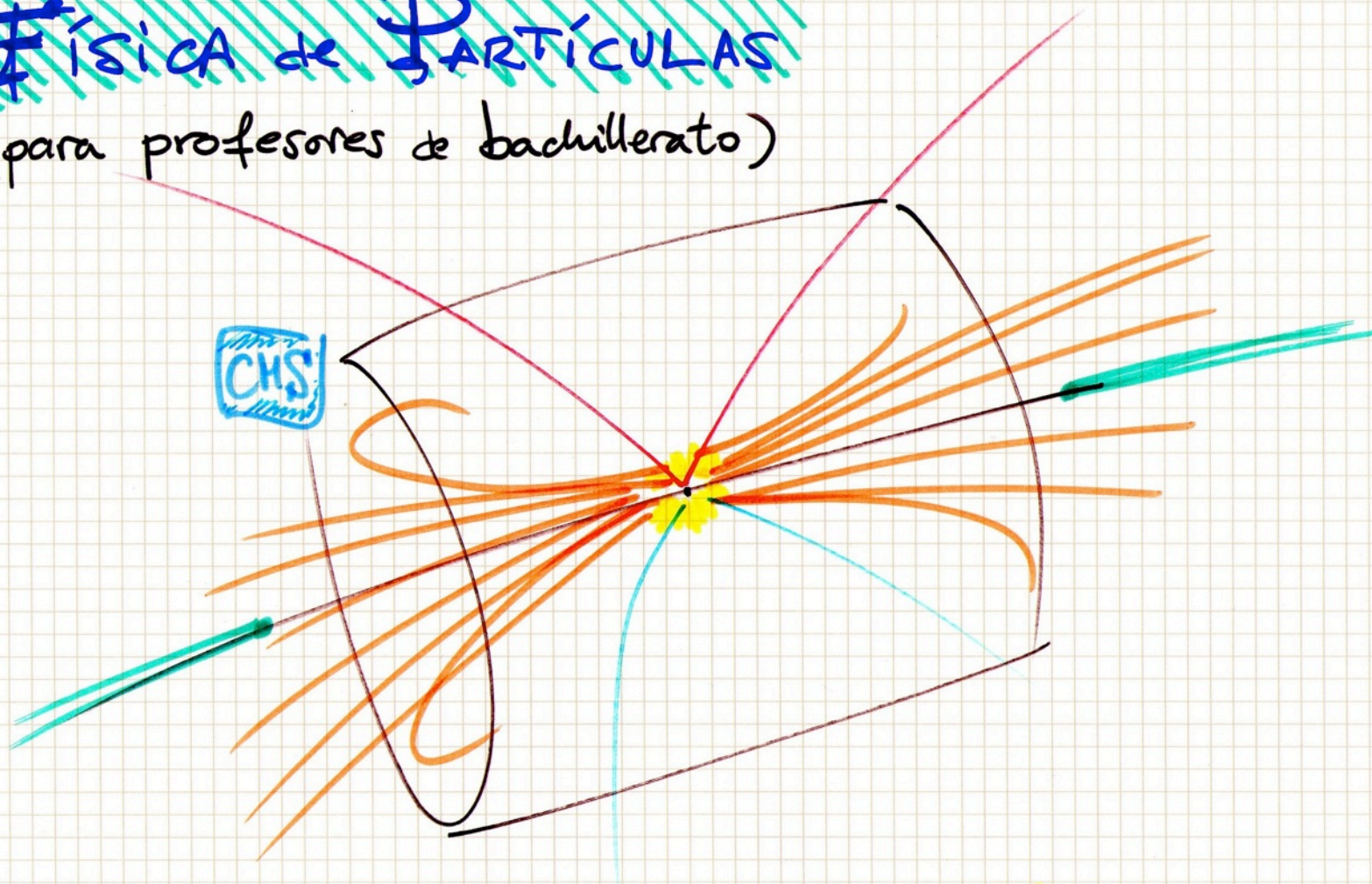


FÍSICA de PARTÍCULAS

(para profesores de bachillerato)



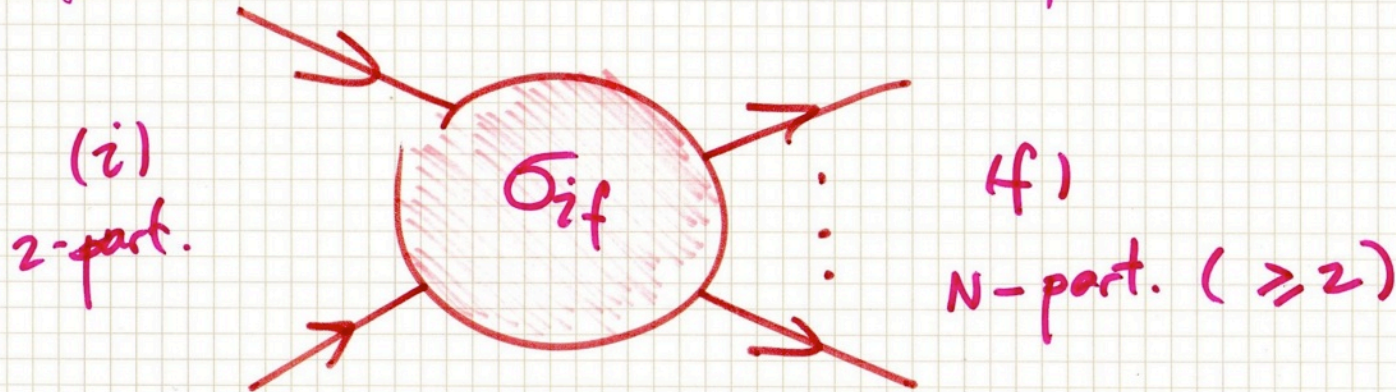
Detectores de
partículas

PABLO GARCÍA ABÍA
CIEMAT, Madrid

FÍSICA EXPERIMENTAL

Estados iniciales (i) y finales (f)

En general, los procesos de colisión son de la forma $i \rightarrow f$:



Se conservan los números cuánticos, el momento, la energía:

$$\bullet N_{C_i} = N_{C_f} \quad \bullet E_i = E_f \quad \bullet \sum \vec{p}_i = \sum \vec{p}_f$$

La sección eficaz, σ_{if} , es una función de los números cuánticos!

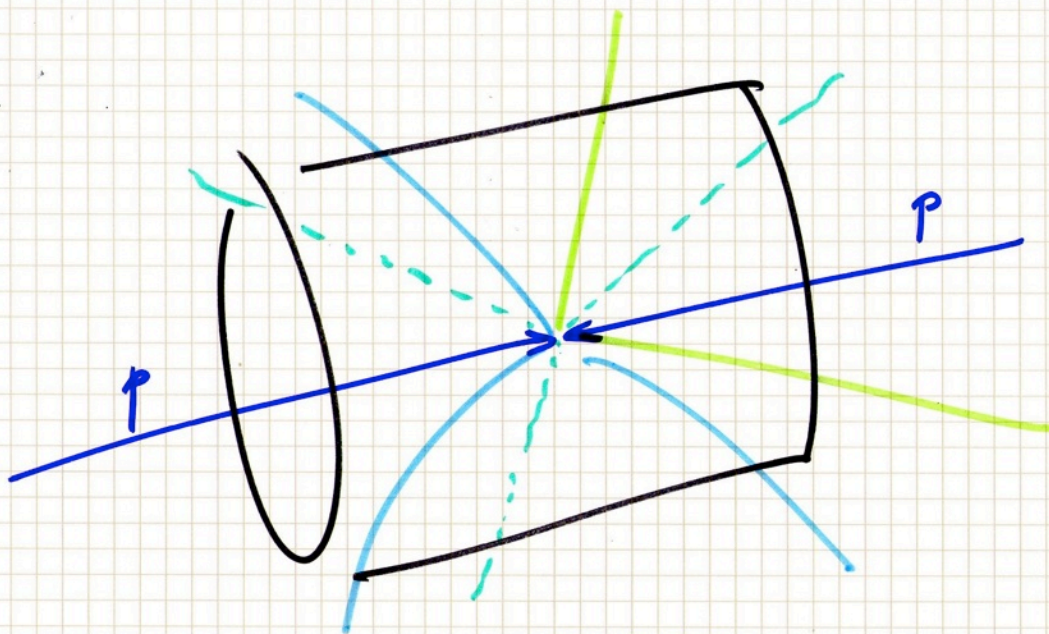
σ_{if} se puede calcular en el modelo estándar y medir en los experimentos.

LHC

¿CÓMO OBTENEMOS σ (exp.)?

$i \rightarrow$ LHC

$f \rightarrow$ CMS



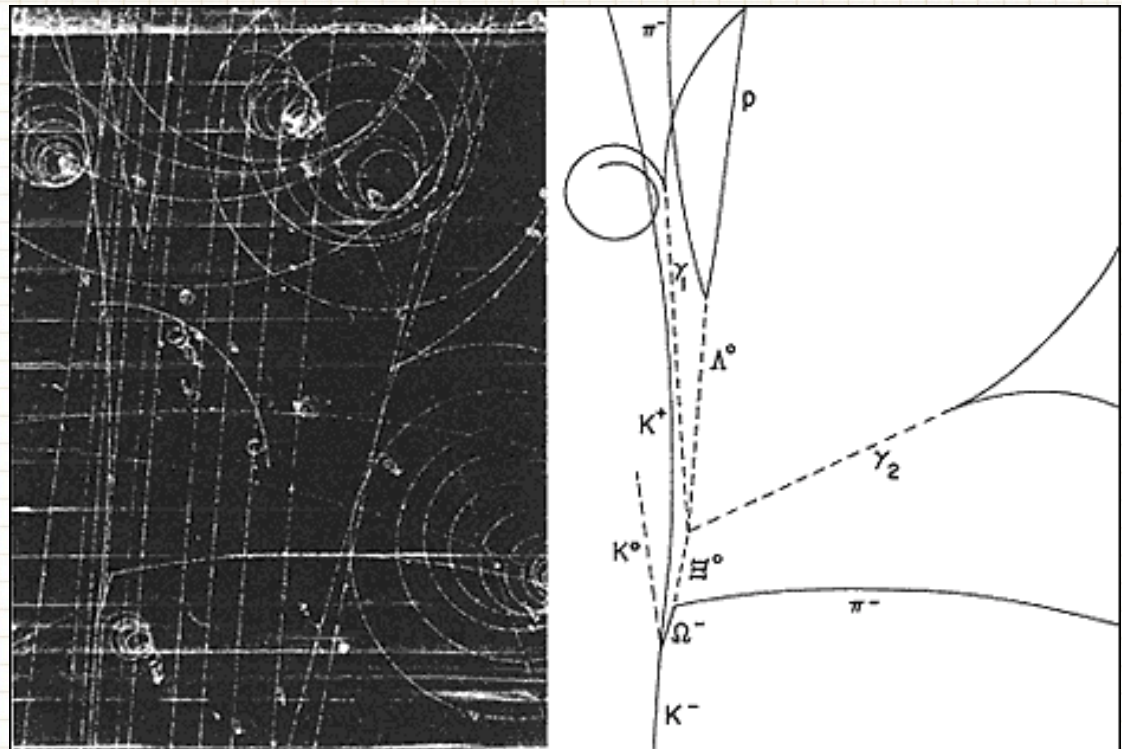
DETECTOR: registra señales \rightarrow identifica partículas \rightarrow mide propiedades:
 \vec{p} , carga, masa, vida media.

combina información de las partículas individuales para
determinar el proceso $i \rightarrow f$.

Por conservación de energía-momento se infiere el momento (energía, masa y carga) de las partículas no detectadas:

$$\vec{p}_{\Lambda^0} = \vec{p}_p + \vec{p}_{\pi^-}$$

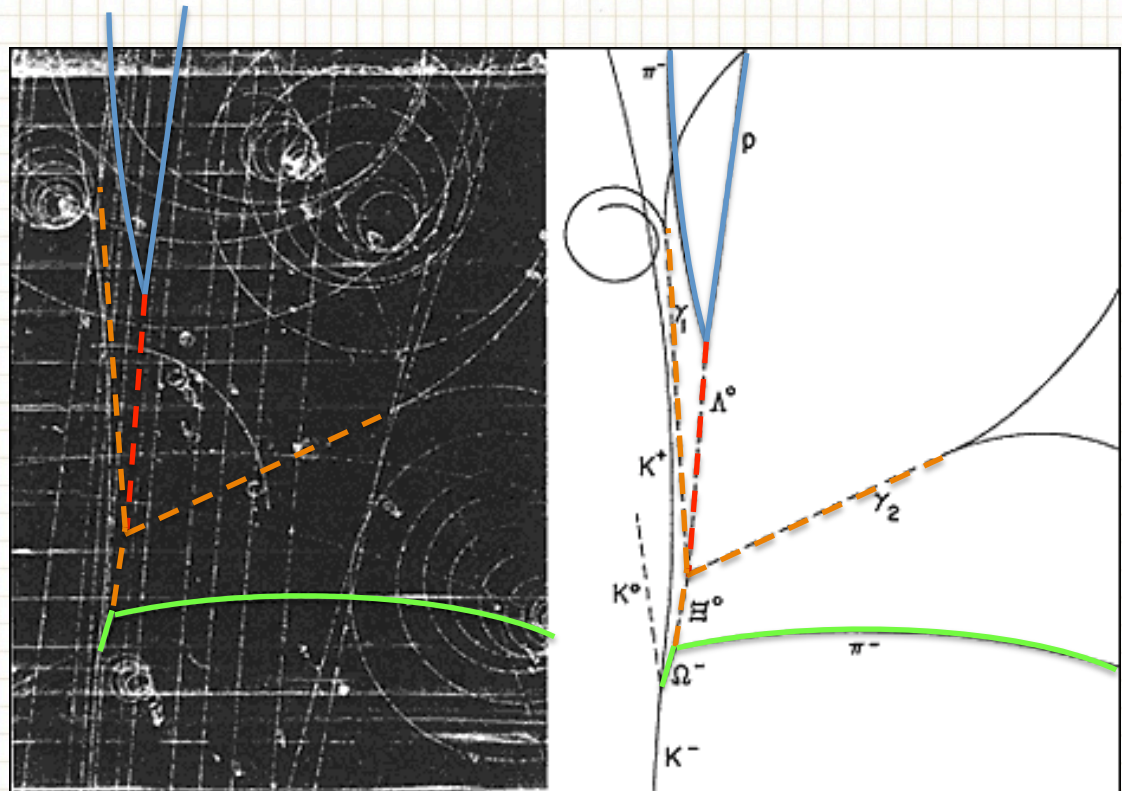
$$E_{\Lambda^0} = E_p + E_{\pi^-}$$



Por conservación de energía-momento se infiere el momento (energía, masa y carga) de las partículas no detectadas:

$$\vec{p}_{\Lambda^0} = \vec{p}_p + \vec{p}_{\pi^-}$$

$$E_{\Lambda^0} = E_p + E_{\pi^-}$$



¿ QUÉ DETECTAMOS Y MEDIMOS ?

La materia está hecha de partículas elementales que experimentan las interacciones descritas por el M.E.

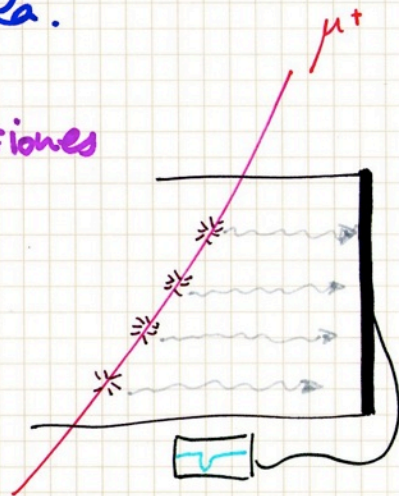
Las partículas (f) que interaccionan con la materia pierden E a través de diferentes procesos, que dependen del tipo de partícula.

Ⓐ Partículas cargadas relativistas: pierden E por colisiones con e^- atómicos \rightarrow excitación e ionización.

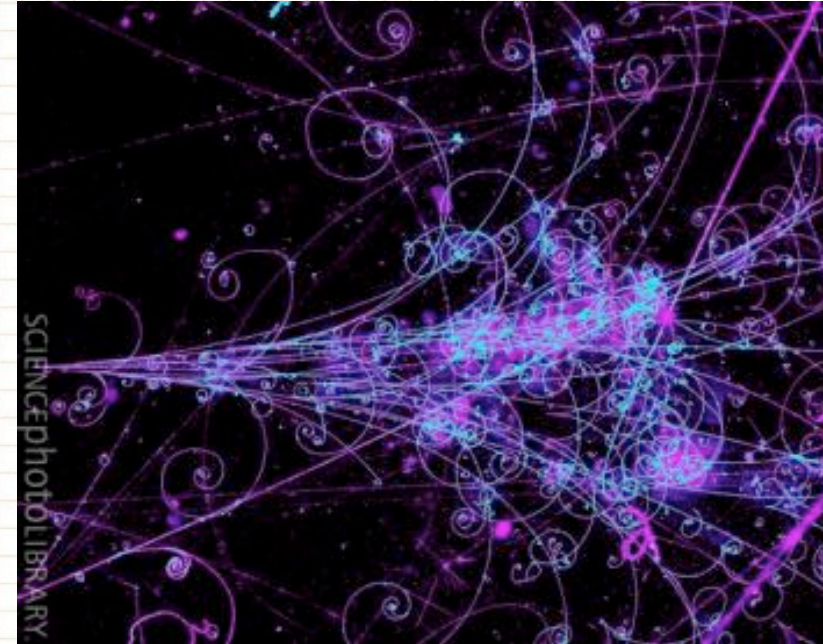
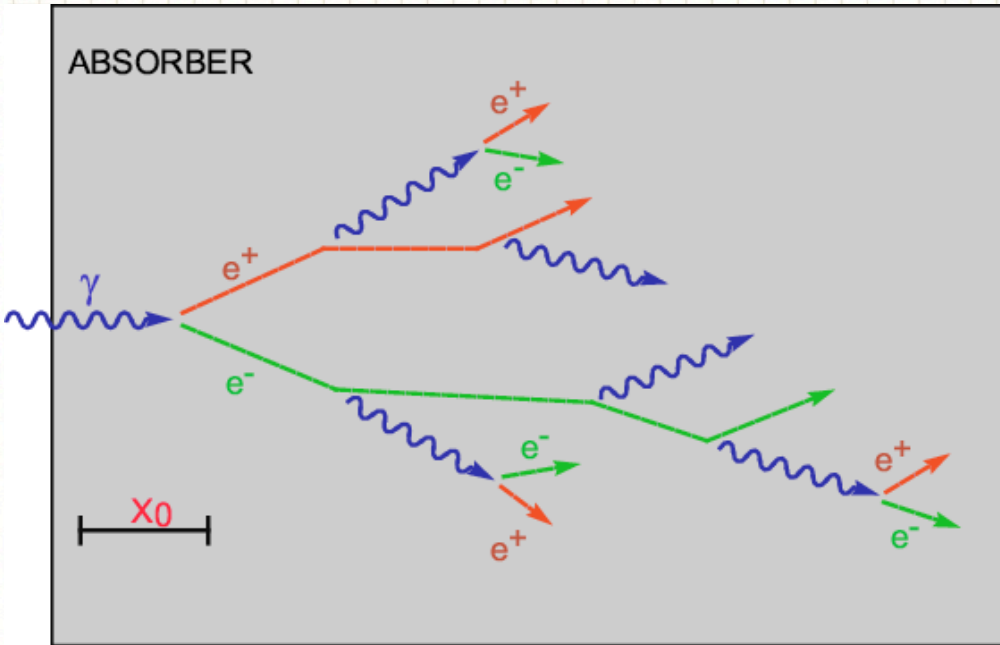
Ⓑ e^- y e^+ producen γ (bremstrahlung) debido a las interacciones con los campos \vec{E} nucleares.

Ⓒ Hadrones: int. con los núcleos y producen mesones cargados y neutros. Los núcleos absorben parte de la E que liberan emitiendo nucleones.

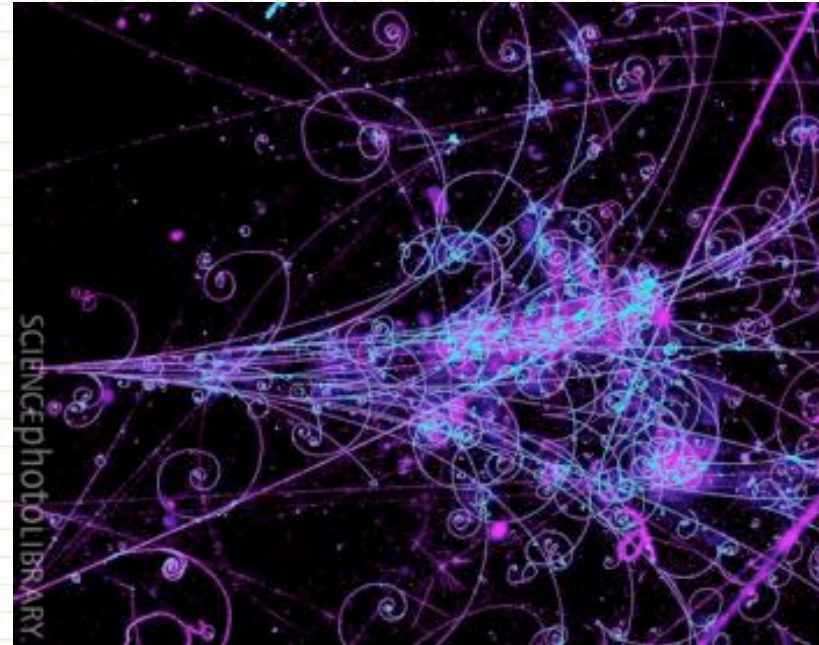
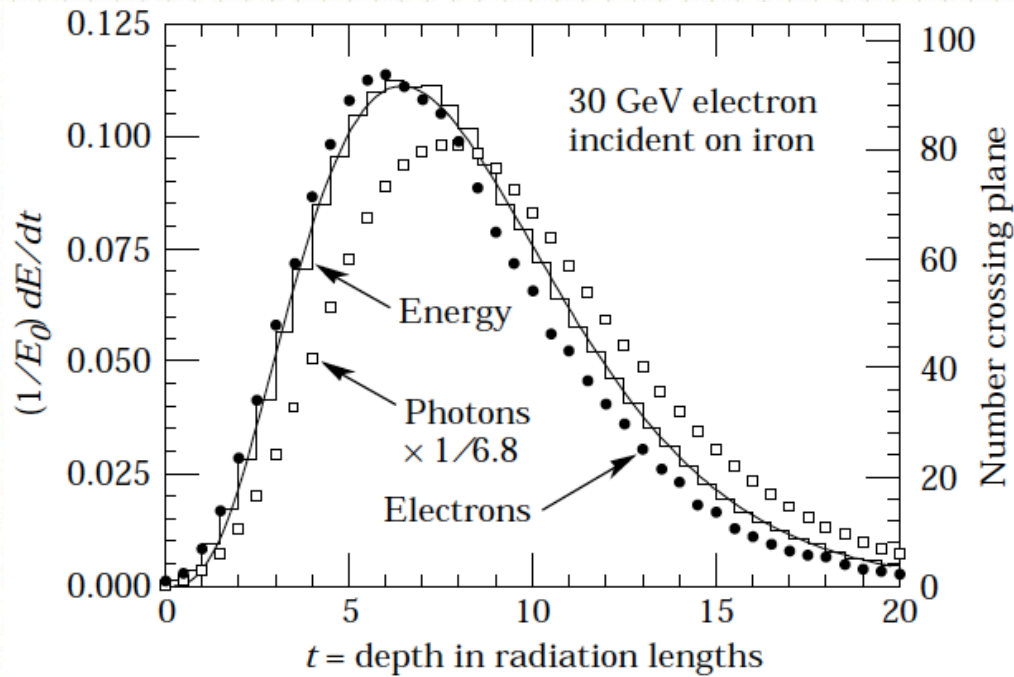
Ⓓ π : son absorbidos completamente, produciendo países e^+e^- .



cascadas electromagnéticas

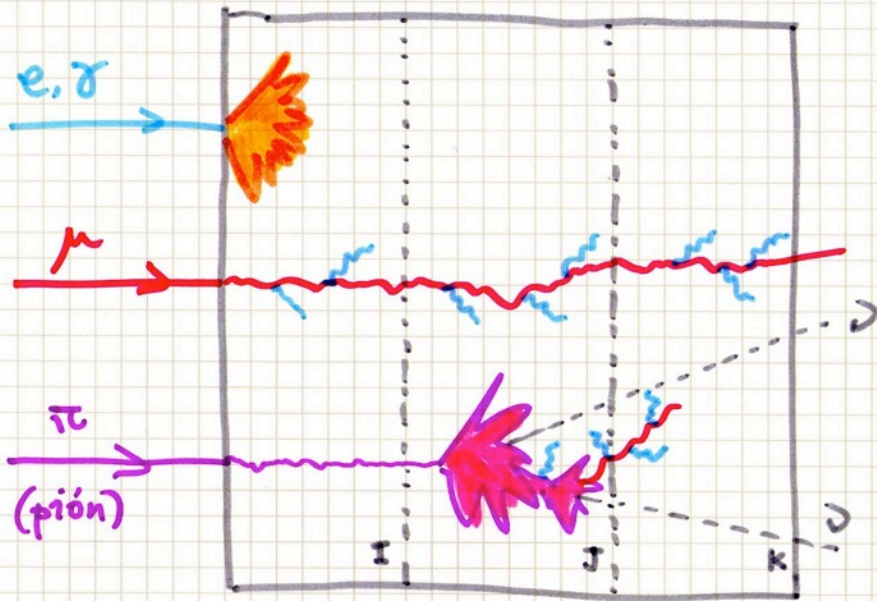


cascadas electromagnéticas



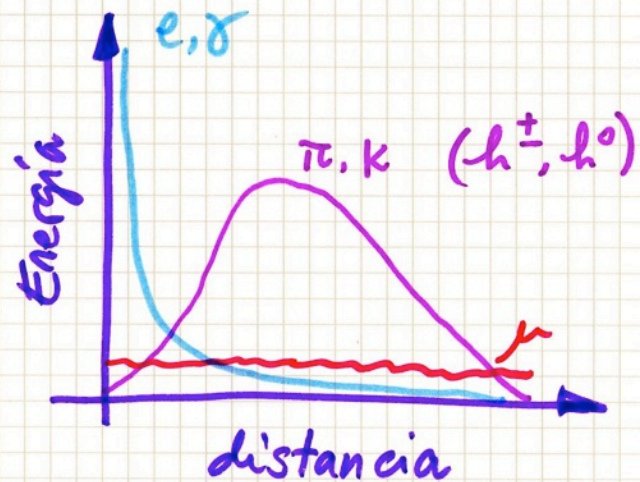
perfil lateral del depósito de energía
de electrones/positrones y fotones

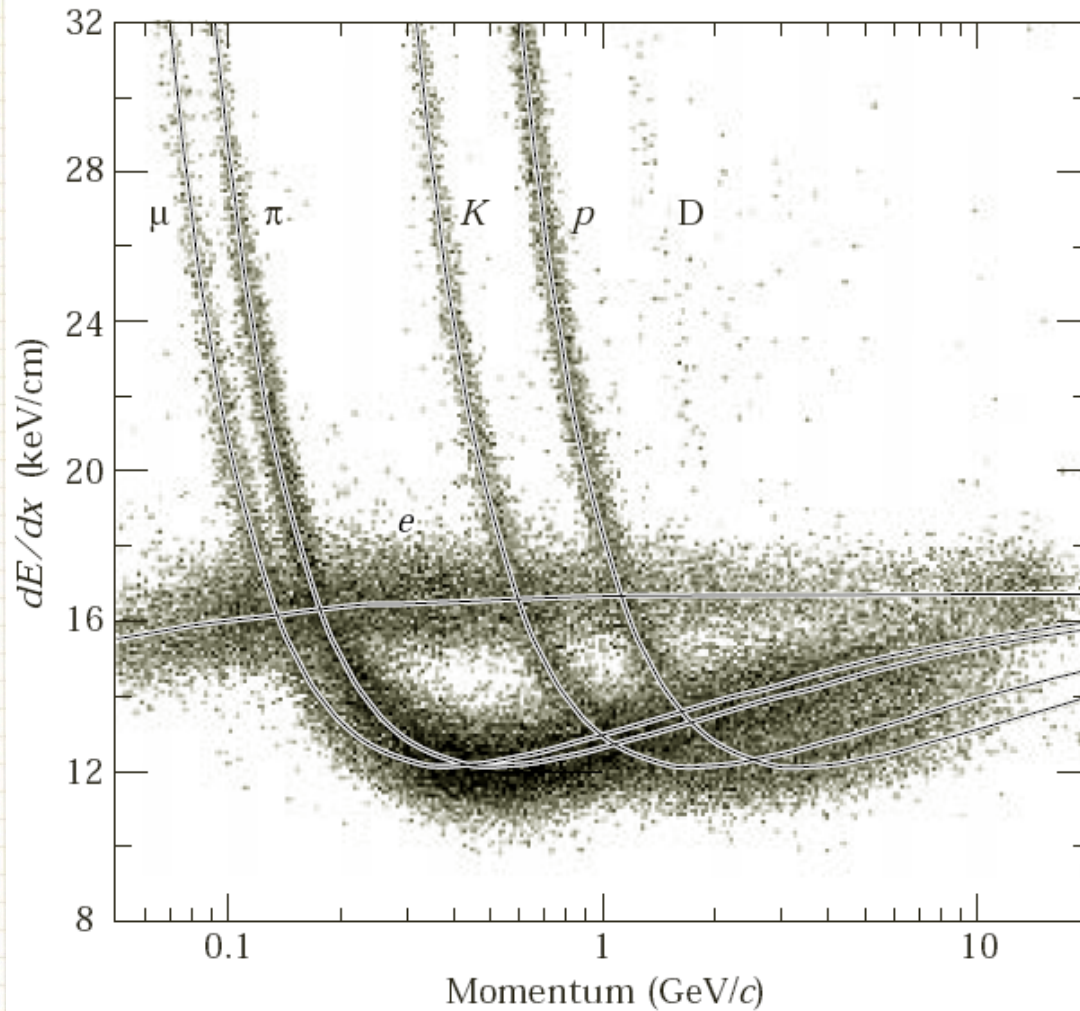
Las señales debidas a los procesos A, B, C y D nos ayudan a identificar las partículas.



I, J, K \rightarrow Detectores

- e, μ, γ : int. electromagnética
- ν \rightarrow invisible $\ddot{\smile}$
- h^{\pm} \rightarrow Q.C.D. e int. E.M.
- h^0 \rightarrow Q.C.D

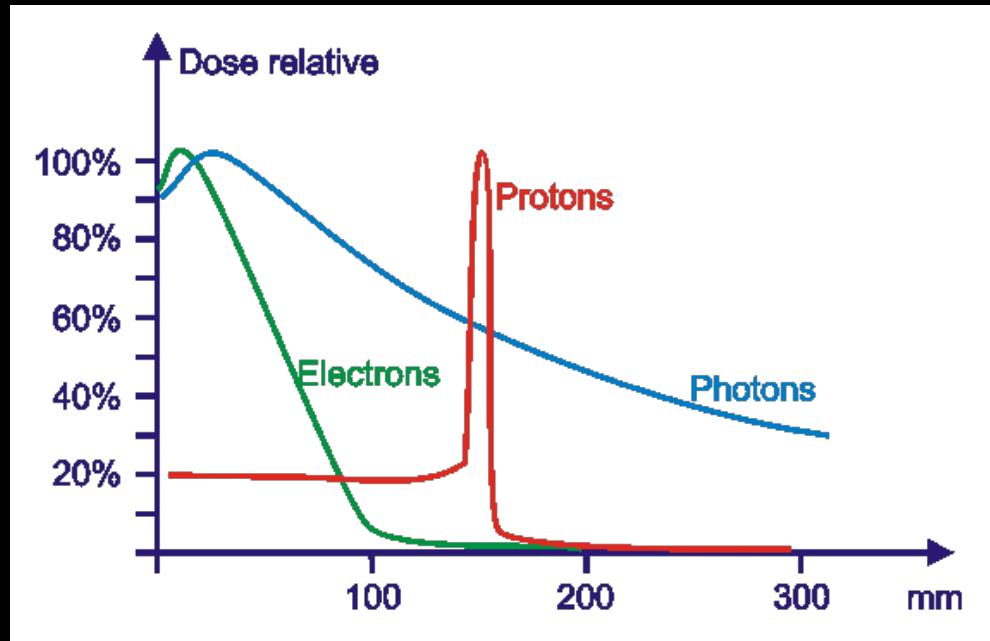




La energía perdida por unidad de distancia recorrida depende del cociente p/M ($\beta\gamma = p/Mc$), lo que se utiliza para identificar partículas.

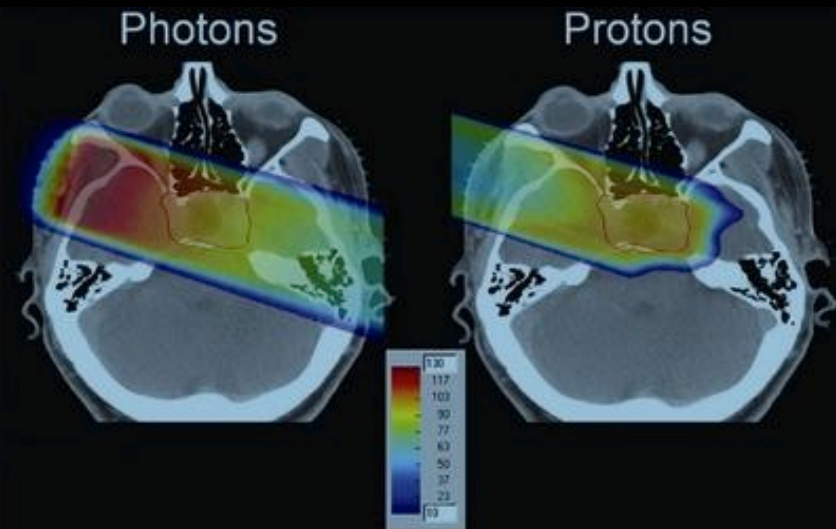
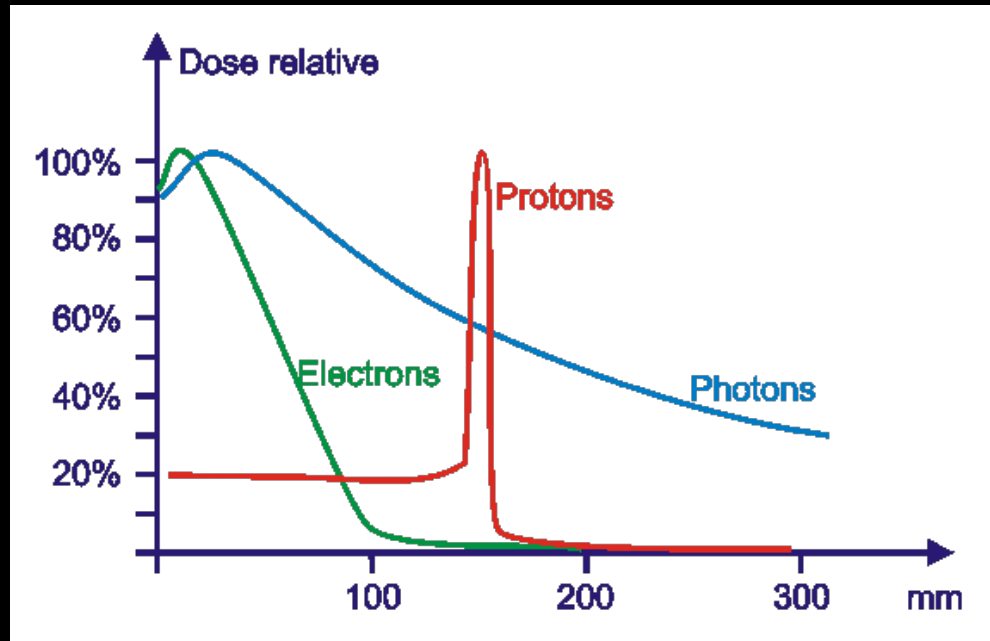
Terapia con hadrones

Los protones depositan toda su energía después de atravesar una cierta cantidad de materia (agua) en el llamado **pico de Bragg**.



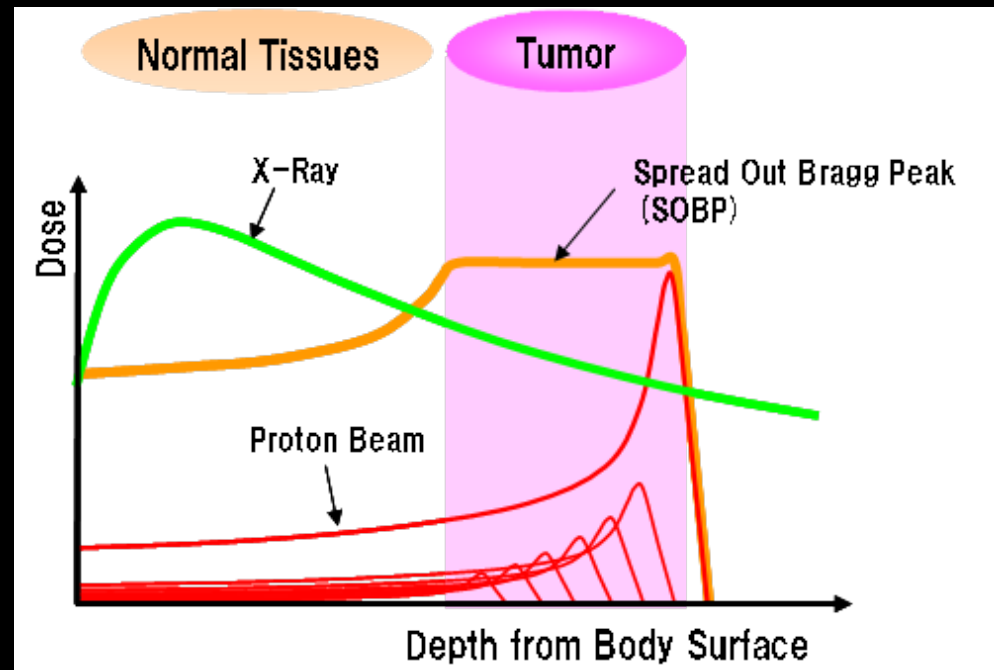
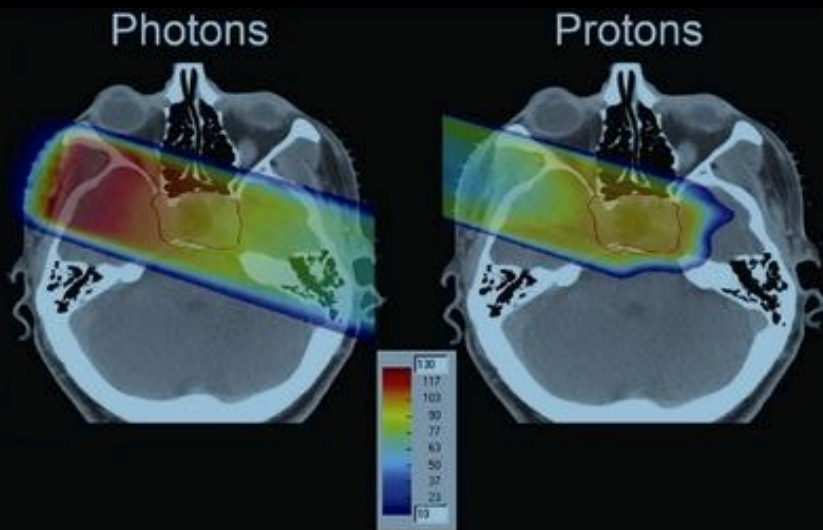
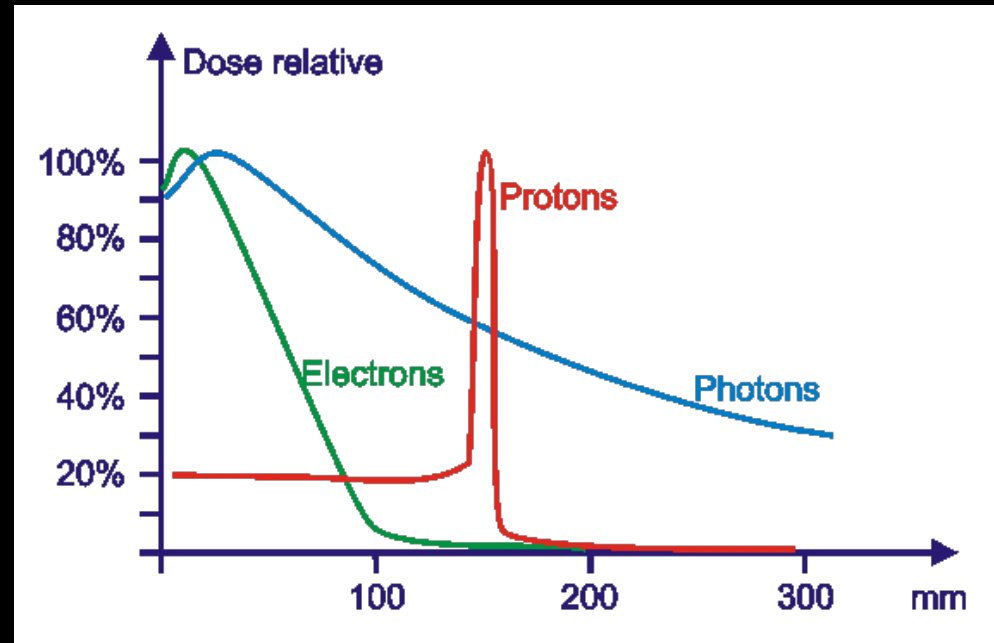
Terapia con hadrones

Los protones depositan toda su energía después de atravesar una cierta cantidad de materia (agua) en el llamado **pico de Bragg**.



Terapia con hadrones

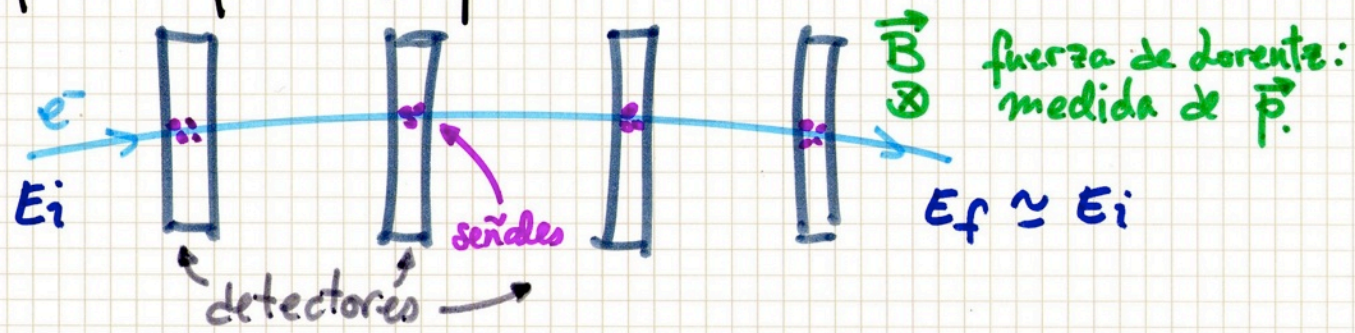
Los protones depositan toda su energía después de atravesar una cierta cantidad de materia (agua) en el llamado **pico de Bragg**.



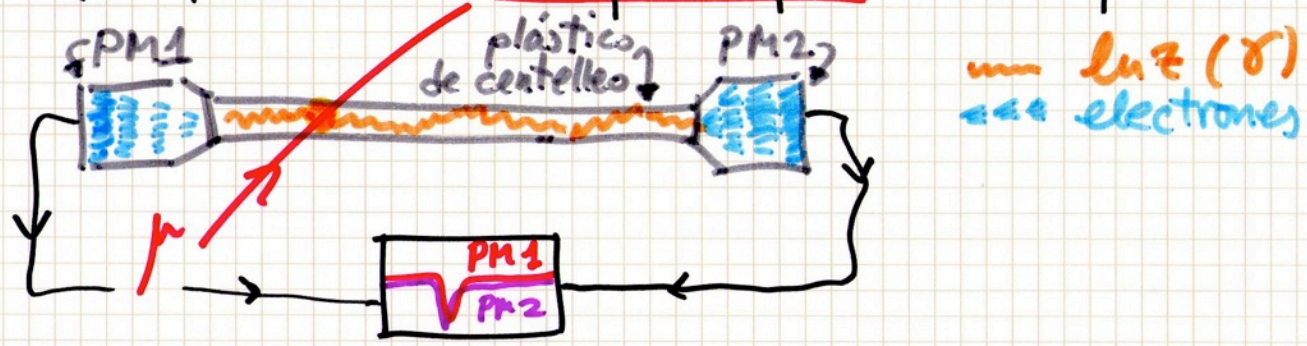
TIPOS DE DETECTORES

① D. de trazas: apenas alteran la trayectoria de las partículas (pierden poca ϵ) permitiendo su medida sin alterarla.

p.e: gas (TPC)
silicio



② de centelleo: detectan minúsculos depósitos de luz, midiendo con gran precisión el tiempo de paso de las partículas.

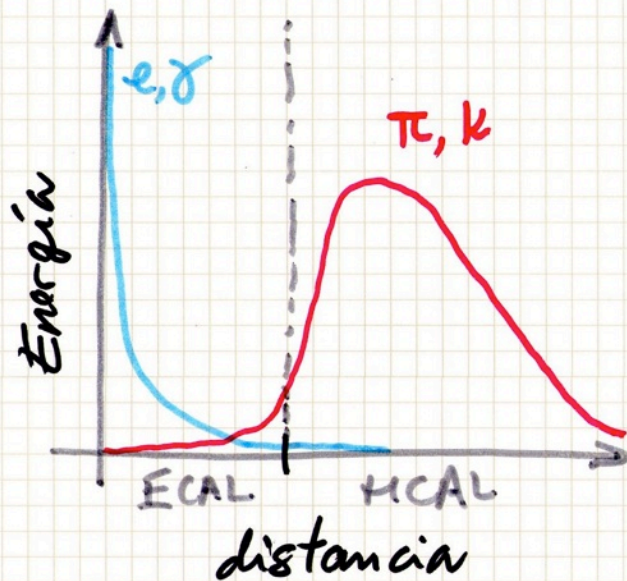
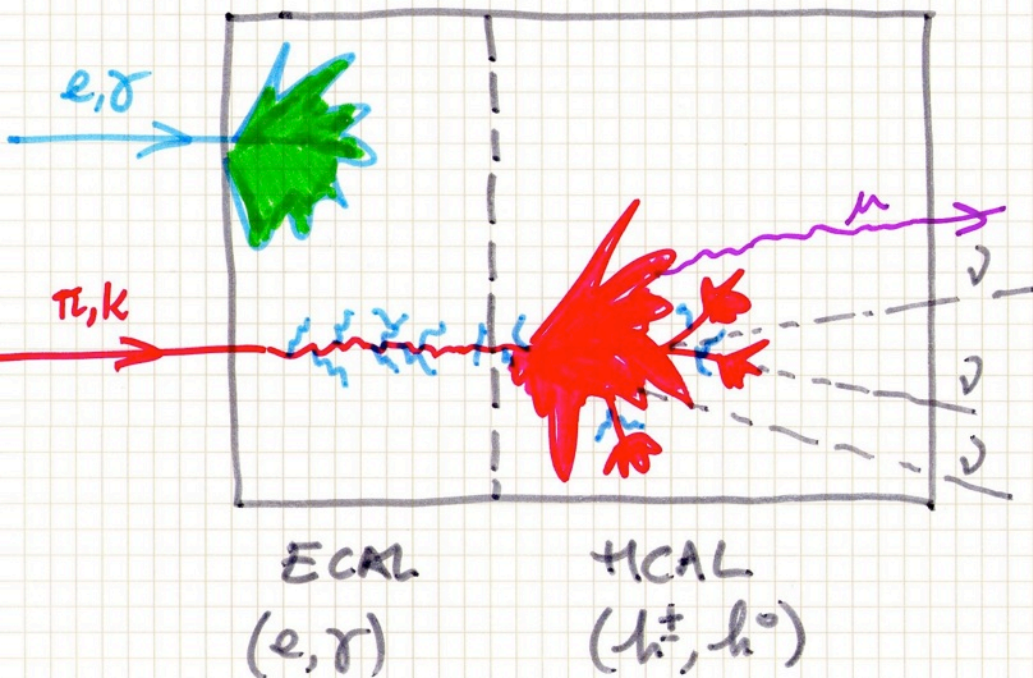


● calorímetros: "impiden" el paso de las partículas, midiendo su energía (en el proceso de detención) y posición de impacto (a veces, dirección).

Son densos y homogéneos. Los hay electromagnéticos y hadrónicos.
 (cristales, latón, plomo...)

ECAL

HCAL



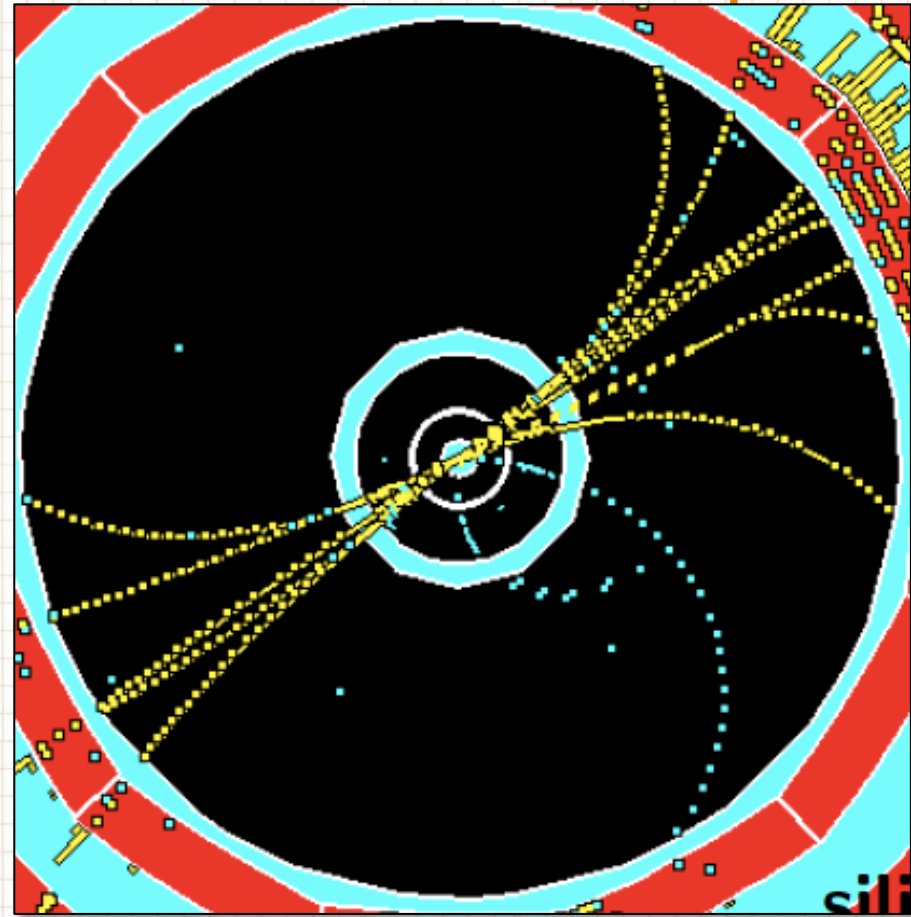
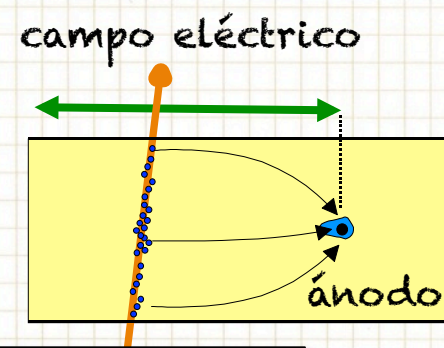
detector de trazas

TPC del experimento
ALEPH del acelerador
LEP (CERN).

Detector gaseoso:

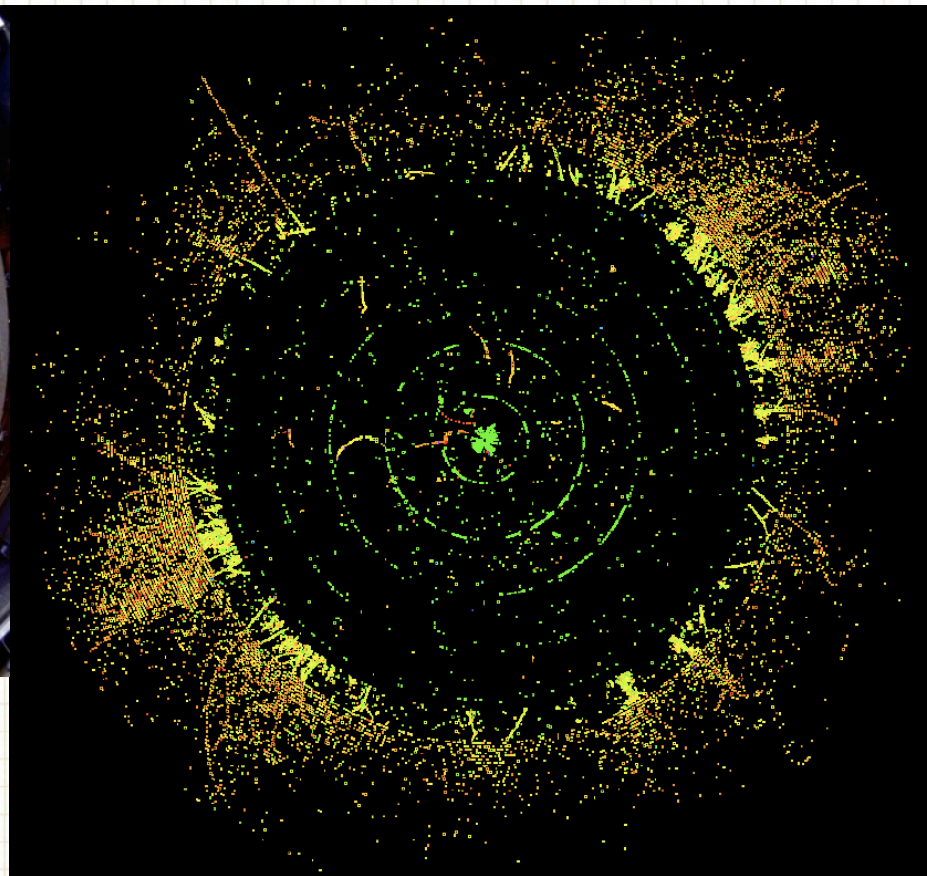
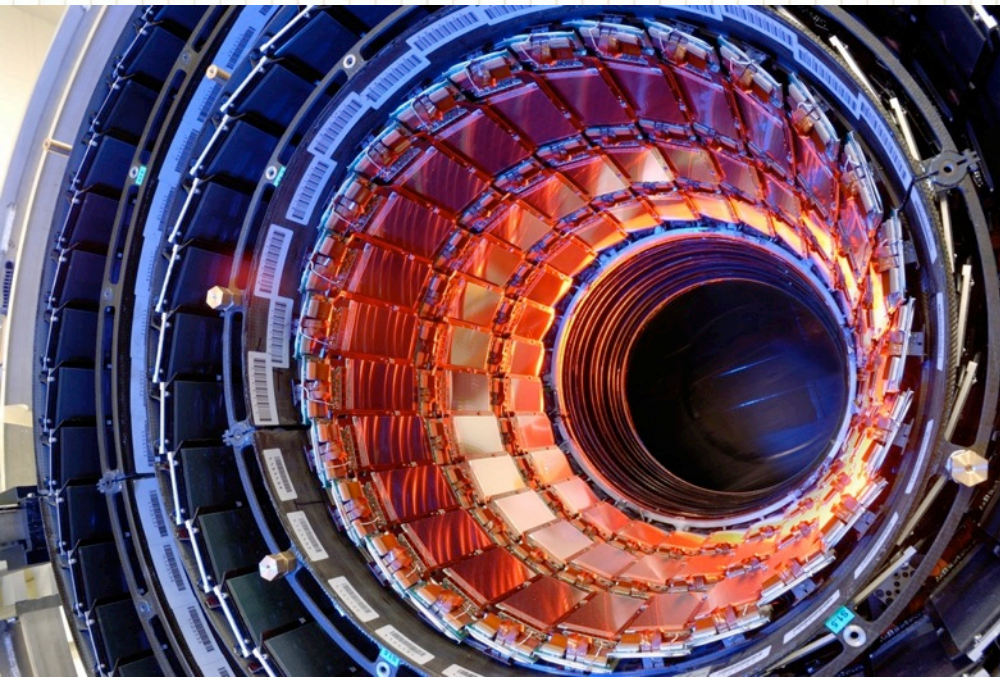
La ionización producida en el gas por las partículas cargadas produce una descarga que se propaga por la cámara y es detectada por dispositivos electrónicos.

Detector muy preciso,
pero lento.



La curvatura es inversamente proporcional al momento de las partículas

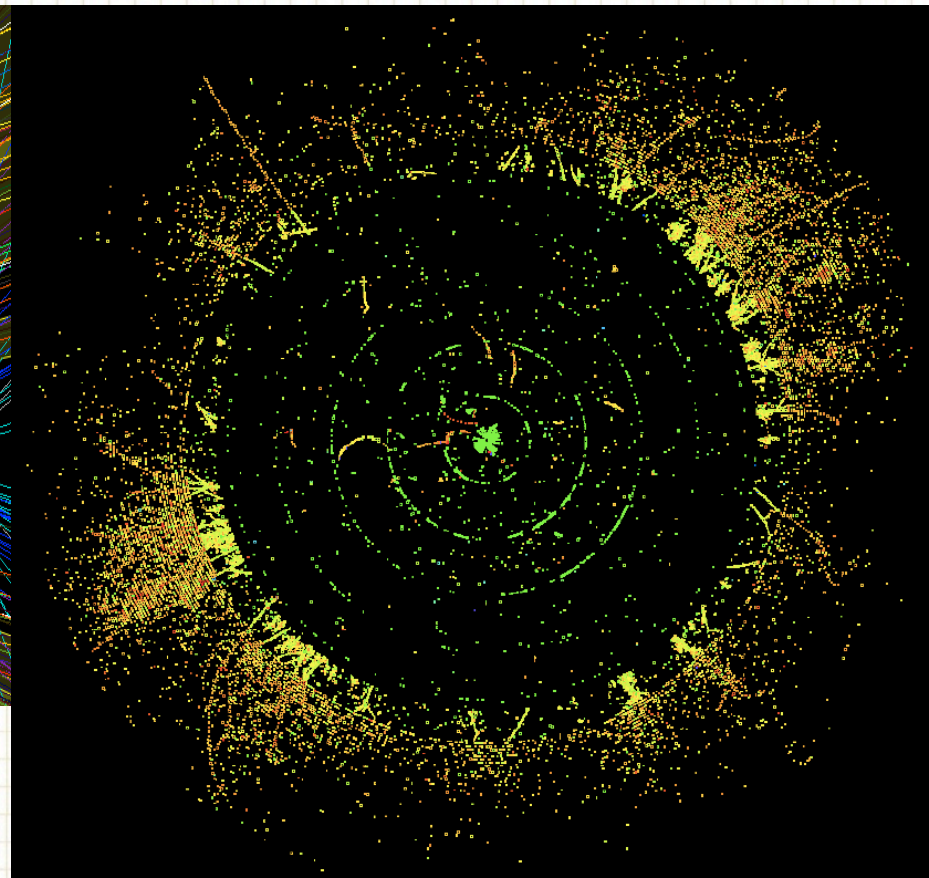
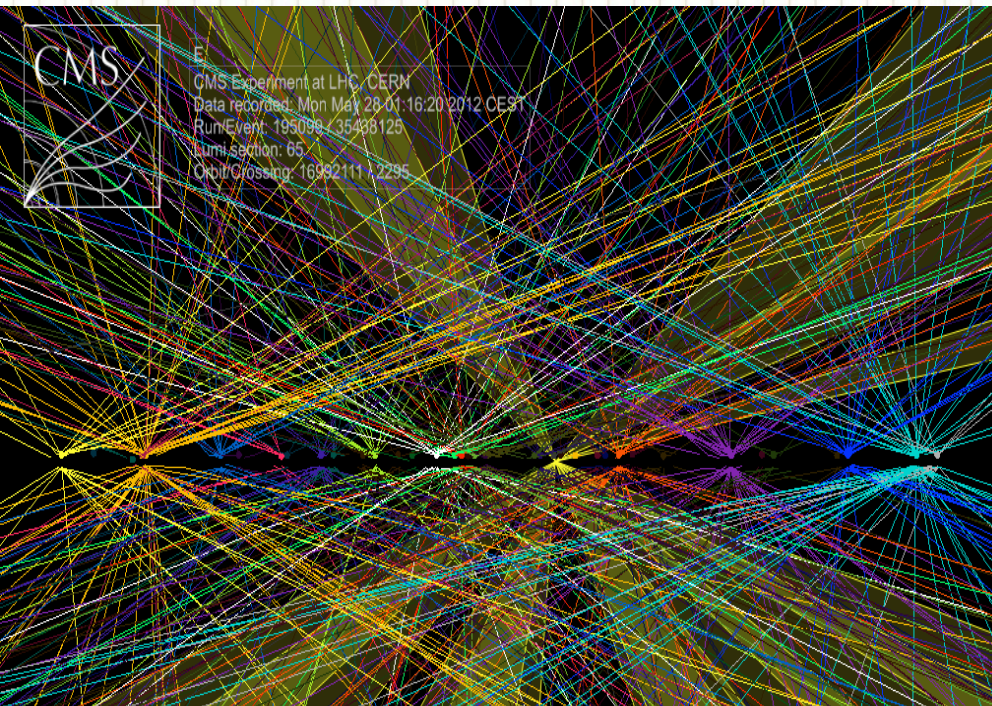
detector de Silicio del experimento CMS del acelerador LHC



La ionización producida en el material semiconductor (Si) por las partículas cargadas produce una corriente que es detectada por tarjetas electrónicas ultrarrápidas.

Detector muy preciso y rápido, ideal para LHC.

detector de Silicio del experimento CMS del acelerador LHC

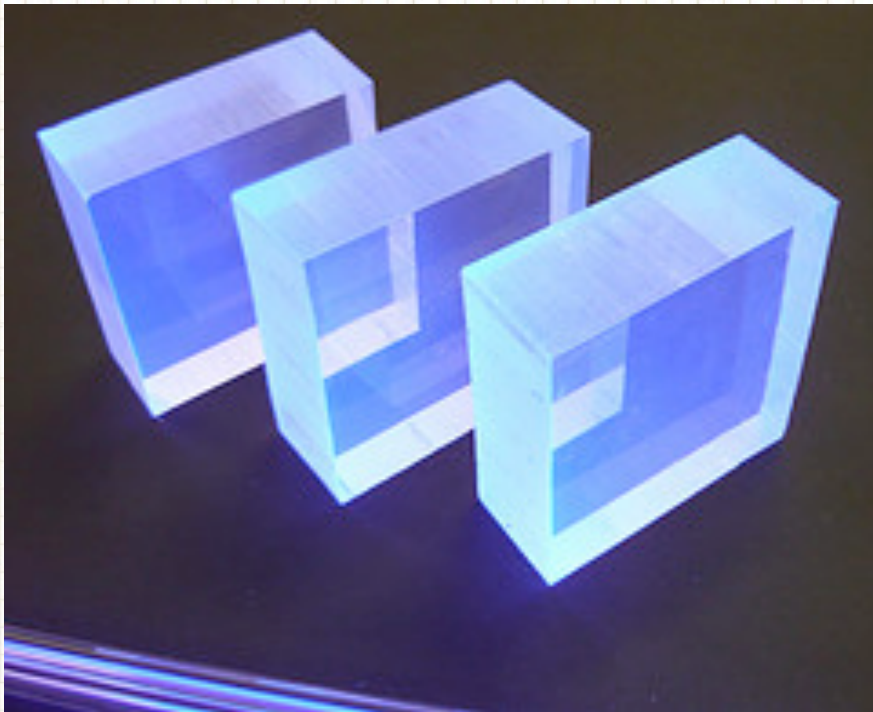


La ionización producida en el material semiconductor (Si) por las partículas cargadas produce una corriente que es detectada por tarjetas electrónicas ultrarrápidas.

Detector muy preciso y rápido, ideal para LHC.

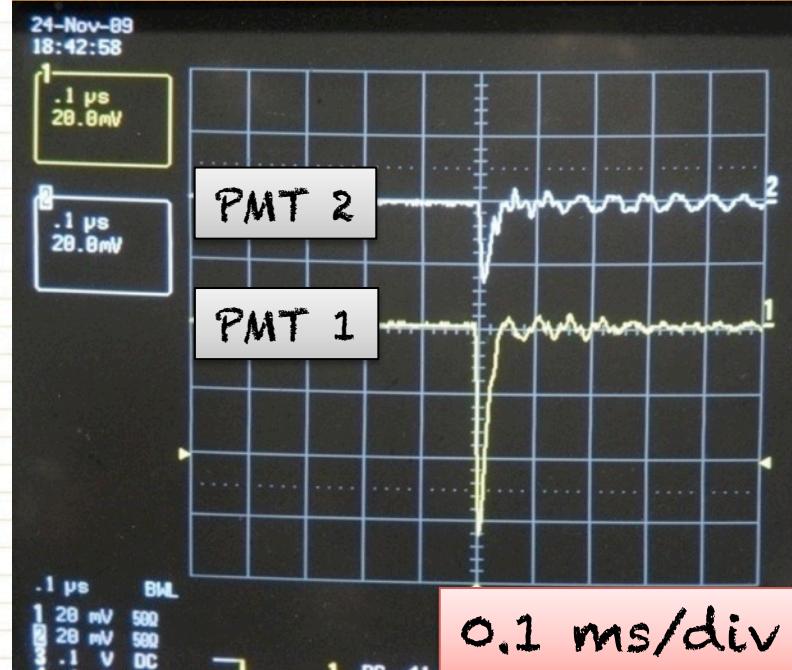
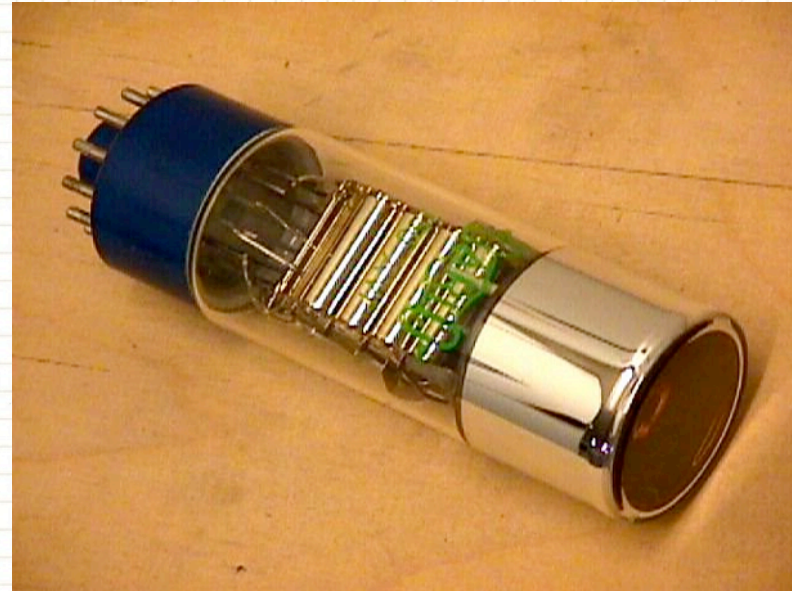
plásticos de centello y PMTs (fotomultiplicadores)

plástico centelleador
emitiendo luz UV



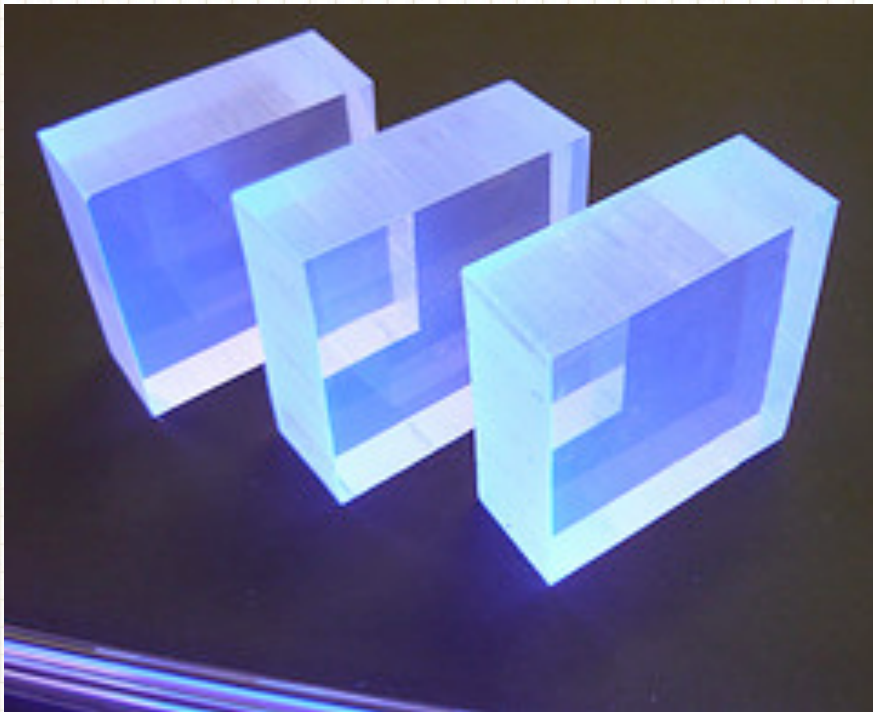
Detectores muy rápidos y con muy buena resolución temporal.

Muy apropiados para TRIGGER.



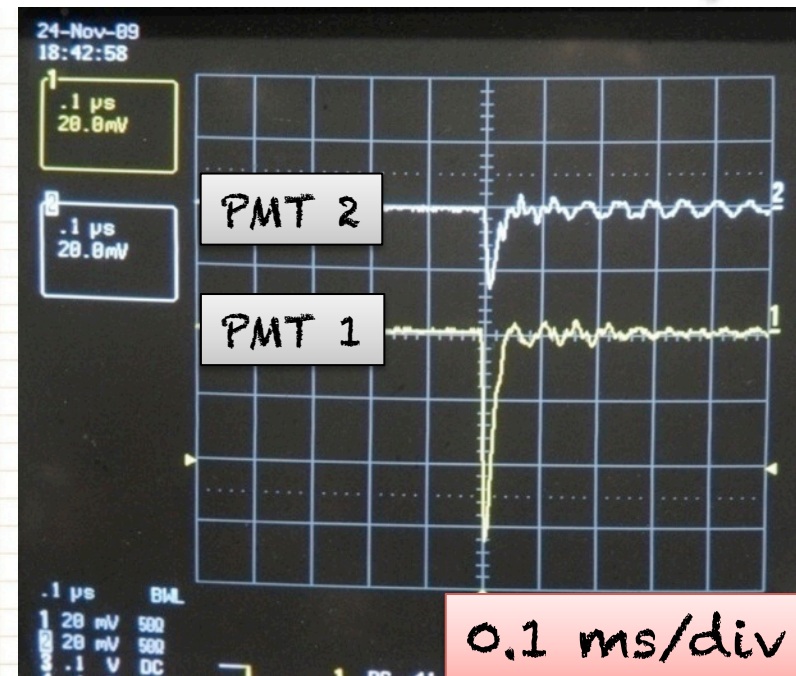
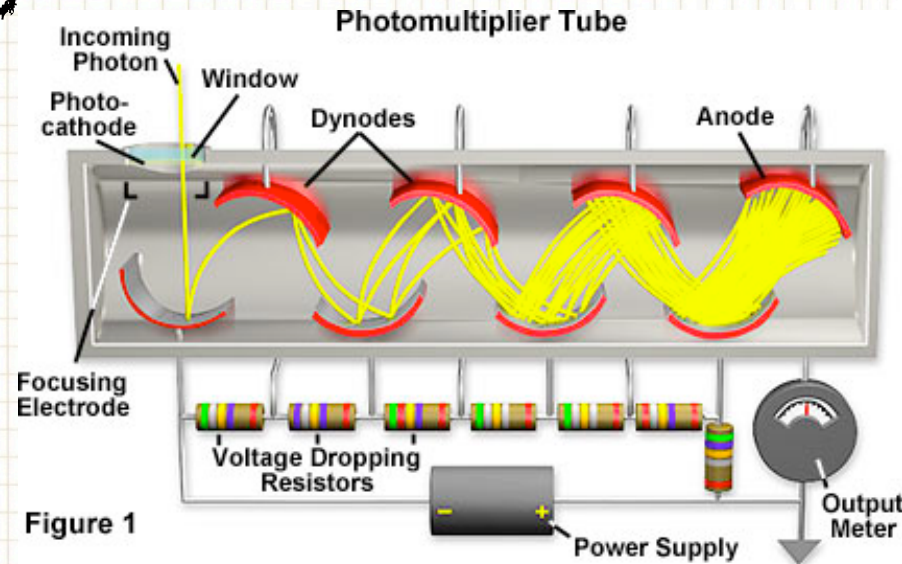
plásticos de centello y PMTs (fotomultiplicadores)

plástico centelleador emitiendo luz UV



Detectores muy rápidos y con muy buena resolución temporal.

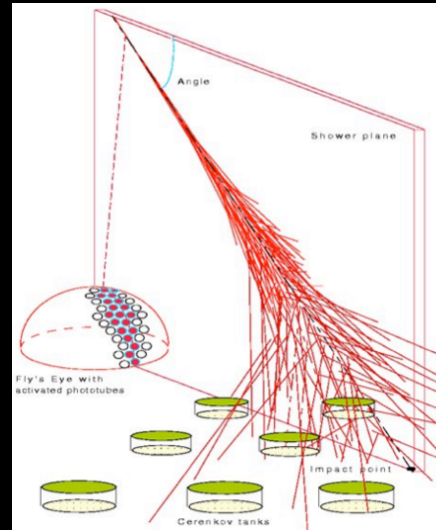
Muy apropiados para TRIGGER.



detección de rayos cósmicos

Los detectores de fluorescencia de rayos cósmicos utilizan la atmósfera como un centelleador gigante para medir la luz producida por partículas relativistas:

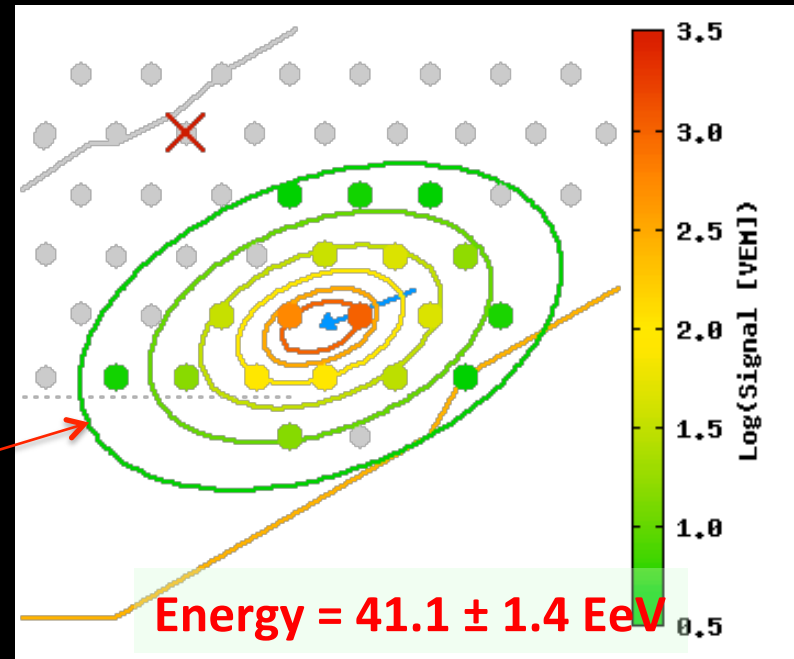
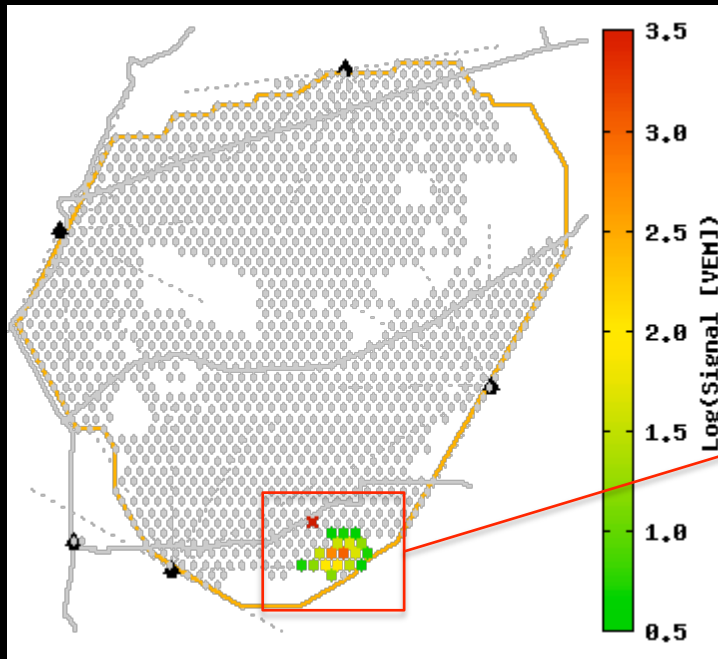
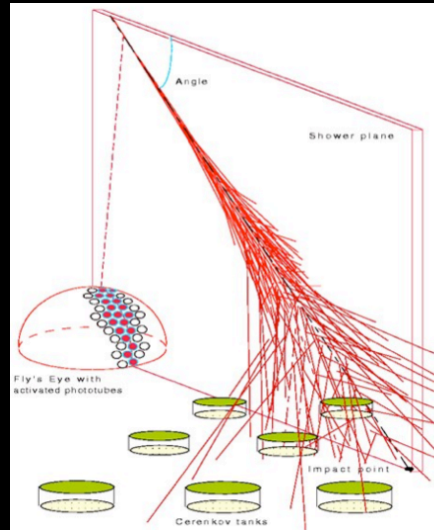
$$E > 10^{17} \text{ eV}$$



detección de rayos cósmicos

Los detectores de fluorescencia de rayos cósmicos utilizan la atmósfera como un centelleador gigante para medir la luz producida por partículas relativistas:

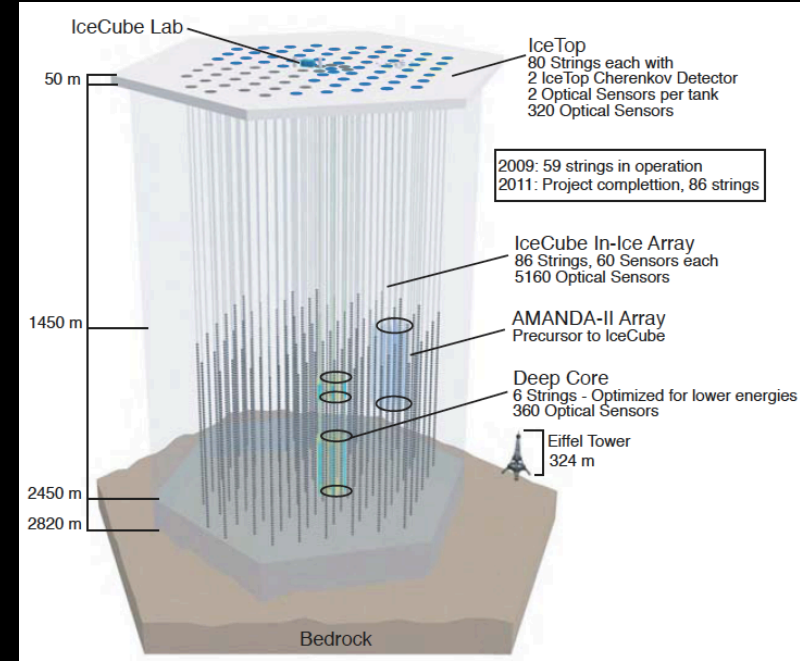
$$E > 10^{17} \text{ eV}$$



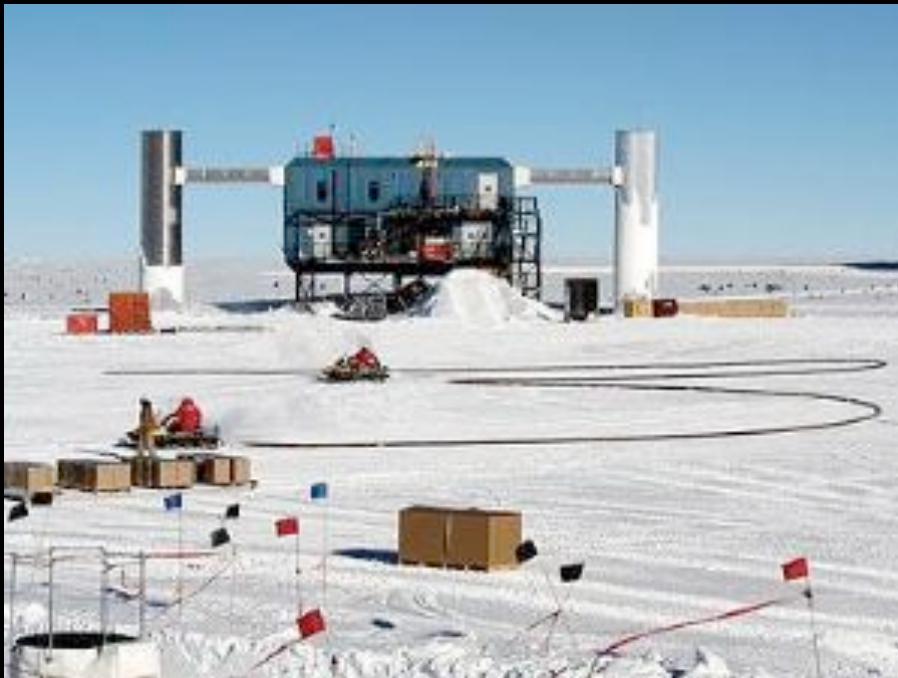
IceCube

Detector de 1 km^3 con más de 5000 sensores ópticos, sumergidos en el hielo del polo Sur.

Búsqueda de materia oscura y estudio del origen de los rayos cósmicos de altísima energía, a partir de interacciones de neutrinos: 10^4 neutrinos atmosféricos por año con $E_\nu > 500 \text{ GeV}$, unos pocos con $E_\nu > 100 \text{ TeV}$.



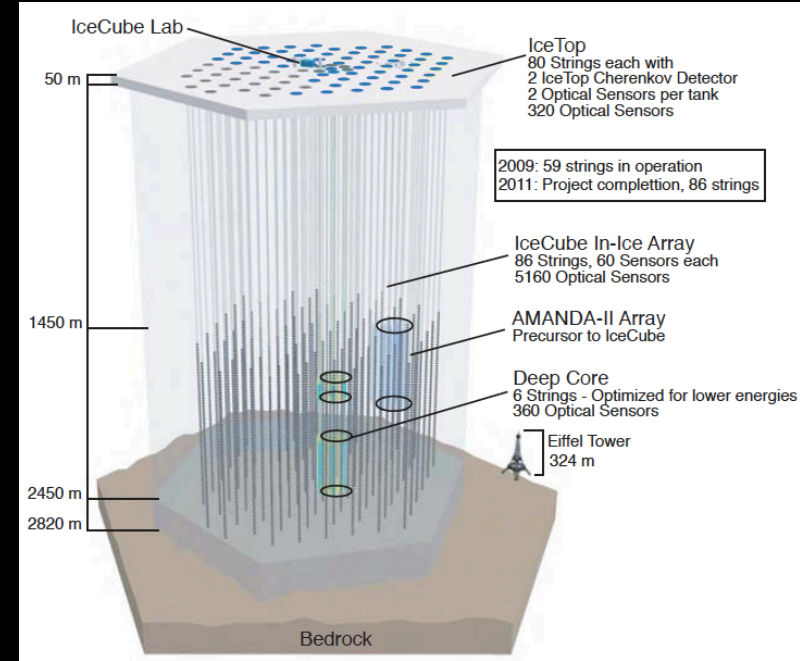
fotomultiplicador



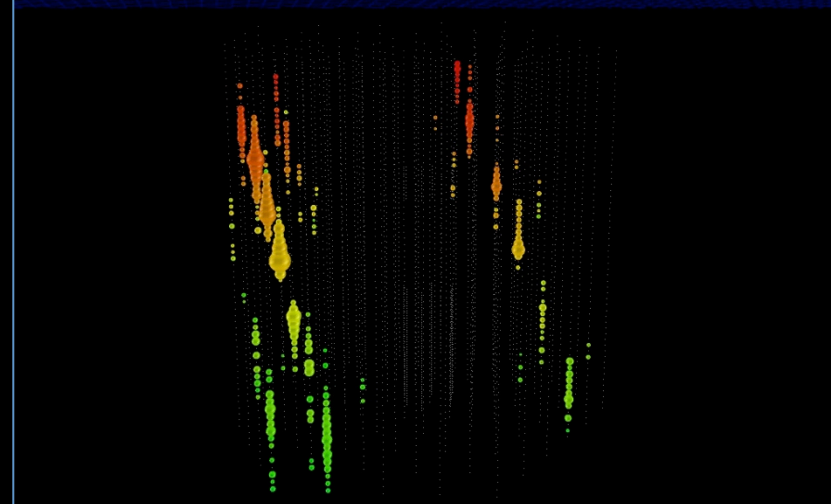
IceCube

Detector de 1 km^3 con más de 5000 sensores ópticos, sumergidos en el hielo del polo Sur.

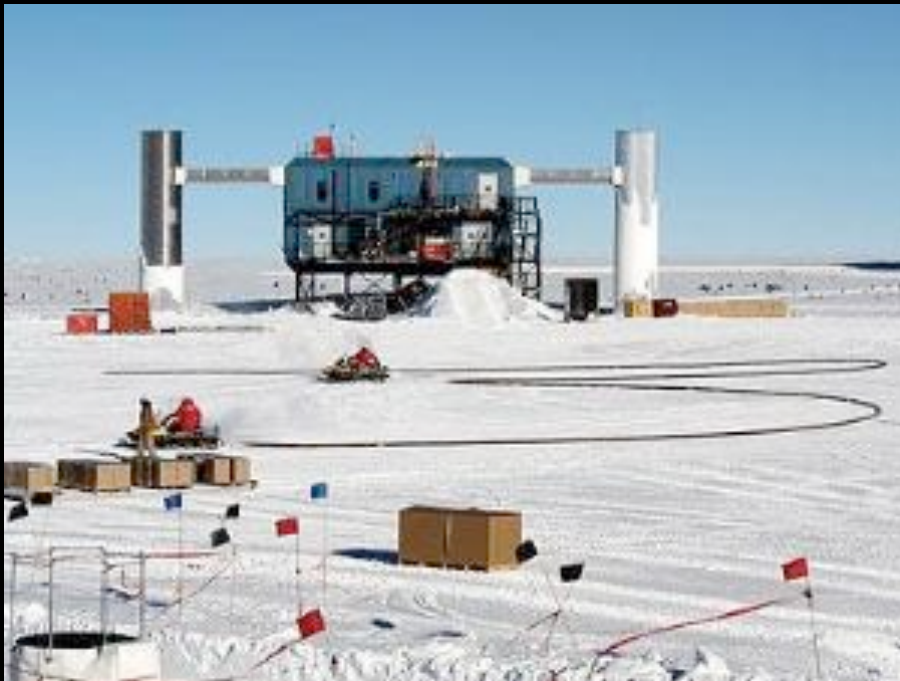
Búsqueda de materia oscura y estudio del origen de los rayos cósmicos de altísima energía, a partir de interacciones de neutrinos: 10^4 neutrinos atmosféricos por año con $E_\nu > 500 \text{ GeV}$, unos pocos con $E_\nu > 100 \text{ TeV}$.



Tue Sep 7 03:34:17 2010

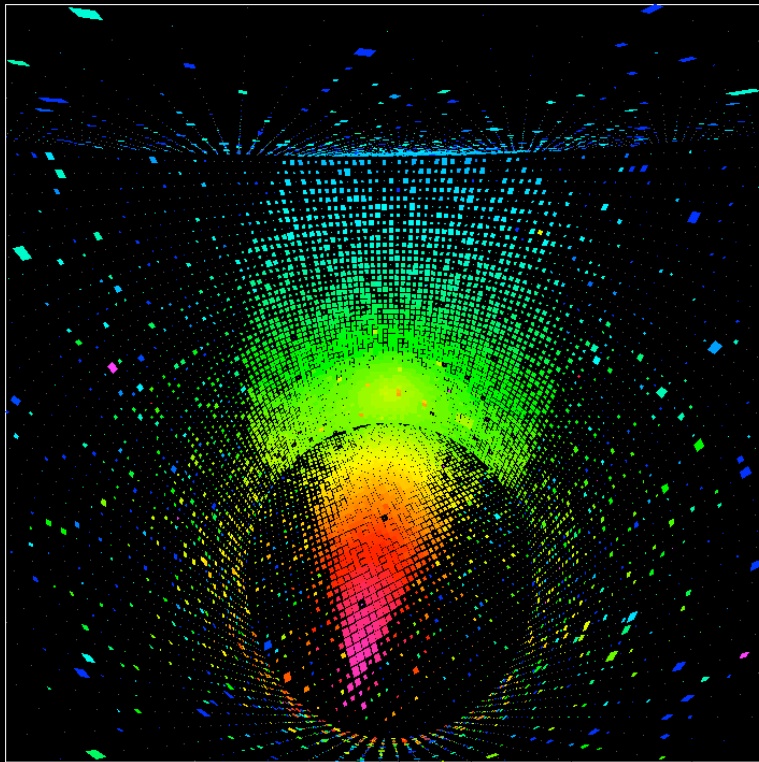


Run 116511 Event 2402171 [Ons, 40000ns]



detectores de neutrinos

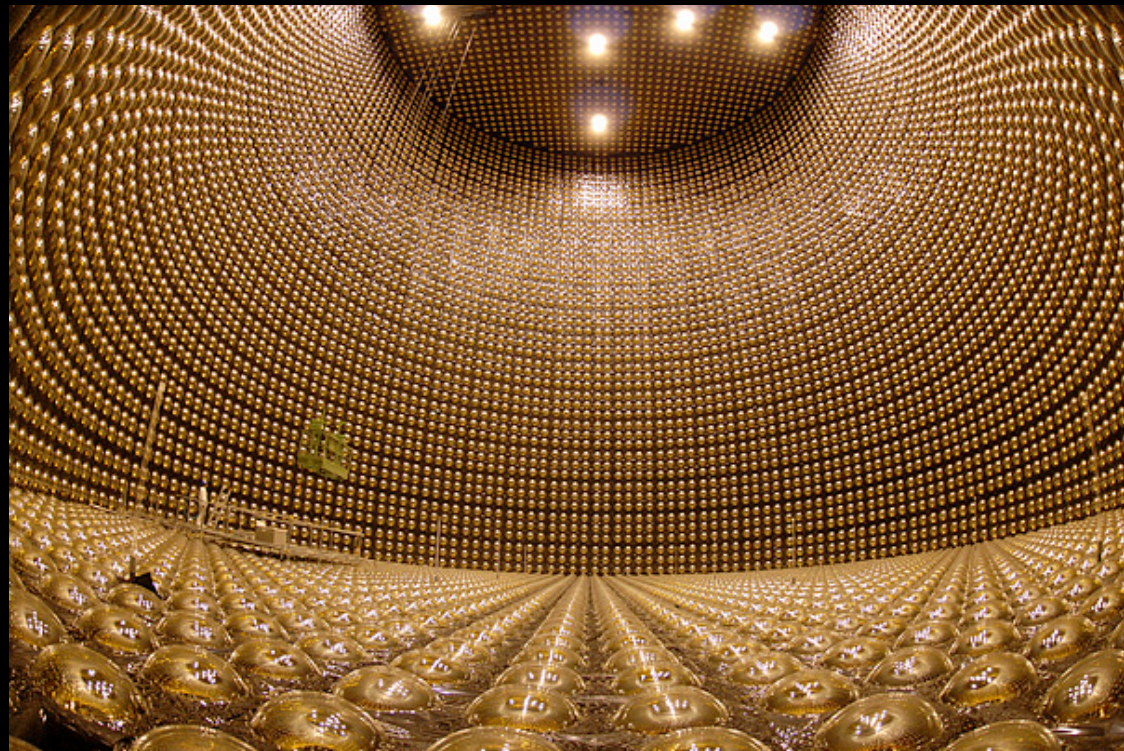
Un partícula cargada emite radiación si su velocidad es mayor que la velocidad de la luz en ese medio: radiación Cherenkov. La radiación se concentra en un cono de revolución en torno a la traza de la partícula: ángulo = $f(v, n)$.



detectores de neutrinos

Un partícula cargada emite radiación si su velocidad es mayor que la velocidad de la luz en ese medio: radiación Cherenkov. La radiación se concentra en un cono de revolución en torno a la traza de la partícula: ángulo = $f(v, n)$.

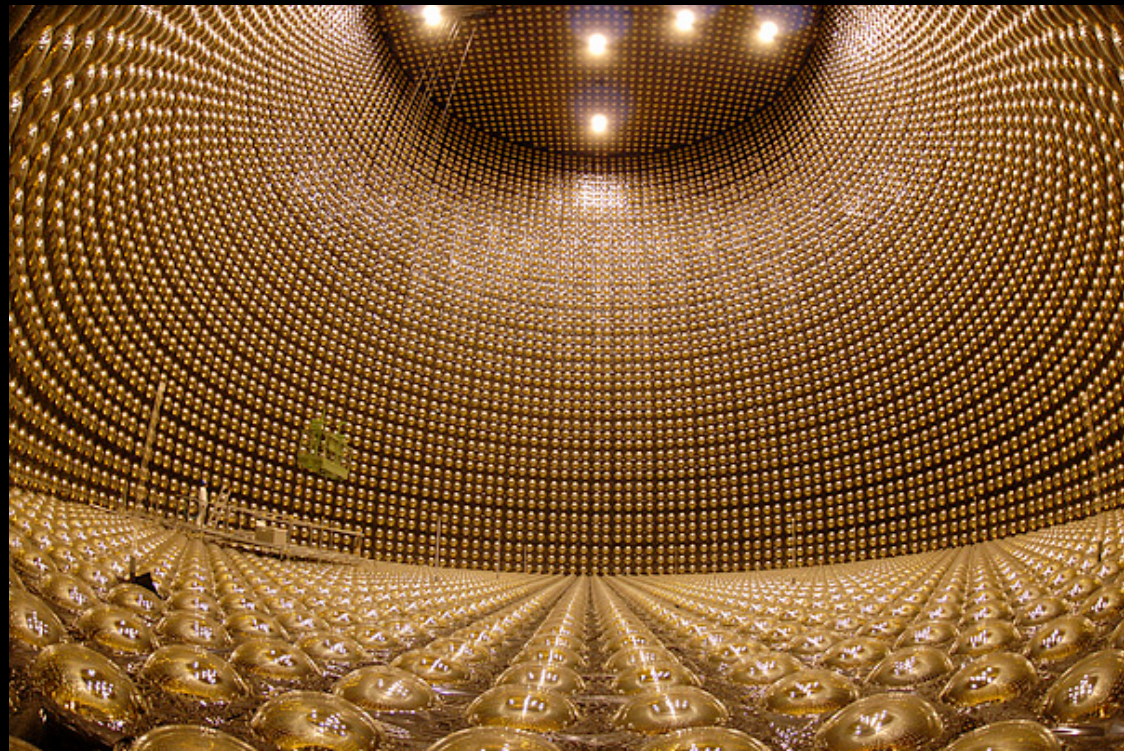
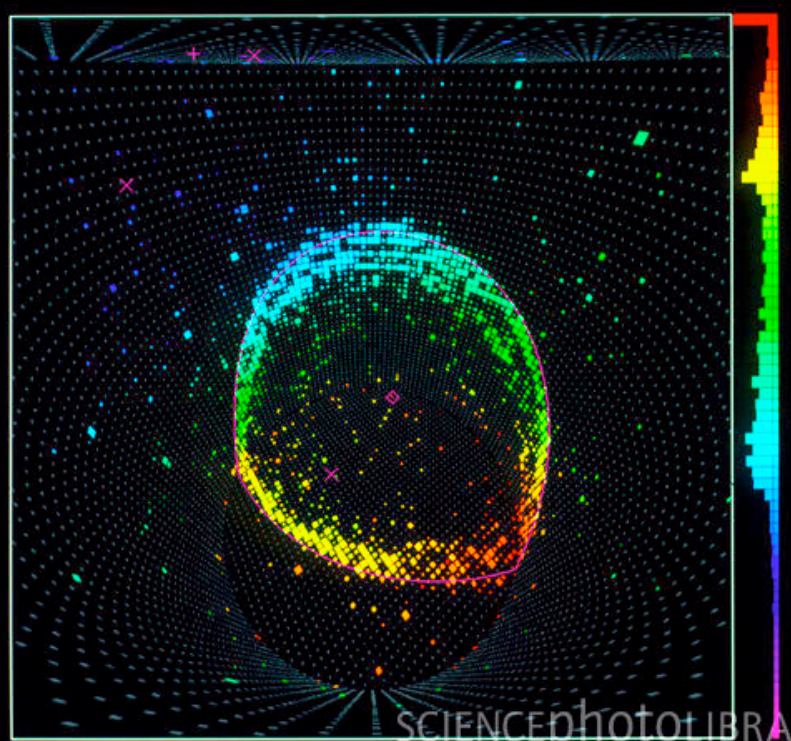
Super Kamiokande: 50000 toneladas de agua ultrapura, 1 Km bajo tierra, detecta la radiación Cherenkov de las partículas cargadas procedentes de las interacciones de los neutrinos.



detectores de neutrinos

Una partícula cargada emite radiación si su velocidad es mayor que la velocidad de la luz en ese medio: radiación Cherenkov. La radiación se concentra en un cono de revolución en torno a la traza de la partícula: ángulo = $f(v, n)$.

Super Kamiokande: 50000 toneladas de agua ultrapura, 1 Km bajo tierra, detecta la radiación Cherenkov de las partículas cargadas procedentes de las interacciones de los neutrinos.



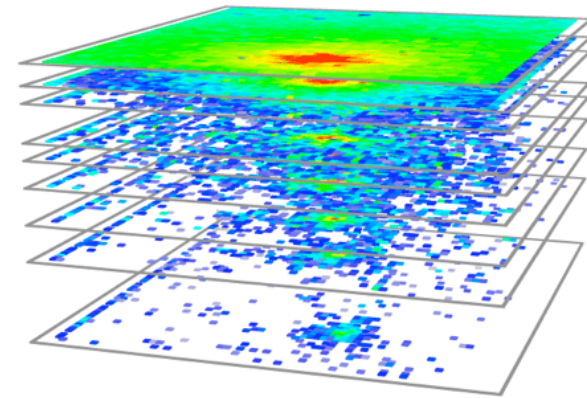
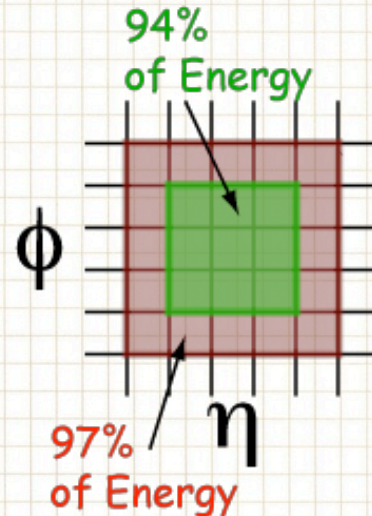
calorímetros

De muestreo:

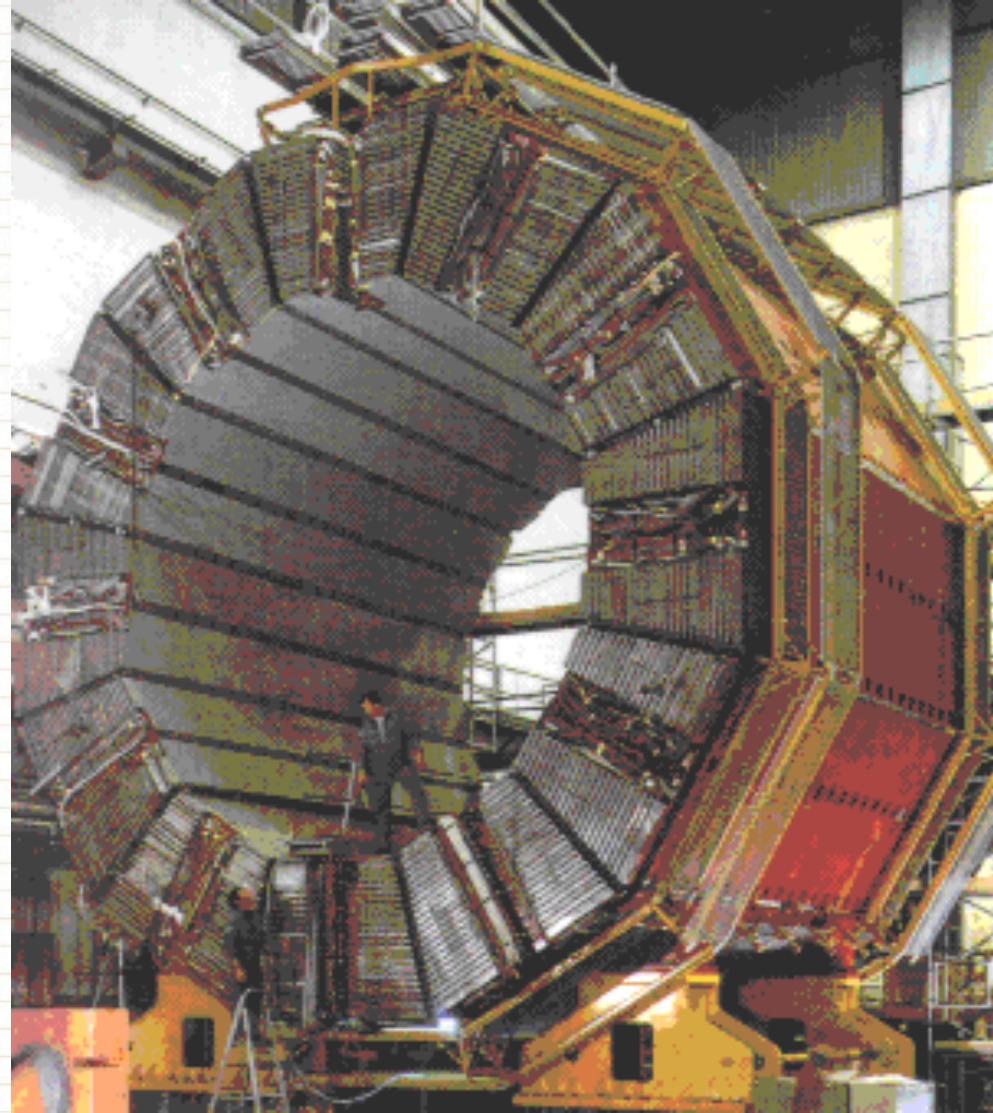
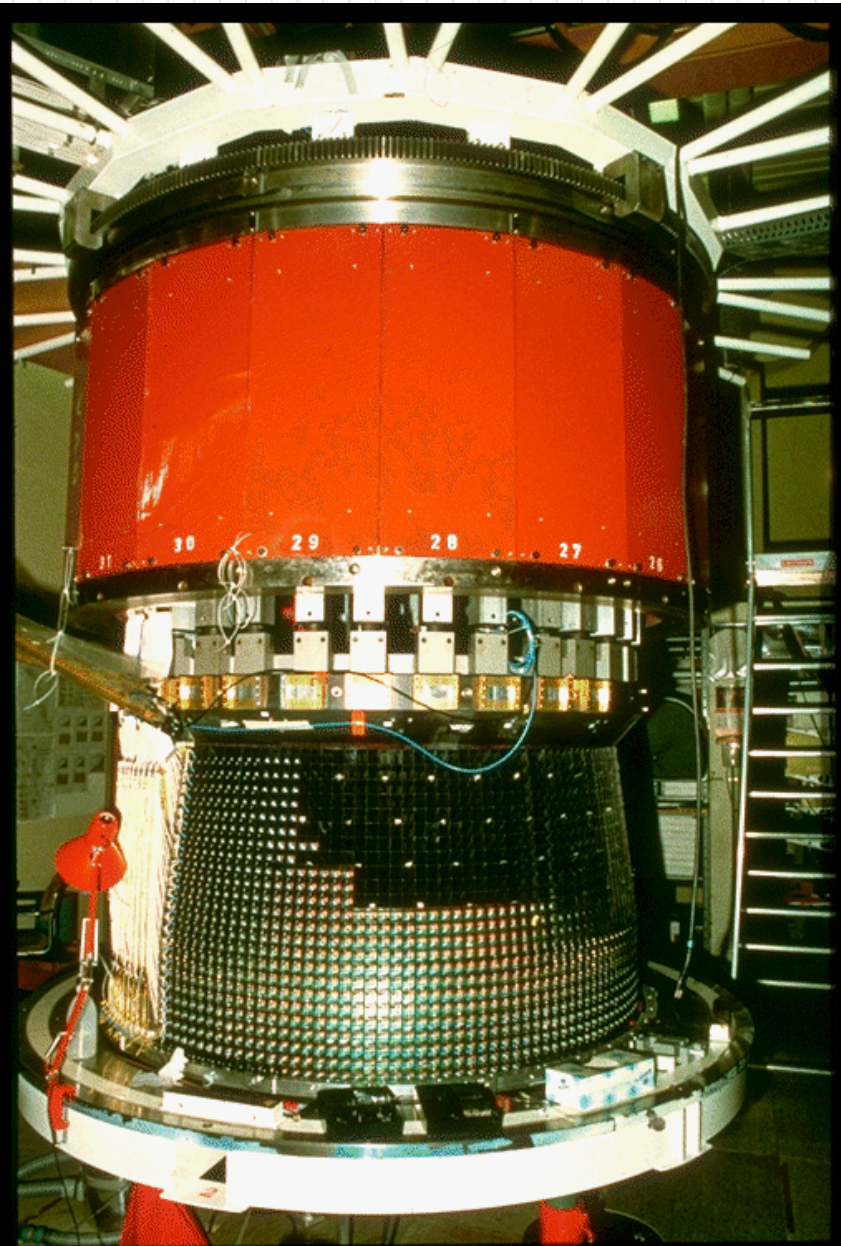
- sandwich de absorbente metálico de alta densidad y material activo que genera la señal.

Homogéneos:

- todo el volumen del calorímetro es sensible, normalmente cristales de centelleo de alta densidad: BGO, PbWO_4 , NaI.

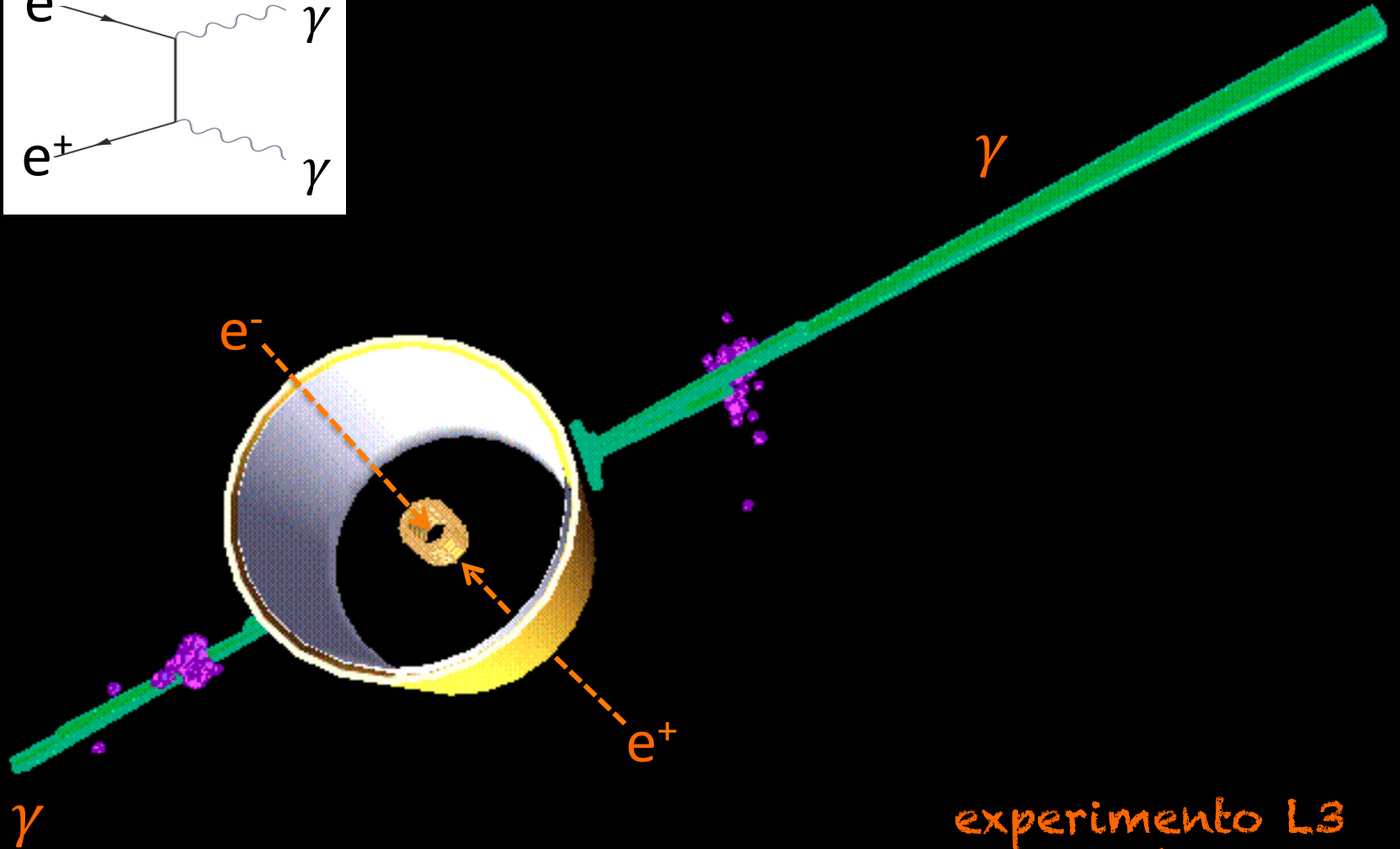
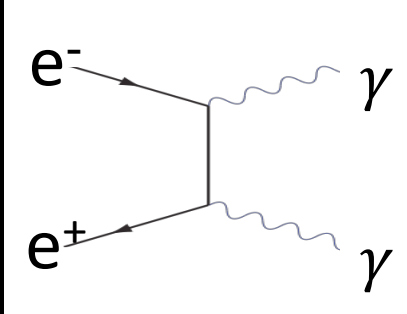


ECAL homogéneos de L3,
hecho de cristales de BGO.



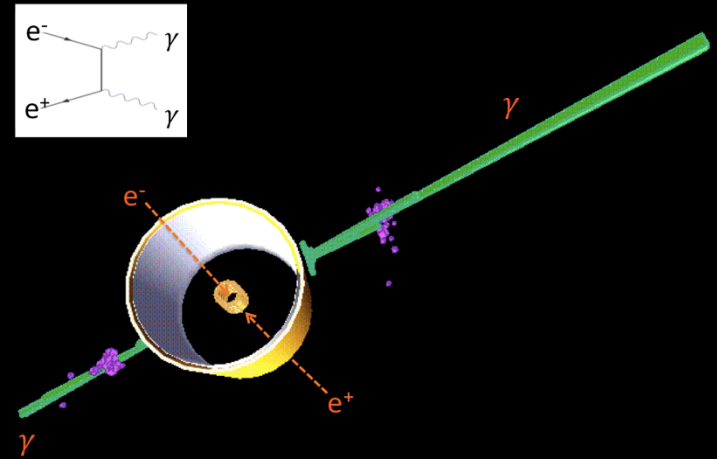
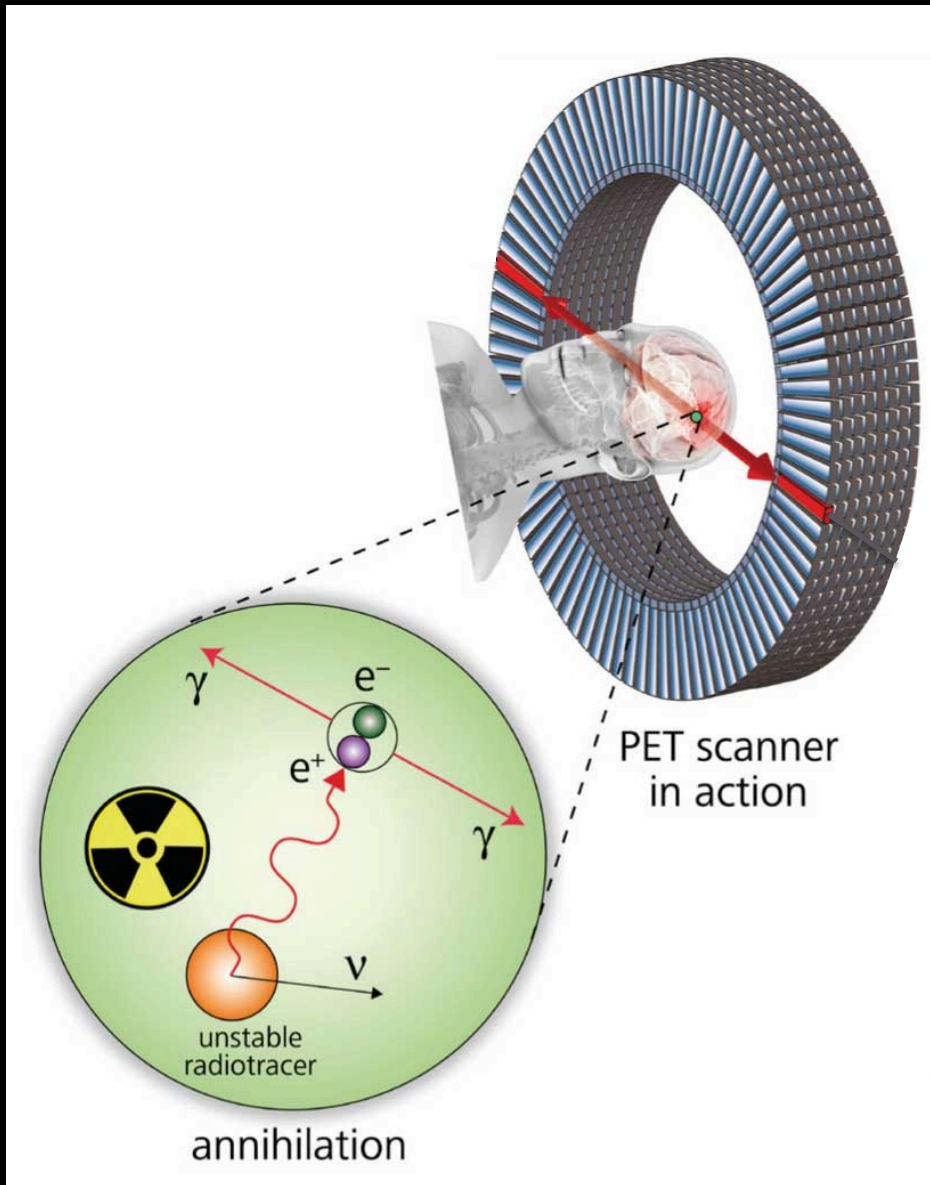
HCAL de muestreo de ALEPH:
hierro como material pasivo,
intercalado con tubos de
descarga.

colisión $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$

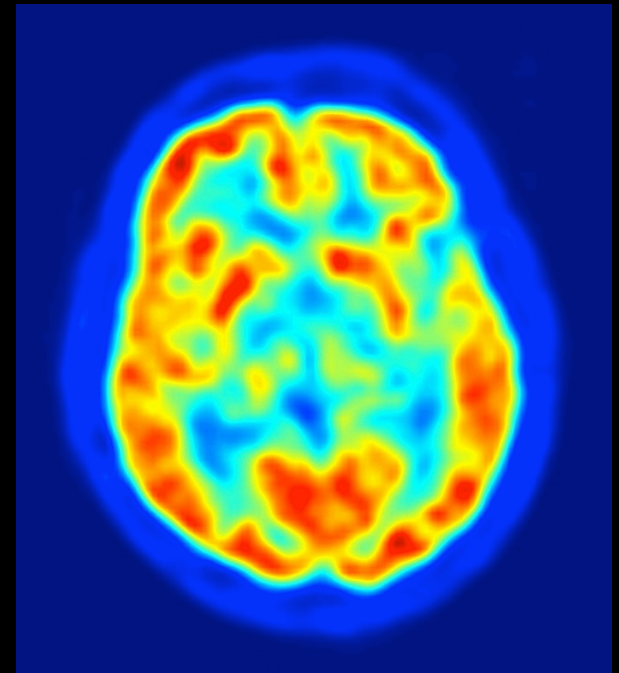
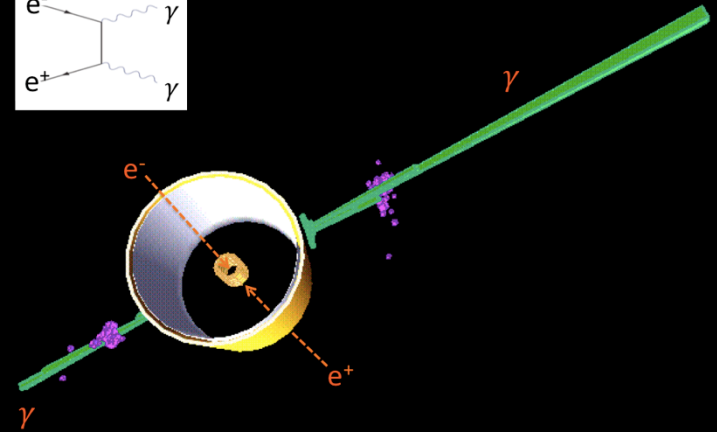
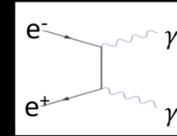
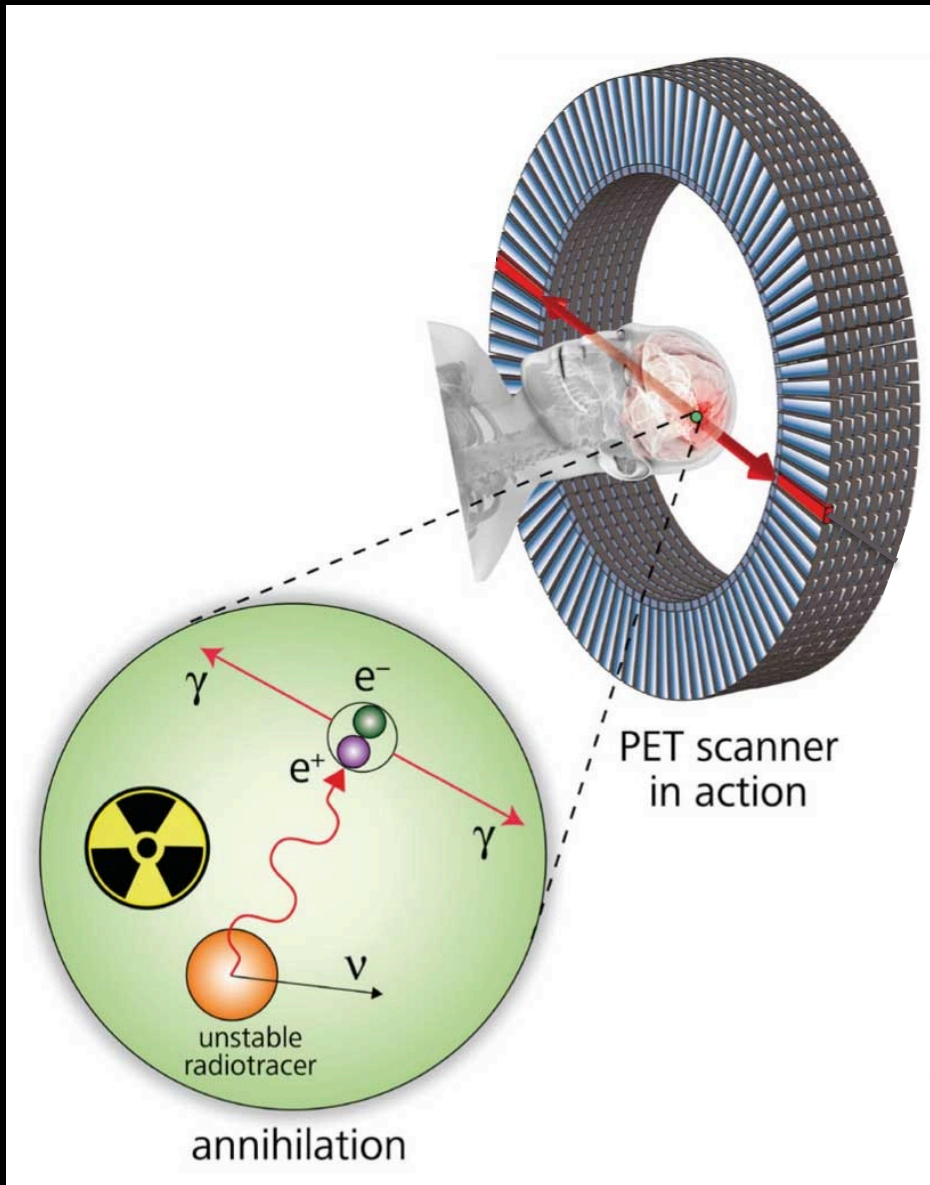


experimento L3
acelerador LEP

PET: positron emission tomography



PET: positron emission tomography



Compact Muon Solenoid

CMS es una cámara digital 3D enorme, de 80 Mpixel, con un volumen de 3700 m³ volume, y peso 12500 Ton.

Está sumergido en un $B = 3.8$ T, proporcionado por un imán superconductor, y opera a 40 MHz.

Altísima precisión en las posiciones de los pixels/señales: de 20 μ m a 200 μ m.

Está situado en el PIS.



CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel ($100 \times 150 \mu\text{m}$) $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$ channels
Microstrips ($80 \times 180 \mu\text{m}$) $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$ channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying $\sim 18,000\text{A}$

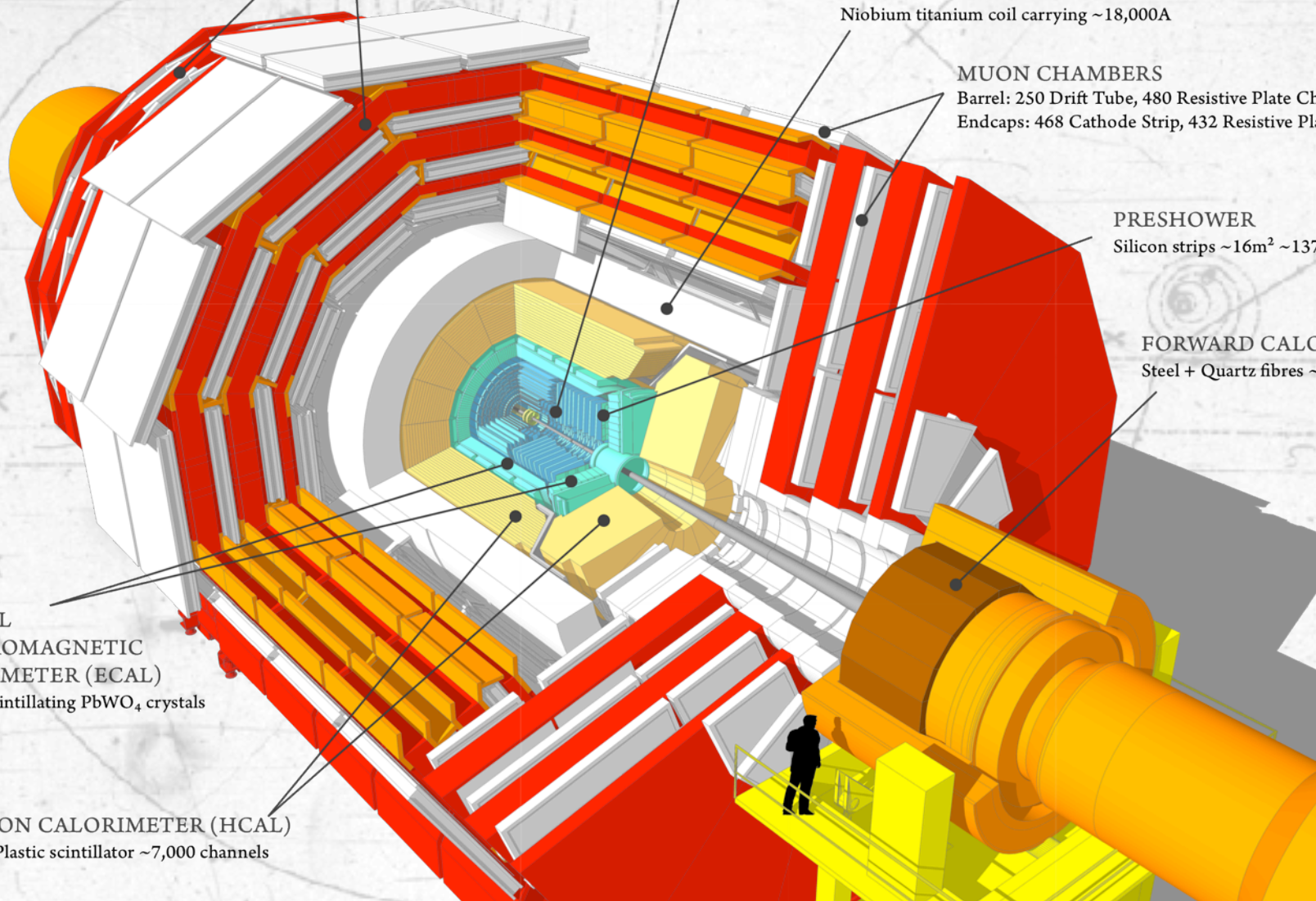
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
Silicon strips $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$ channels

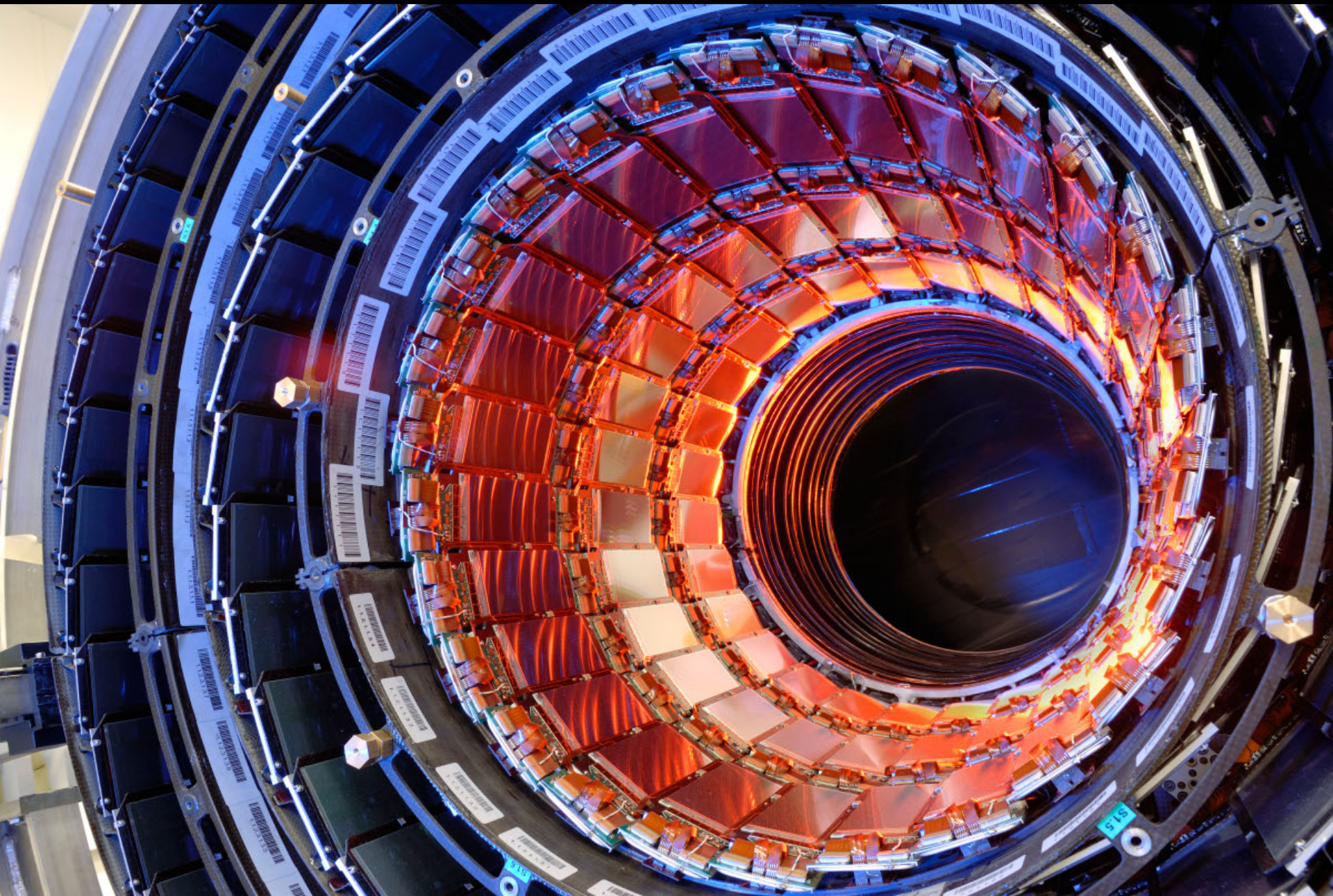
FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres $\sim 2,000$ Channels

CRYSTAL
ELECTROMAGNETIC
CALORIMETER (ECAL)
 $\sim 76,000$ scintillating PbWO_4 crystals

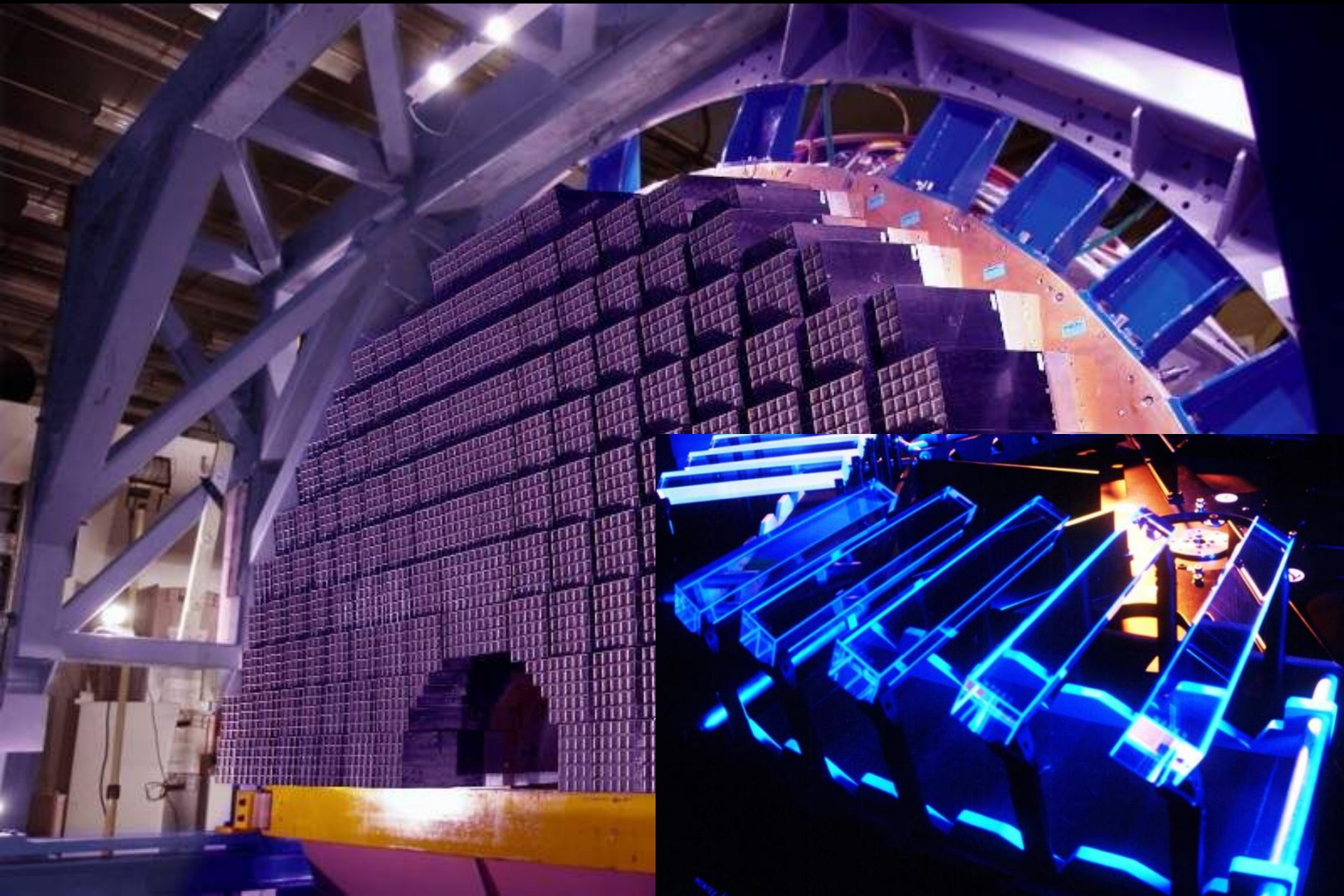
HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator $\sim 7,000$ channels

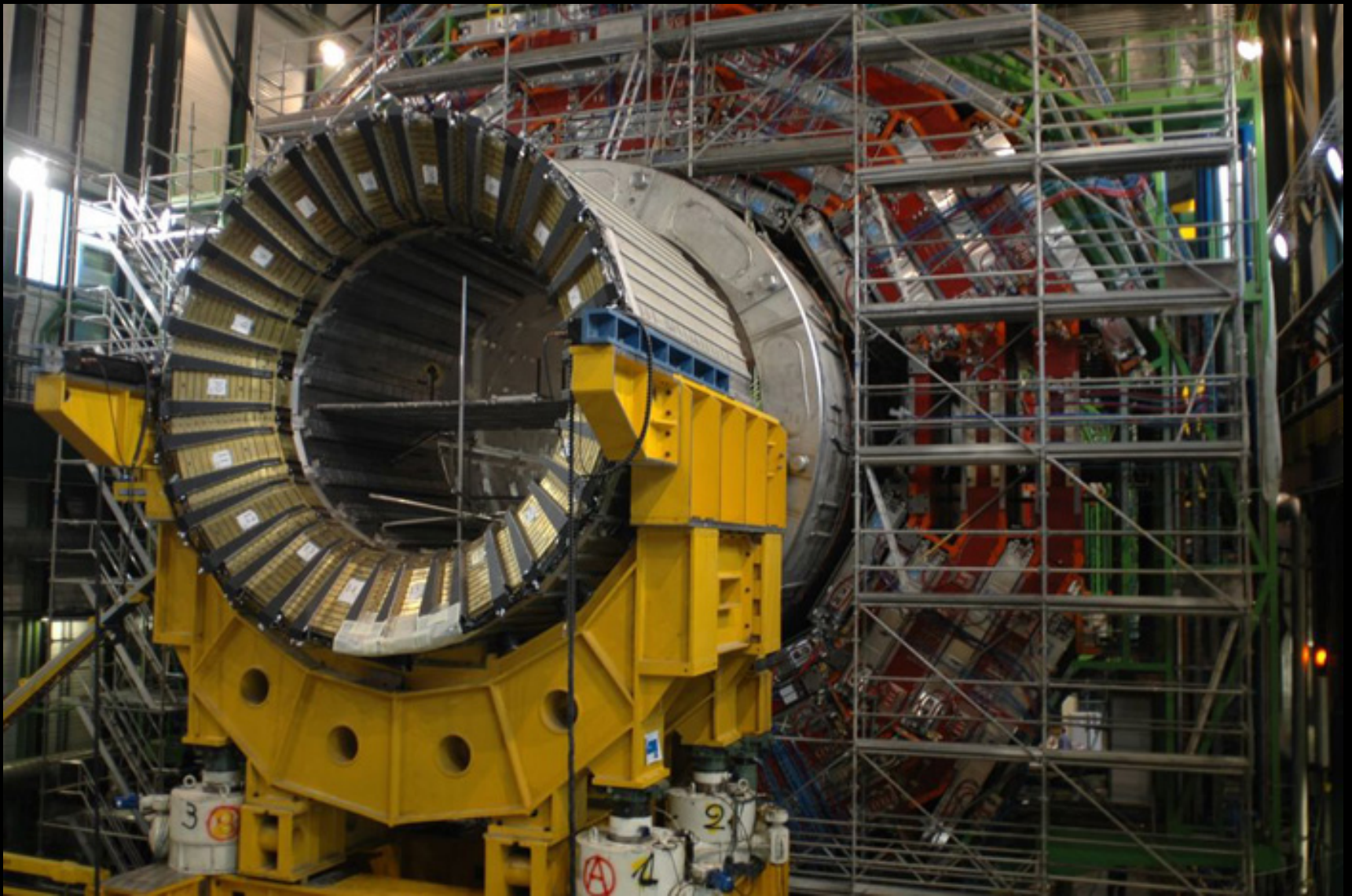


Cámara de trazas: detector de silicio



Calorímetro electromagnético: cristales de Pb y W

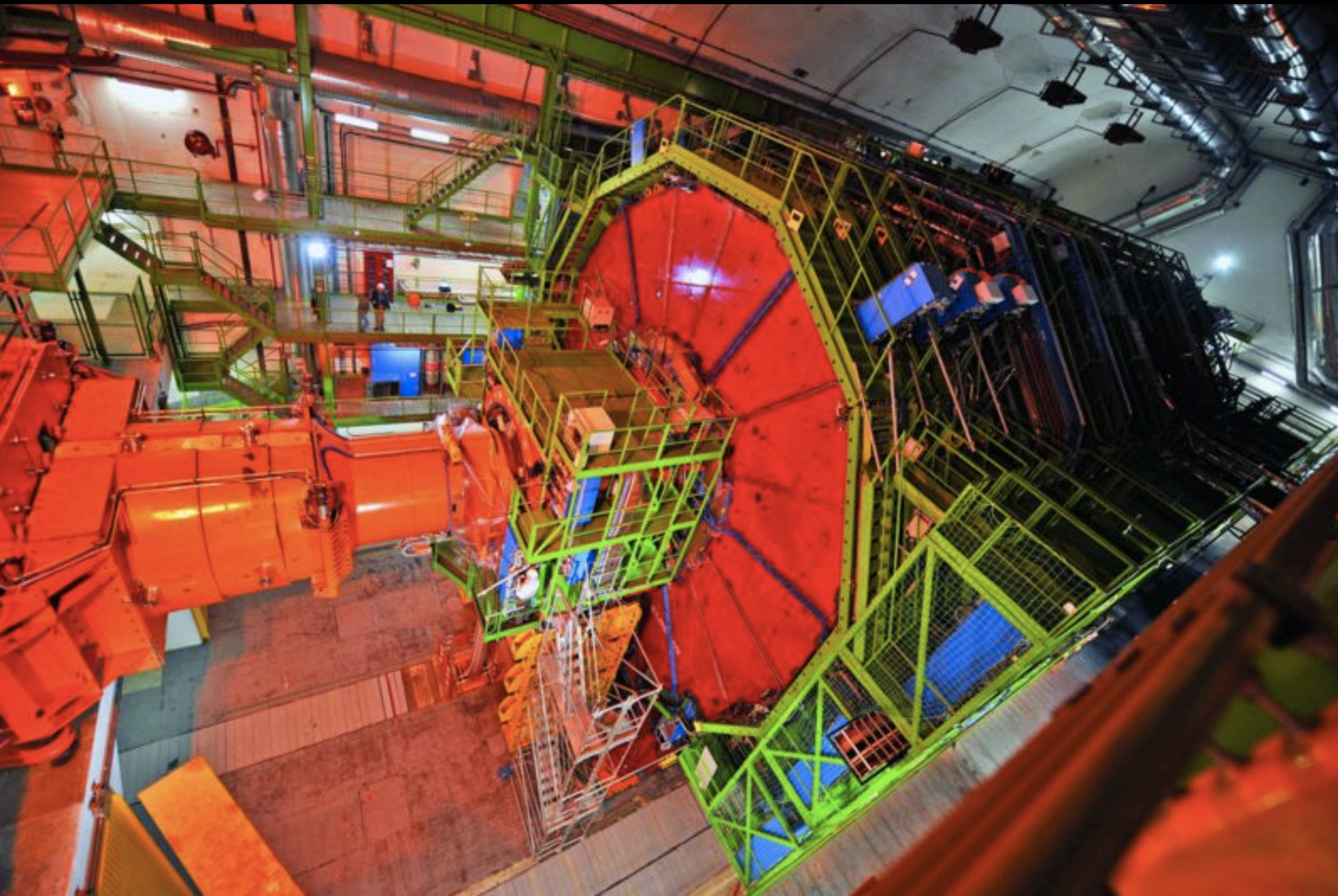




Calorímetro hadrónico: Latón o acero y plástico centelleador

Cámaras de muones: detector gaseoso de deriva







CMS Experiment at the LHC, CERN

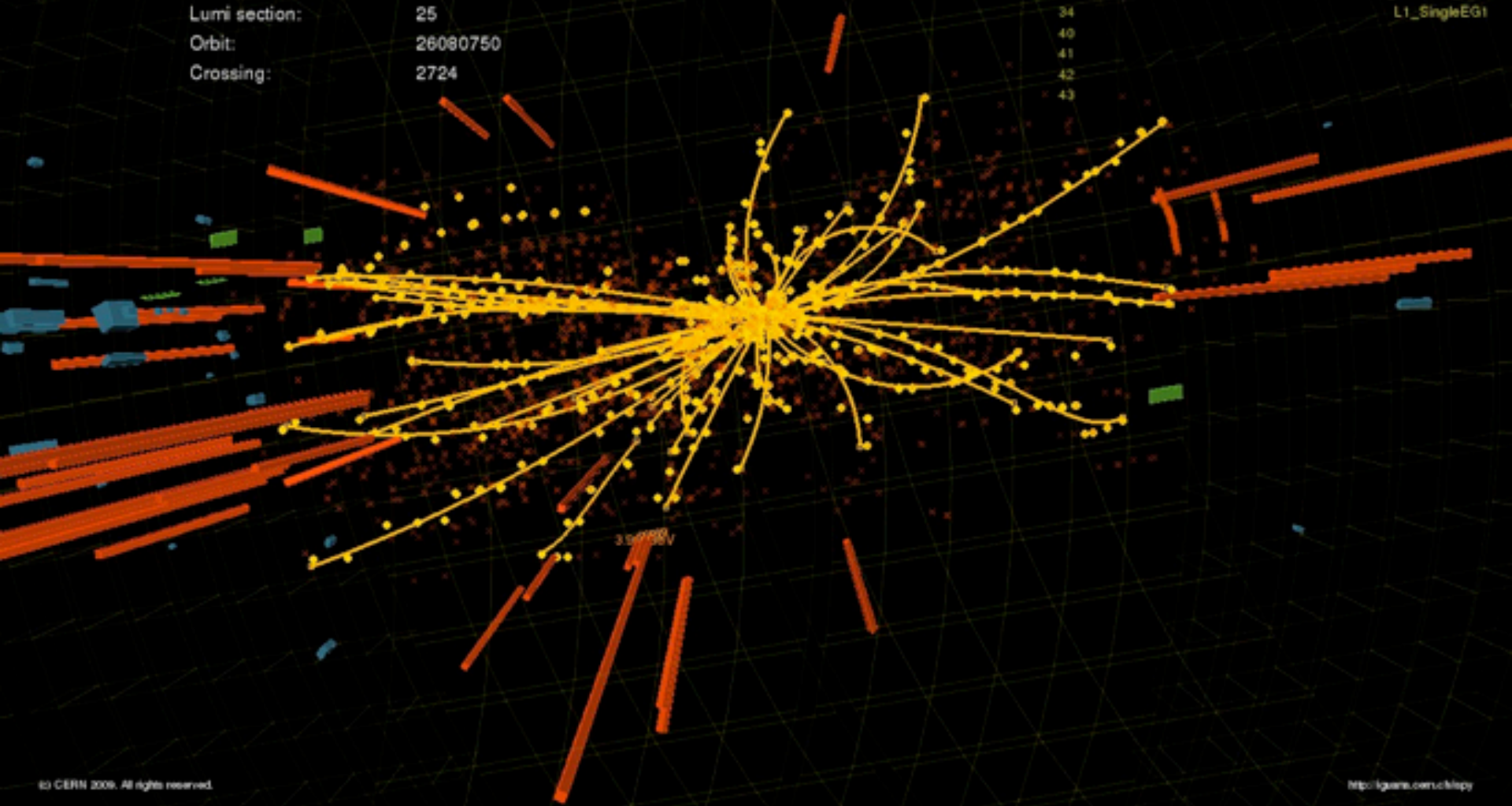
Data recorded: 2009-Dec-16 03:39:44.073862 GMT
Run: 124275
Event: 7386705
Lumi section: 25
Orbit: 26080750
Crossing: 2724

Tech Triggers:

8
9
10
32
33
34
40
41
42
43

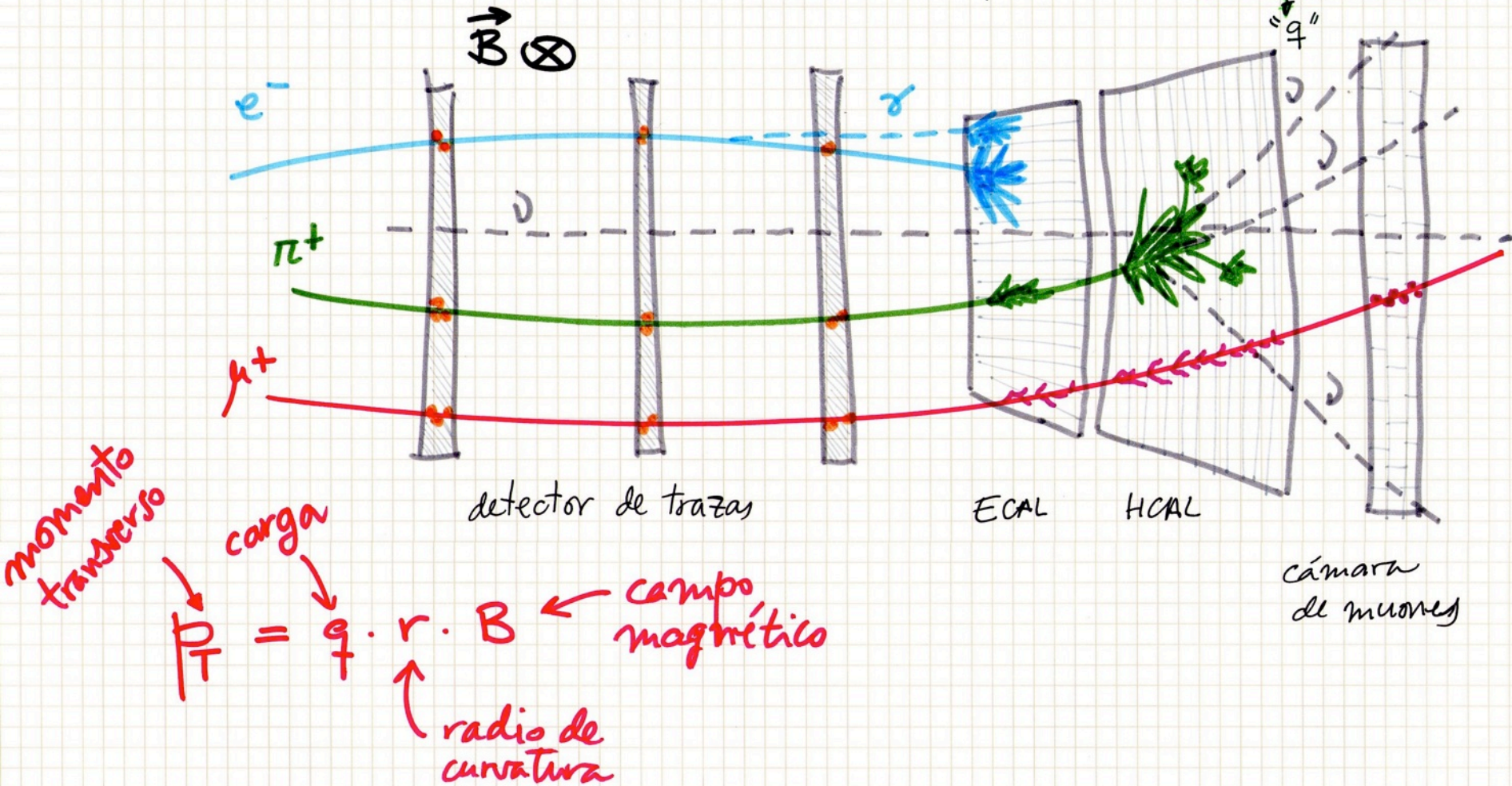
L1 Triggers:

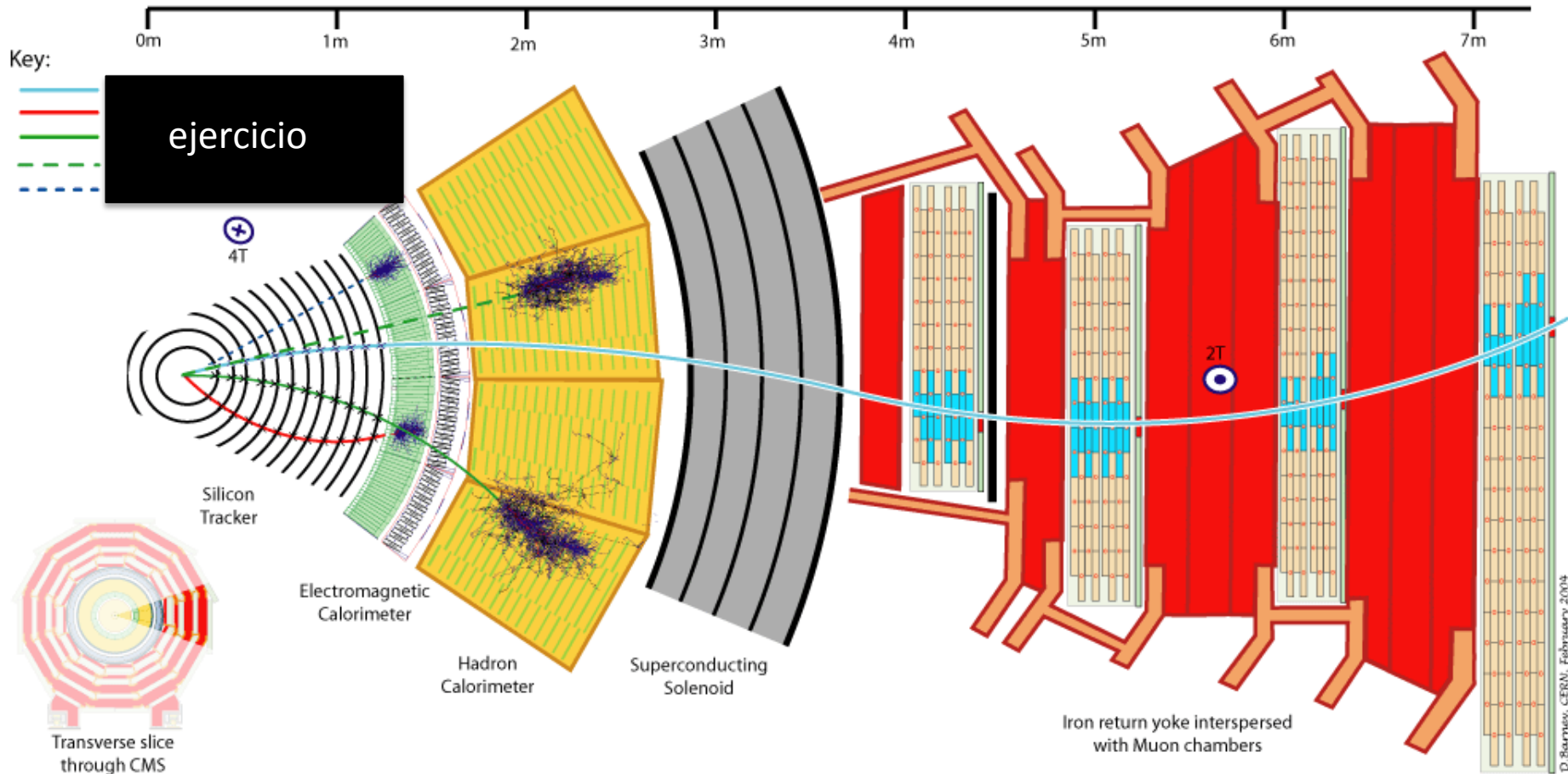
L1_DoubleEG1
L1_EG10_Jet15
L1_EG5_TripleJet15
L1_MinBias_HTT10
L1_Mu3OEE_EG5
L1_SingleEG1

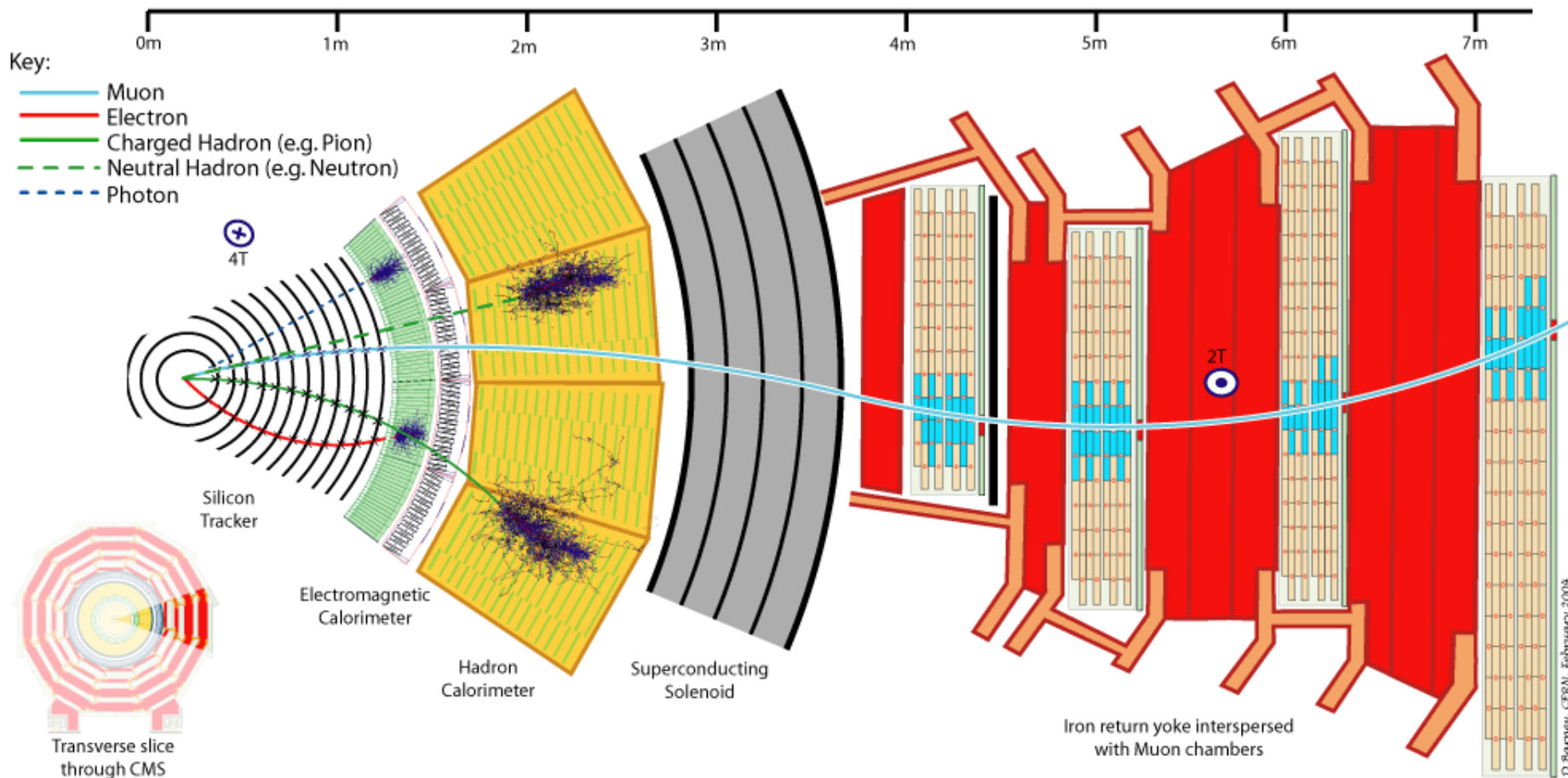


RECONSTRUCCIÓN DE SUCECOS

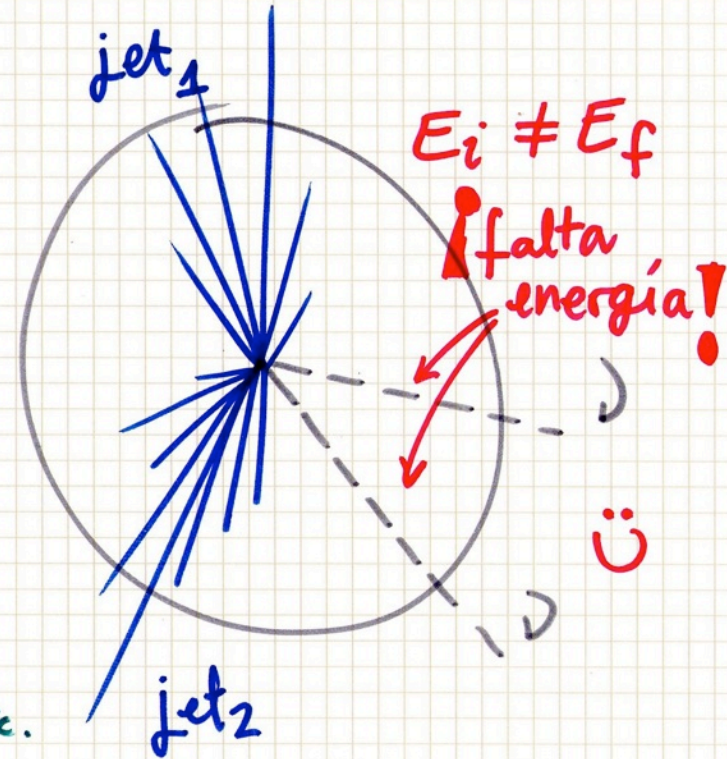
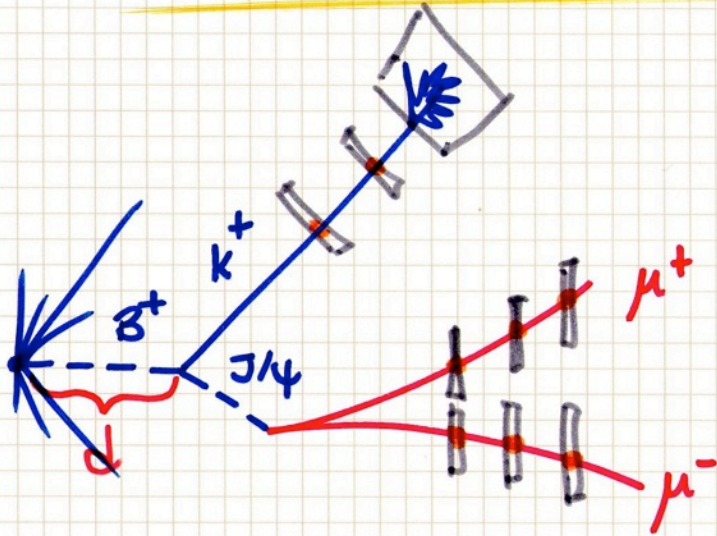
Intercalando con inteligencia diferentes detectores conseguimos medir las trayectorias y energías de "todas" las partículas: \vec{p} , carga, E .





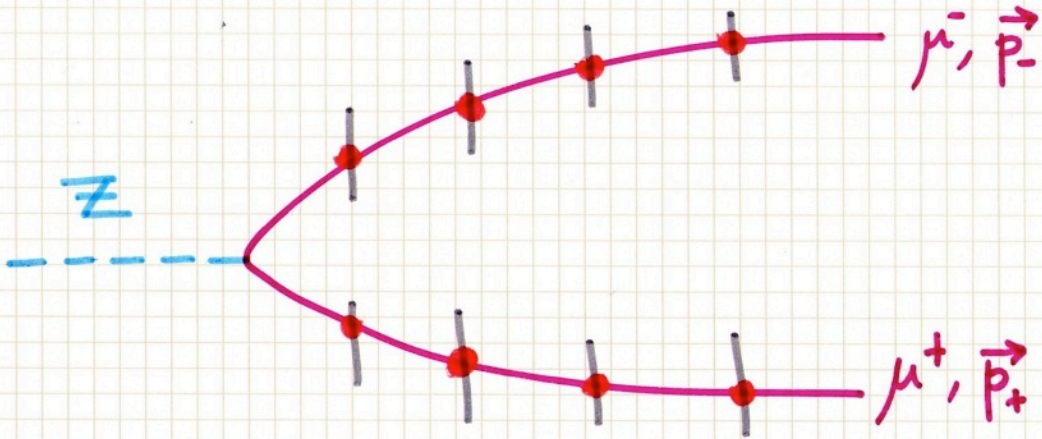


Combinando las señales de varios detectores y trazas obtenemos información/medidas de partículas que se han desintegrado antes de alcanzar el detector, o de aquellas que no hemos detectado (D)

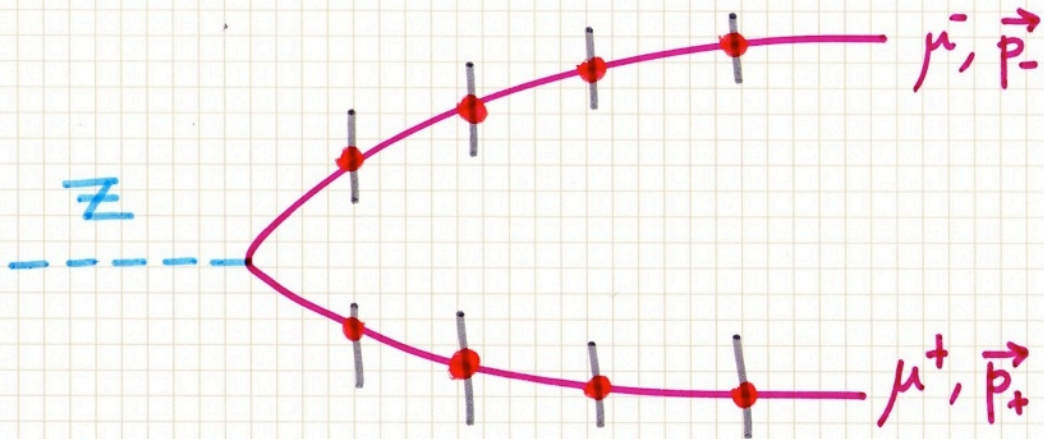


Puedo medir masas ($m_{j\pi}$), energía faltante (D), vidas medias ($\tau_B \sim d$), etc.

EJEMPLO: $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$



EJEMPLO: $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$



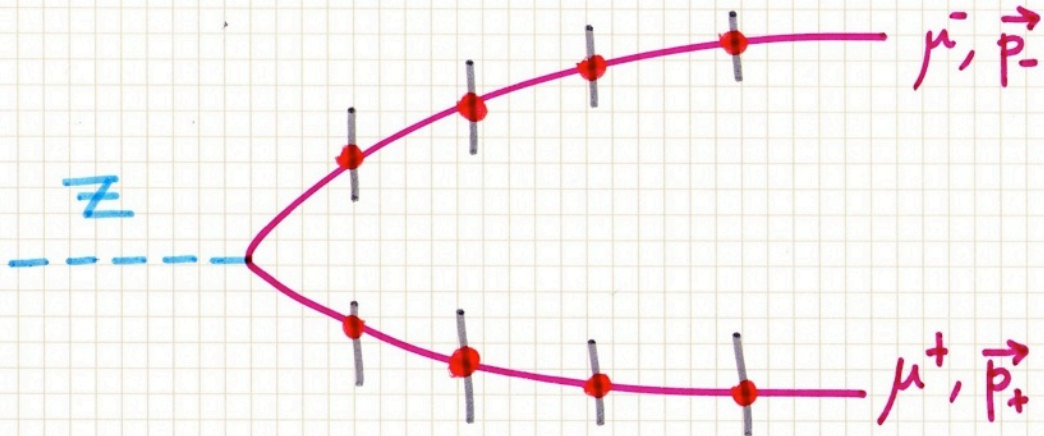
$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2$$

$$M^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2)$$

$$M^2 = 2p_1 p_2 (1 - \cos \theta)$$



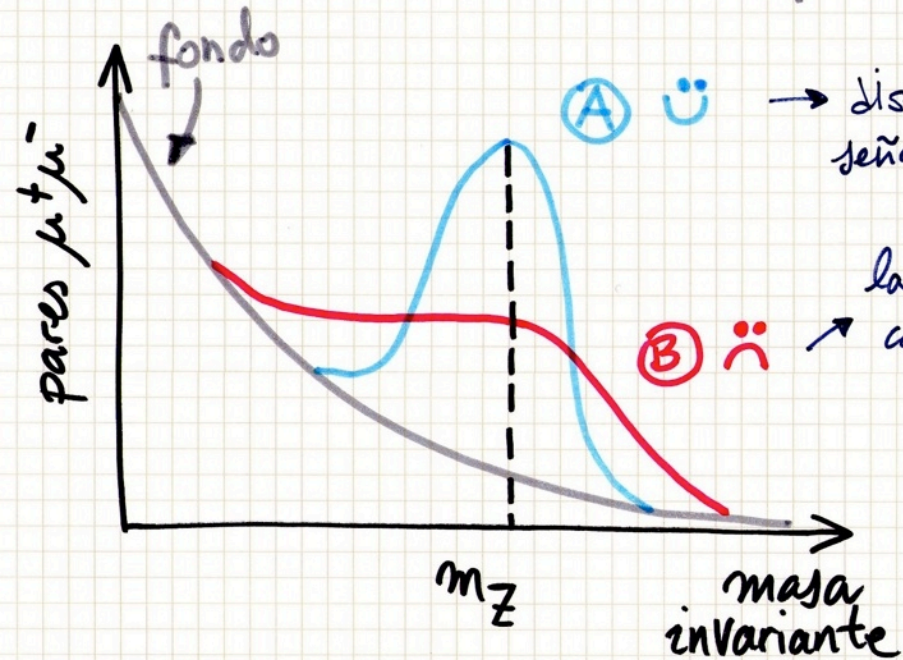
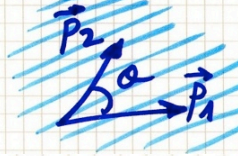
EJEMPLO: $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$



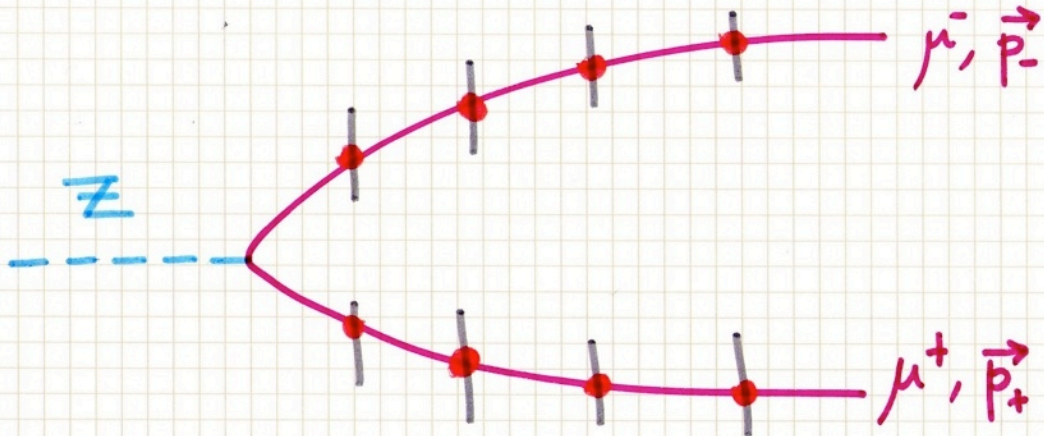
$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2$$

$$M^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2)$$

$$M^2 = 2p_1 p_2 (1 - \cos \theta)$$



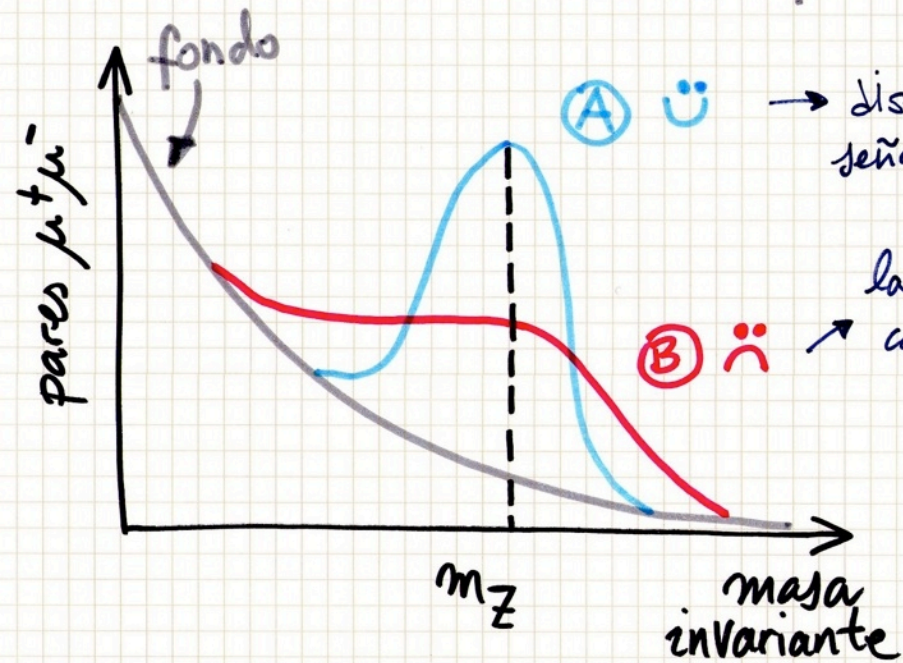
EJEMPLO: $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$



$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2$$

$$M^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2)$$

$$M^2 = 2p_1 p_2 (1 - \cos \theta)$$



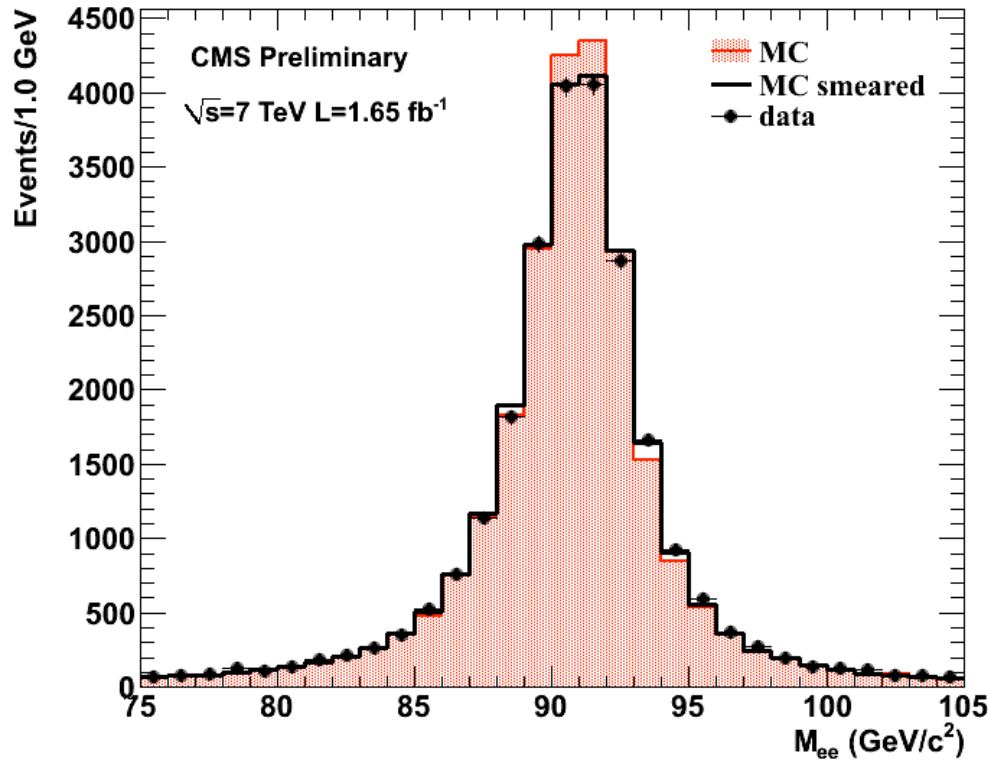
→ distinguimos la señal $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$

→ la confundimos con el fondo.

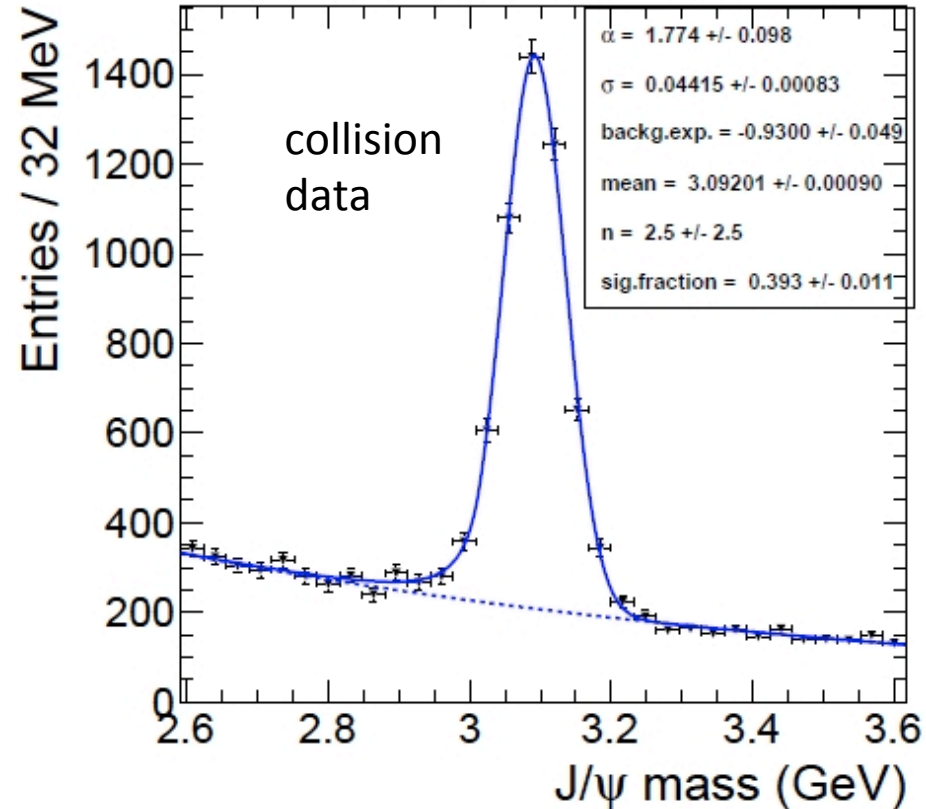
¡¡ Tenemos que conocer la resolución del detector para observar lo que estamos buscando !!

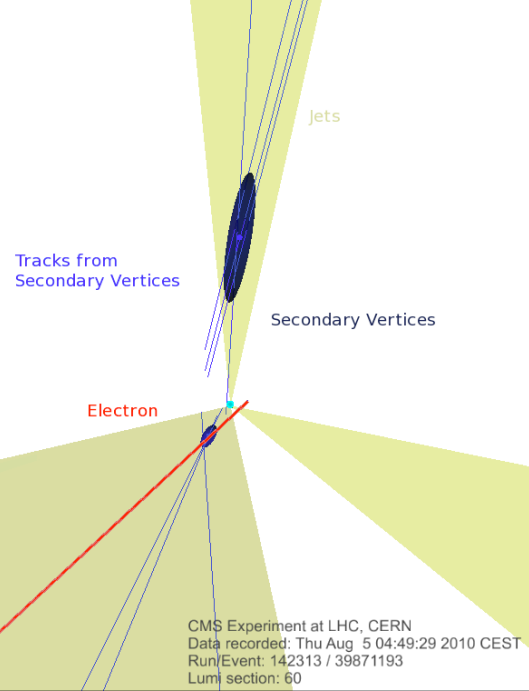
medida de la masa invariante

masa invariante de pares e^+e^- (boson Z)

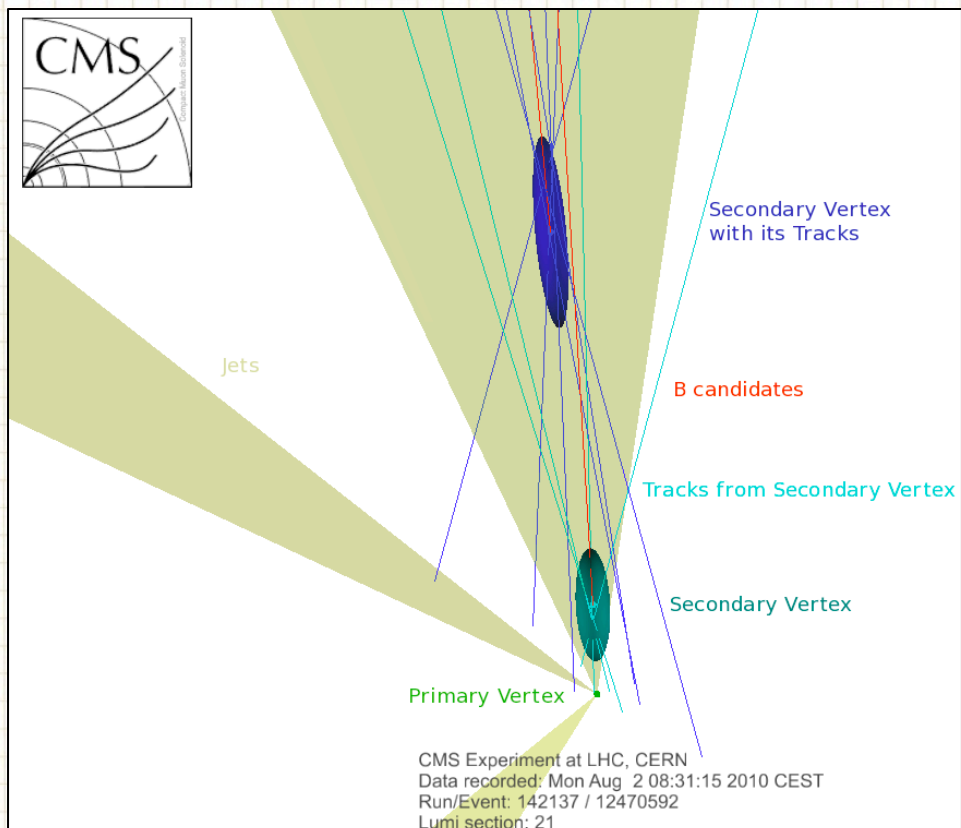
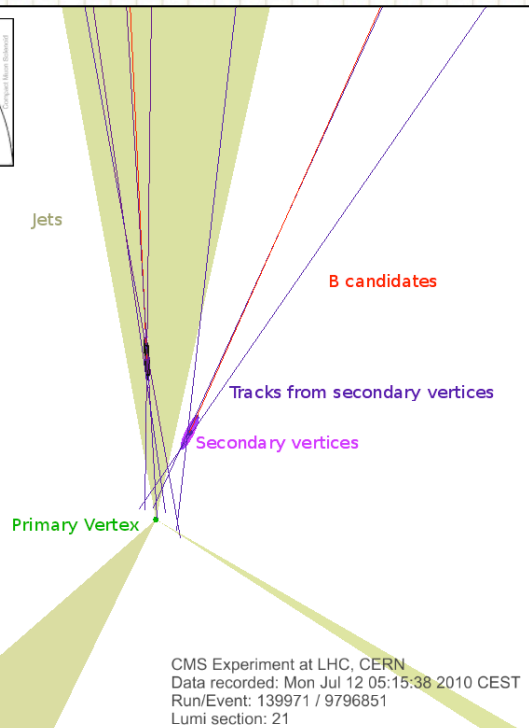
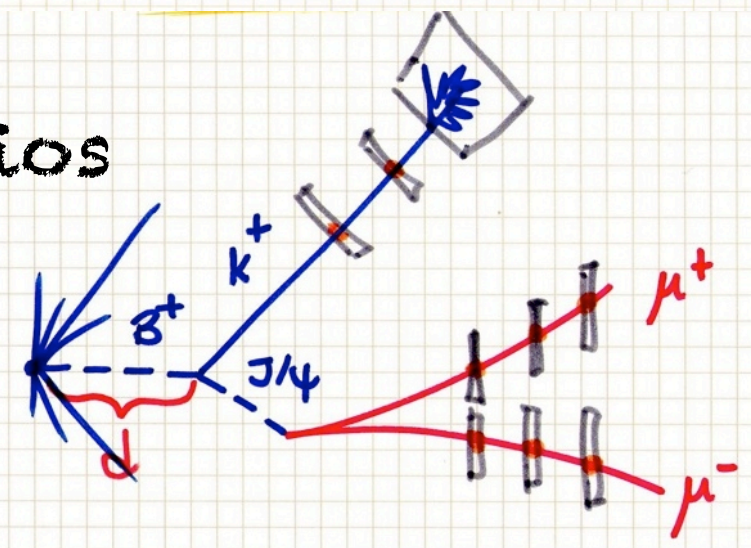


CMS Preliminary (7 TeV, ~ 40 nb $^{-1}$)

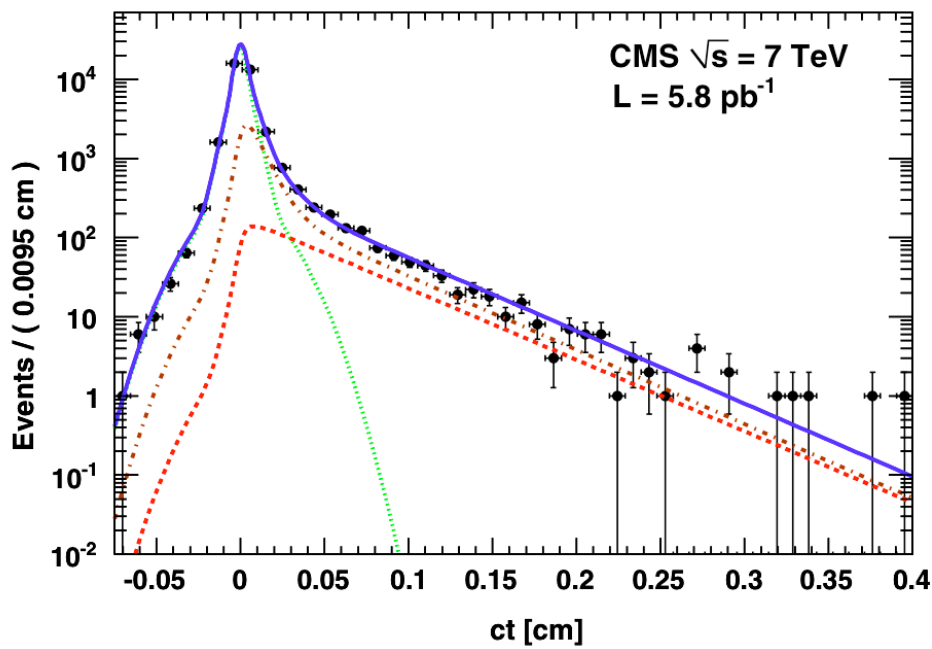
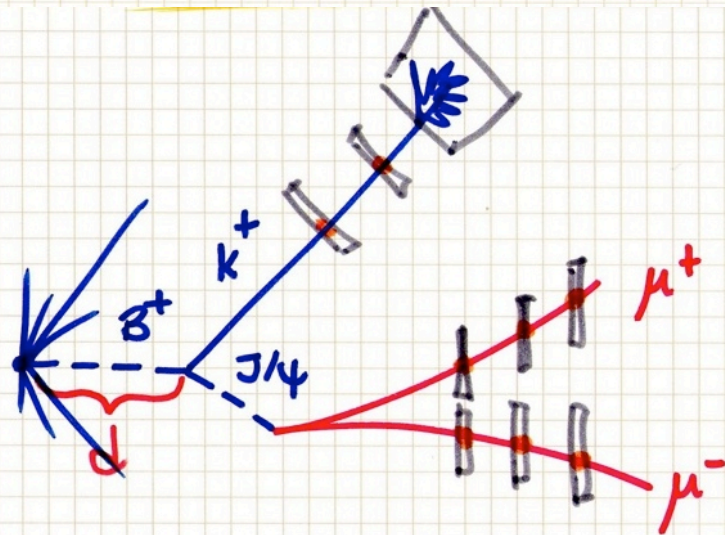




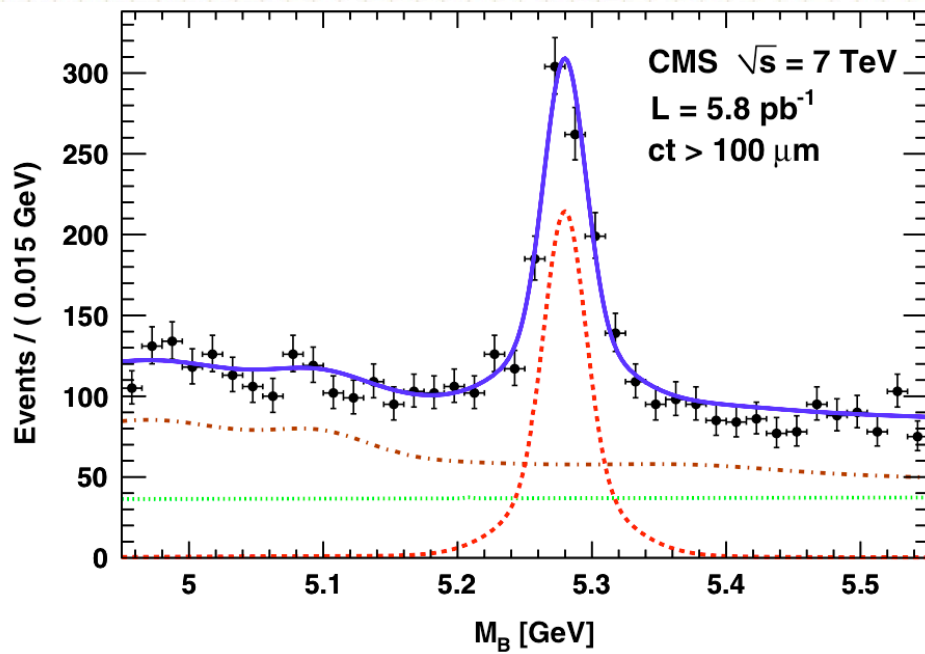
vértices secundarios



reconstrucción del mesón B

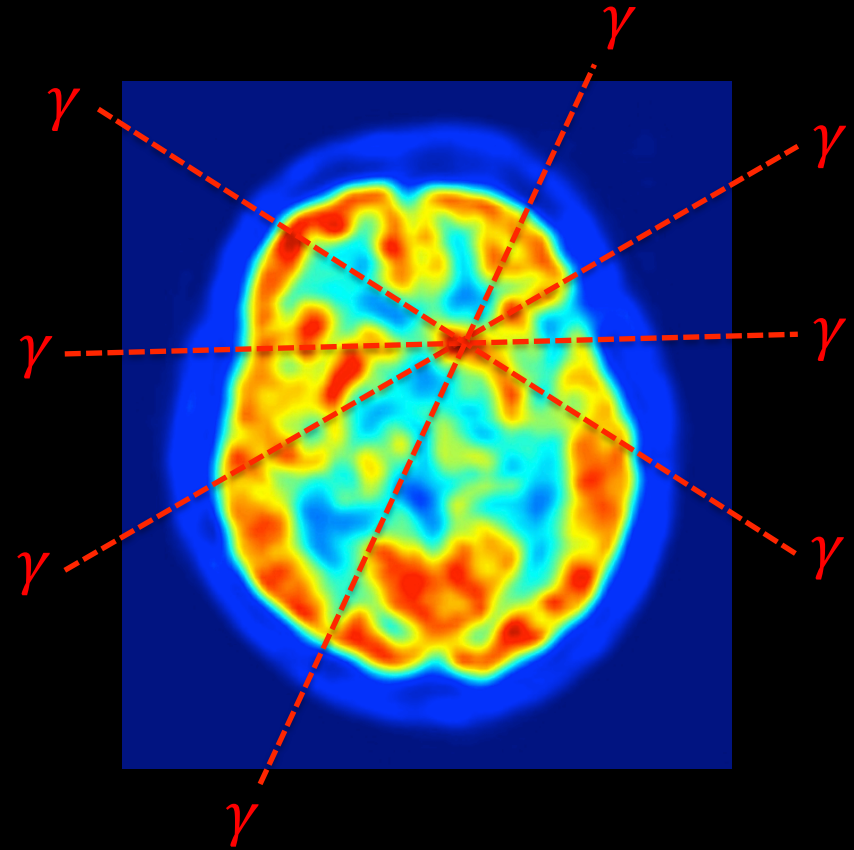
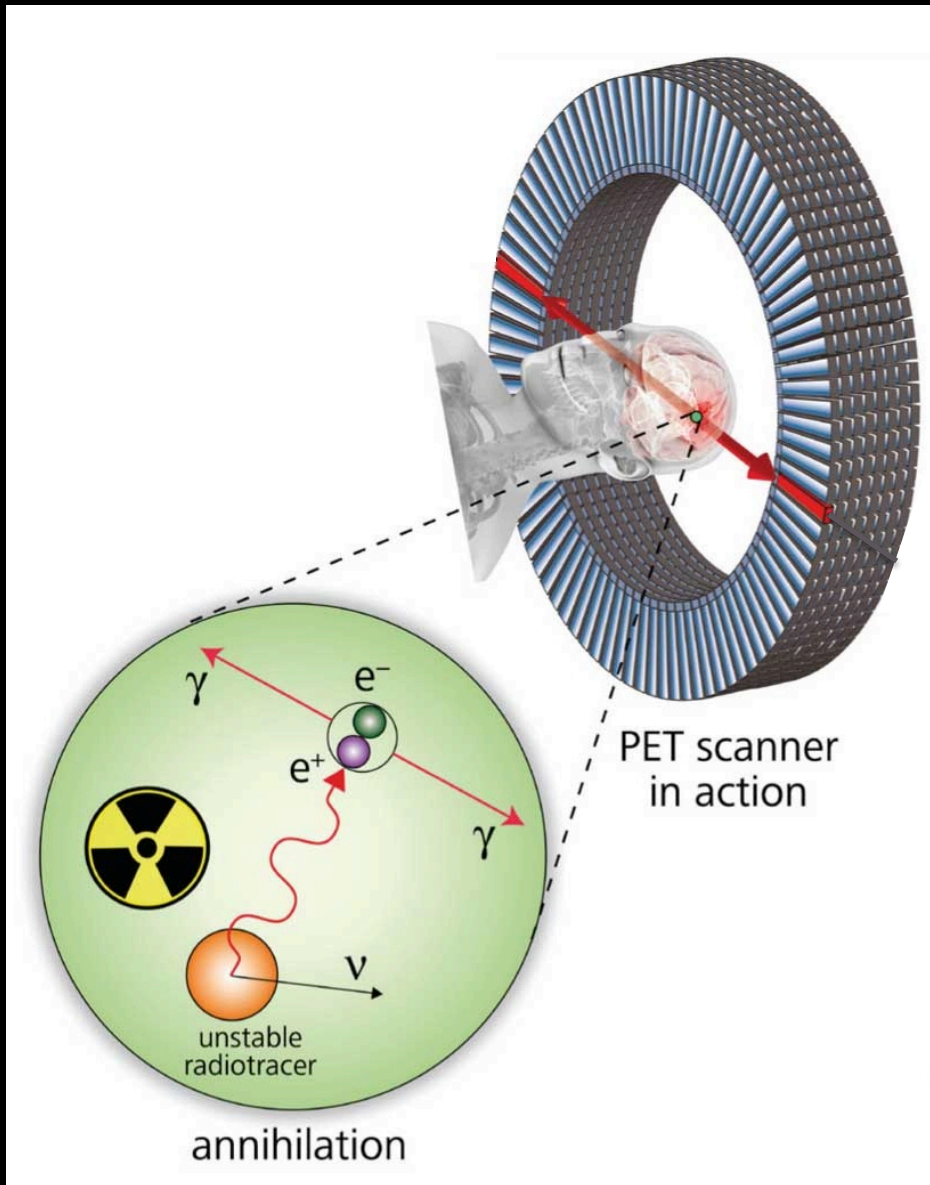


vida media

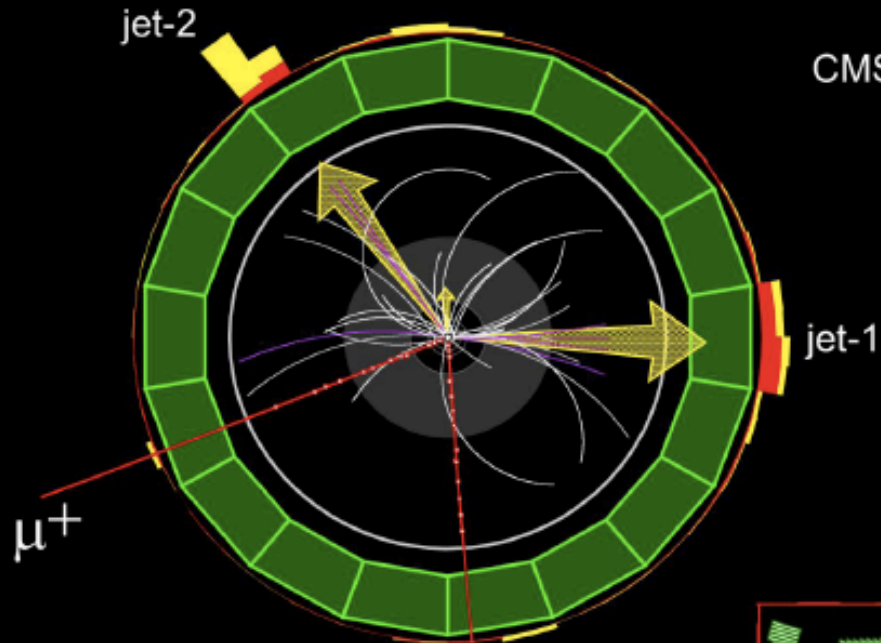


masa

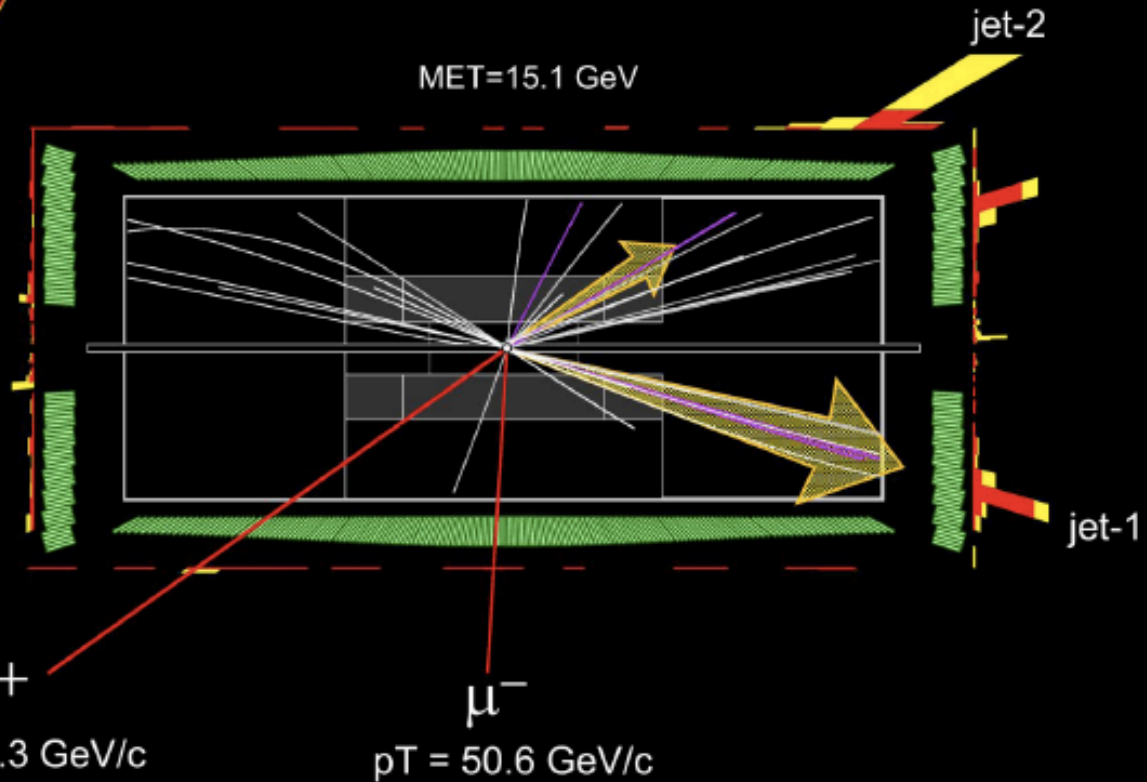
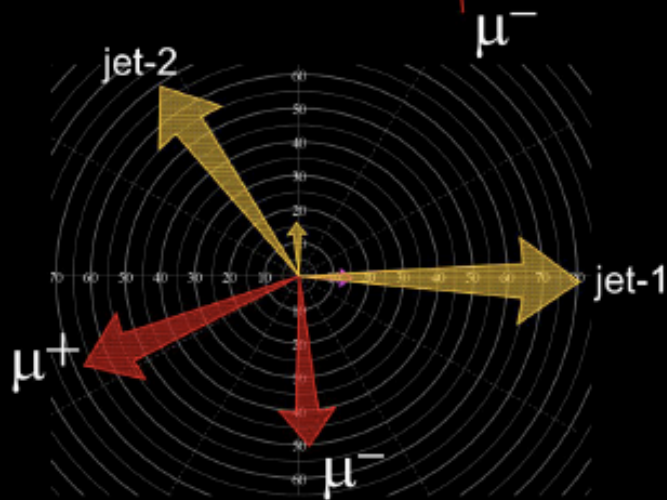
reconstrucción de vértices en un PET



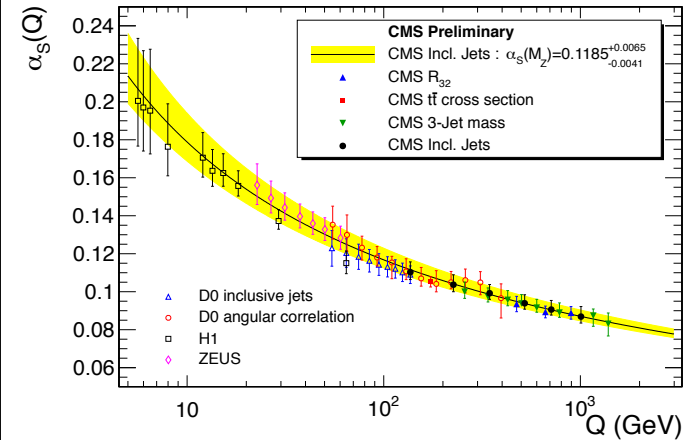
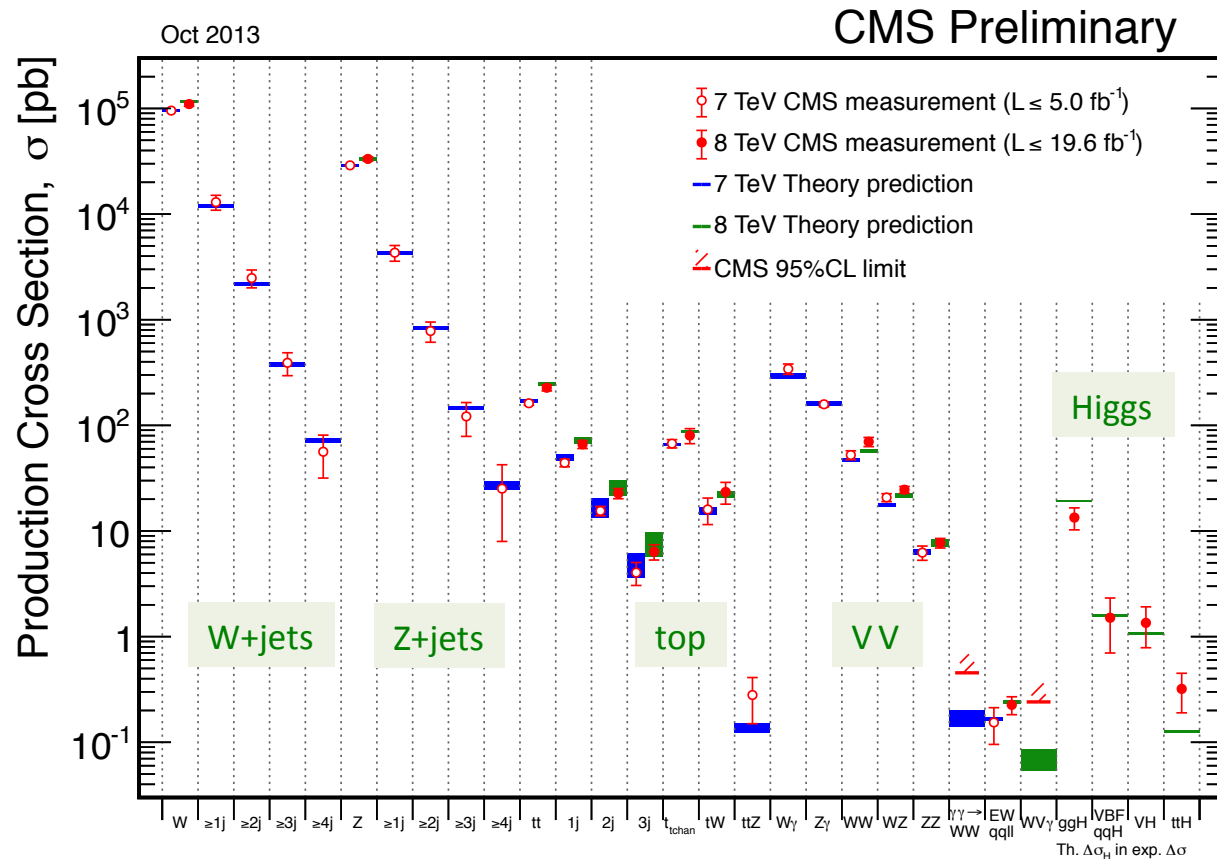
CMS Experiment at the LHC, CERN
Run 135149, Event 125426133
Sunday May 9 2010, 05:24:09



Z+jets candidate
 $M = 93.2 \text{ GeV}/c^2$
 $p_T = 97.0 \text{ GeV}/c$

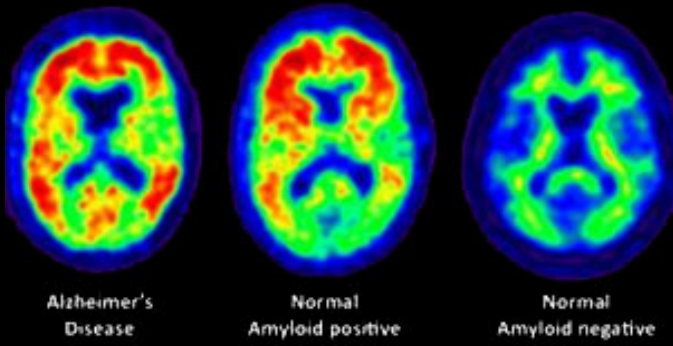


Medidas precisas del modelo estándar, la clave del descubrimiento



Nuevas medidas de $\alpha_s(Q)$ a partir de varios procesos.

Estas medidas y el descubrimiento de nuevas partículas requieren buena comprensión de los detectores.



Los detectores de física de partículas benefician a la sociedad

