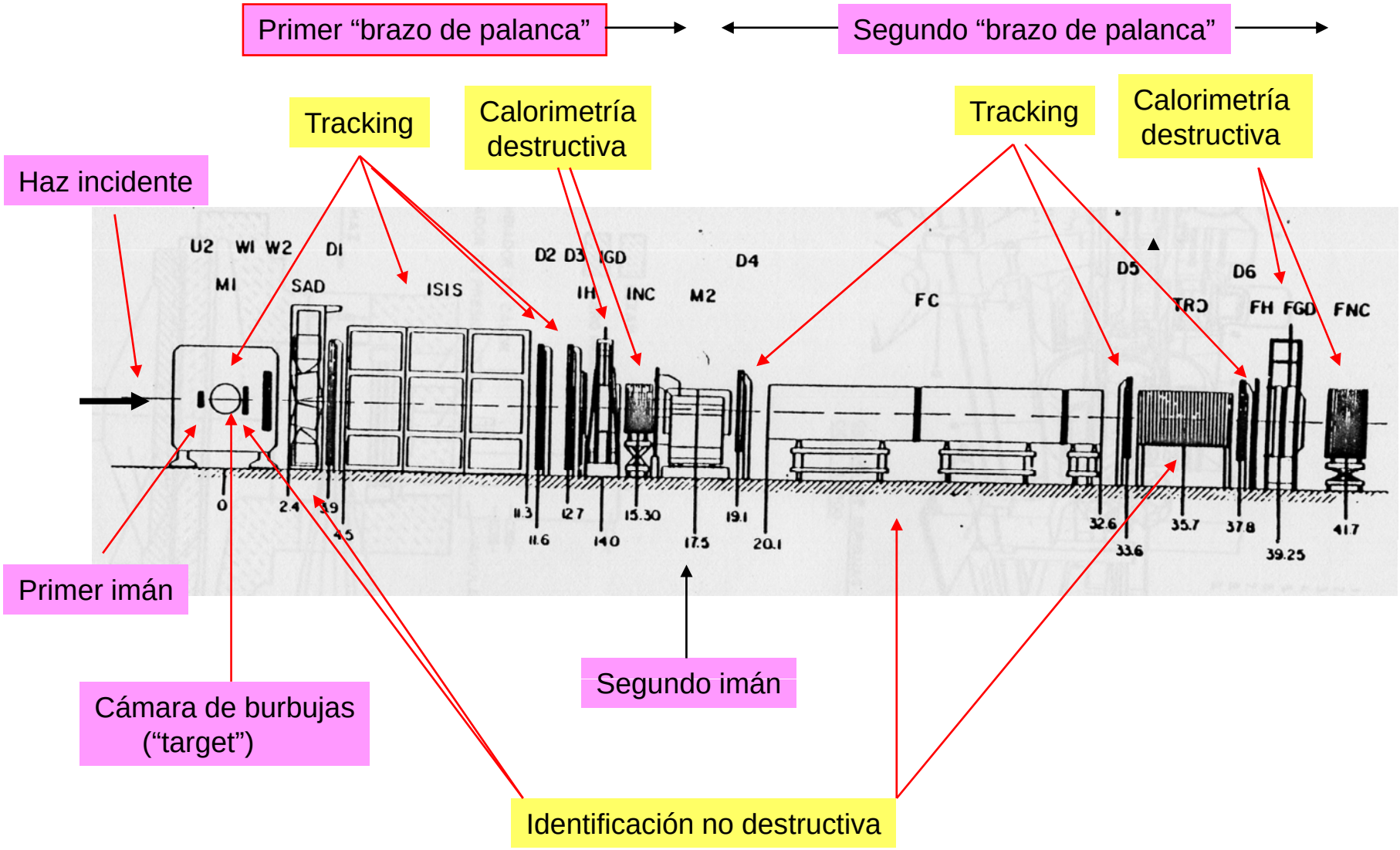
Orden de los detectores :
de tracking -> identificación no destructiva -> identificación destructiva

Orden de los detectores :
de tracking -> identificación no destructiva -> identificación destructiva



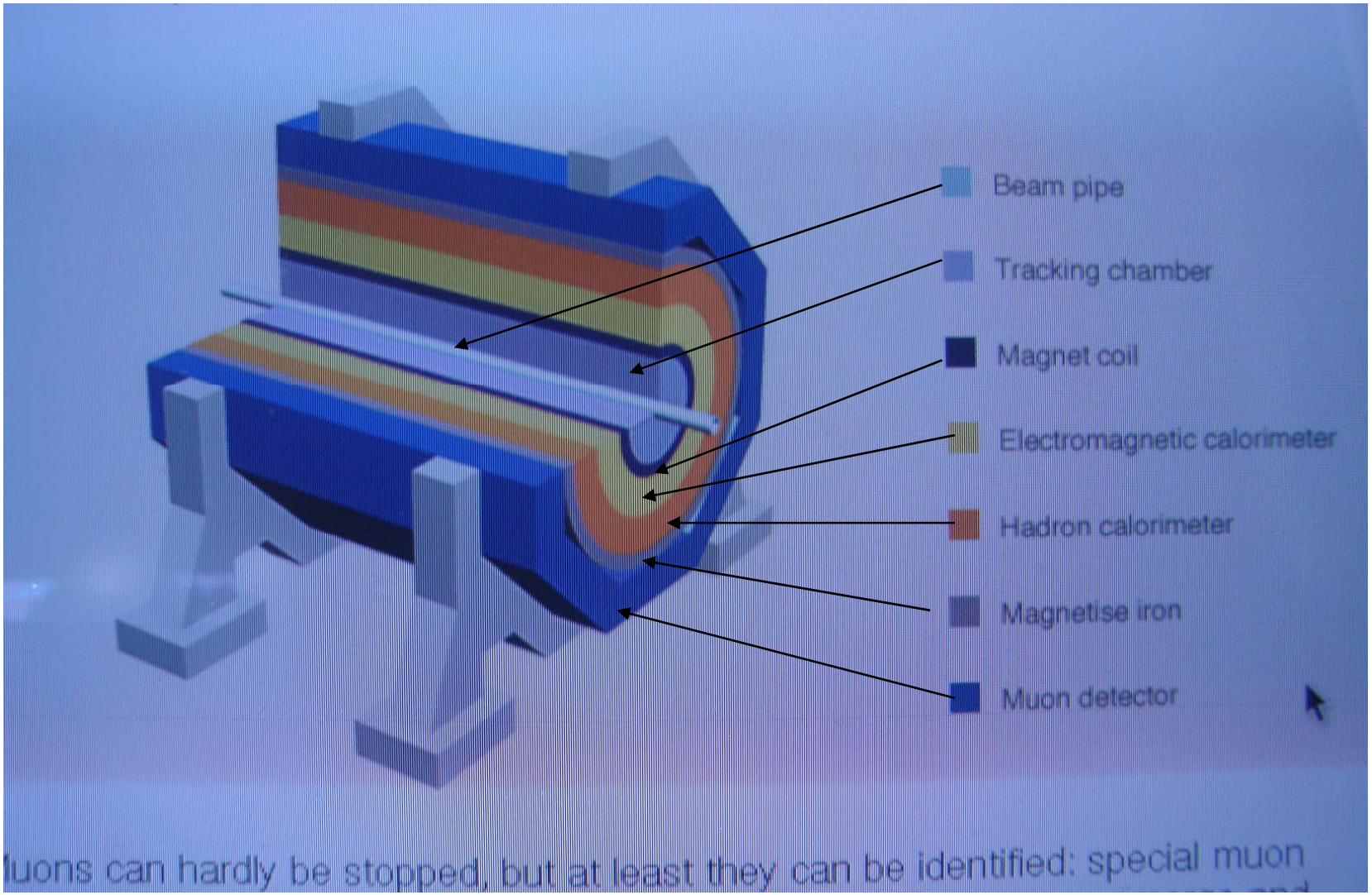
Detector de blanco fijo

Espectrómetro Híbrido Europeo (EHS) ~1978-1984



Los calorímetros del primer “brazo de palanca” tenían huecos centrales para permitir el paso de laspartículas “forward”

Un detector típico para colisionador



Reconstrucción de las trayectorias de partículas cargadas. (Tracking)

1- Reconstrucción de las trayectorias cerca del vértice de colisión.

2- Reconstrucción del vertice de colisión (Main VX) y de los vértices de desintegración proximos (> 100 μm.)

3- Reconstrucción de las trazas y vértices lejos del vértice de colisión.

4- Unificar los resultados de 1+2+3 para construir cada trayectoria mediante métodos de ajuste (Chi^2 , máxima verosimilitud…)

5- Determinar el momento p de cada trayectoria usando la curvatura reconstruida y el campo magnético en todo el volumen activo.

Detectores de vértice

La determinación del vértice principal y de los secundarios muy próximos a él (hablamos de 100 -> 200 μm) requieren detectores especiales ("de vértice")

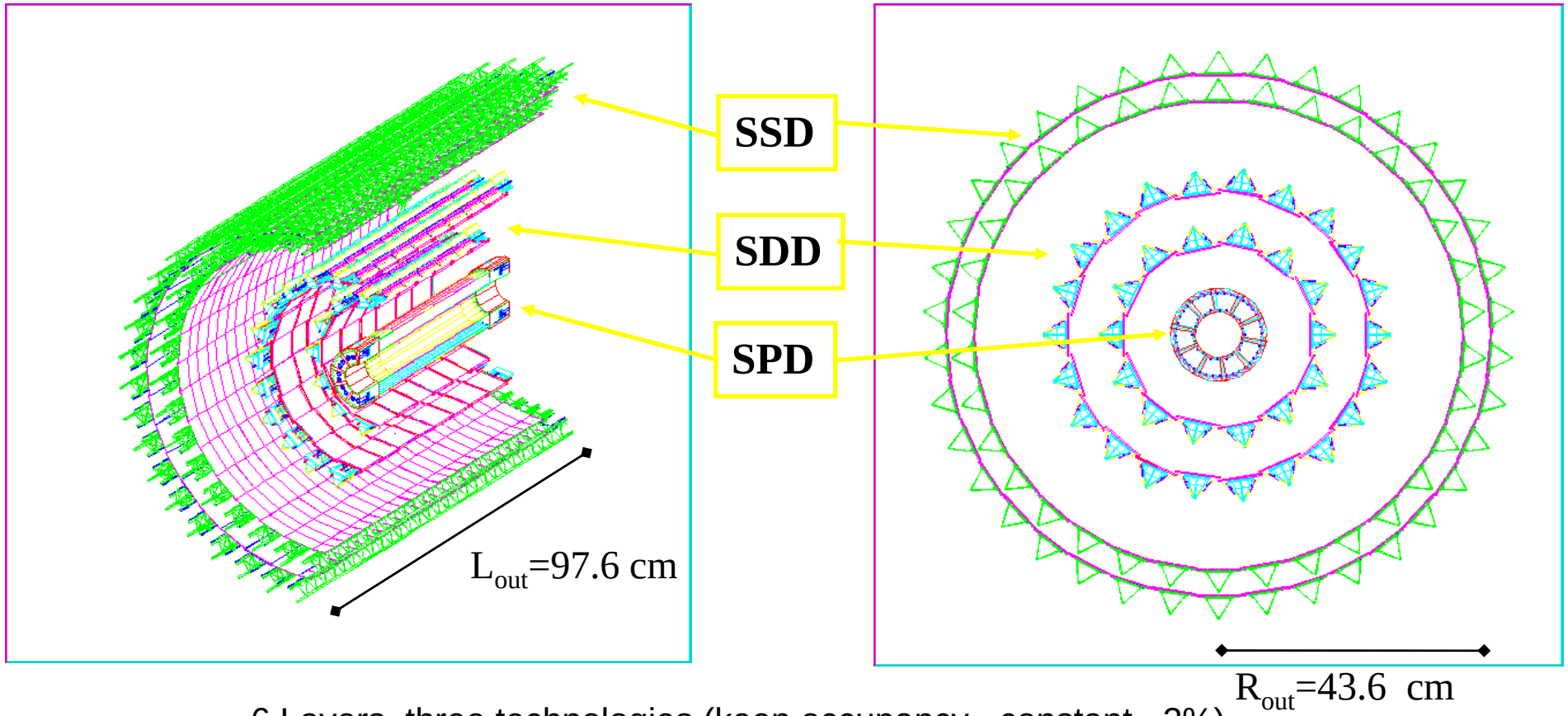
Su tarea consiste en dar:

- **una dirección precisa de las trazas en la proximidad (mm o μm) del vértice de colisión**
- **una medida aproximada o precisa del momento (dependiendo del rango de energías)**
- **para bajas energías, una medida de dE/dX**

Se basan en la tecnología del silicio.

-Elementos de detección muy pequeños (~0.05 mm ^{2})
-Muy numerosos (~10 millones)
-Muy próximos al punto de colisión (~4 => 40 cm)
-Muy resistentes a la radiación (~200 krad en 10 años)

el ITS: The ALICE Inner Tracking System



6 Layers, three technologies (keep occupancy ~constant ~2%)

Silicon Pixels (0.2 m^2, 9.8 Mchannels)

Silicon Drift (1.3 m^2, 133 kchannels)

Double-sided Strip Strip (4.9 m^2, 2.6 Mchannels)

Algunos resultados

Reconstrucción **MonteCarlo** en una colisión **Pb-Pb** de la desintegración de una partícula con “charm” **D^0 -> K- p+** que tiene :

vida media : 0.4 10 $-^{13}$ s
máximo recorrido: 1.2 10 $^{-2}$ cm

Se ven los impactos en las dos capas del detector más interno, Silicon Pixel Detector, desde dos ángulos distintos. El campo magnético es zero.

Con objeto de apreciar la desintegración, se han suprimido de la representación todas las trazas en torno a la desintegración en estudio.
A la izquierda se aprecian la verdadera densidad de trazas que vienen del vértice.

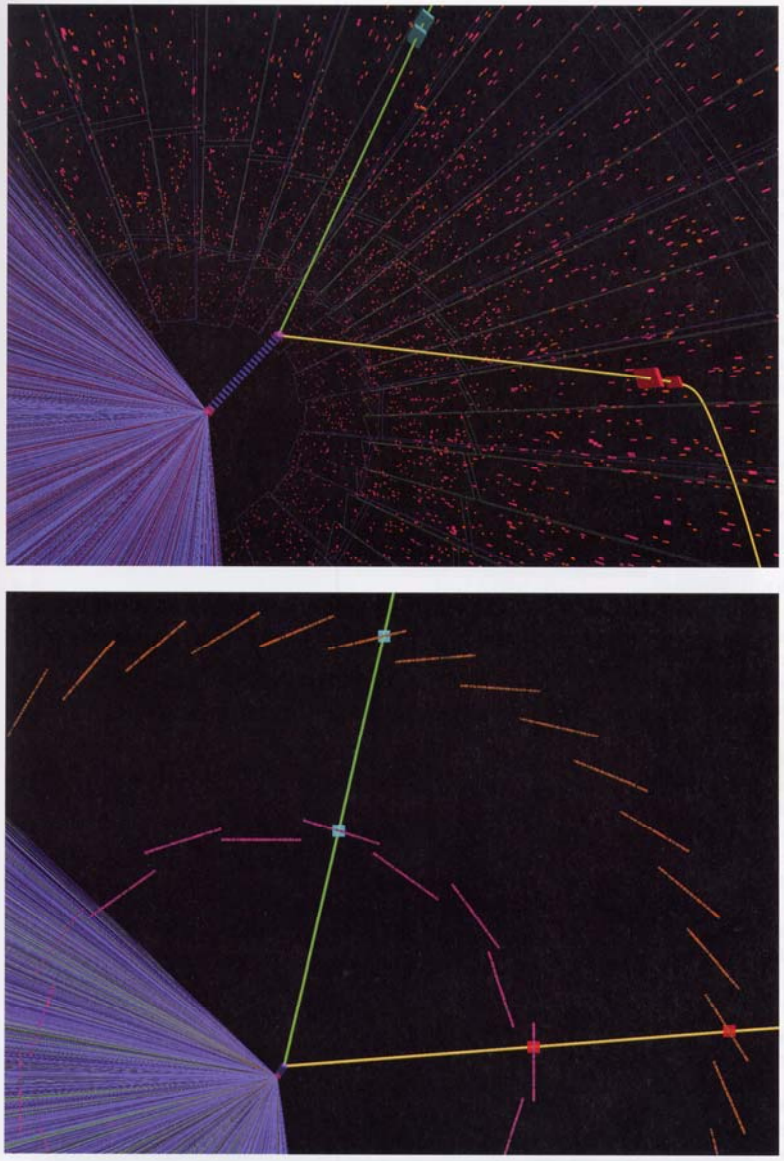


Figure V: Event display of a $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ decay in a central Pb–Pb collision (perspective projection (top) and transverse projection (bottom)). The digits in the two layers of Silicon Pixel Detectors of the ITS are visualized. The trajectories of the particles from the Pb–Pb collision are shown for a limited azimuthal angle only. The value of the magnetic field is set to zero.

ALICE, Pb Pb, (todo el ITS)

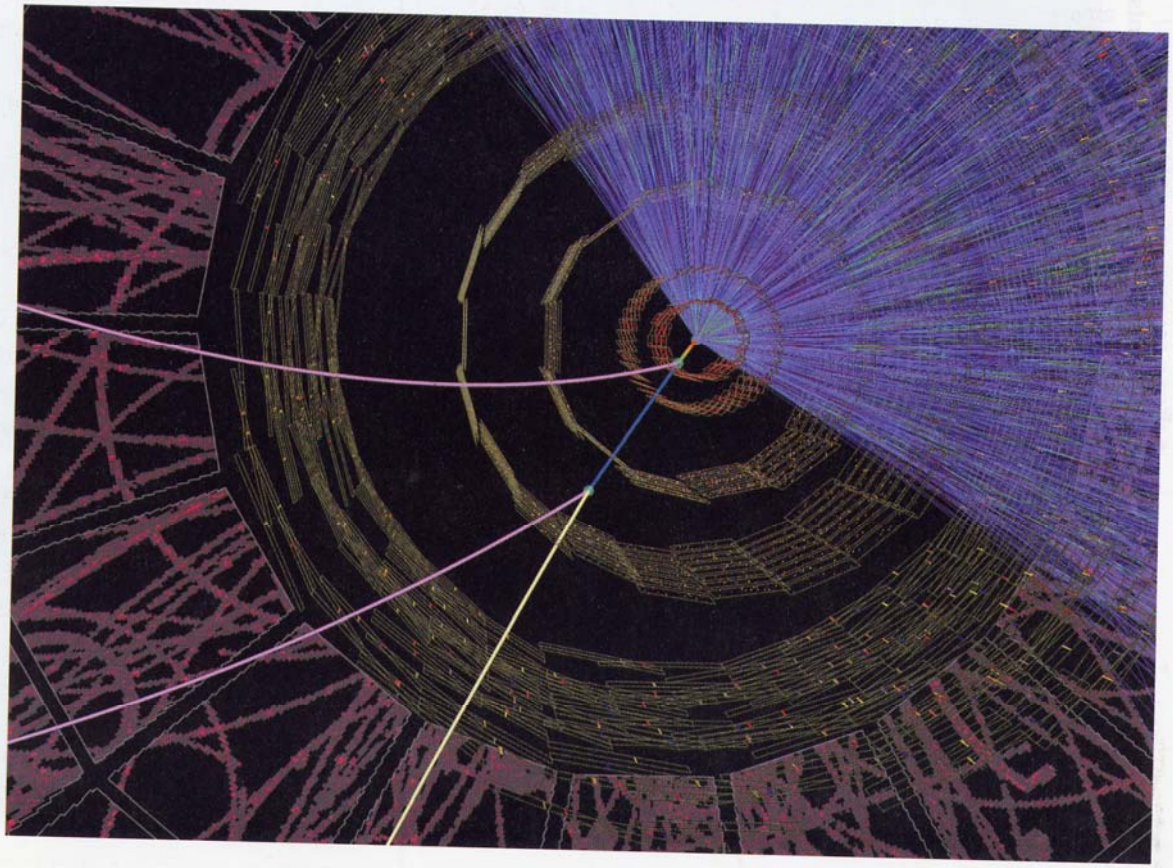


Figure IV: Top: A fraction of Pb–Pb event in the central barrel detectors. Bottom: Close-up of the ITS. Identification of a cascade weak decaying particle in the central region of the ALICE detector. The reconstruction is performed from its three charged daughters tracked with the ITS and TPC subsystems.

Detectores de “tracking” lejos del vértice de colisión

Hay que reconstruir las trayectorias en amplios volúmenes.
Estos pueden instrumentarse con:

Cámaras de hilo (Wire Chambers, WC)

Cámaras multihilos proporcionales (MWPC)

Cámaras de deriva. (Drift Chambers, DC)

Cámaras de proyección temporal. (Time Proyection Chambers, TPC)

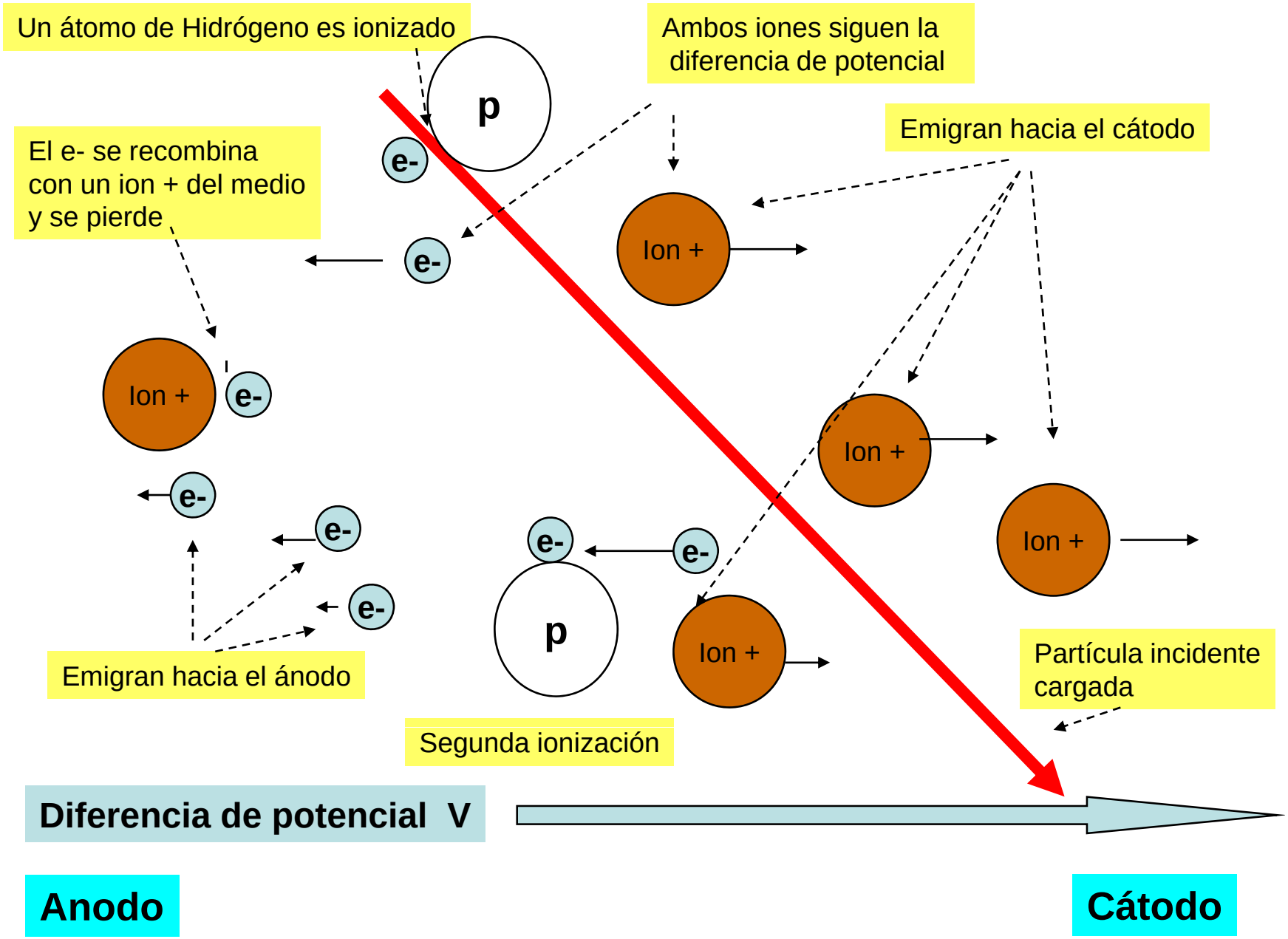
Ionización y recolección

Sea un recipiente lleno de gas entre dos electrodos planos entre los que se establece una diferencia de potencial.

Una partícula cargada atraviesa el gas y deposita energía produciendo ionización a lo largo de la trayectoria.

Los iones emigran hacia sus respectivos electrodos depositando
su carga que´puede ser medida.

Un esquema sencillo



El dispositivo anterior puede mejorarse :

Partícula incidente

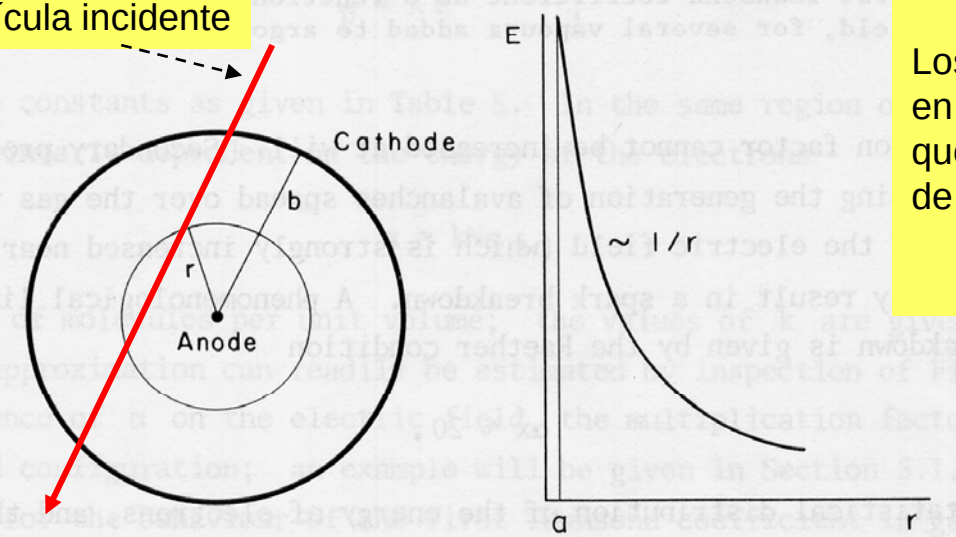


Fig. 48 The coaxial cylindrical proportional counter, and the shape of the electric field around the thin anode. Only very close to the anode the field grows high enough to allow avalanche multiplication.

El anodo es un hilo metálico de **~10-30 mm**

Los electrones emigran hacia él pero sólo en su proximidad el campo es tan fuerte que se producen avalanchas (multiplicación de la carga inicial) haciéndola medible

Sólo se conoce el paso de la partícula con distancia respecto al hilo con precisión **~ 2b,** nada de su dirección o sentido. **Insuficiente !!!**

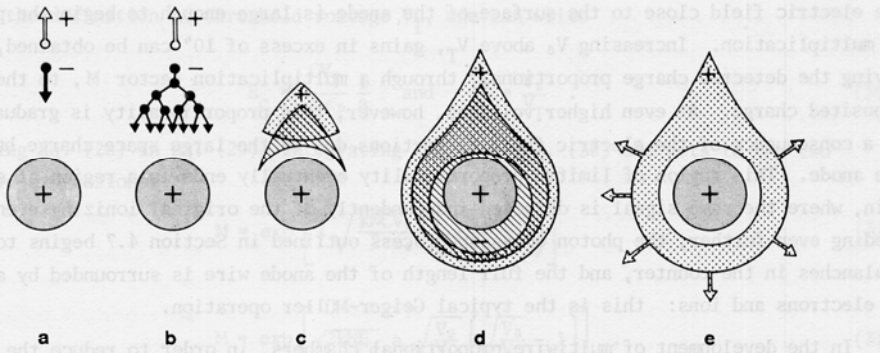


Fig. 49 Time development of an avalanche in a proportional counter[30]. A single primary electron proceeds towards the anode, in regions of increasingly high fields, experiencing ionizing collisions; due to the lateral diffusion, a drop-like avalanche, surrounding the wire, develops. Electrons are collected in a very short time (1 nsec or so) and a cloud of positive ions is left, slowly migrating towards the cathode.

Un paso hacia delante →

La Multi Wire Proportional Chamber (MWPC)

1

-un conjunto de hilos, paralelos, con distancias iguales entre ellos.
- en “sandwich” entre dos planos catódicos.
- cátodos a un alto potenvial –HV
- ánodos, a tierra.

partícula

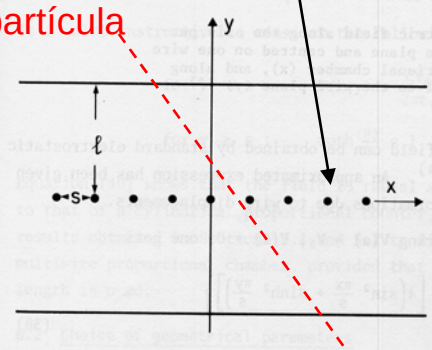


Fig. 55 Principle of construction and definition of parameters in a multiwire proportional chamber. A set of parallel anode wires is mounted symmetrically between two cathode planes (wires or foils).

2

-se crea un campo eléctrico regular hasta la
- proximidad del ánodo,donde crece fuertemente.

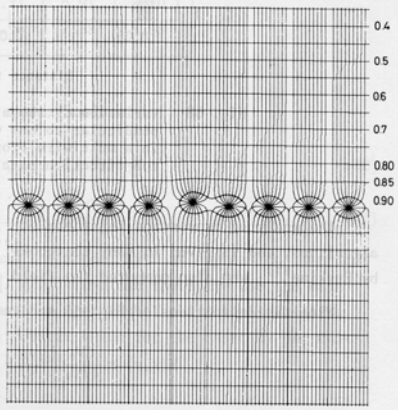


Fig. 56 Electric field equipotentials and field lines in a multiwire proportional chamber. The effect on the field of a small displacement of one wire is also shown[37].

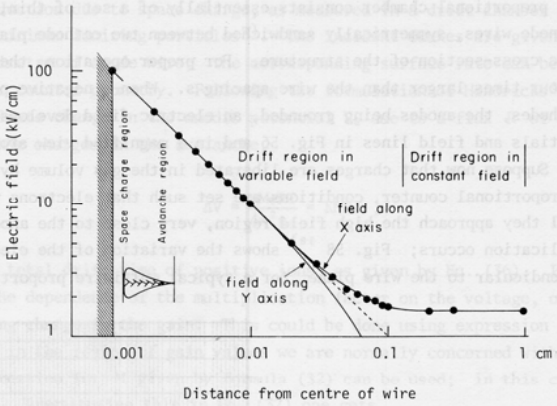


Fig. 58 Variation of the electric field along the axis perpendicular to the wire plane and centred on one wire in a multiwire proportional chamber (x), and along the direction parallel to the wire plane (y) [38]

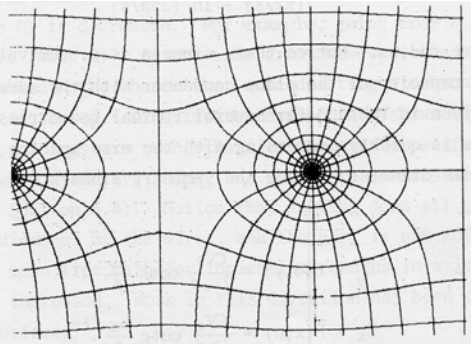


Fig. 57 Enlarged view of the field around the anode wires (wire spacing 2 mm, wire diameter 20 μm) [37]

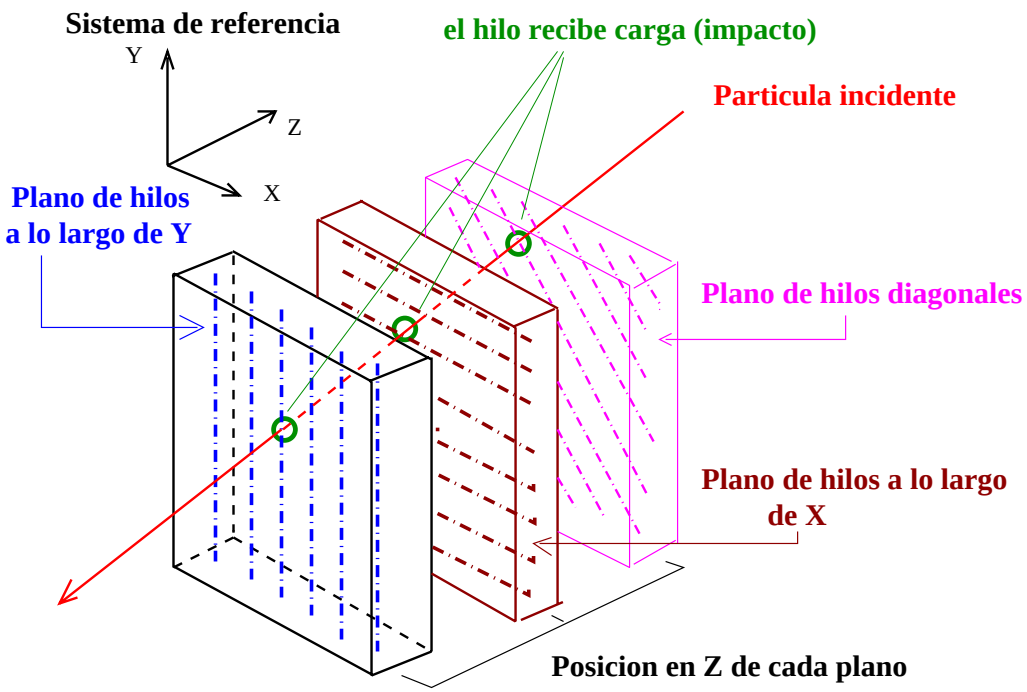
3

-las cargas liberadas por el paso de la partícula se desplazan
- hacia el ánodo, pero sólo cerca de él se inicia la avalancha.

Amplificación ~10^5 , hilos de ~ 20 μm, s ~ 2 mm, l ~ 6 mm , difícil cubrir grandes superficies !!!!

Cómo se determina un punto de una partícula cargada en X,Y,Z ?

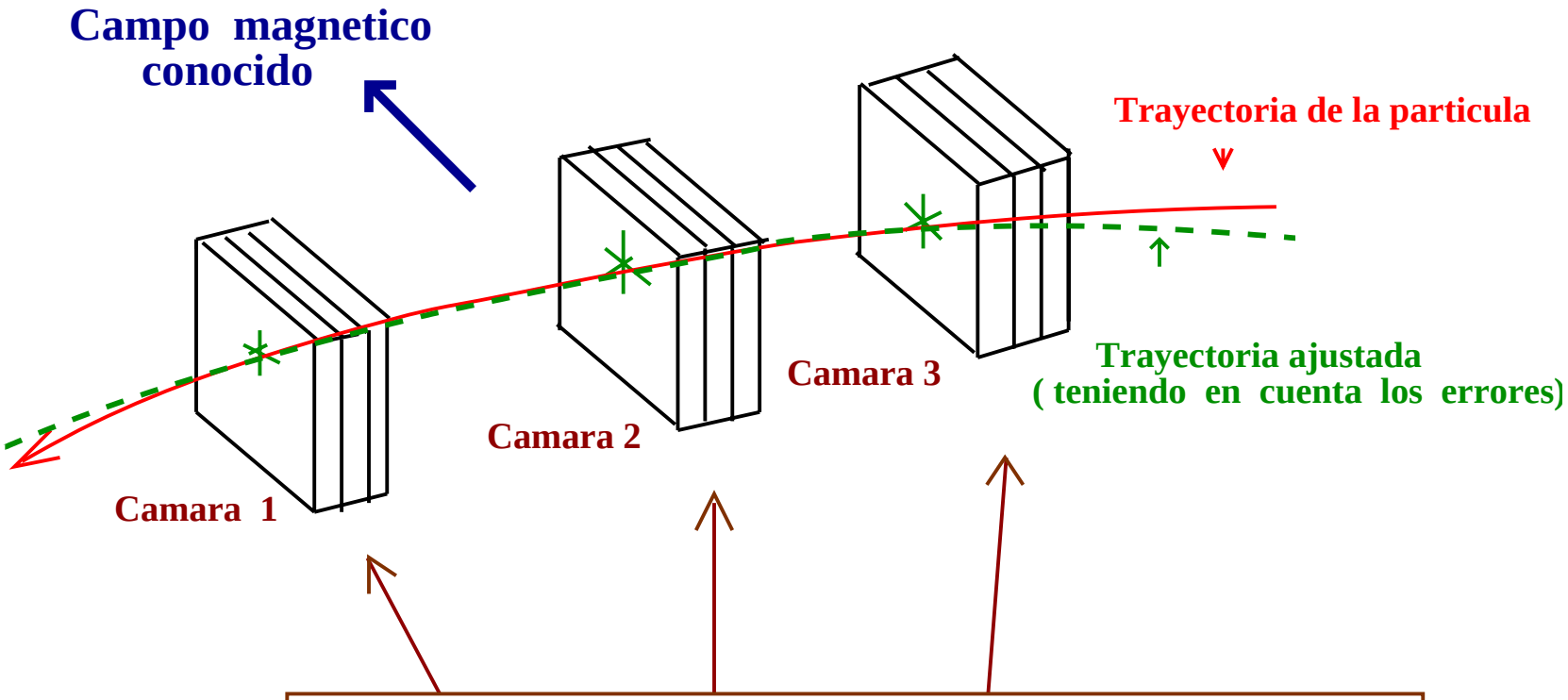
Una **MWPC** con tres planos de hilos formando ángulos entre si permite reconstruir el punto de impacto en **X,Y,Z**



Cómo se determina la trayectoria de una partícula cargada ?

Con tres puntos al menos puede ajustarse una helice en el espacio

y determinar la trayectoria y la curvatura (o lo que es equivalente : el momento)



Cada camara tiene tres planos de hilos
y proporciona un punto en el espacio (y su error)

Las cámaras **MWPC** tienen una precisión limitada por el espaciado entre hilos.
Un avance significativo : La cámara de deriva (**Drift Chamber, DC**)

La cámara de deriva: principio

-Medir el tiempo de deriva t_d entre la generación del primer par de iones y la llegada de la señal al ánodo. (Dispositivos de detección rápida (centelleadores), o tiempo del acelerador para la llegada de las partículas, marcan un t_0, "tiempo cero")

-Conseguir un campo uniforme donde la velocidad de los electrones sea (en media) constante, v_d típicamente ~50 μm/ns

-Conociendo v_d , la longitud recorrida $L = v_d \times t_d$ proporciona la posición de la trayectoria respecto al hilo.

-Con dispositivos de varios hilos por cámara y "stacks" de cámaras, en varios planos con hilos en distinto ángulo (ie. en "mariposa") pueden conseguirse ~50 μm de precisión en el espacio !!!

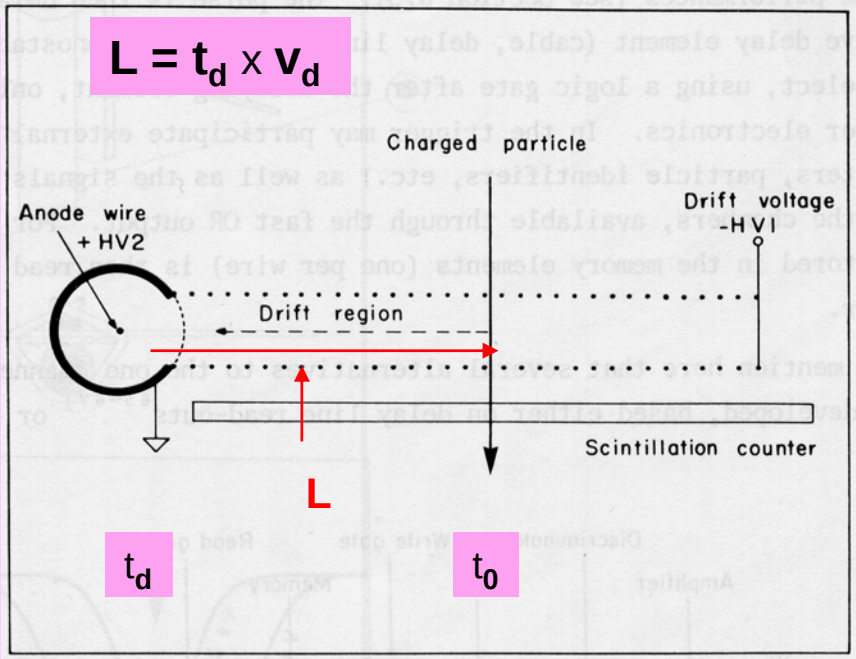


Fig. 85 Principle of operation of a single-cell drift chamber. A set of cathode wires, at suitable potentials, generate in the drift space a region of uniform field. The electrons produced by an ionizing event migrate to one end of the cell, where avalanche multiplication occurs in a single wire proportional counter. The coordinate is then proportional to the time of drift (the time reference being given by an external scintillation counter).

Algunas diferencias entre las cámaras de hilos (MWPC) y las de deriva (DC)

- En la DC el número de hilos es menor y la distancia entre ellos mayor para cubrir la misma superficie.

- El campo eléctrico que origina la deriva se mantiene intercalando hilos catódicos entre los hilos anódicos y usando además hilos “de campo” para configurar adecuadamente sus líneas de fuerza.

- La precisión de la DC ya no depende como en las MWPC de la distancia entre hilos sino de la precisión con que se mide la distancia entre el depósito de la energía de ionización en el gas y el hilo, lo que depende de conseguir una velocidad media constante de los iones en el gas ($\mathbf{v_d}$) y una buena medida del tiempo ($\mathbf{t_d}$) entre el paso de la partícula y la llegada de la señal al ánodo.

-Las cámaras de deriva suelen incorporar la posibilidad de medir la amplitud de la carga depositada en cada hilo. Si se tiene un “stack” de cámaras puede medirse pues la evolución de dicha amplitud ,o sea el valor de **dE/dx**. Recordemos que esta magnitud depende sólo de la velocidad β de la partícula y su medida junto con la del momento **P** permite en ciertas regiones del momento la identificacion de la partícula. Veremos algo más cuando tratemos las TPCs (un tipo particular de DC)

Una configuración típica de un módulo con un solo plano para (a) una MWPC, (b) una DC :

modulo de cámara de hilos

módulo de cámara de deriva

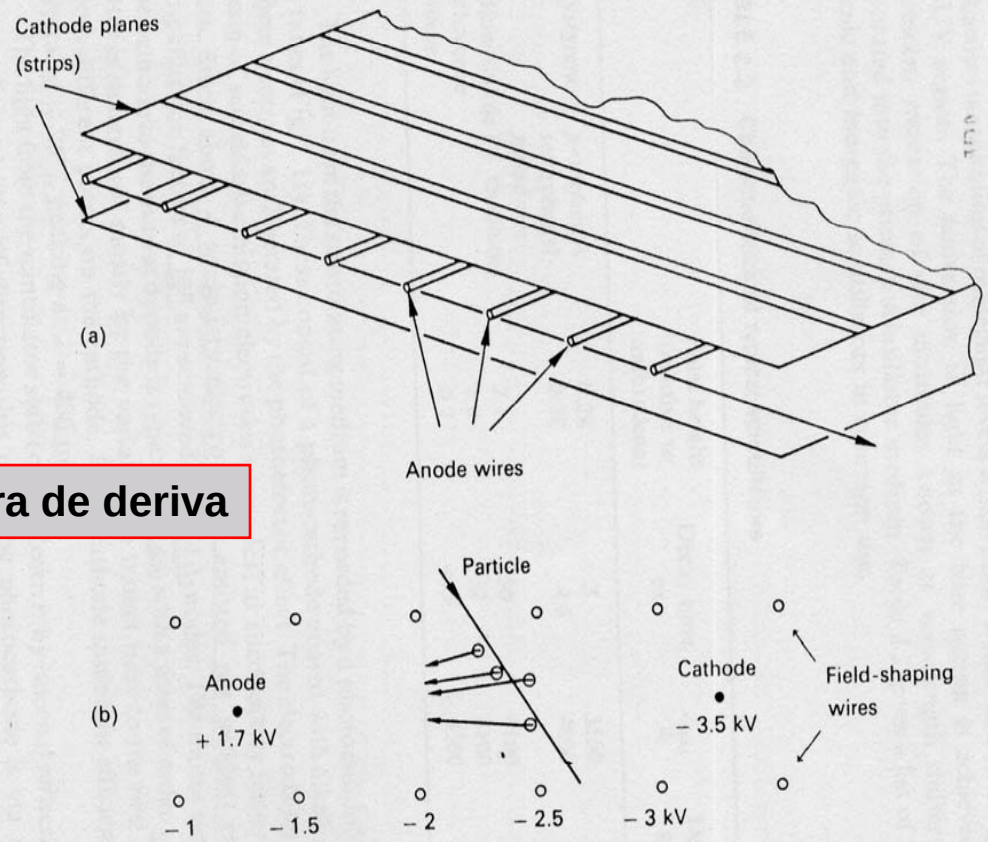
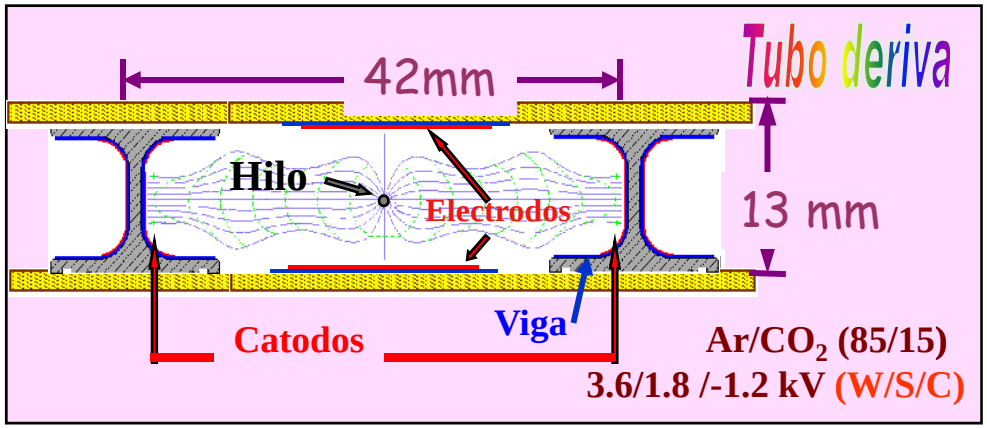


Fig. 2.10 (a) Schematic layout of multiwire proportional chamber. (b) Typical arrangement of electrodes for a drift-chamber cell.

Se muestra aquí un “tubo de deriva” para CMS y donde el campo eléctrico entre el hilo sensible y los cátodos se configura ayudado por los electrodos.

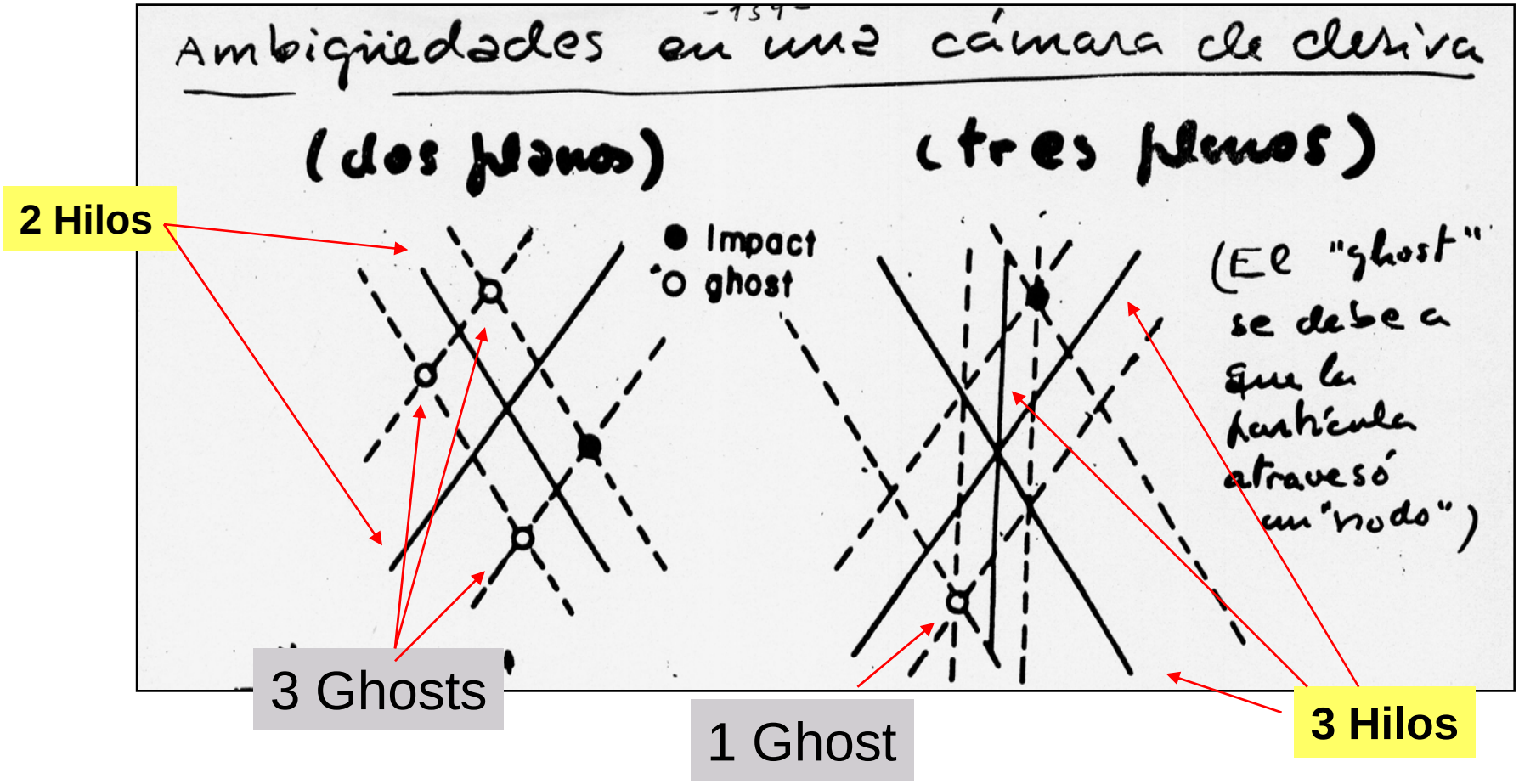


Medida de coordenadas usando varios planos de hilos

La disposición de los planos de hilo de las DC es bastante análoga a la de las MWPC

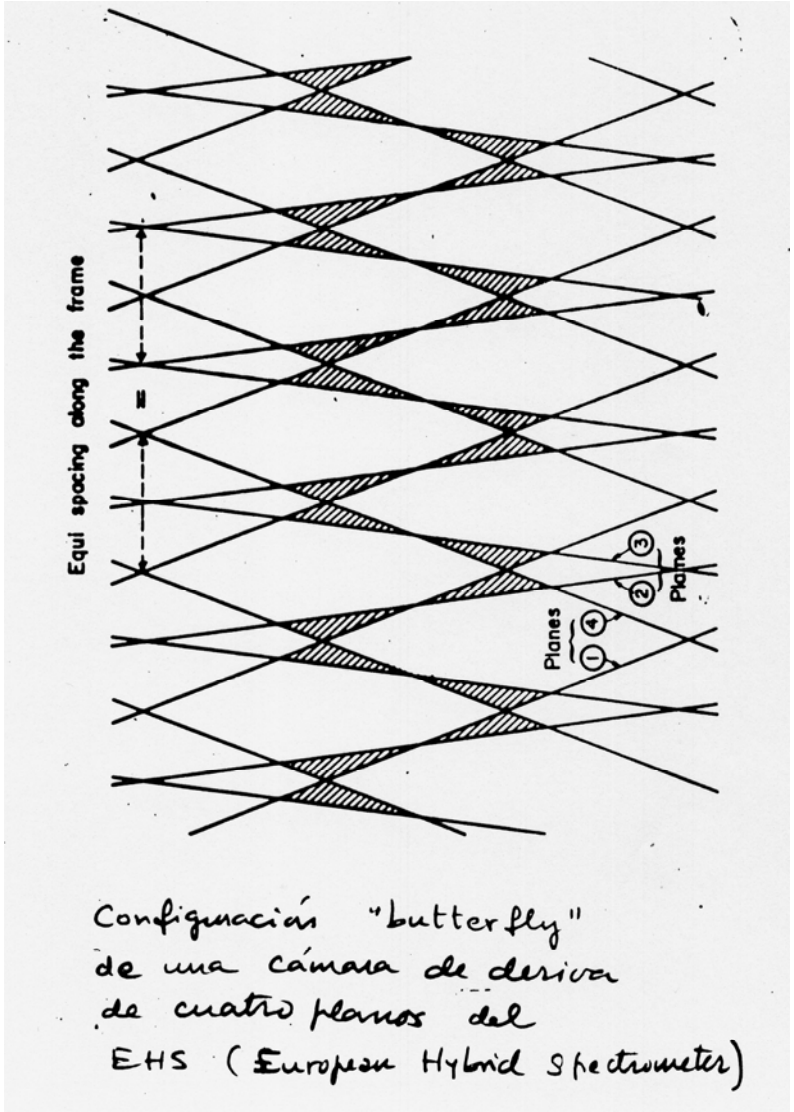
Normalmente se usan tres planos de hilos para evitar las ambigüedades.

La ambigüedad proviene de que la distancia al hilo no tiene signo y para cada impacto “real” reconstruído se produce uno o mas “fantasmas” (“ghosts”)



La manera de evitar los “ghosts” es impedir que haya nodos con más de dos hilos en proyección.

Una posible configuración con cuatro planos de hilos es la conocida como “butterfly”.



Configuración "butterfly" de una cámara de deriva de cuatro planos del EHS (European Hybrid Spectrometer)

Pueden determinarse así los impactos de varias partículas minimizando las ambigüedades en X,Y,Z en un módulo.

Varios módulos separados y situados en posiciones conocidas permiten determinar la trayectoria de las diversas partículas provenientes de una interación tras un complejo reconocimiento informático de formas.

Este suele ayudarse del hecho de que la mayor parte de las trayectorias provienen del vértice de interacción aunque éste no es el caso en las interacciones secundarias.

Hay sin embargo muchos ejemplos donde sólo dos planos cruzados bastan.

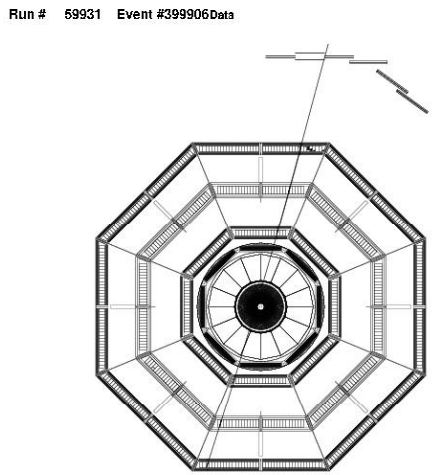
Algunos ejemplos

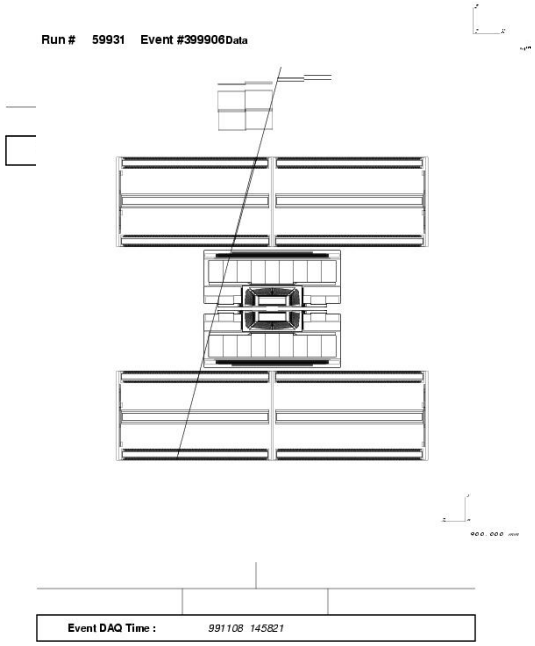
Las cámaras de muones de L3 tenían dos sistemas de cámaras DC:
- las cámaras P con hilos normales al plano de la figura (dirección Z)
- las cámaras Z con hilos en la dirección X.
- la coordenada Y se determina por la posición de la cámara.

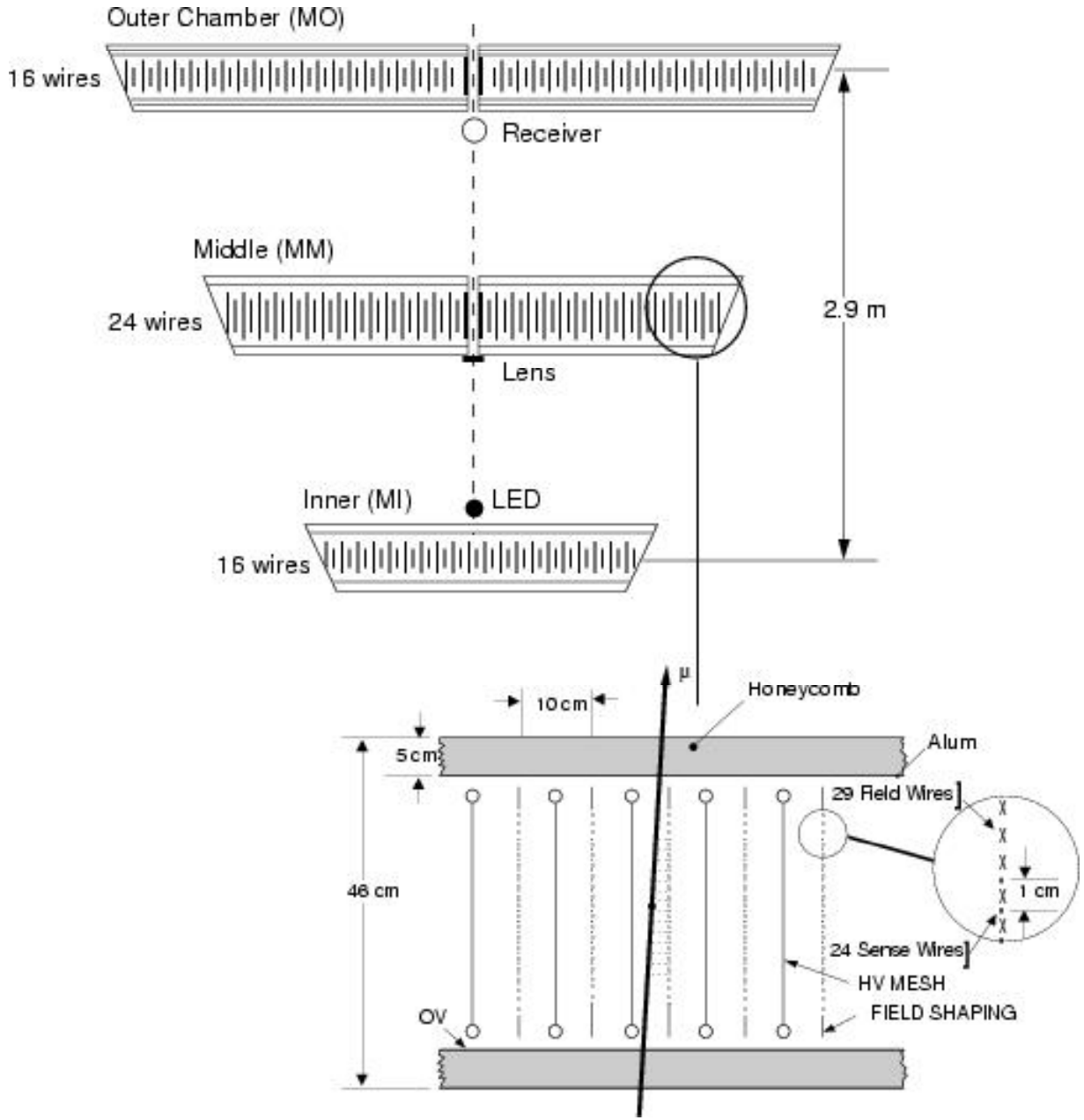
-Mostraremos las cámaras P: Hay numerosos planos de hilos por módulo y tres módulos por cada uno de los octantes dispuestos en torno al vértice de colisión de los haces.

-La disposición poligonal en torno al vertice de colisión es una constante en los “trackers” del LHC con algunas excepciones.

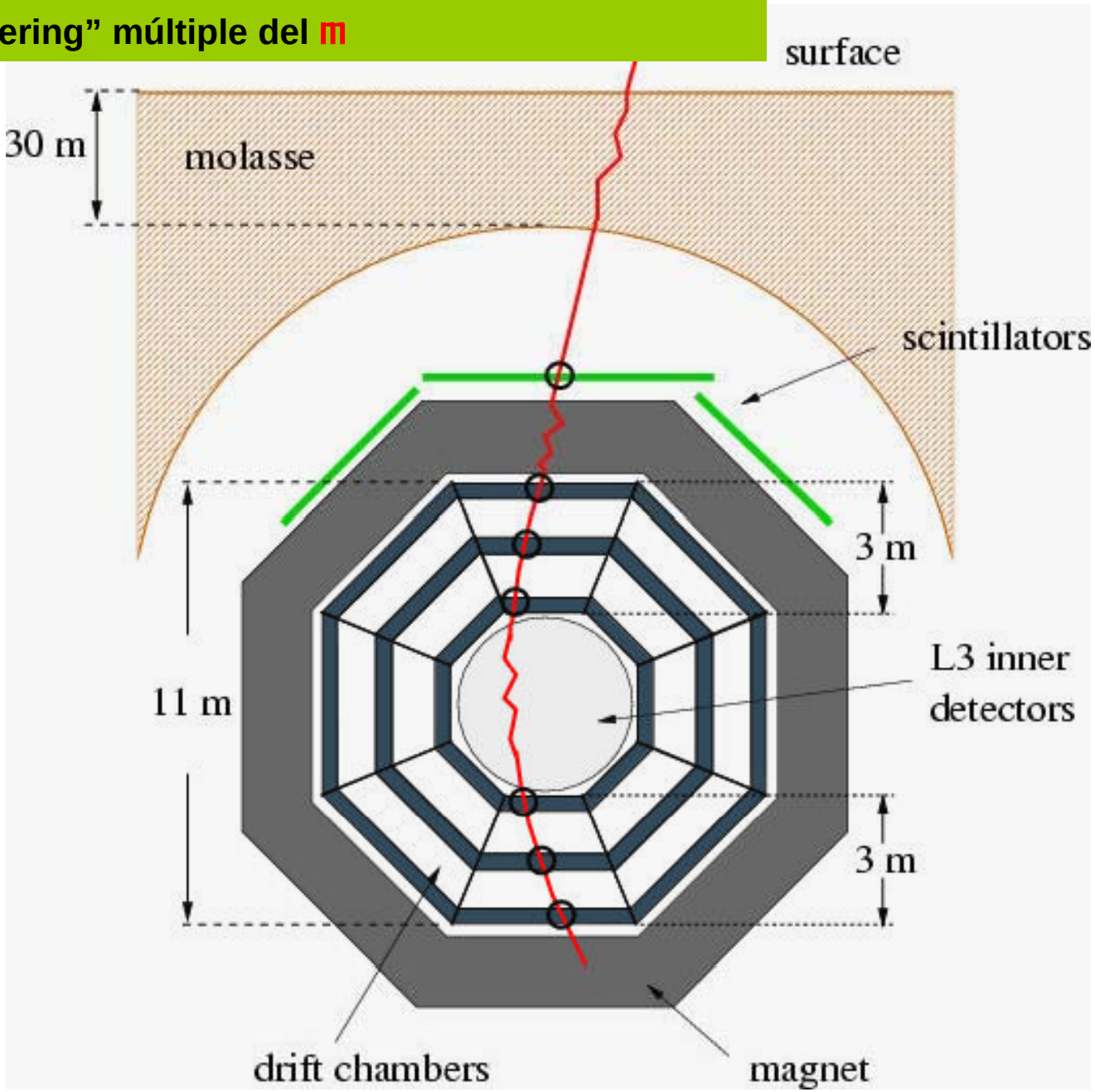
Las cámaras P de muones de L3







Detección de un muón cósmico por impactos en 6 cámaras de muones de L3 . Obsérvese el “scattering” múltiple del m



Cámaras de muones para CMS (LHC) durante el montaje en el CERN

Las cámaras de proyección temporal (Time Projection Chamber, TPC)

-**Son cámaras de deriva cuyos parámetros de construcción permiten incorporar**

- **longitudes de deriva que pueden alcanzar más de un metro**
- **(ej., TPC de ALICE, T600 de ICARUS,etc..)**

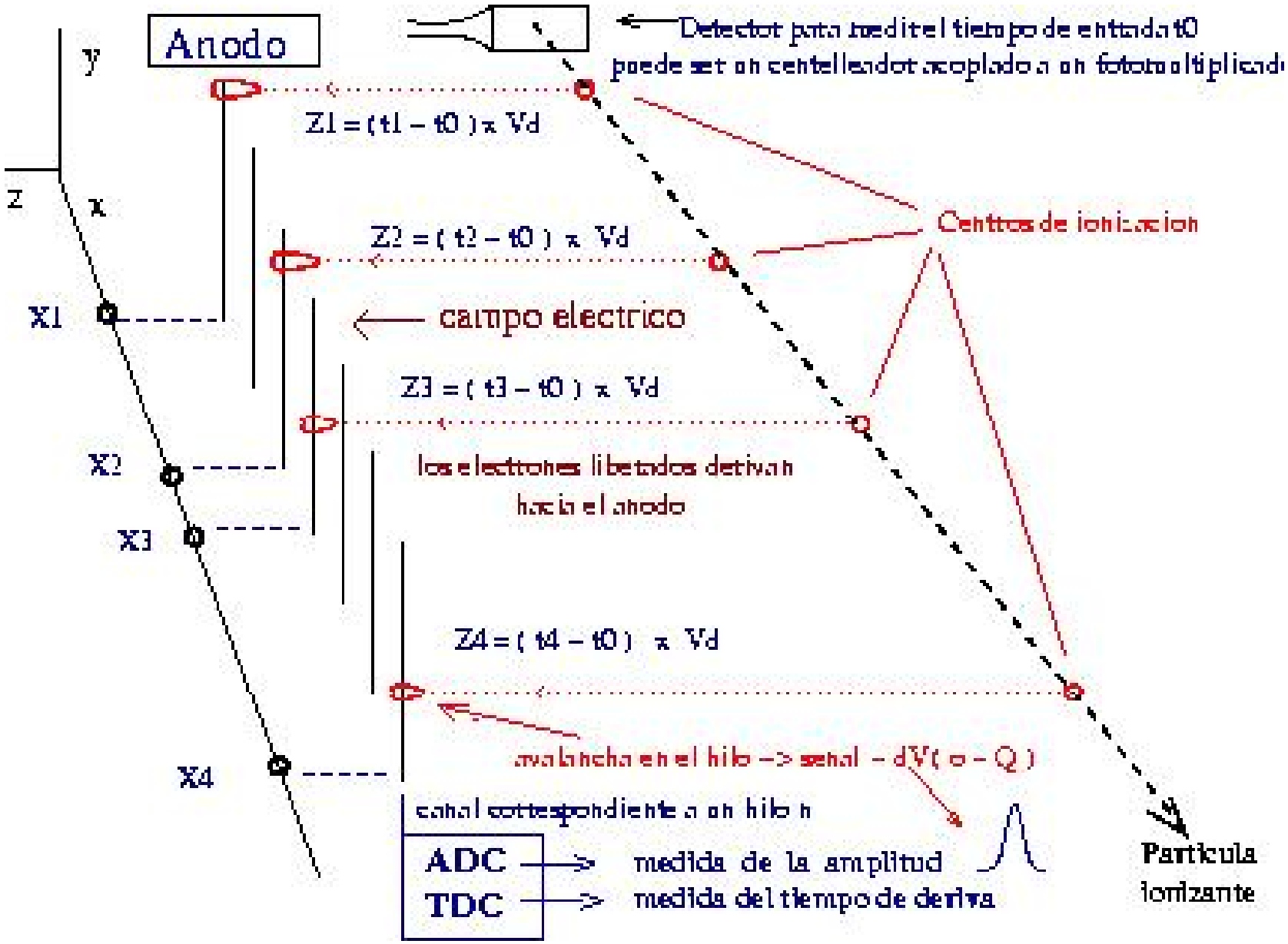
-- **Las trayectorias no necesitan atravesar los planos de hilos para ser medidas.**

- **la medida de la amplitud de la señal en cada punto -> medida de dE/dx**

Mostramos a continuación el principio de la medida de X,Z con un solo plano de hilos.
X,Y,Z requeriría un plano extra para Y.

En vez de planos de hilos pueden usarse “pads” que miden el impacto en **r, f** **(TPC de ALICE)**

Principio de medida de (X,Z) con un plano de hilos de una TPC



La TPC de ALICE

Segmentación en r : 2 cámaras por sector

Gas : Ne/Co2 (90%,10%)
Electrodo central: 100kV
Gradiente: 400 V/cm
Tiempo máximo de deriva: 90 ms
Longitud a lo largo del eje: 5 m.
Espacio útil radial : ~1.6 m
Velocidad de deriva : 10m/ns

Segmentación en **j** : 18 sectores

La detección es en pads
~6 x 10 mm (j x r)
~10^3 pads

Resolución en posición:
en **r j** ~900 μm
en **z** ~ ~1000 μm

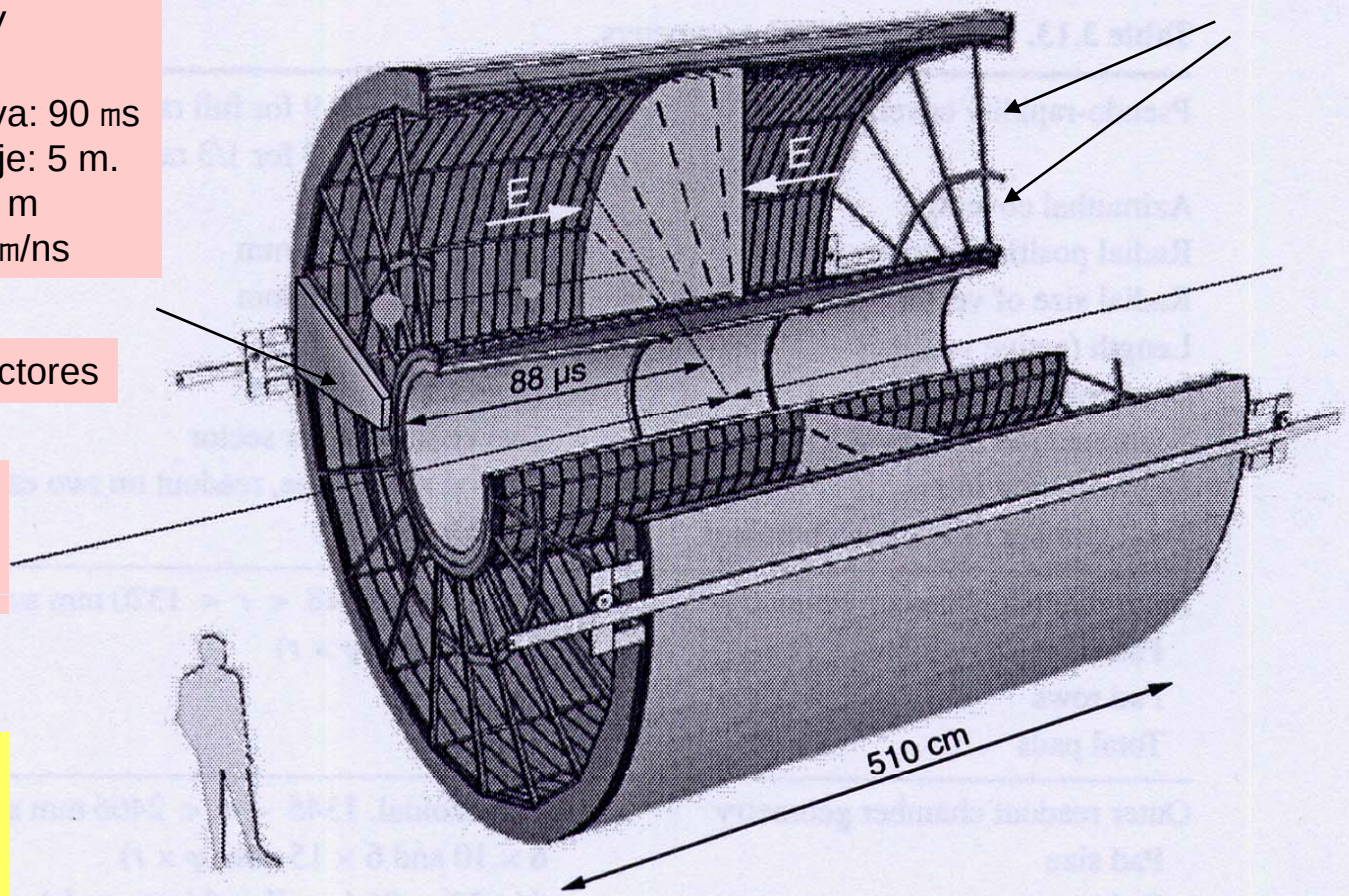


Figure 3.15. TPC schematic layout.

Límite de frecuencia de toma de sucesos:
200 Hz, (Pb-Pb, central) , talla media: ~60 MB
1000 Hz, (p-p) , talla media : ~1- 2 MB

Reconstrucción de trayectorias En la TPC de ALICE (MonteCarlo)

Simulación de un di-jet en interacción p-p

Lo mismo para interacción Pb Pb

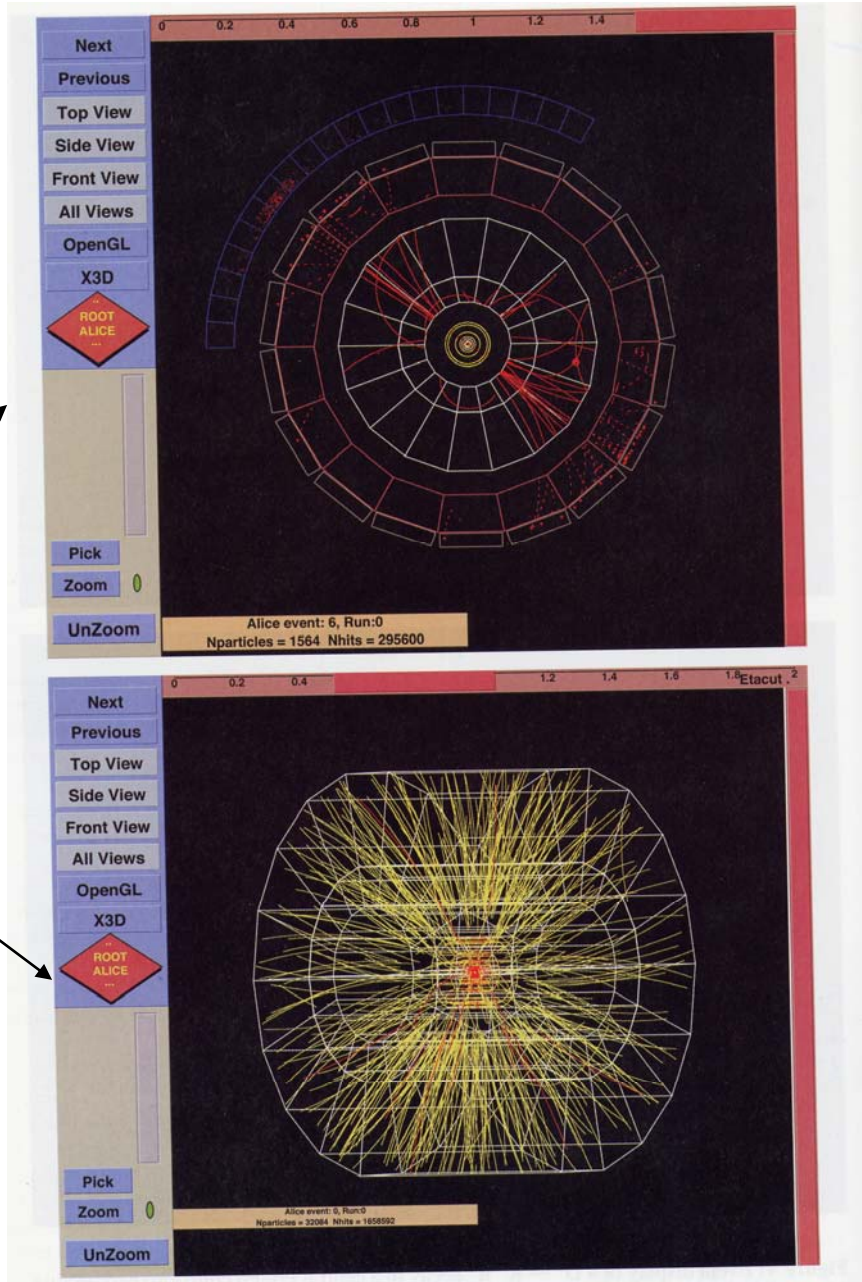


Figure VI: Display of the simulation of a 100 GeV dijet event in a pp interaction (upper) and a Pb–Pb collision (lower). Tracks from the jet have been marked red. Only tracks with $p_t > 1.5$ GeV are shown.

Separación por dE/dX en la TPC de ALICE:

P = 0.5 GeV

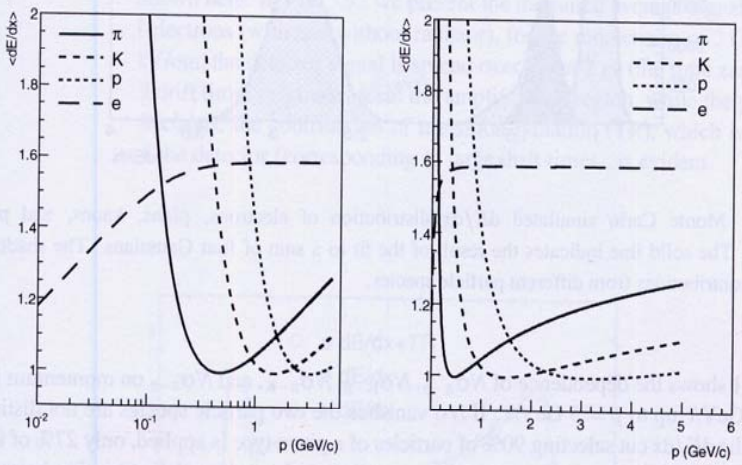


Figure 5.89: Momentum dependence of the mean energy loss $\langle dE/dx \rangle$ for pions, kaons, protons, and electrons according to the parametrization of the Bethe–Bloch formula adapted to the ALICE TPC. The mean energy loss is normalized to unity for minimum ionizing particles.

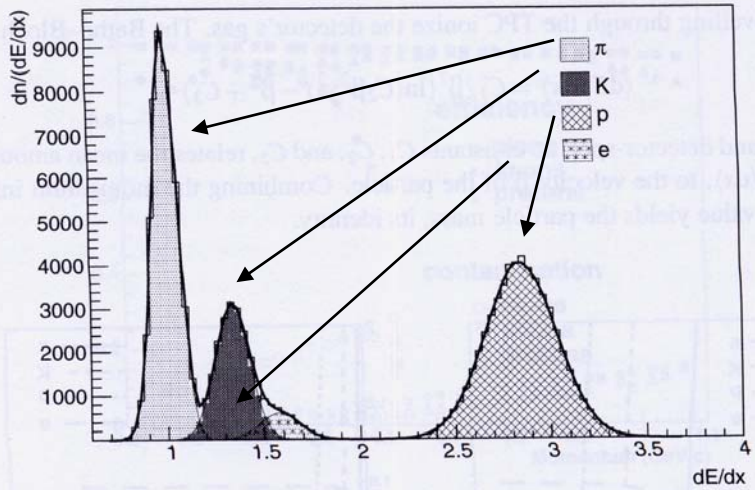
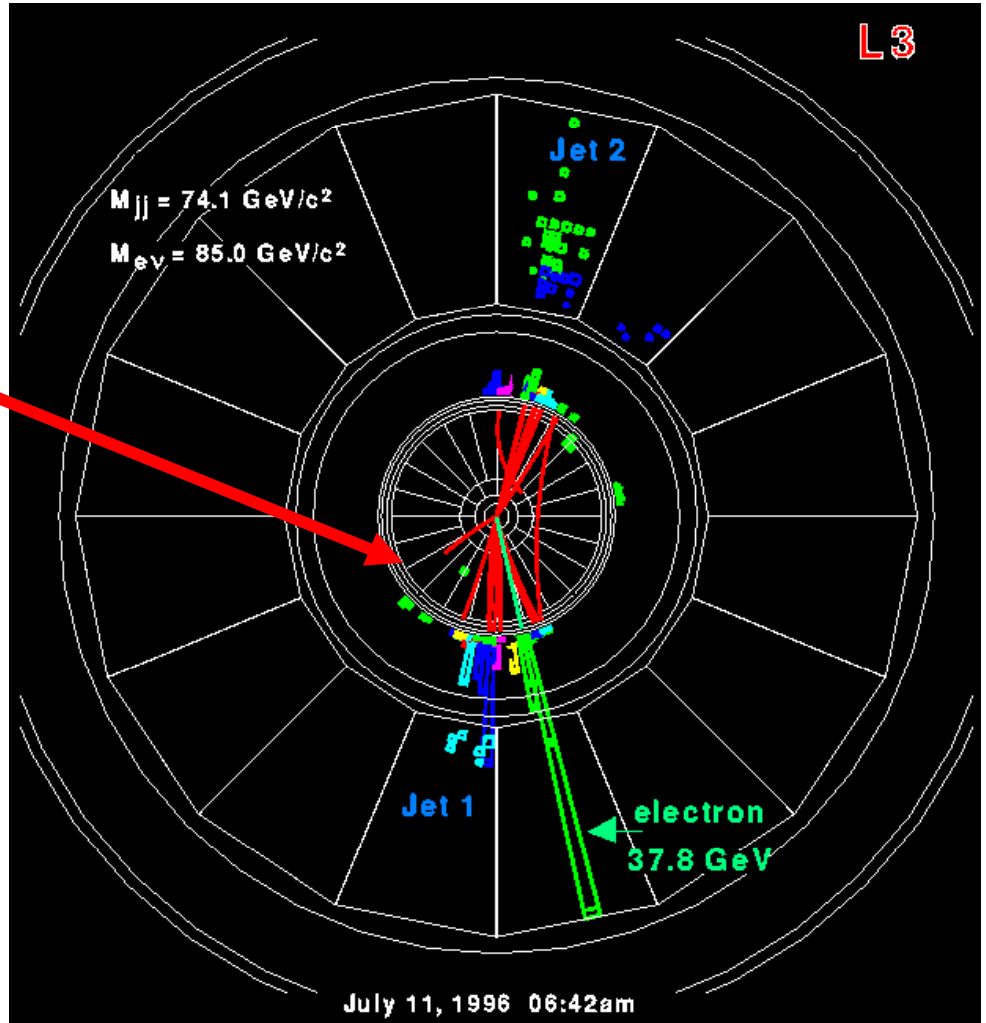


Figure 5.90: Monte Carlo simulated dE/dx distribution of electrons, pions, kaons, and protons with $p = 0.5$ GeV/c. The solid line indicates the result of the fit to a sum of four Gaussians. The shaded areas correspond to the contributions from different particle species.

Un ejemplo de tracking en la TEC (Time Expansion Chamber) de L3 del colisionador LEP



First W pair event observed by the L3 Experiment at LEP 2.

$e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$

$\hookrightarrow e^- \bar{\nu}$

$\hookrightarrow$ jet + jet

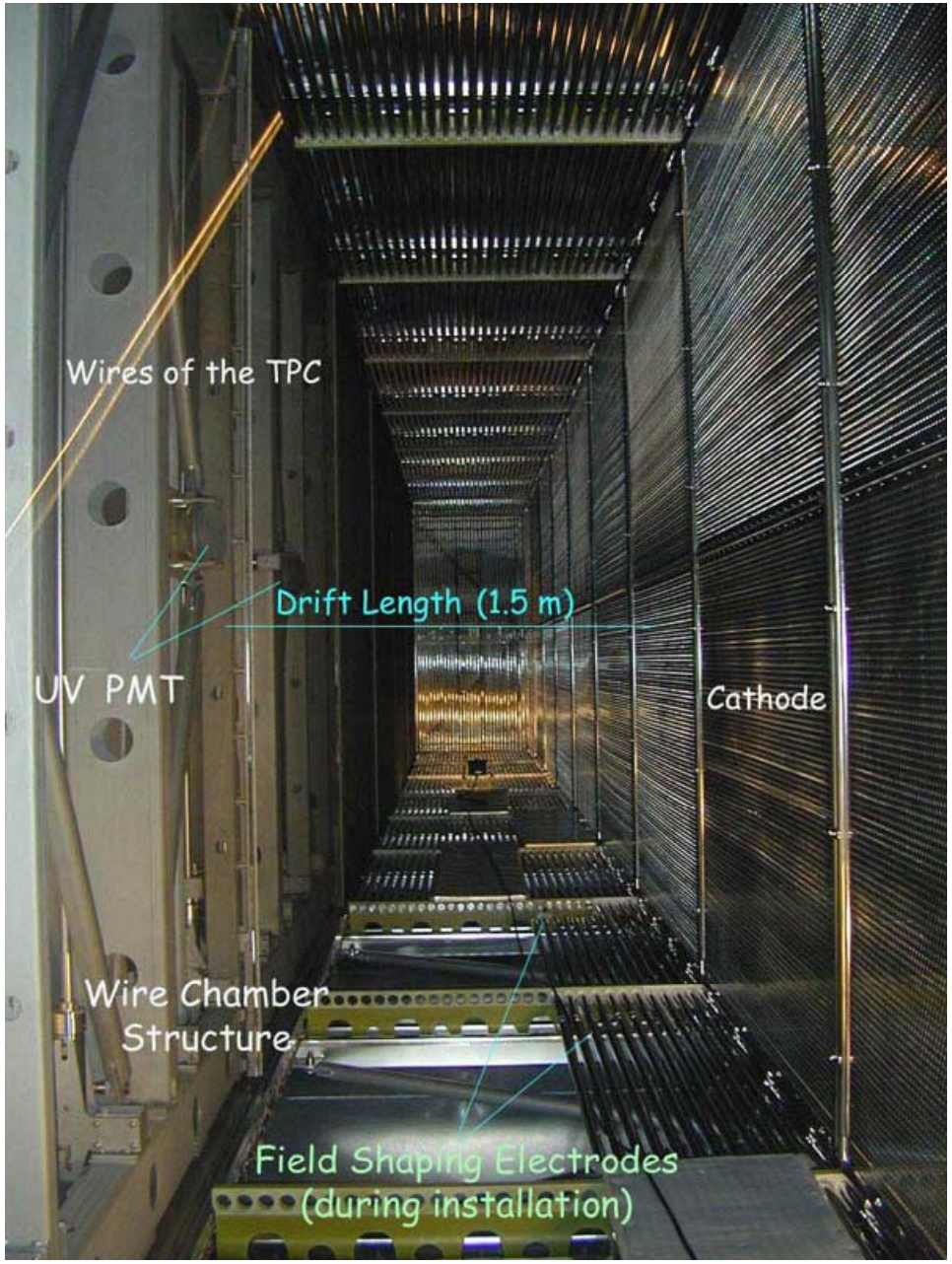
Applying energy and momentum conservation to the event shows that the two jets and the electron-neutrino originate from the decay of two W bosons.

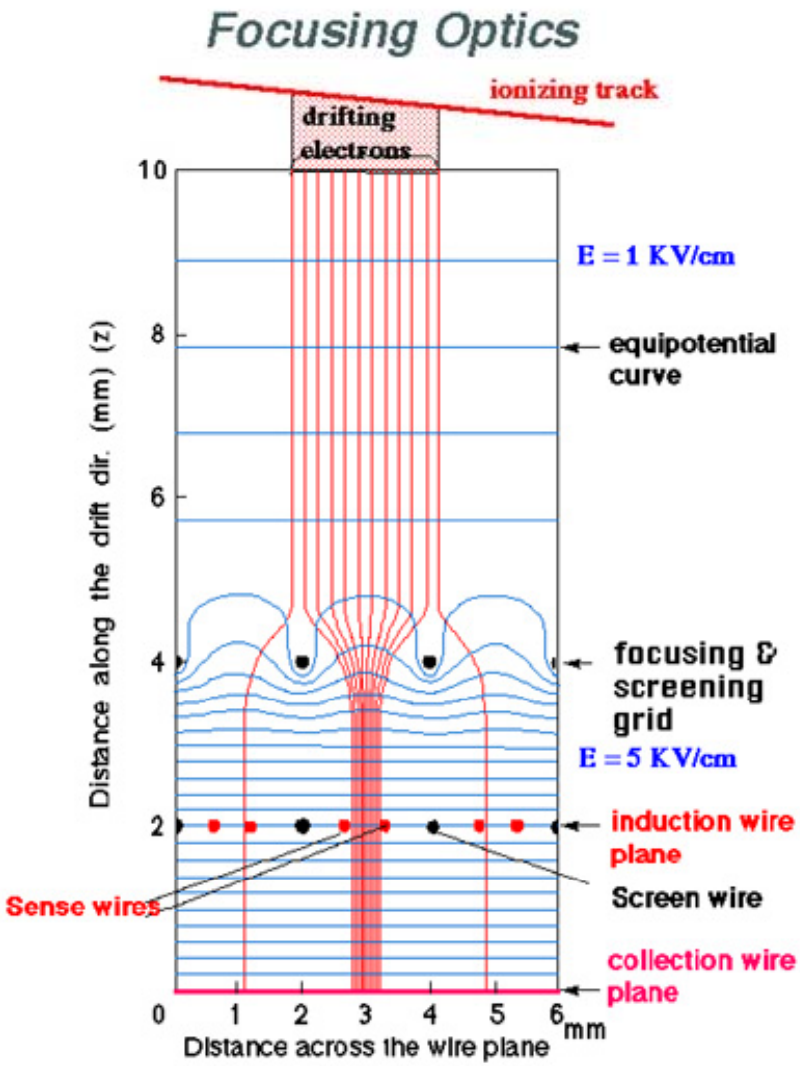
Un ejemplo para usar en la física de neutrino:

La cámara TPC de 600 Toneladas (T600) llena de Argón líquido.

(Proyecto ICARUS, Gran Sasso)

Módulo T600 de ICARUS





Identificación de las partículas. (PARTID)

Conocemos ya el momento p. Según vimos antes:

De **p**, β => $\mathbf{m_0}$

De **p** , E => $\mathbf{m_0}$

⇦ la masa identifica la partícula

* β => medida de **dE/dX**
detectores basados en el efecto **Cerenkov**
el efecto de "radiación de transición", **TRD**
el "tiempo de vuelo", **TOF**

* **E** => calorímetros electromagnéticos (**EMCAL**)
hadrónicos (**HCAL**)

Medida de **dE/dX**

El detector debe poder medir la amplitud de la señal depositada.
Ese es el caso de los detectores DC, TPC y los trackers de Si (ITS)

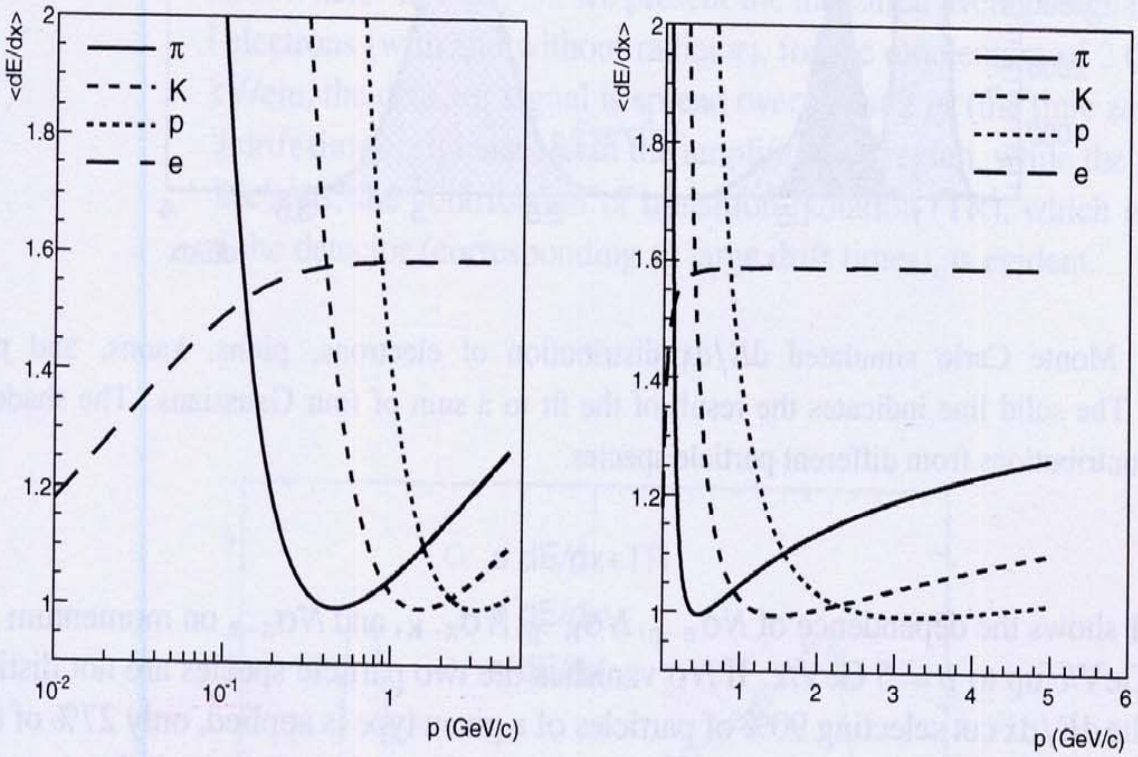


Figure 5.89: Momentum dependence of the mean energy loss $\langle dE/dx \rangle$ for pions, kaons, protons, and electrons according to the parametrization of the Bethe–Bloch formula adapted to the ALICE TPC. The mean energy loss is normalized to unity for minimum ionizing particles.

Detectores basados en el efecto Cerenkov

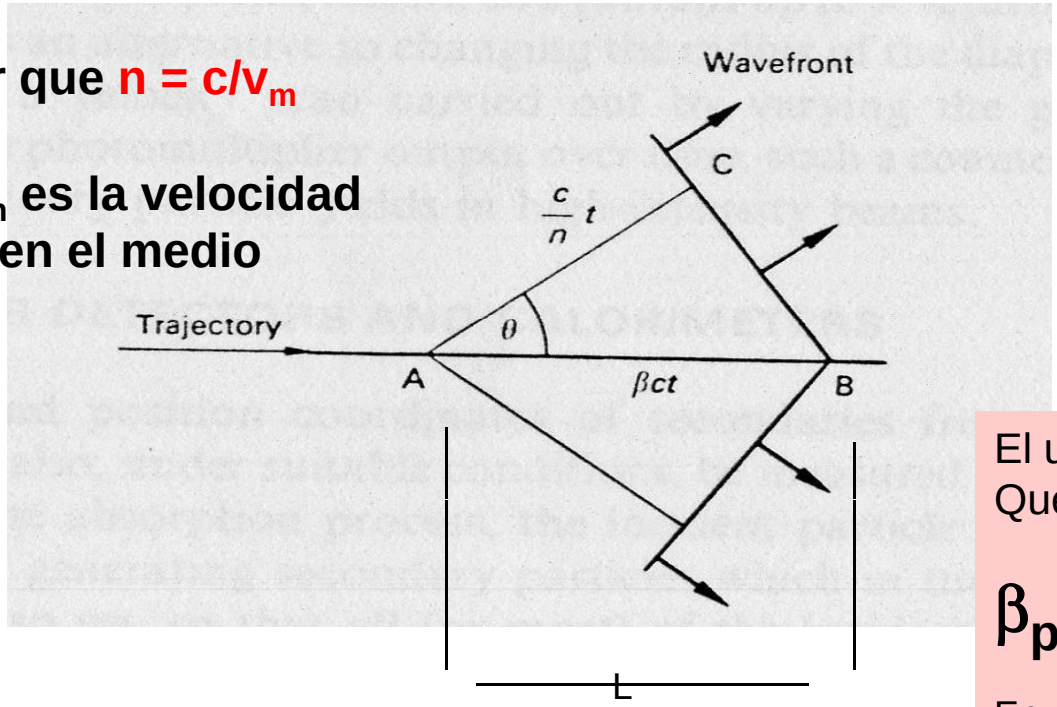
Una partícula cargada de velocidad **V** que se mueve a través de un medio a mayor velocidad que la de la luz en ese medio , $\mathbf{V_m}$,emite una radiación llamada "Radiación Cerenkov"

Si una onda plana emitida en A llega a la vez que otra emitida en B constituyen un frente de onda coherente. Para que esto ocurra : (recordar la definición: $\beta = v/c$)

$\beta ct \times \cos\Theta = ct/n \rightarrow \cos\theta = 1/n\beta$ **(n=índice de refracción del medio)**

Recordar que $n = c/v_m$

donde v_m **es la velocidad de la luz en el medio**



El umbral,o condición para Que se emita luz Cerenkov es :

$$\beta_p > 1/n$$

En esto se basan los detectores de **"umbral"**

Detectores de umbral

Para partículas de un mismo p, la β depende de la masa y si estamos cerca Del umbral **1/n** se podrá buscar un **n** tal que las partículas más lentas (de mayor masa) no produzcan luz Cerenkov así que si se ha medido antes su momento y no producen luz, es porque no cumplen la condición.

Por ejemplo:

P medido por curvatura Qué masa ?

→

m1 -> $\beta 1 < 1/n$ (no se ve luz -> protón)

umbral

m2 -> $\beta 2 > 1/n$ (se ve luz puede ser un K)

m3 -> $\beta 3 > 1/n$ (se ve luz,puede ser un π)

m4 -> $\beta 4 > 1/n$ (se ve luz, puede ser un e)

Si estamos a momentos (y betas) muy altos , n debe ser muy pequeño para poder jugar este juego, que no es más que una identificación parcial.
La verdadera identificación exige Cerenkovs “diferenciales” (el de AMS,por ejemplo)

Cómo se consigue un **n** pequeño ?

-1) Usando Helio que es el índice de refracción mas bajo conocido.

-2) Si aún se necesita más bajo y funcionamos a presion Po, hay que calentarlo.

$$n = n_0 \times P \times To / (Po \times T)$$ (ecuación de gases perfectos) (T en Kelvin)

donde

$n_{0,,}$,n son los índices inicial y final

T_0, P_0 son las presiones del estado inicial.

Si P cambia poco (por ejemplo,la atmosférica), **n** baja aumentando **T**

La estructura de un detector Cerenkov se muestra a continuación

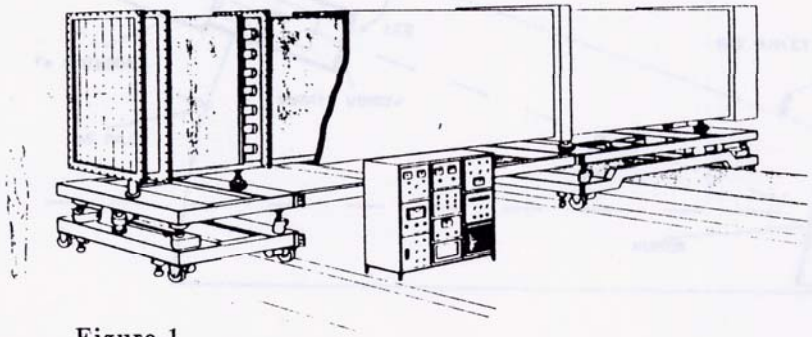


Figure 1

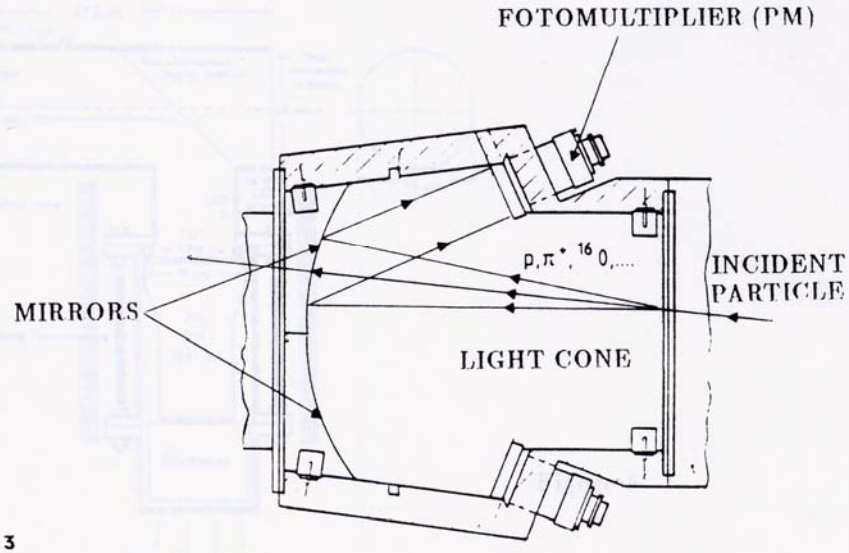


Figure 2

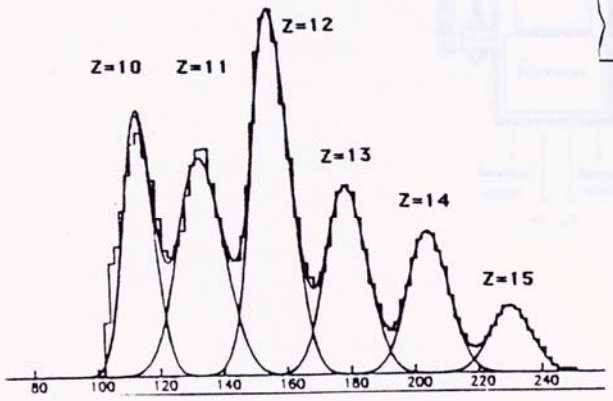
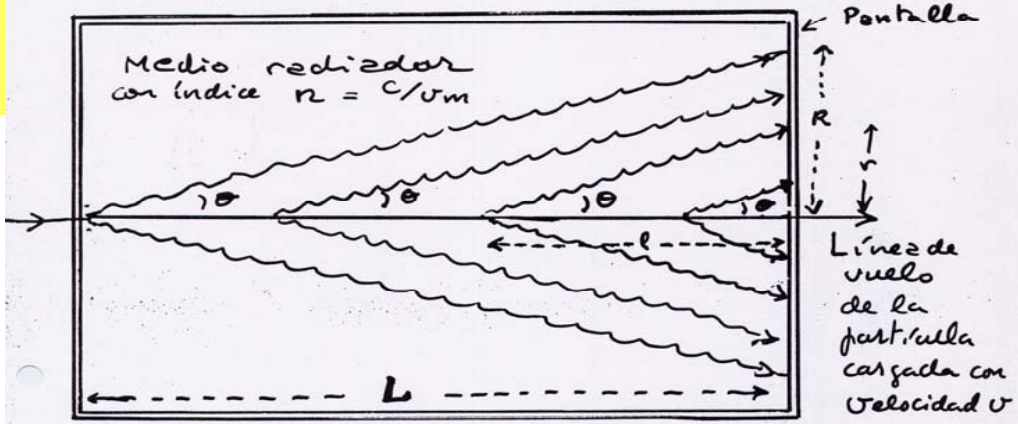


Figure 3

Detectores Cerenkov diferenciales.

Se trata de medir el ángulo θ a partir de los impactos de los fotones

El aspecto de la intensidad luminosa registrada vendría dado por la situación:



y se ve:

a) - La imagen en la pantalla es un círculo de radio

$$R = L \operatorname{tg}\theta \qquad [3]$$

(suponiendo la pantalla normal a la línea de vuelo)

b) - El número total de fotones que llegan a la pantalla es proporcional a L (longitud recorrida en el medio radiador) y [2] se puede poner $I \propto z^2 L \operatorname{sen}^2\theta$ [4]

c) - ... pero su intensidad crece hacia el centro del círculo como $1/r$ presentando un aspecto:

La intersección del cono con la pantalla es un círculo de radio : **R ~ L x tg(q)**

HMPID de ALICE

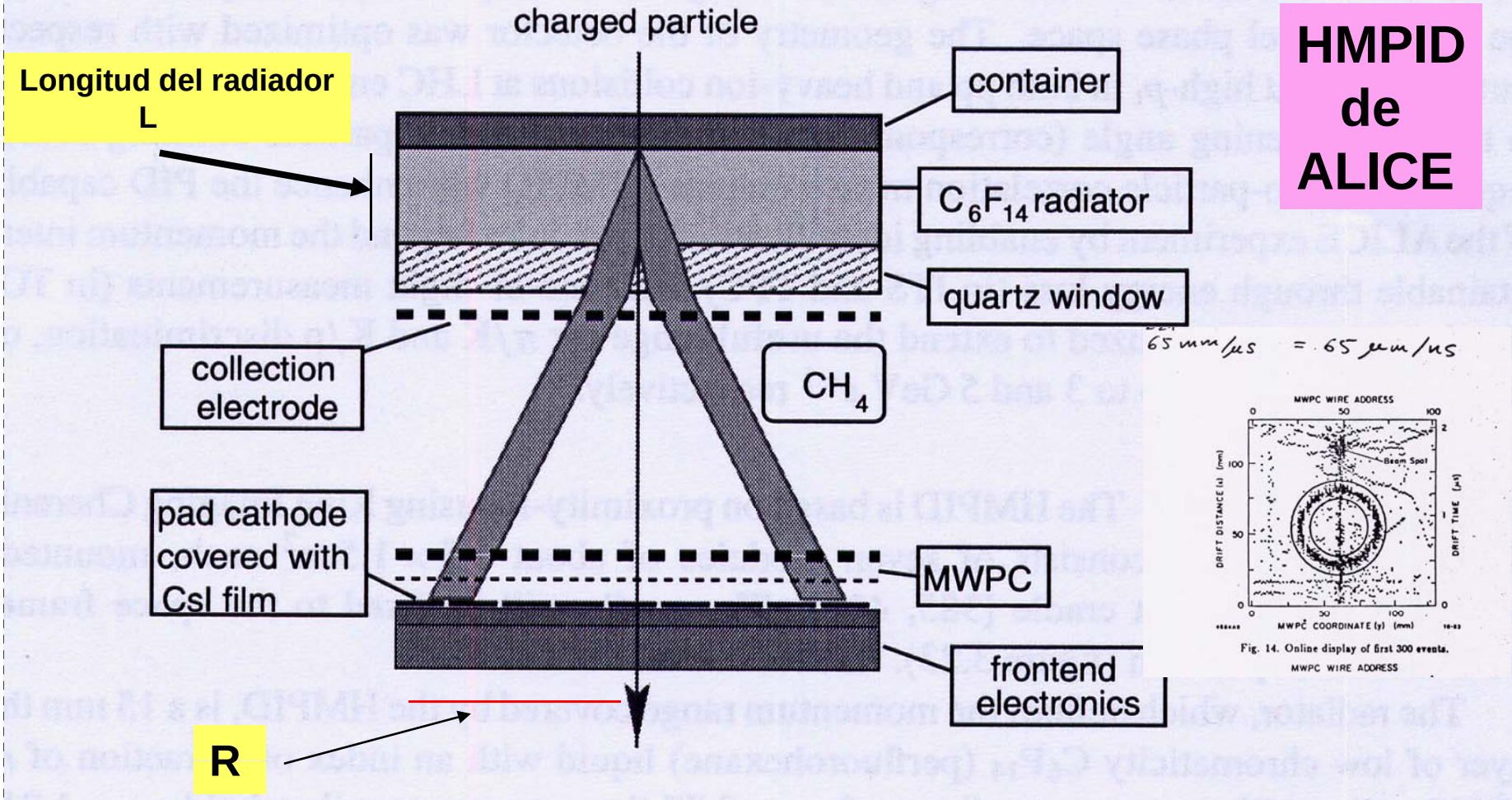


Figure 3.24. Working principle of a RICH detector employing CsI thin films deposited onto the cathode plane of a MWPC. The Cherenkov cone refracts out of the liquid radiator of C_6F_{14} and expands in the proximity volume of CH_4 before reaching the MWPC photon detector. Electrons released by ionizing particles in the proximity gap are prevented to enter the MWPC volume by a positive polarization of the collection electrode close to the radiator.

El círculo Cerenkov. (datos reales)

$R \sim L \times tg(\theta)$

+

$\beta = 1/n \times \cos(\theta)$

+

P

⇩

Masa y Energía de la partícula

65 mm/μs = 65 μm/ns

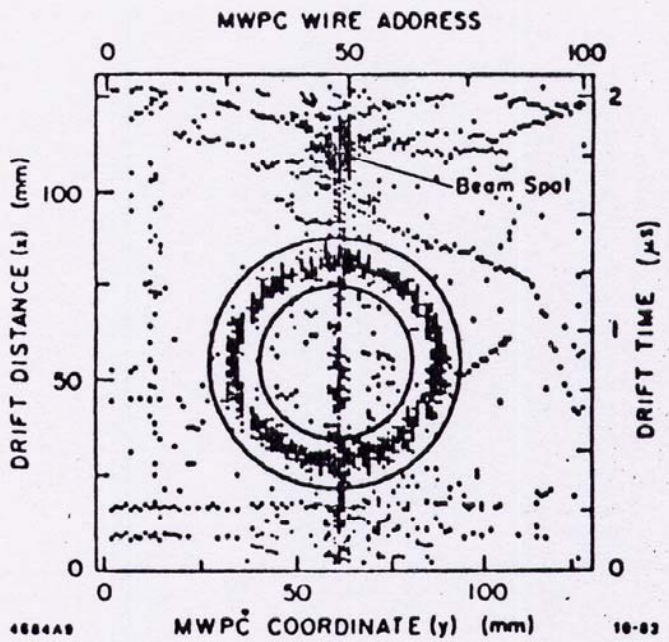


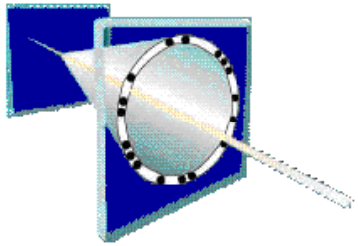
Fig. 14. Online display of first 300 events.

MWPC WIRE ADDRESS

HMPID LAYOUT

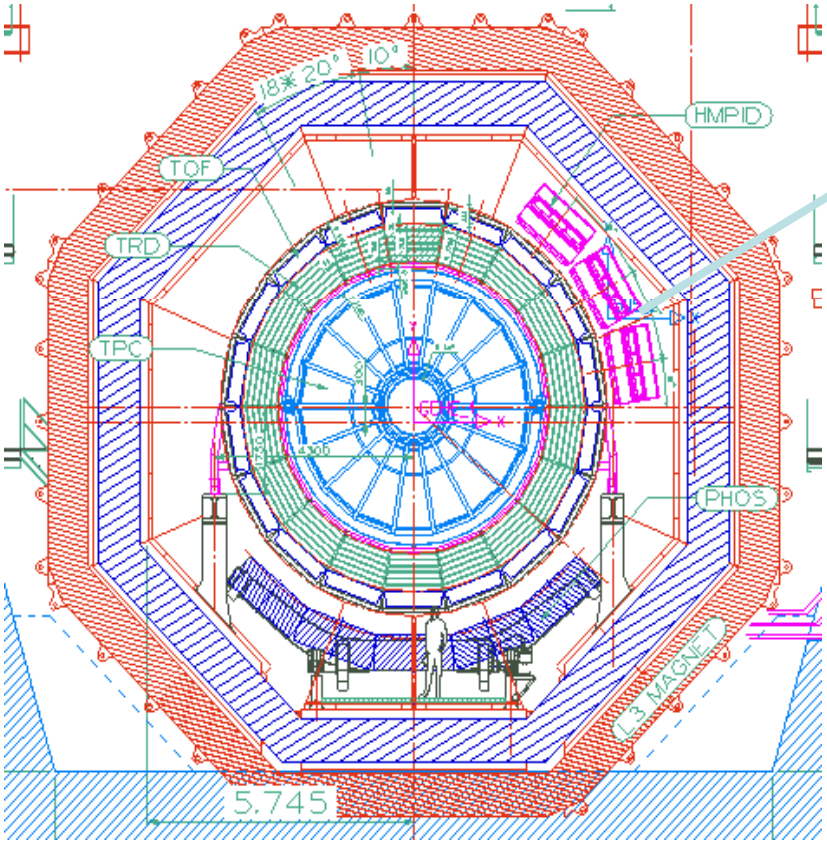
Detector Cerenkov de ALICE

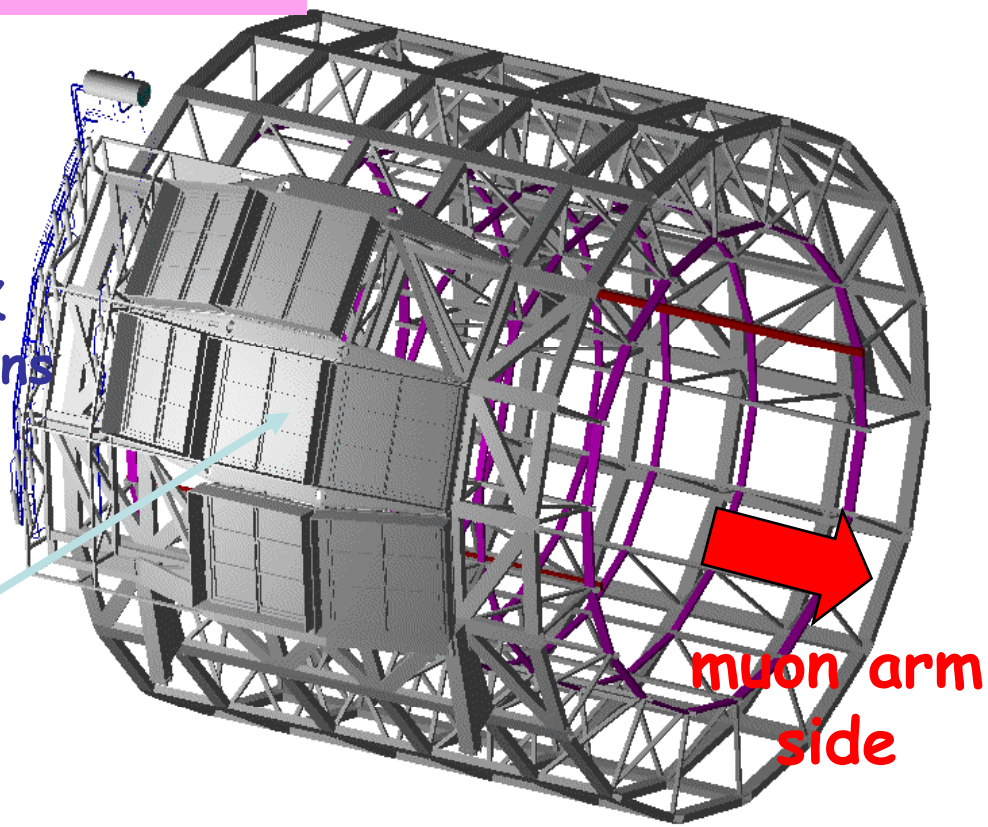
ALICE



array of seven RICH detectors
(each ~1.5 x 1.7 m^2)

PID RANGE
- 1 < p < 3 GeV/c π-K
- 2 < p < 5 GeV/c protons





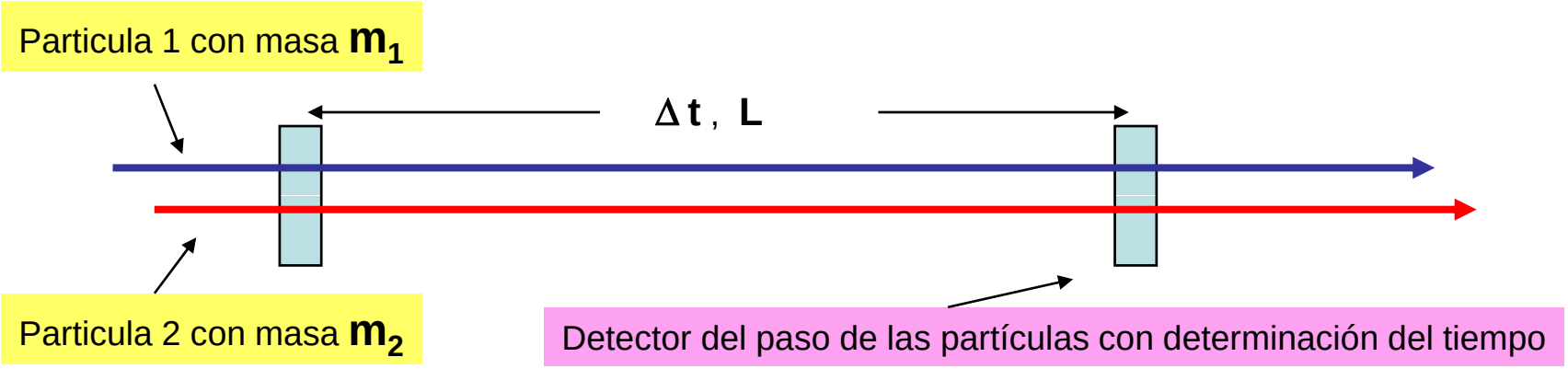
teams involved in the project:
Bari, CERN, INR-Moscow, RBI-Zagreb

Cost: 2.1 MCHF (CORE) + 0.13 MCHF (CtC)

Detectores de “Tiempo de vuelo” (Time Of Flight), TOF

Método

- medir el tiempo Δt de recorrido de una partícula entre dos puntos
- medir la distancia **L** entre los puntos.



$\Delta t = (L/c) \times (1/ \beta 2 - 1/ \beta 1)$ **y puede aproximarse por :** $\Delta t = (Lc/2p^2) \times (m_2^2 - m_1^2)$

La separación entre las masas m_1 y m_2 depende de la precisión de medida de Δt (~100 ps) , L y P

1 ps = 10^{-12} s

Separación de masas en el TOF de ALICE

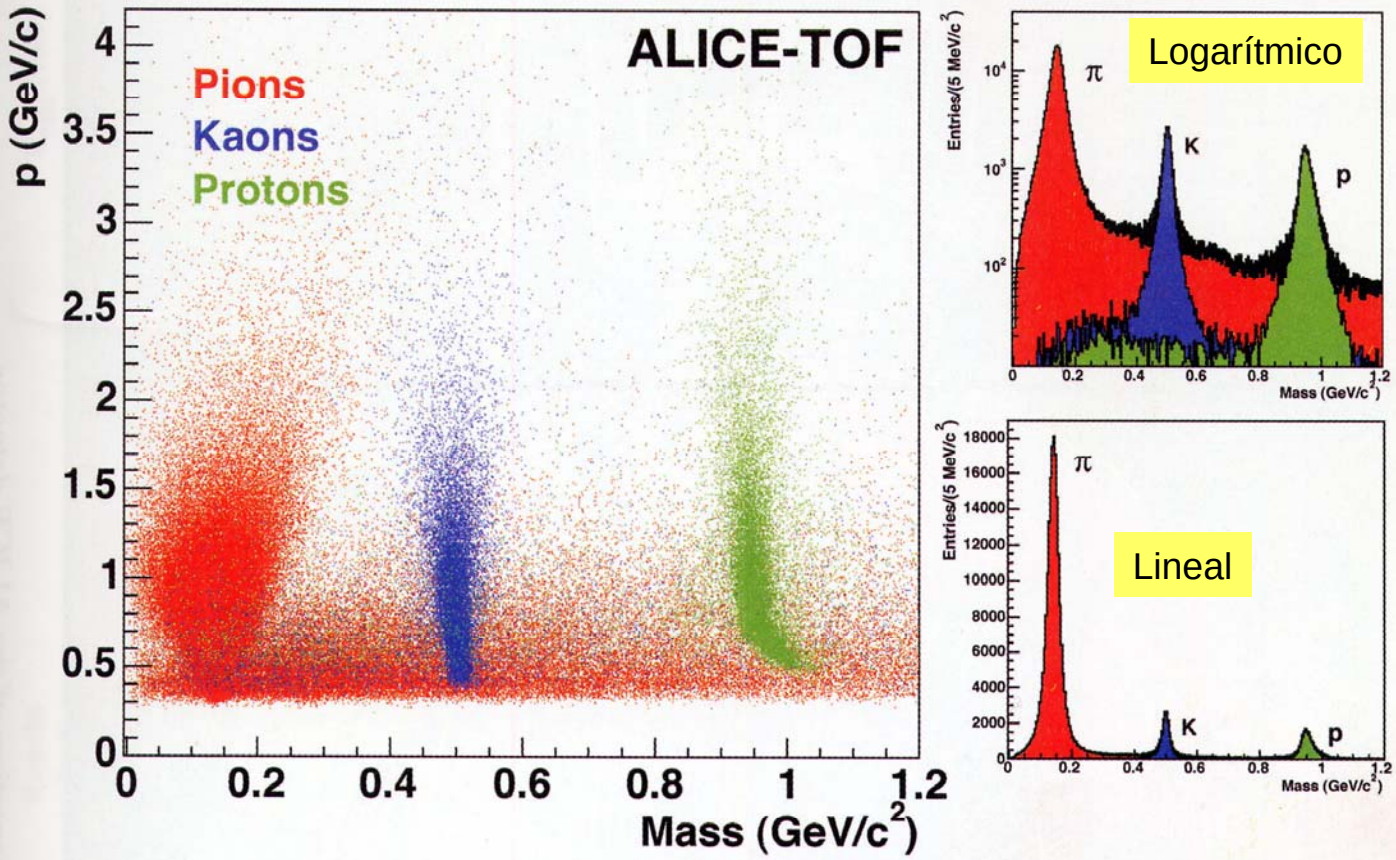


Figure I: Mass separation as a function of momentum with the TOF detector, for 200 HIJING central Pb–Pb events and with a simulated overall TOF time resolution of 80 ps. The corresponding mass distribution for $0.5 < p < 4.2$ GeV/c is shown on the right, on a logarithmic (upper plot) and linear (lower plot) scale. The distributions from pions, kaons and protons are respectively indicated by the red, blue and green histograms, while the black histogram represents the inclusive distribution from all particle species.

Transition Radiation Detector (TRD) de ALICE

Destinado a la identificación de electrones de alta energía

La radiación de transición es emitida por una partícula cargada relativista que atraviesa una interfase con constrantes dieléctricas distintas.

- muy débil : **~0.01 fotón** por superficie atravesada.

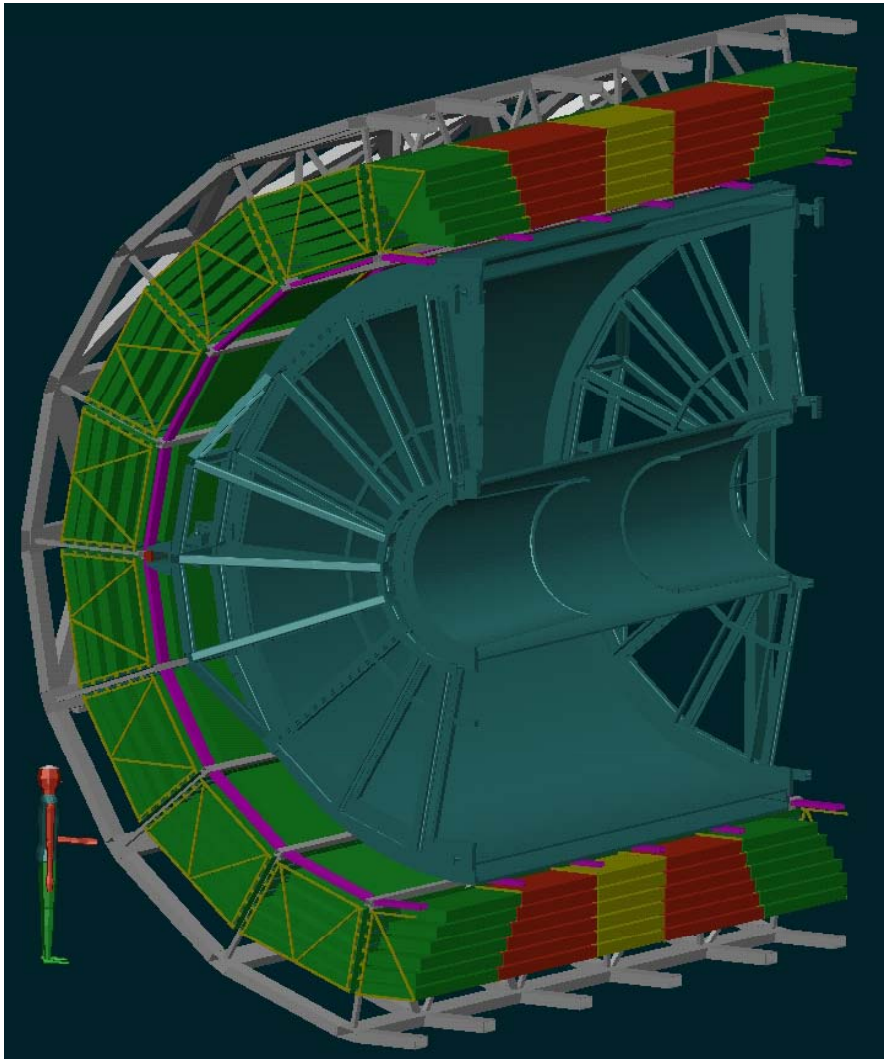
- La intensidad de fotones (región de rayos X) es ~ γ

- El ángulo máximo de emisión θ_{max} **~1/**γ

-El detector puede estar hecho de ~10^5 hojas de 10->100 mm con separaciones de 100 ->1000 mm. (aunque en ALICE la técnica es distinta y se usan materiales porosos)

El material debe tener bajo Z para evitar la absorción de los rayos X (Litio,Z=3,por ejemplo) y alta densidad.

Los rayos X son detectados ,por ej : por una MWPC



Detectores que miden directamente la energía: Calorímetros

Son “destructivos” ya que están construidos de modo que las partículas en rangos de momento para los que han sido diseñados dejen toda su energía en ellos.

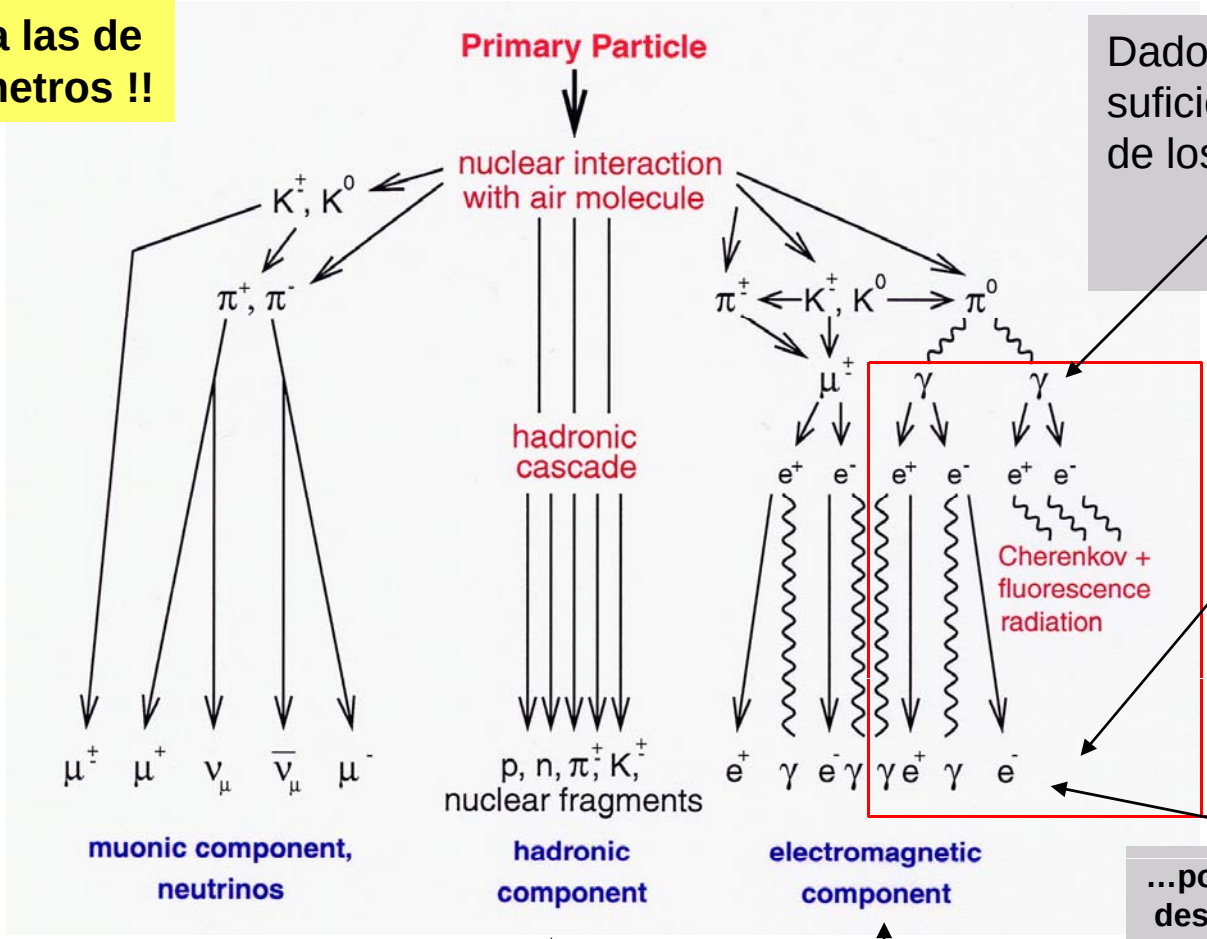
Electromagnéticos : para electrones y fotones

Hadrónicos : para hadrones cargados y neutros:
π, k, protones ,neutrones, “antis” y fragmentos nucleares.

La pérdida de energía se traduce al final en excitaciónde los núcleos del detector´por interacción EM o fuerte y emisión de luz que se recoge en plásticos de centelleo, se transmite por fibra óptica o guías de luz a fotomultiplicadores cuya rápida respuesta les hace apropiados para formar parte de un “trigger”

Estructura de un “shower”(cascada) producido por un radio cósmico en la atmósfera.

Similares a las de los calorímetros !!



Dado un recorrido suficiente,el output de los fotones acaba siendo luz (fotones)

…porque los e+-, antes de desaparecer excitan el medio por centelleo o fluorescencia => fotones

Avalancha hadrónica

Avalancha electromagnética

Calorimetría electromagnética

Los fotones interaccionan con la materia por :

Absorción fotoeléctrica (la probabilidad va como **$1/E^3$**)
Compton "scattering" (la probabilidad va como **1/E**)
Producción de pares e+ e- (para **E> 10 MeV,** es independiente de **E,** y es dominante.)

Los EMCAL se construyen con materiales de alto Z y reducida X0, de modo que la avalancha quede contenida en un volumen reducido (contrario a las avalanchas EM de los cósmicos , que se propagan a toda la atmósfera !!)

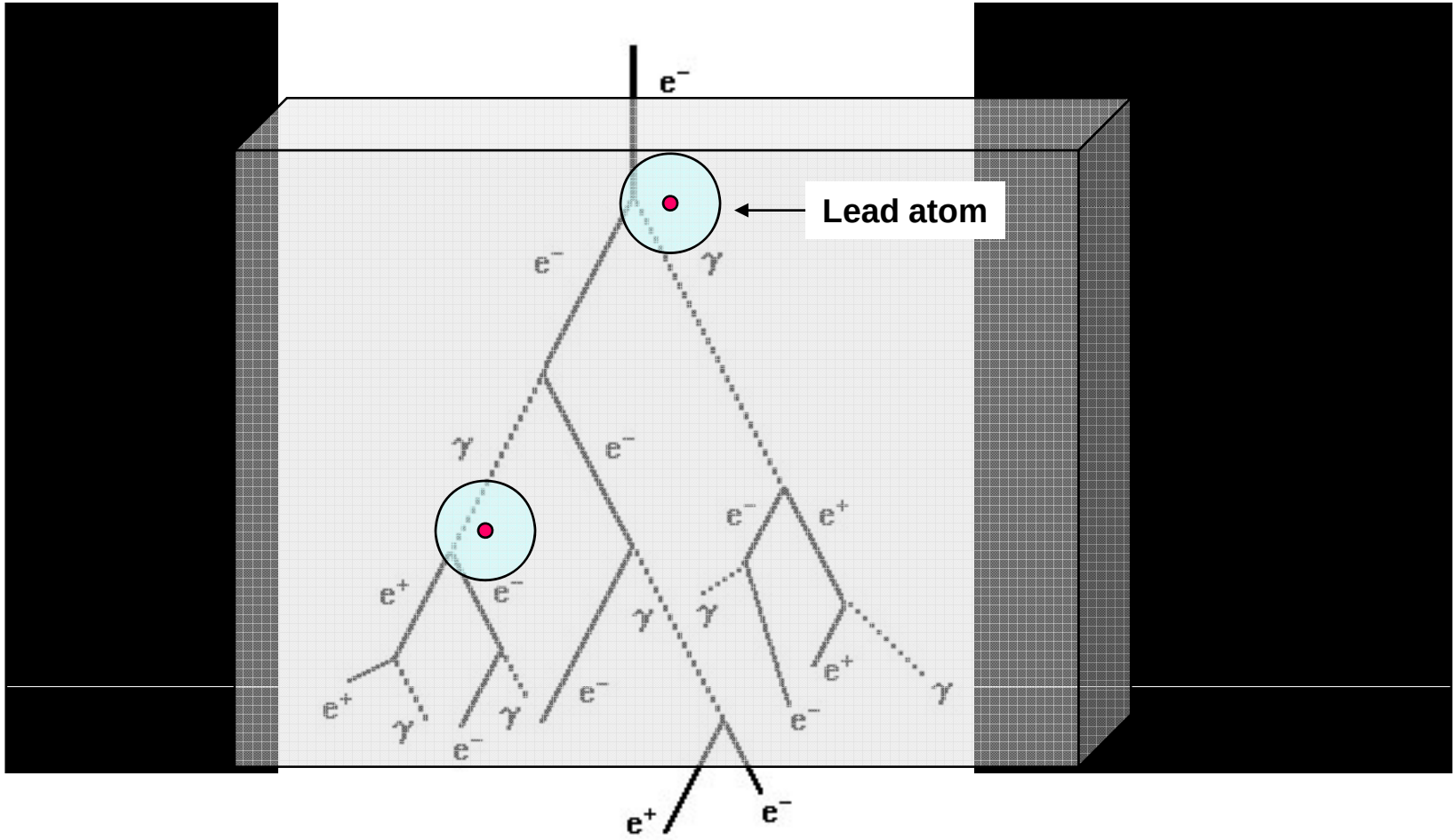
Un material usual es el "vidrio de plomo", (PbO, 45%,SiO2)

La resolución es típicamente :

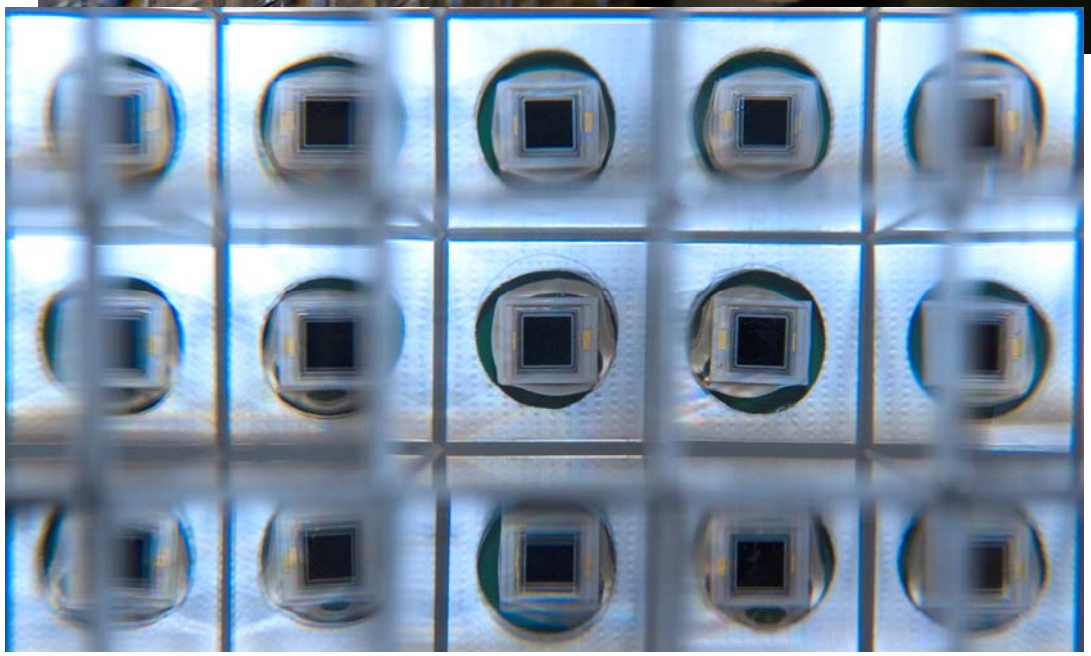
$$\Delta E / E = 0.05 / \sqrt{E(GeV)}$$

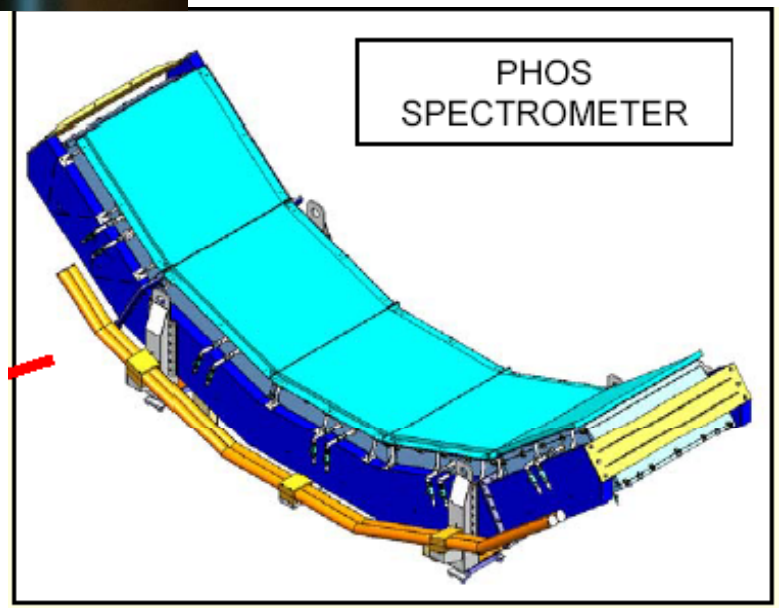
La luz producida se transmite a lo largo del detector cuyo material es transparente.

Calorímetros electromagnéticos

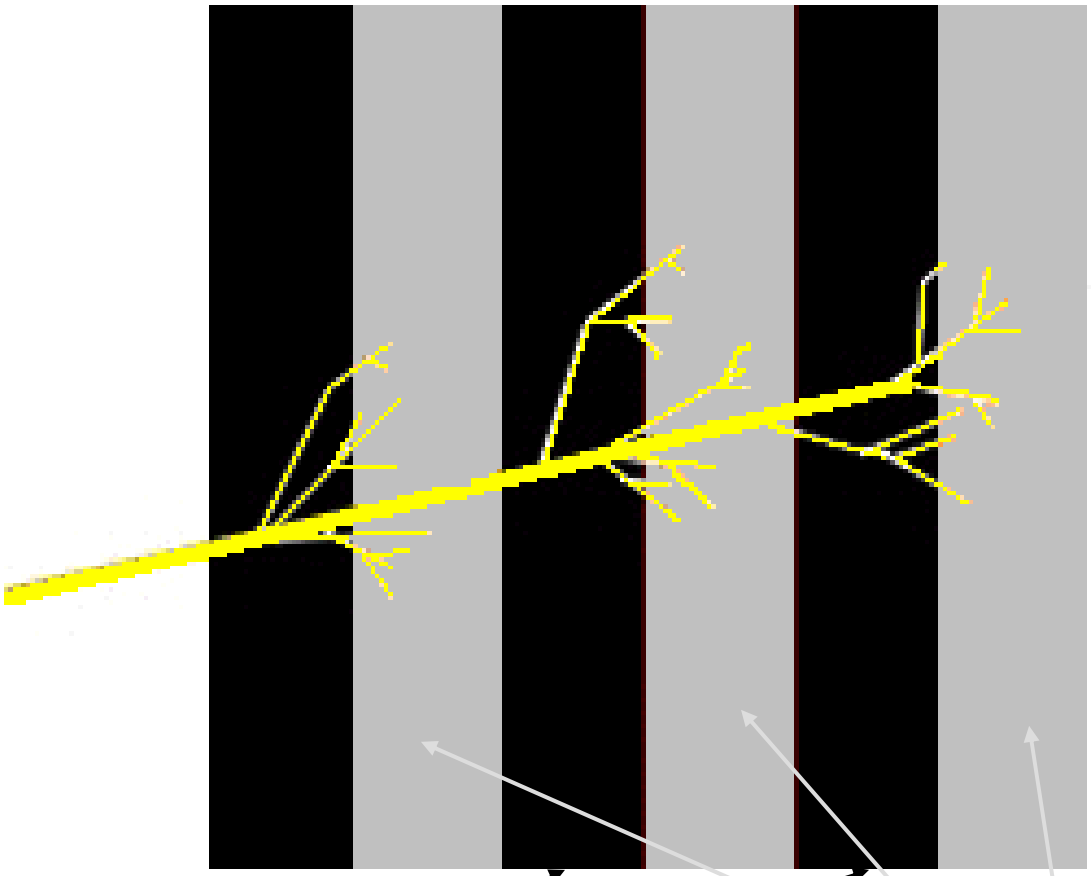


El calorímetro Electromagnético de ALICE :PHOS “Photon Spectrometer”





- Calorímetros hadrónicos de muestreo



La senal total es proporcional a la energía incidente, pero hay que calibrar con haces conocidos.

Bloques densos, Pb, Uranio..

Cámaras de hilo, centelleadores

Estructura del “Zero Degree Calorimeter” de ALICE
Observese que las senales de luz se dirigen mediante
“Guías de Luz” a un conjunto de fotomultiplicadores

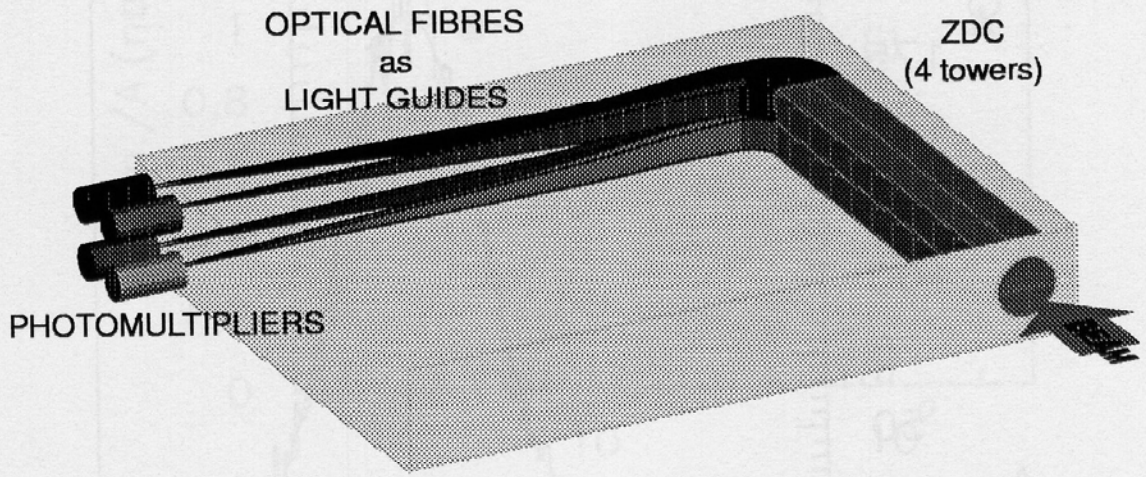


Figure 2.22: Mechanical structure of the ZDC.

Estudiemos los detectores de luz :

-**detectores de centelleo**

-**fotomultiplicadores.**

Son esenciales para la
- Calorimetría
- Triggers basados en la detección de luz (Double Chooz, ICARUS)
- En los experimentos de radiación cósmica.

Los detectores de centelleo →

Transparentes, de dos tipos :

- Orgánicos **(~1 ns** de deexcitación) => los más usados en HEP

- Inorgánicos (Ioduro de Sodio…) **(~ 250 ns** de desexcitación)

Proceso

↓

Excitación de los átomos por el paso de partículas ionizantes => centelleo

↓

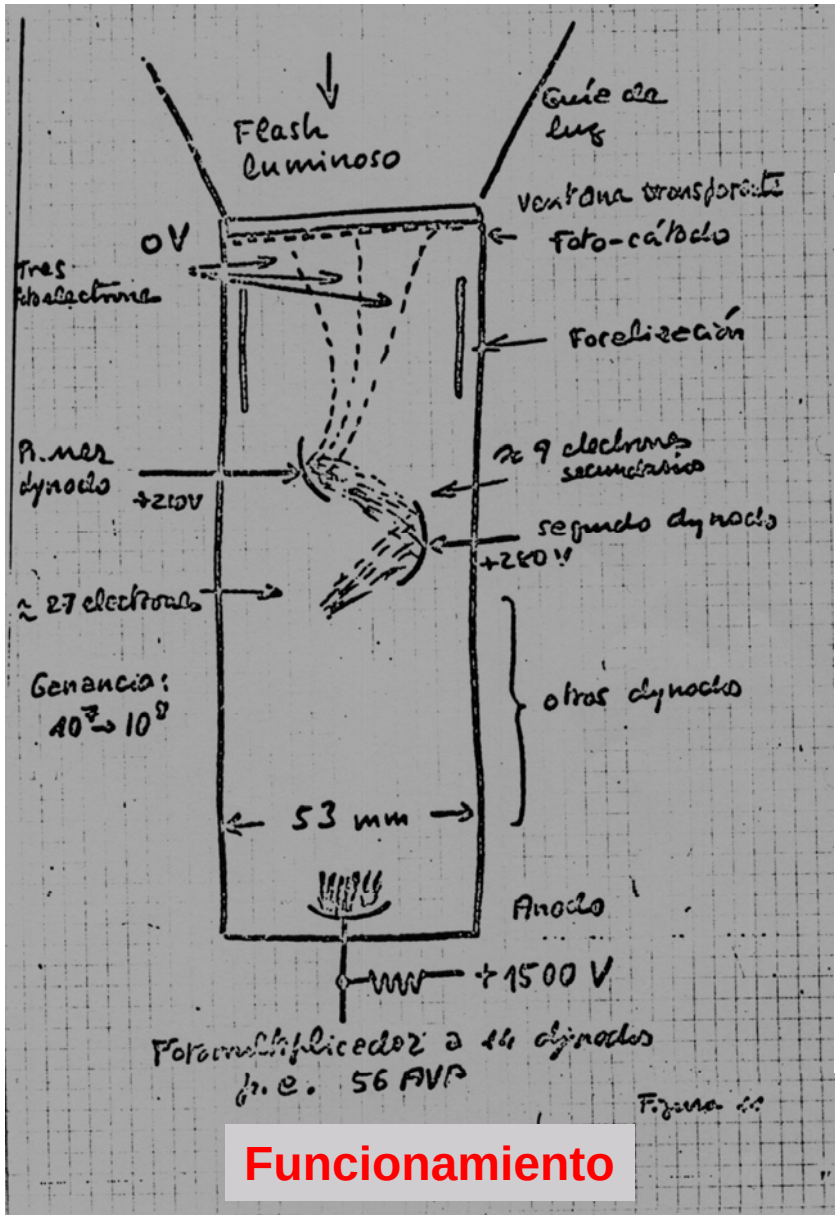
La luz se transporta por "guías de luz" o por fibra centelleadora a un receptor-amplificador.,

↓

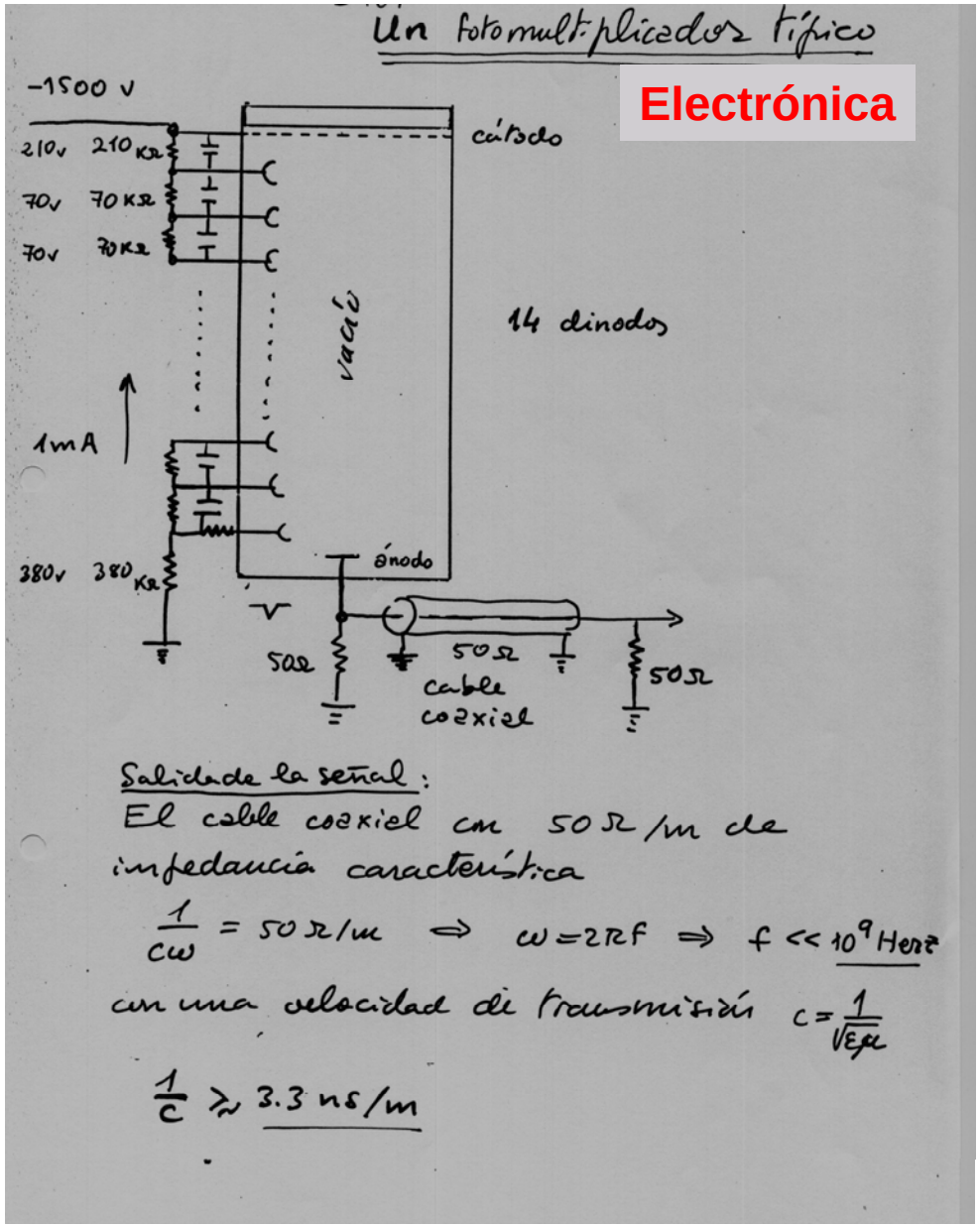
Suele ser un fotomultiplicador

Un **fotomultiplicador** es un recipiente al alto vacío, con un fotocátodo que recibe los fotones y los convierte en electrones. Estos son dirigidos a los diversos dinodos por diferencia de potencial. En cada dinodo se multiplica el número de electrones hasta alcanzar ganancias de varios órdenes de magnitud, según el HV y el numero y la calidad de los dinodos.

El fotomultiplicador



Funcionamiento



Electrónica

Cadena de multiplicación de un fotomultiplicador **típico**

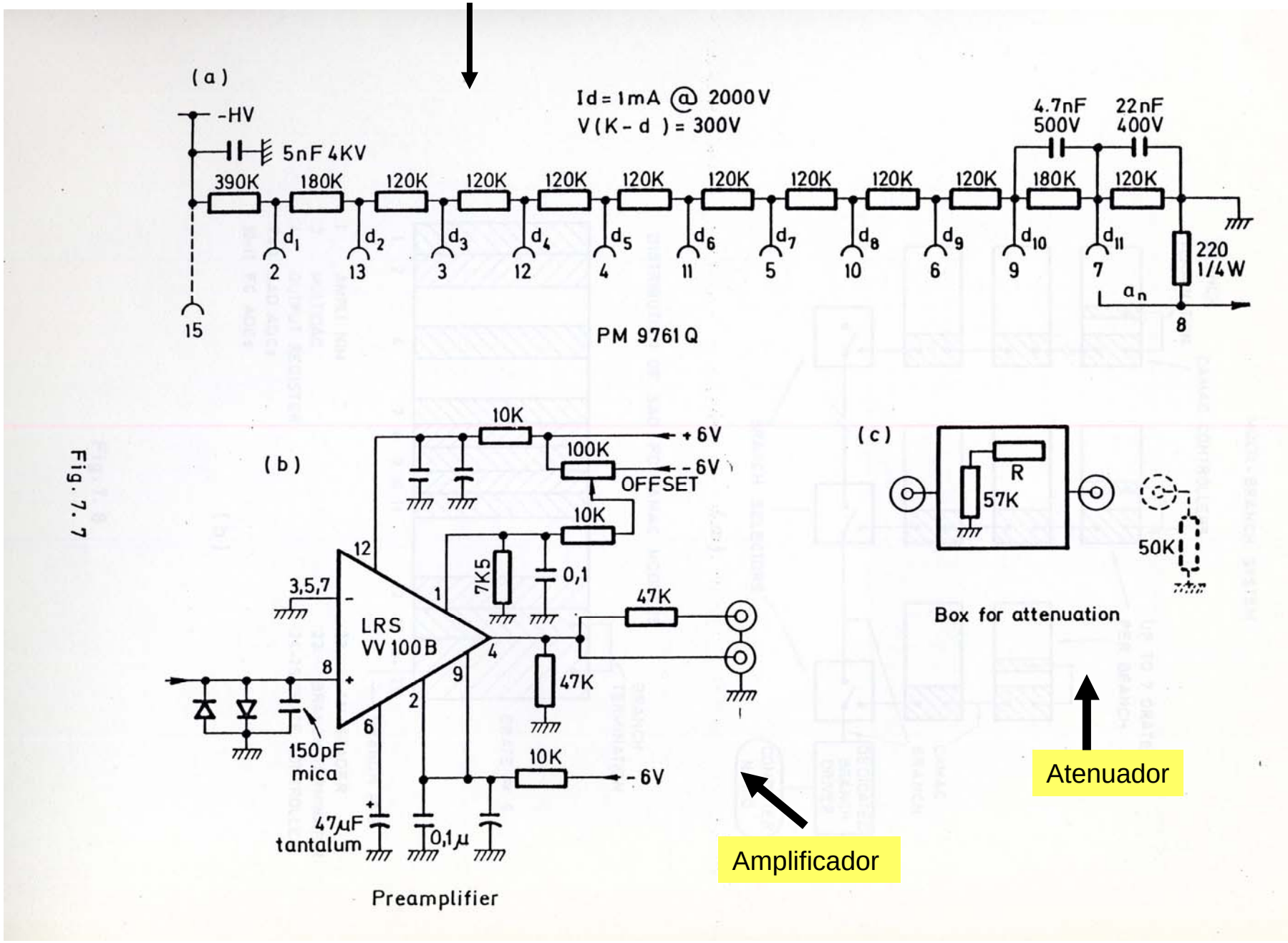
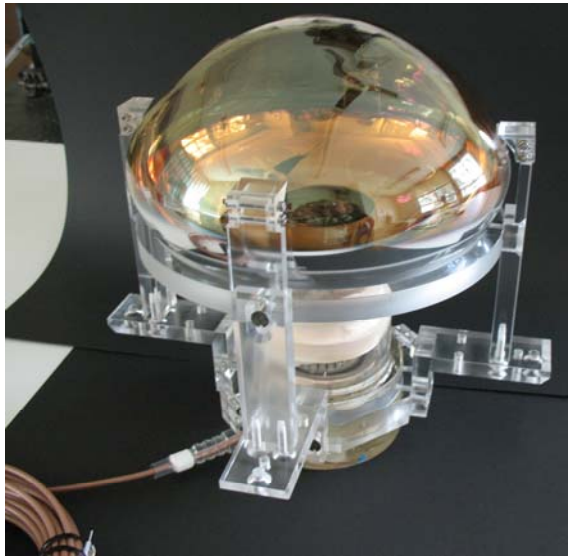


Fig. 7.7

Apréciese la cadena de dinodos

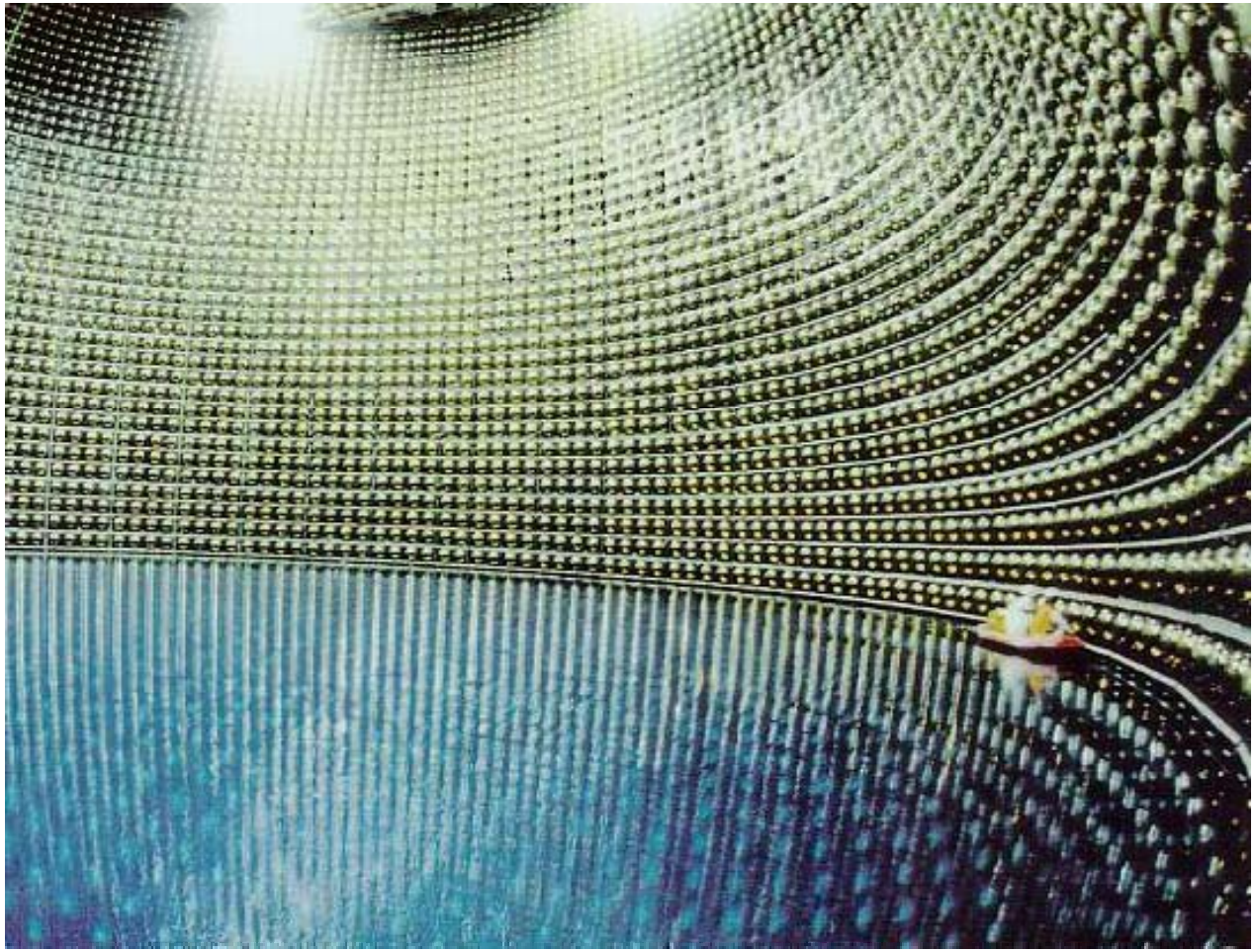
El fotomultiplicador. (Double Chooz)

Hamamatsu R7081 – 10”



El detector de agua
Super Kamiokande
para la detección de muones solares , atmosféricos y provenientes de haces.

Las paredes estan cubiertas de fotomultiplicadores que detectan la luz Cerenkov de los secundarios



Qué hacemos con los muones ?

Los muones son partículas de interacción débil y electromagnética. Pueden atravesar grandes cantidads de materia y por eso su selección se hace "filtrando" las otras partículas.

Cámaras de muones de CMS : Entre el vértice de colisión y las cámaras hay un calorímetro EMCAL y un HCAL, bastante materia para que nada llegue a las cámaras de deriva (llamadas "de muones") salvo los muones. Su interacción EM con la materia permite seguir la trayectoria y su unica desviacion es el scattering múltiple.

Su detección formará parte esncial en la física del Higgs.

En ALICE hay un complejo espectrómetro de muones para detectar la desintegración del $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, que es esencial en la búsqueda del "Quark Gluon Plasma"

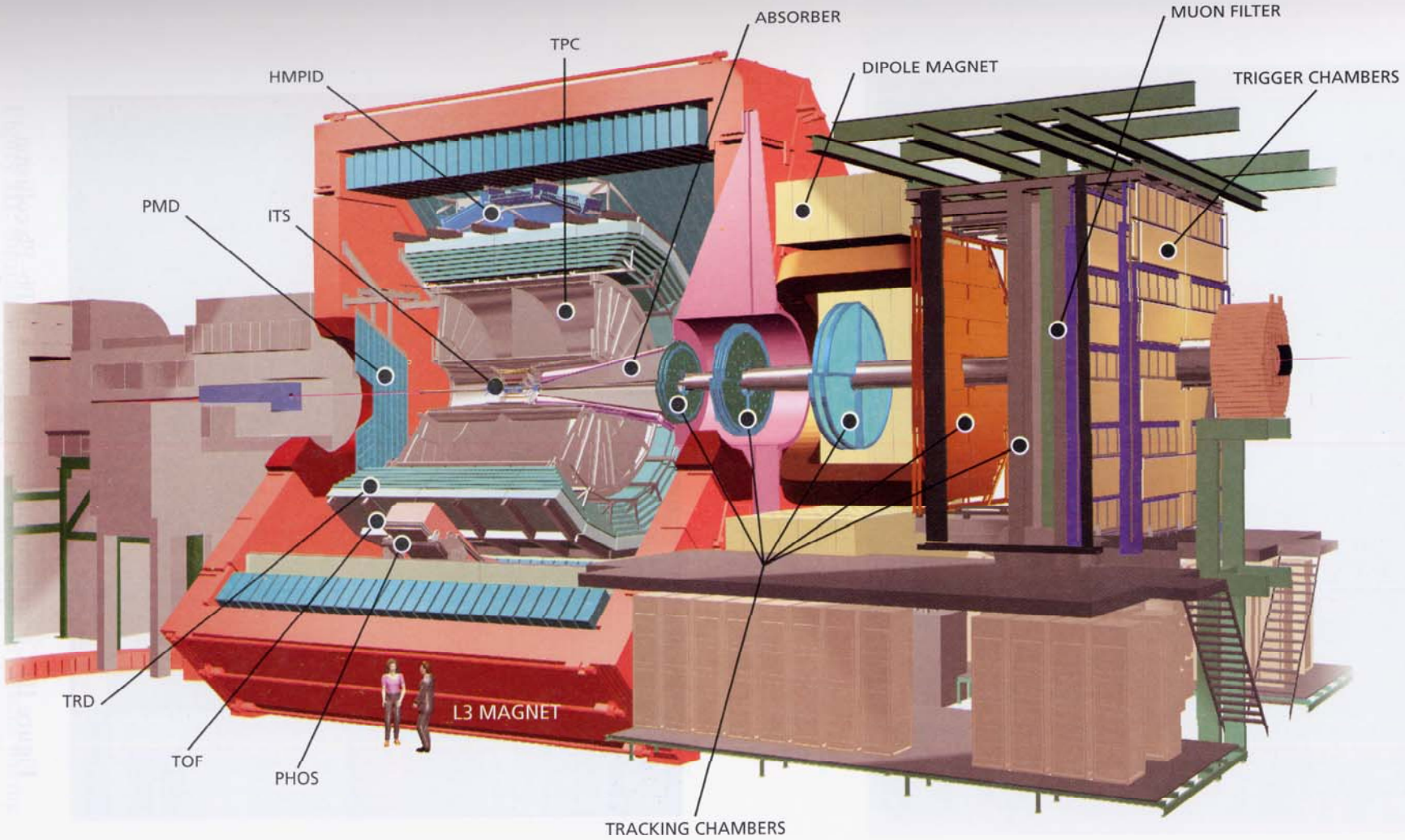
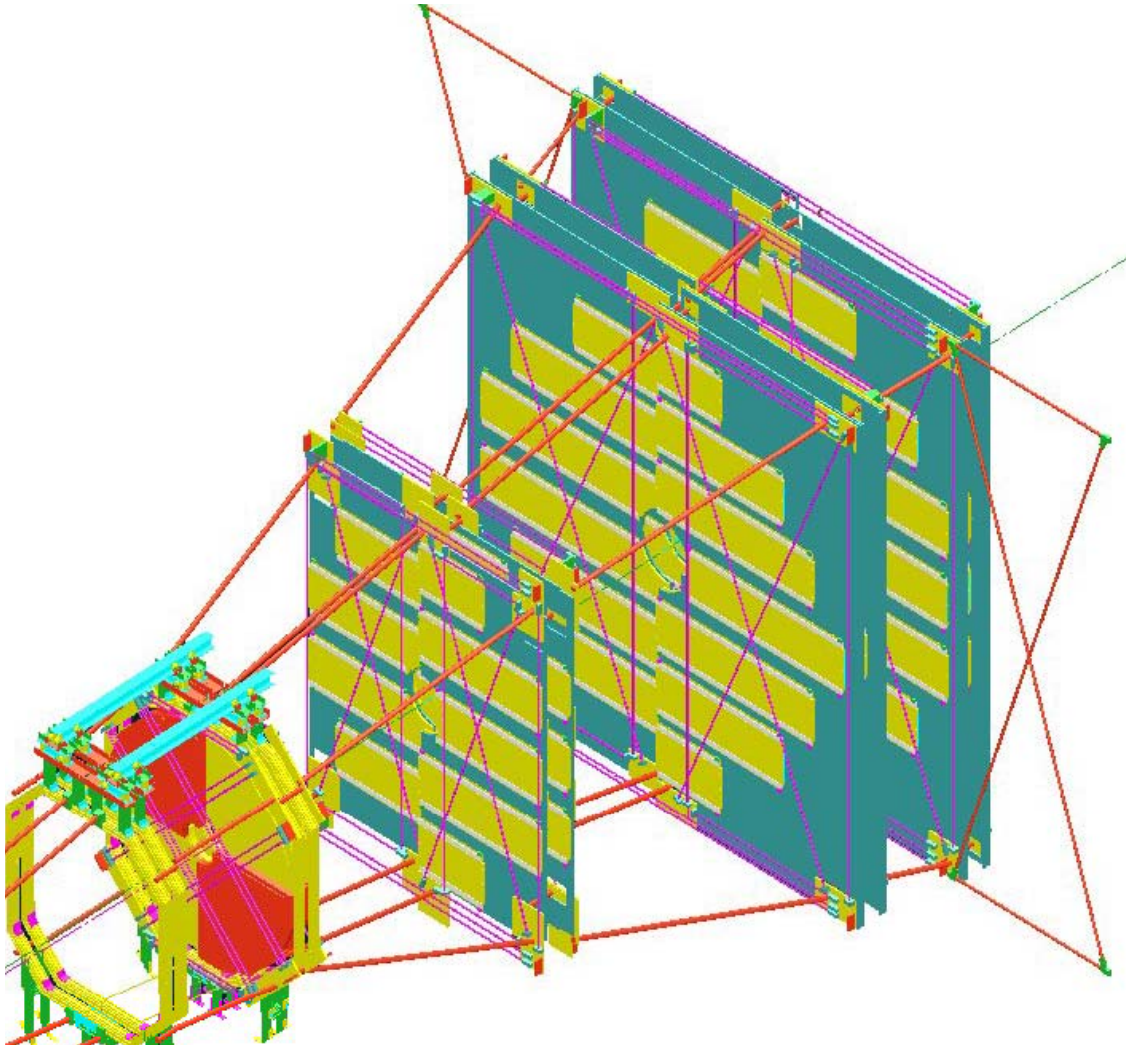
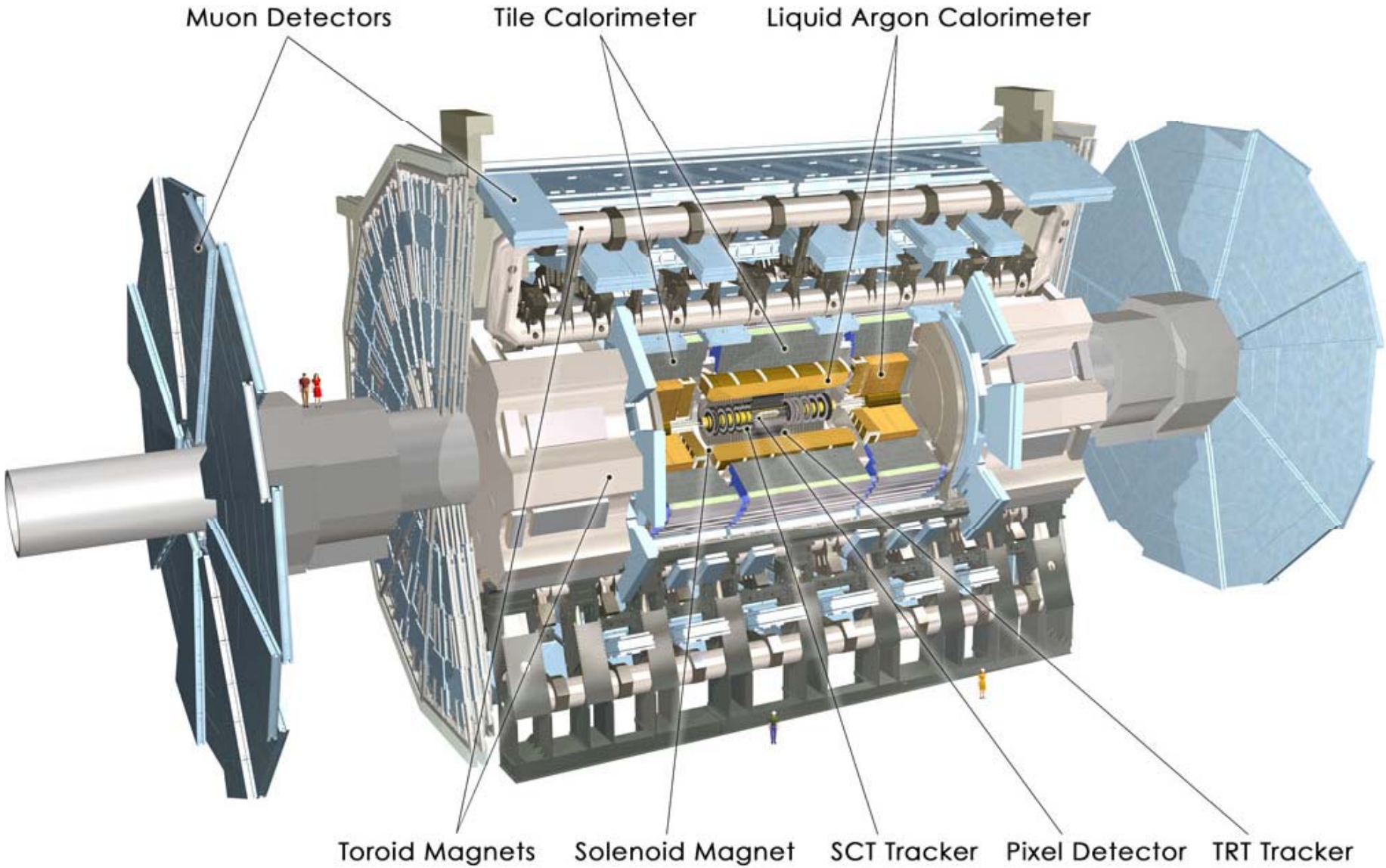


Figure I: Layout of the ALICE detector.

Muon Tracking

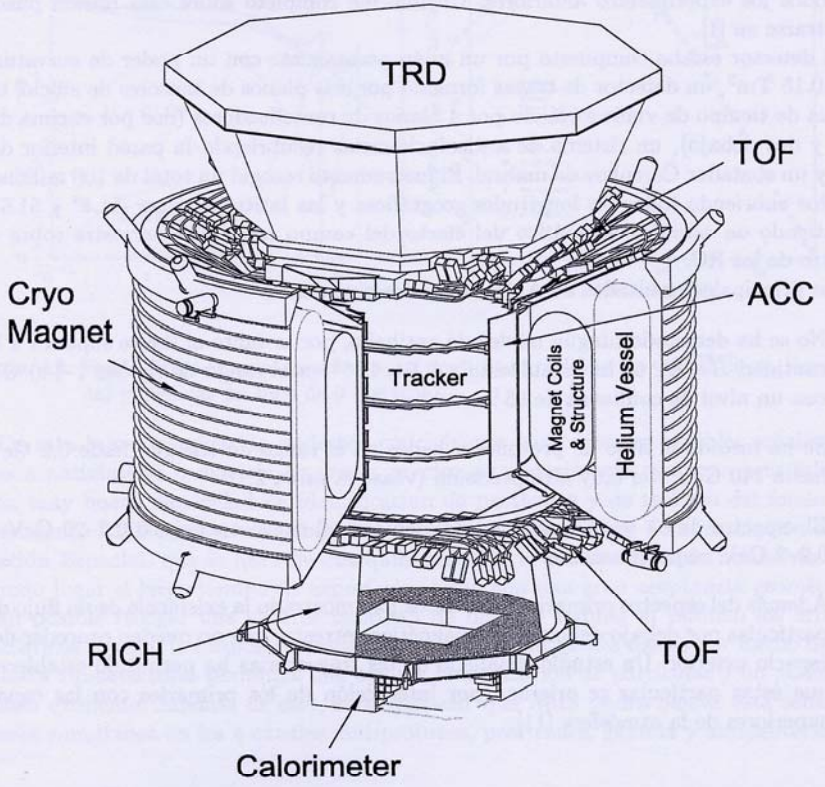


ATLAS


Muon Detectors
Tile Calorimeter
Liquid Argon Calorimeter
Toroid Magnets
Solenoid Magnet
SCT Tracker
Pixel Detector
TRT Tracker

Backup

AMS 02
(Alpha Magnetic Spectrometer)



Pasado inmediato 1995-97

BESS

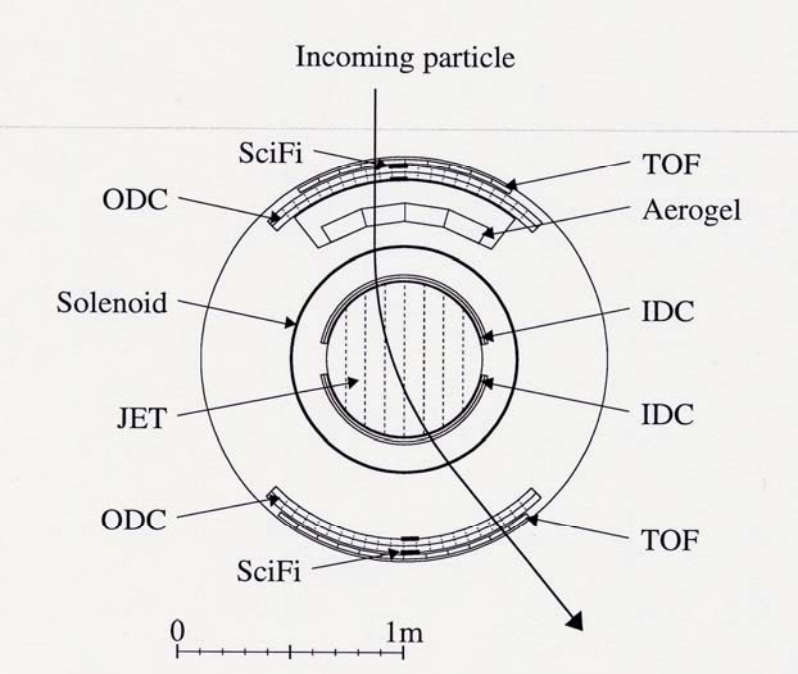
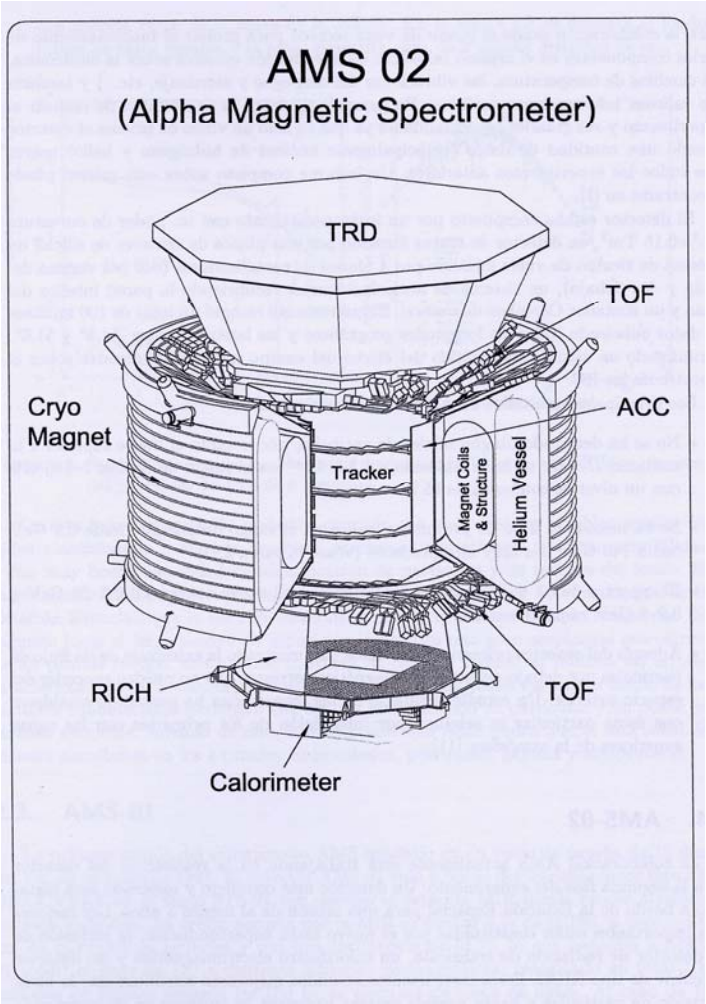


Fig. 1. Cross-sectional view of the BESS-TeV spectrometer.

Futuro próximo: 2007 ?



A look over the systems of units (I)

Chose your fundamental magnitudes:

In classical mechanics the usual system of units has as fundamental units:

Length
Mass
Time

In this system the velocity dimensional formula is: $[V] = [L]\,[T]^{-1}$
The acceleration: $[a] = [V]\,[L]^{-1} = [L]\,[T]^{-2}$
The Strengh or Force : $[F] = [M]\,[A] = [M]\,[L]\,[T]^{-2}$
The Energy (work) : $[E] = [F]\,[L] = [M]\,[L]^{2}\,[T]^{-2}$

This way we can express every magnitude in terms of the fundamental units…

But there are other possible and more convenient systems in particle physics,for example the system where the fundamental units are the:

Energy, and we take as unit the **GeV**
Action , unit : **$h/2\pi$ (h is the Plank constant)**
Velocity, unit: **c (light velocity in vacuum)**

How to express the Lenght in this system ?

A look over the systems of units (II)

The Length must be expressed by means of E,A,V but we must learn how.

We set $[L] = [E]^a \; [A]^b \; [V]^c$ **[l]**

We take as intermediate units the "usual ones": Lenght, Mass,Time

$[L] = [M L^2 T^{-2}]^a \, [M L^2 T^{-1}]^b \, [L T^{-1}]^c = [L]^{2a+2b+c} \, [M]^{a+b} \, [T]^{-(2a+b+c)}$ **[2]**

Solving: $2a+2b+c = 1$; $a+b = 0$; $2a+b+c = 0$ ➔ $a= -1$, $b= 1$, $c= 1$

$[L] = [E]^{-1} [A] \; [V]$ **[3]**

Let us compute the value of the fermi (10^{-15} m) in this system:

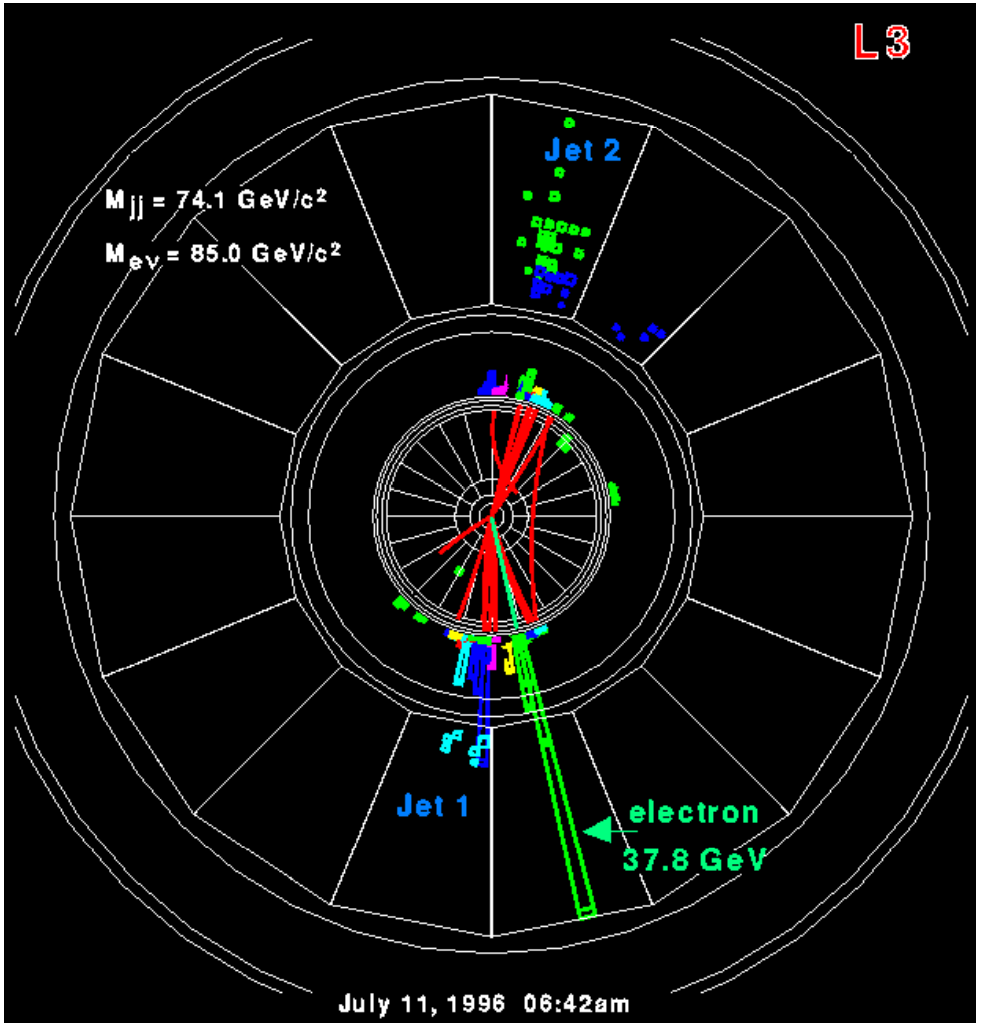
1 fermi = **a** $[E]^{-1} [A] [V]$; let us compute **a** from some known relationship:

In the tables (Data Particle Group) there is the equivalence:

c x **h/2p** = 0.197 GeV x fermi ➔ **1 fermi = 5.07 GeV^{-1}** x **h/2p** x **c**

If we take as units the **GeV, h/2p, c** we say (informally) that

1 fermi = 5.07 GeV^{-1} (the rest is implicit)



First W pair event observed by the L3 Experiment at LEP 2.

$e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$

$W^- \rightarrow e^- \bar{\nu}$

$W^+ \rightarrow$ jet + jet

Applying energy and momentum conservation to the event shows that the two jets and the electron-neutrino originate from the decay of two W bosons.

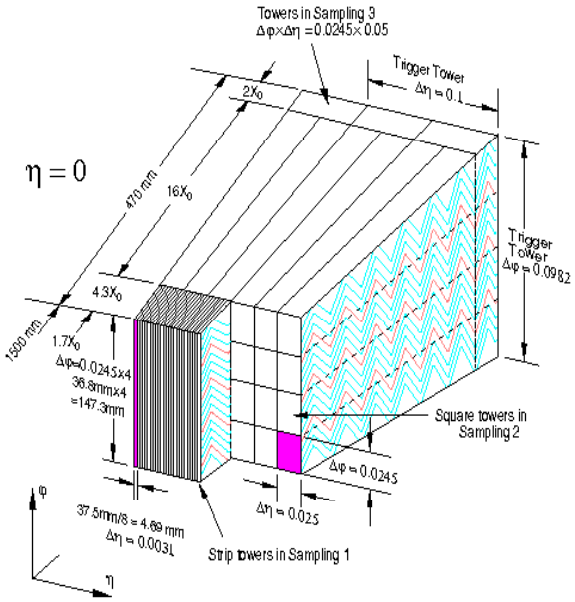
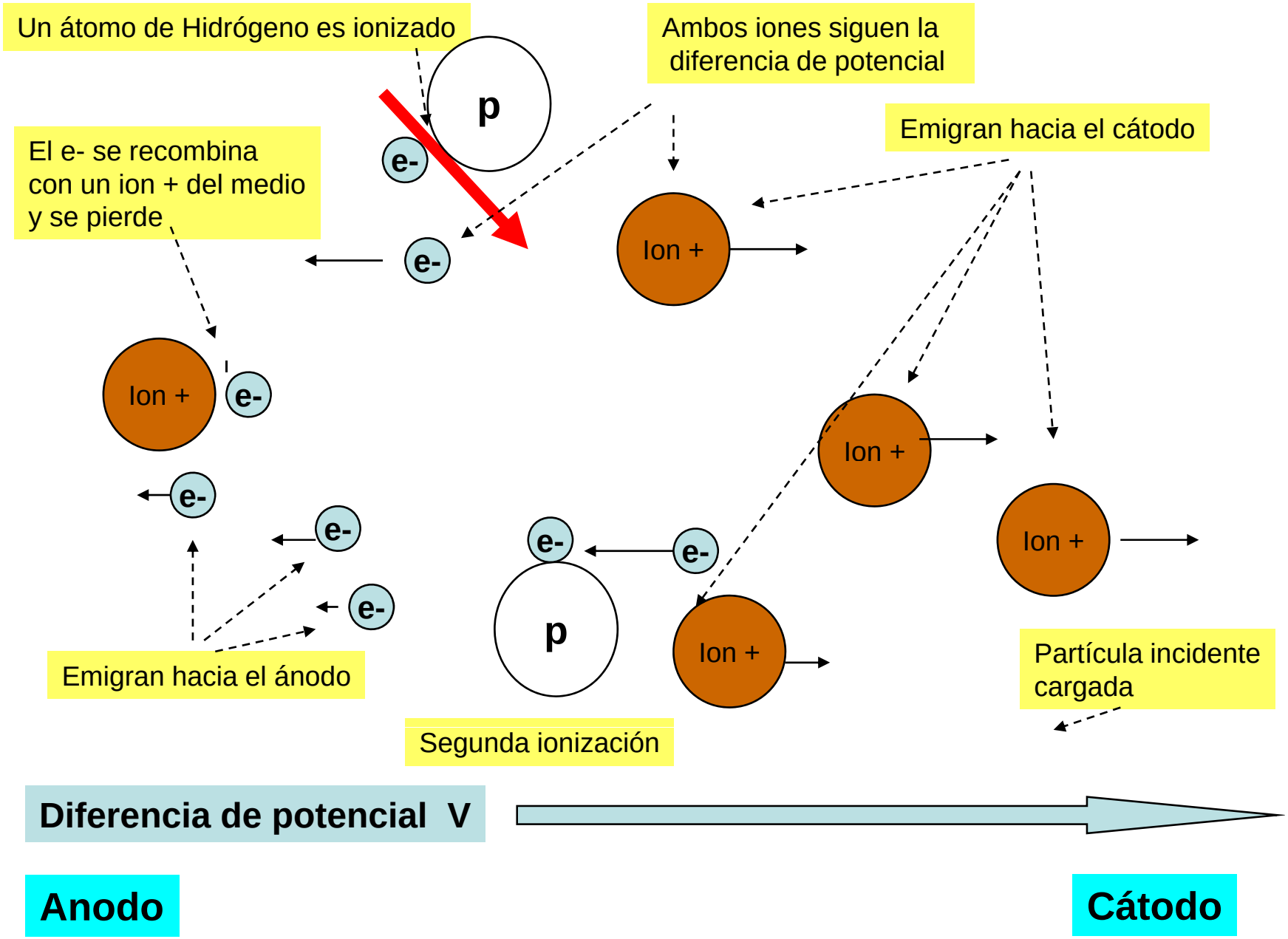


Figure 2-ii Readout granularity of the EM calorimeter.

Un esquema sencillo



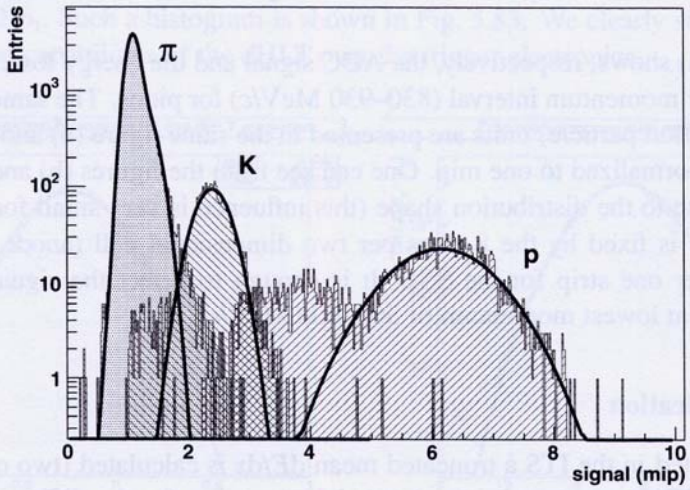
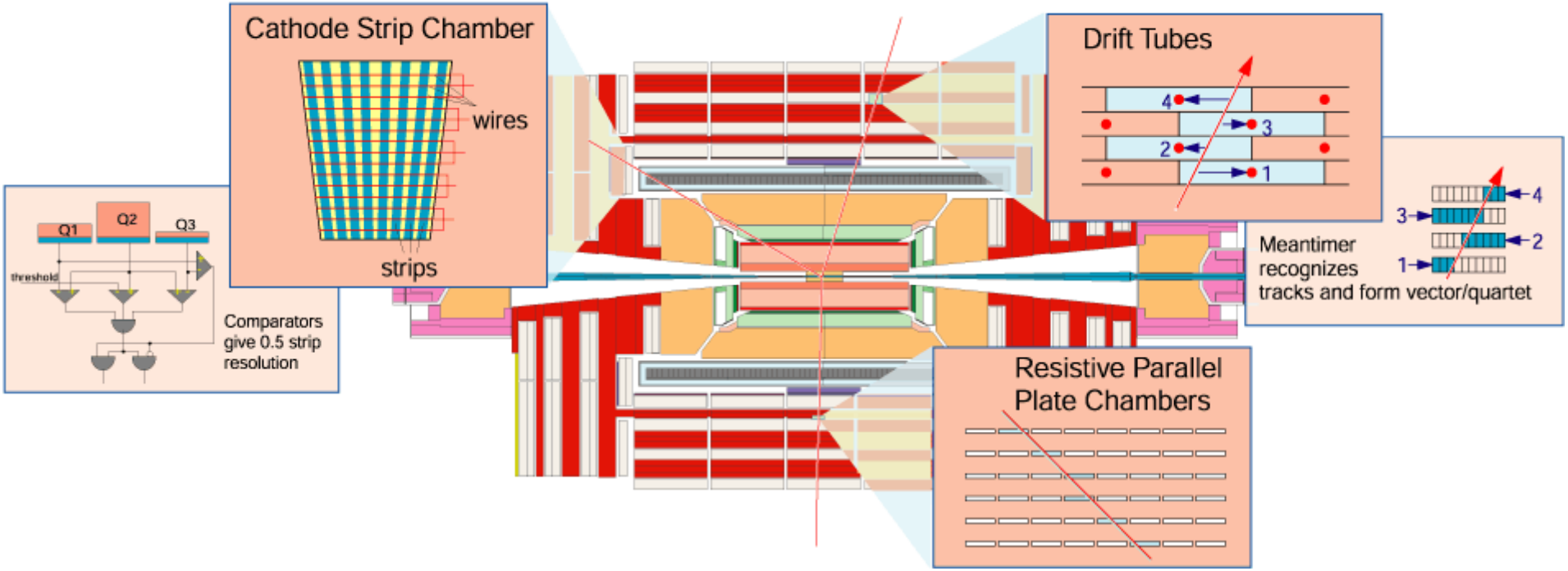
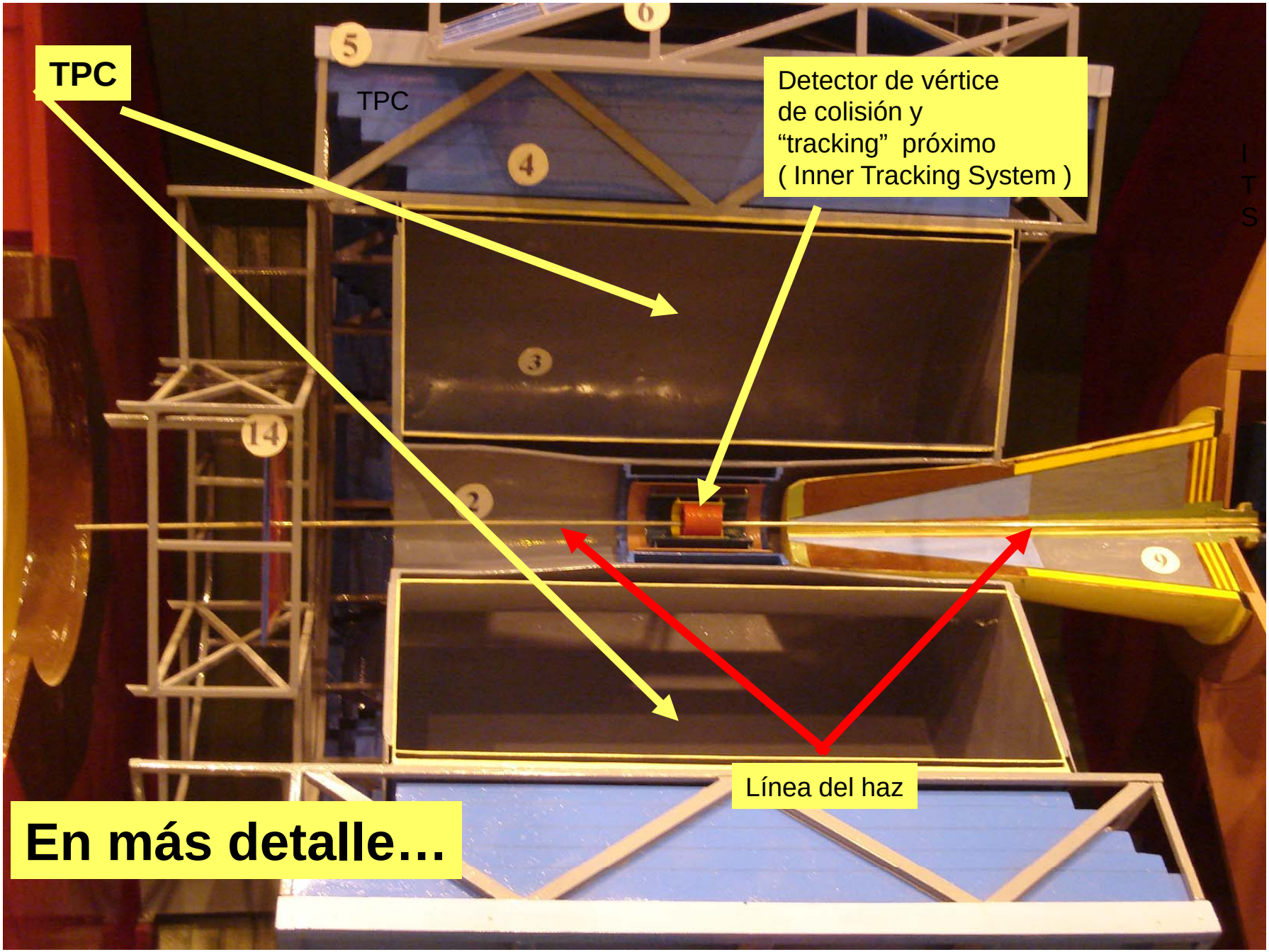
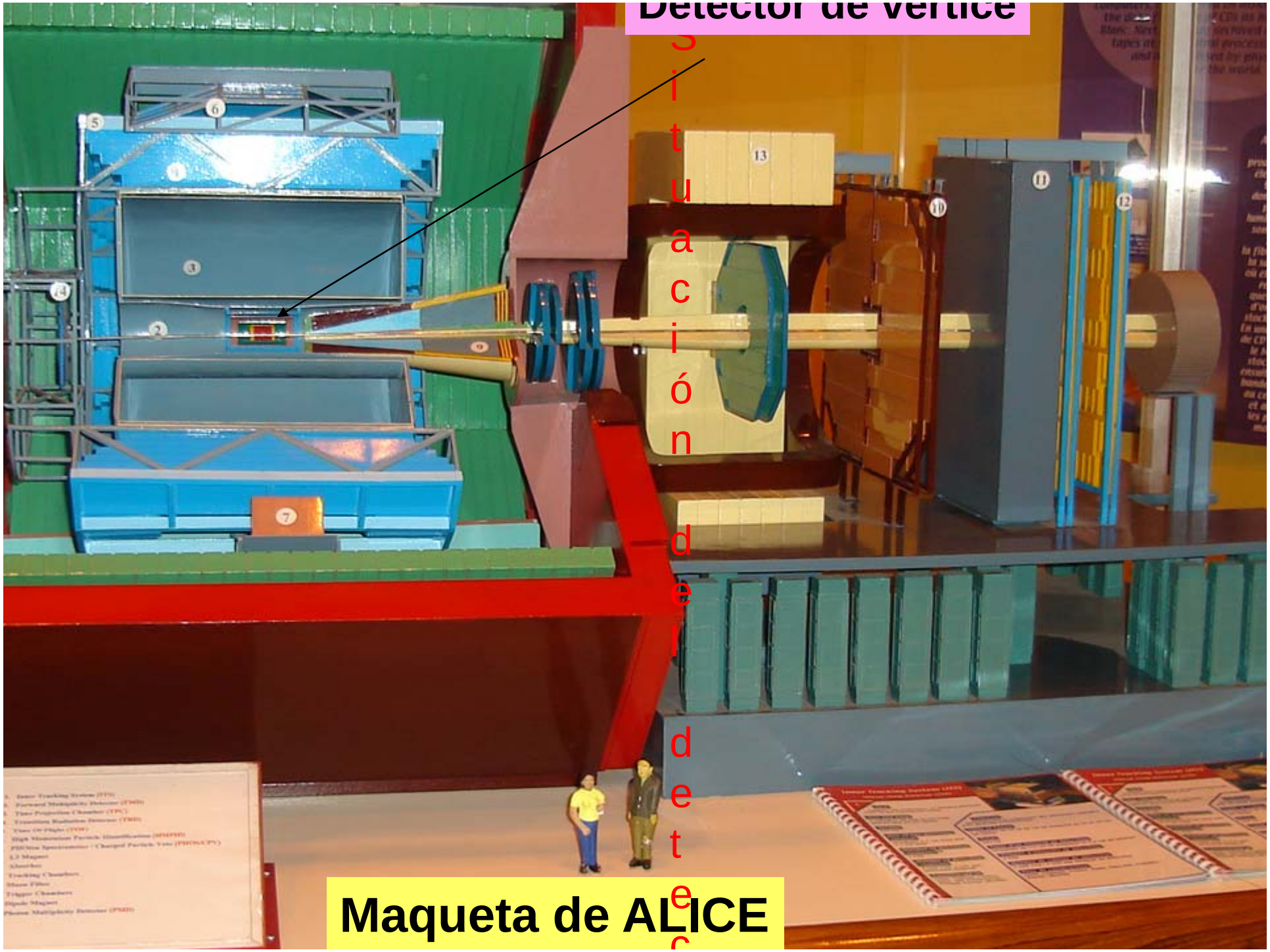


Figure 5.85: Distributions of the truncated mean SDD and SSD signals (mip units) obtained with the HIJING generator for pions, kaons and protons at the reconstructed momentum of 400–425 MeV/c. The curves are results of Gaussian approximations.


Cathode Strip Chamber
wires
strips
Q1
Q2
Q3
threshold
Comparators give 0.5 strip resolution
Drift Tubes
4
3
2
1
Meantimer recognizes tracks and form vector/quartet
Resistive Parallel Plate Chambers



En más detalle…


Detector de vertice
Situación del detector
Maqueta de ALICE

Entre el detector de vértice y la TPC…

ya sabemos reconstruir las trayectorias cargadas en el espacio.

El campo magnético nos permite además medir el momento. $\vec{P}$

Para identificar las partículas cargadas nos hace falta la velocidad β y/o la energía **E**.
Las determinaremos con detectores apropiados, pero antes:

Qué hay de las partículas neutras: neutrones y fotones ?

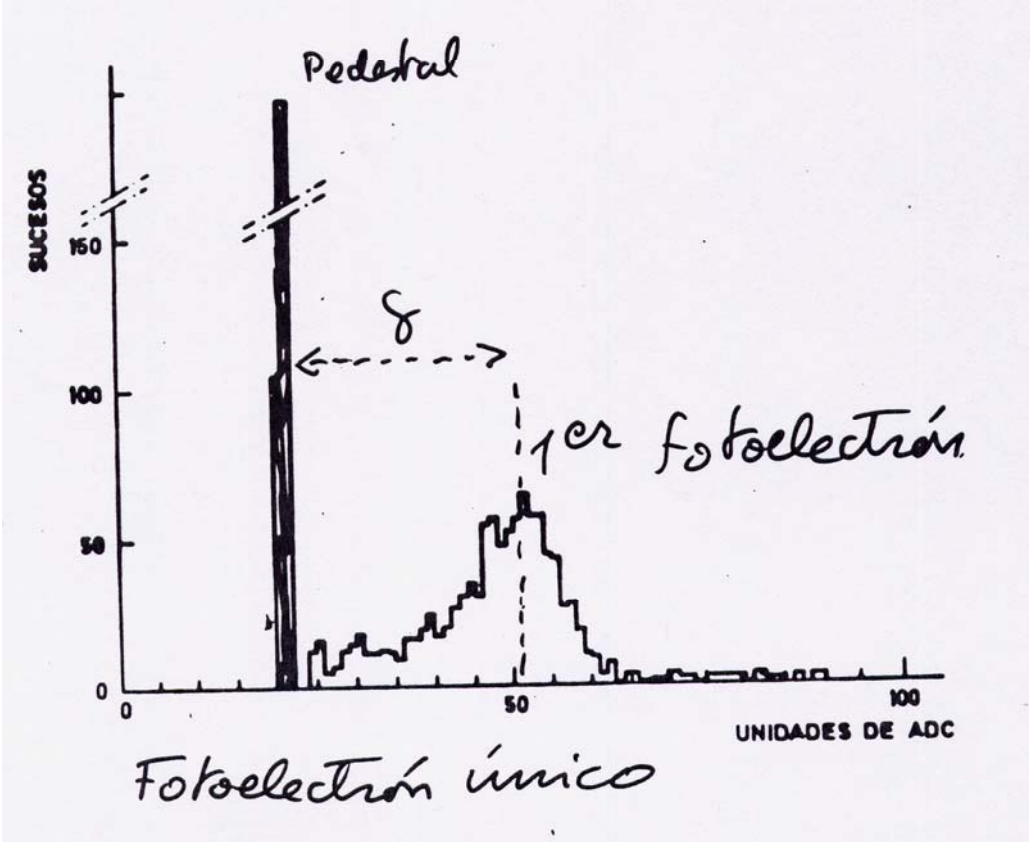
Los fotones interaccionan con la materia por :

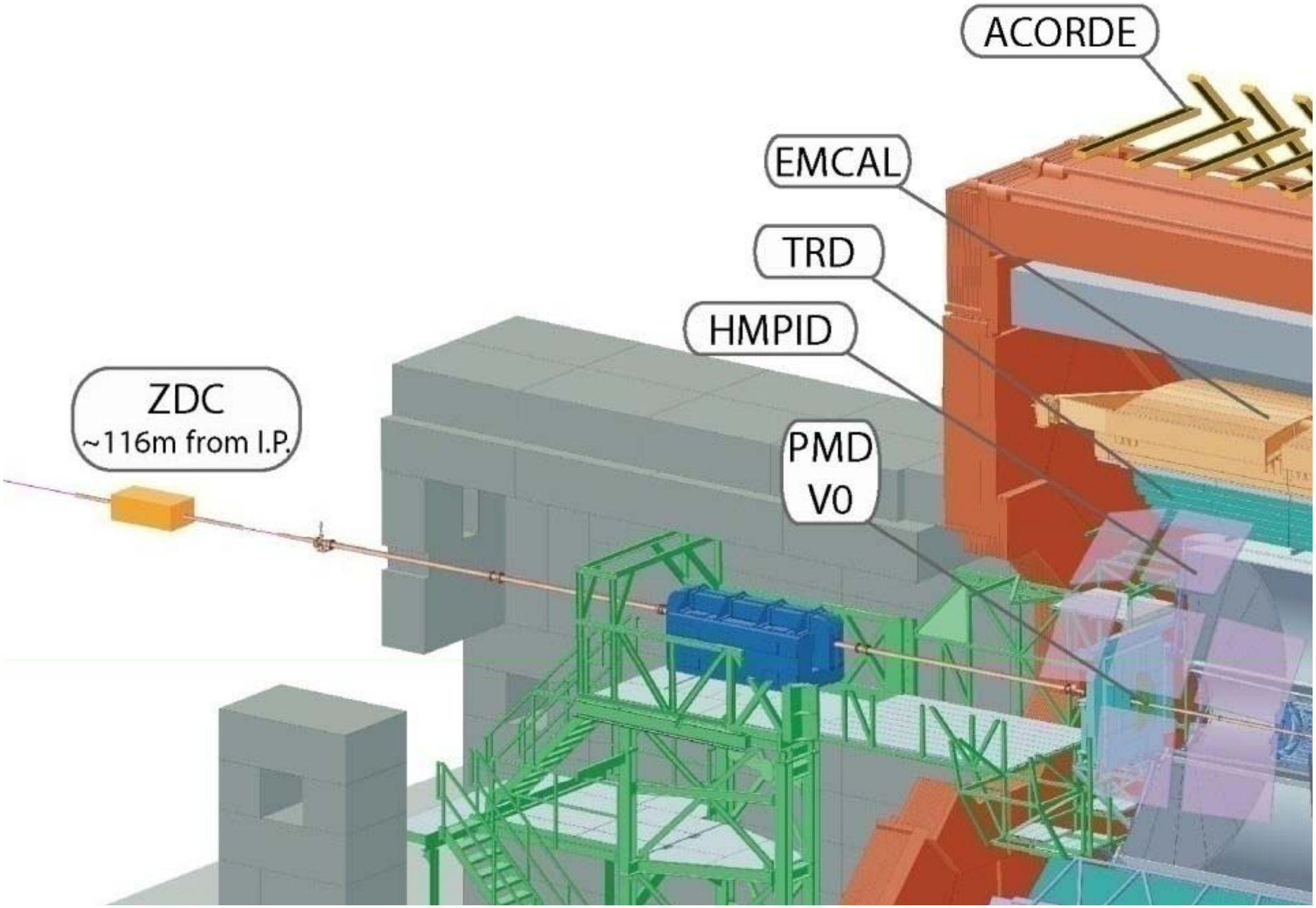
Absorción fotoeléctrica (la probabilidad va como **$1/E^3$**)
Compton "scattering" (la probabilidad va como **1/E**)
Producción de pares e+ e- (para **E> 10 MeV,** es independiente de **E,** y es dominante.)

Como los **e+-** a su vez sufren la radiación de frenado (" Bremsstrahlung") emitiendo nuevos fotones.
el ciclo se convierte en una "**avalancha electromagnética**" muy útil en los calorímetros electromagnéticos.

En la naturaleza se ve este fenómeno a gran escala en los "showers" producidos por los rayos cósmicos primarios (fundamentalmente protones) al entrar en la atmósfera ,que actúa como un enorme y complejo calorímetro. Los calorímetros que usamos en altas energías contienen un medio medio mucho más denso y regular...

Calibración de un fotomultiplicador por el método del fotoelectrón único




ACORDE
EMCAL
TRD
HMPID
PMD
V0
ZDC
~116m from I.P.