

¿Qué es la Física de Partículas?

Begoña de la Cruz

Dra. en Ciencias Físicas

CIEMAT

(Centro de Investigaciones Energéticas,
Medioambientales y Tecnológicas)

Marzo 2004

¿Qué es la Física de Partículas?

La Física de Partículas es el campo de la Física que estudia

las partículas más pequeñas de la materia en el Universo

y las relaciones entre ellas.

estas partículas, no compuestas,
se llaman elementales

Universo:
mundo subnuclear (microscópico)
y cosmológico (macroscópico)

Cómo interaccionan
entre sí

Suena un poco ambicioso...

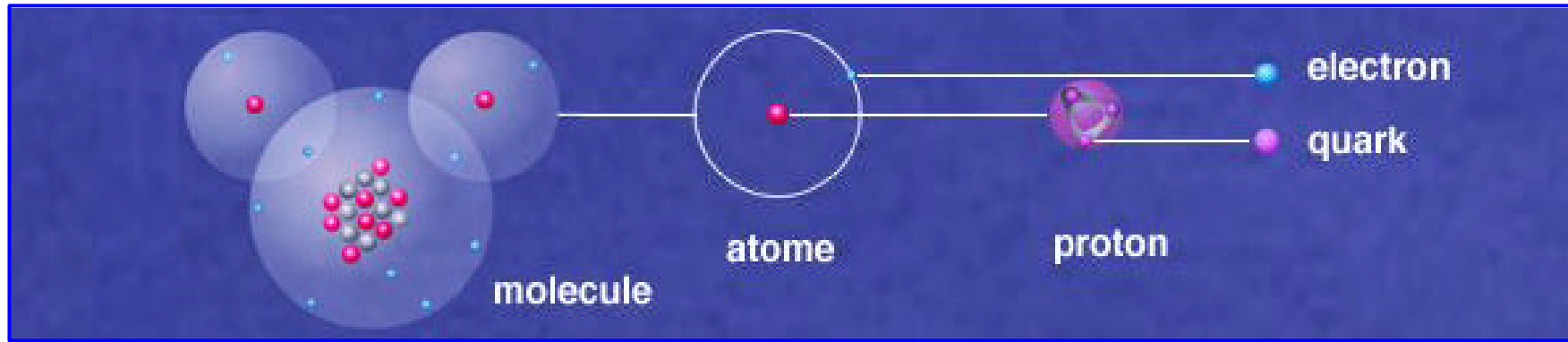


...ya que pretende entender las Leyes de la Naturaleza...

Esquema

- Partículas elementales
 - Interacciones entre partículas
 - Colisiones de partículas (Aceleradores, Detectores)
 - Tecnología y campos asociados
 - Laboratorios
- } Modelo Standard

Explorando dentro de átomos y núcleos



↓
Molécula H₂O

↓
Atomo H

↓
protón

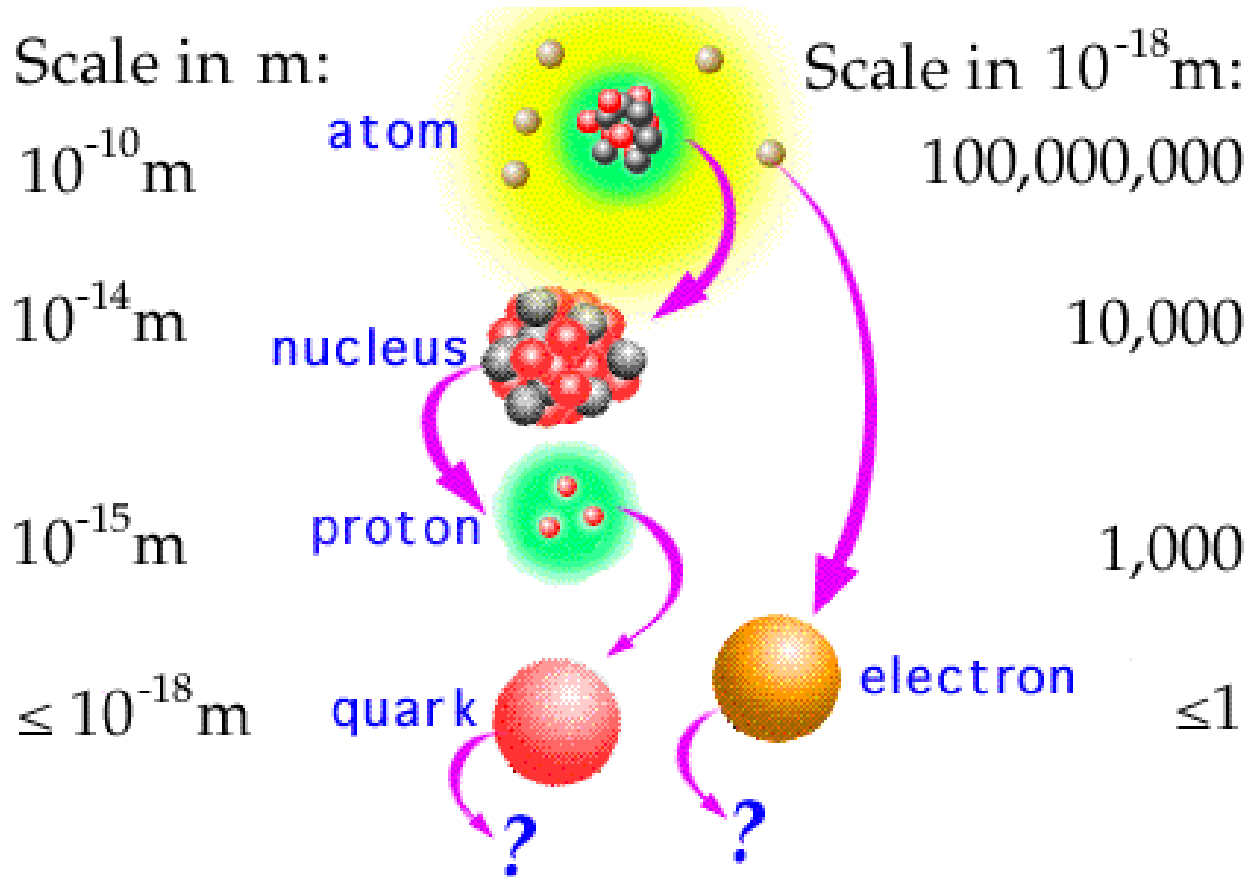
↓
partículas más elementales

Protones no son partículas elementales, están compuestos por **quarks**.
Electrones sí son partículas elementales.

Quarks no han sido "observados" nunca individualmente, pero se sabe su existencia por los efectos que producen en otras partículas a su alrededor.

¿De qué dimensiones estamos hablando?

Dimensiones subnucleares



Clasificación de elementos por Mendeleev (1869)

The image shows Mendeleev's periodic table of elements from 1869. The elements are arranged in rows and columns, with colors used to group them. The groups are: Group 1 (blue), Group 2 (red), Group 3 (yellow), Groups 4-10 (yellow), Group 11 (cyan), Group 12 (cyan), Group 13 (magenta), Group 14 (green), Group 15 (green), Group 16 (green), Group 17 (pink), Group 18 (orange). The lanthanide and actinide series are shown below the main table, connected by lines to their respective positions in the main table.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub						
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Hoy sabemos que **protones** (p), **neutrones** (n) y **electrones** (e^-) se combinan para formar distintos elementos.

Clasificación de partículas elementales

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e electron	μ muon	τ tau
	I	II	III
The Generations of Matter			

Quarks: son constituyentes de otras partículas (p,n), siempre en pares o tripletes.

Tienen carga eléctrica fraccionaria ($\pm 1/3$, $\pm 2/3$).

Leptones: no se asocian, siempre aparecen individualmente.

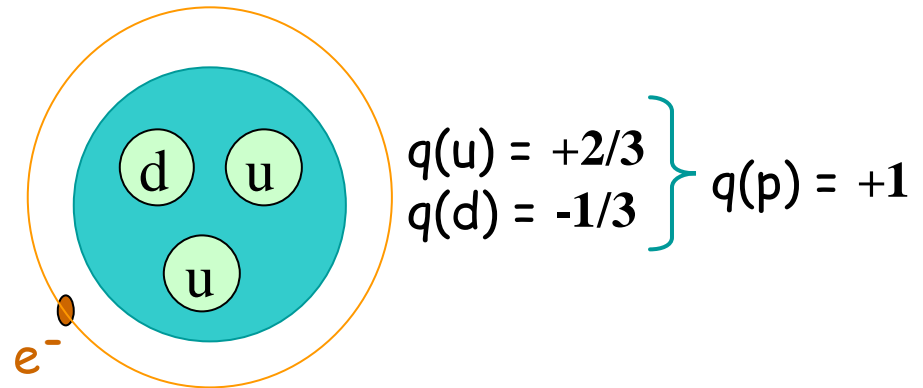
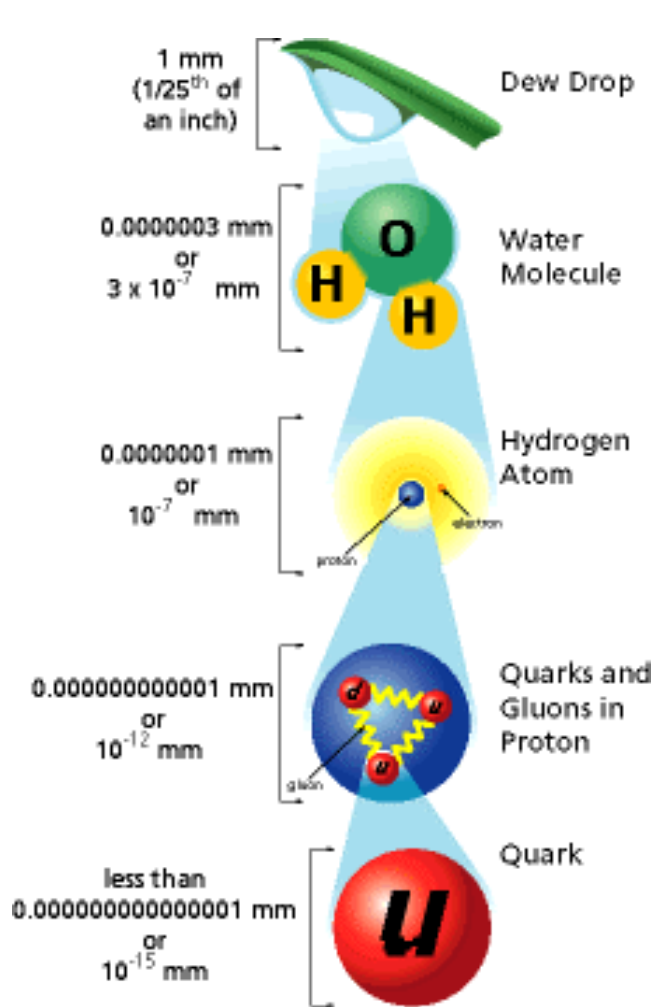
e, μ, τ tienen carga eléctrica ± 1 .

Neutrinos, n , carga eléctrica 0.

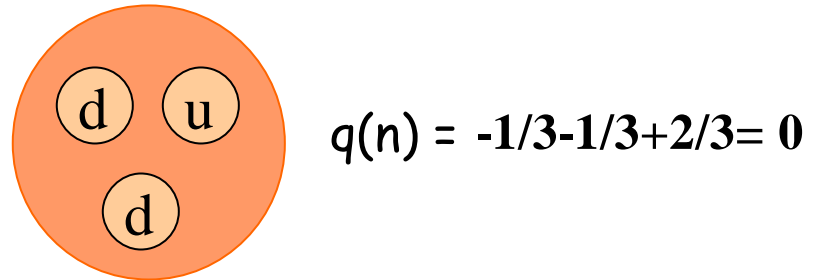


Cada generación tiene mayor masa que la anterior

¿De qué está compuesto un protón?



...y un neutrón?



Materia ordinaria formada por partículas de 1ª generación

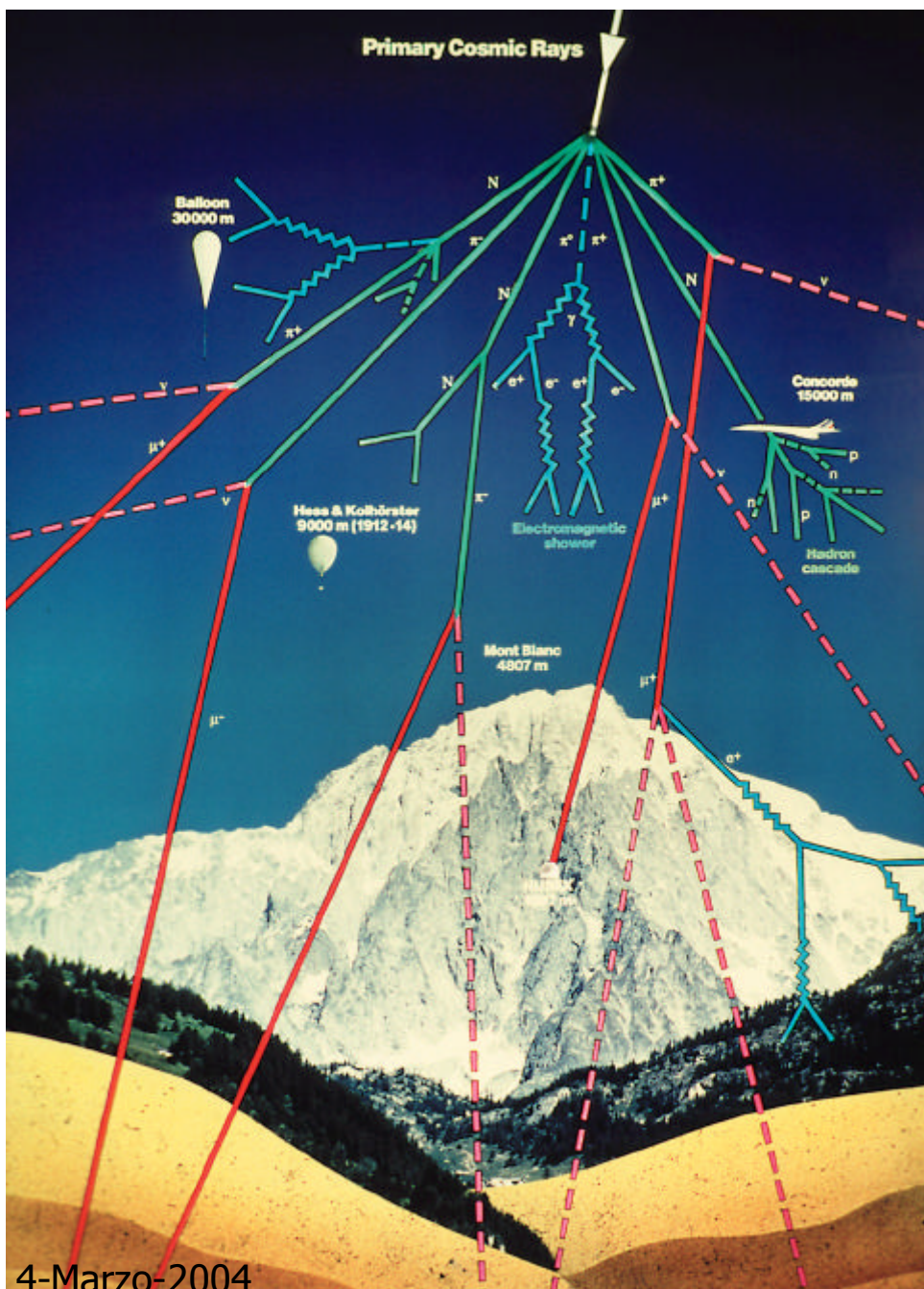
(u, d, e, n_e)

Rayos Cósmicos

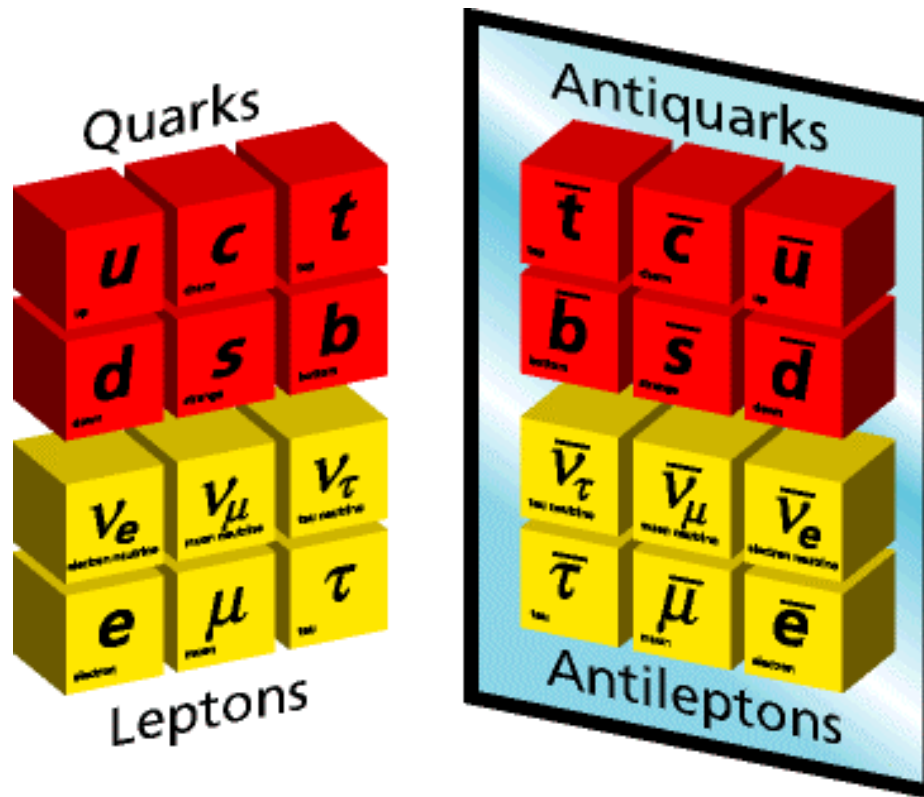
- ~1910 observaron nuevas partículas elementales.
- Proviene del exterior de la Tierra (e, p, a...) de energía muy variada.
- Al atravesar la atmósfera originan cascadas de partículas
- 2ª generación (s, c, m, n_m) más masiva, se encuentra en rayos cósmicos.

Componentes de 3ª generación (b, t, τ, n_t) requieren procesos más energéticos :

colisiones entre partículas en aceleradores



Antimateria



Toda partícula tiene su antipartícula, de igual masa pero números cuánticos opuestos

Ej. electrón, e^- : $q(e^-) = -1$, $spin = -1/2$, $m(e^-) = 9.1 \times 10^{-28}$ gr.

positrón, e^+ : $q(e^+) = +1$, $spin = +1/2$, $m(e^+) = 9.1 \times 10^{-28}$ gr.

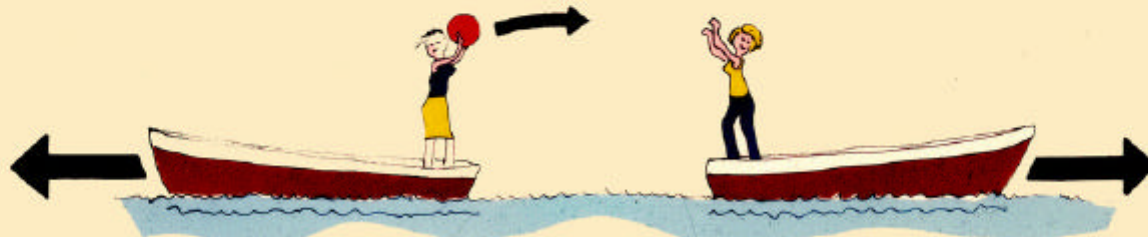
Interacciones entre partículas

Se produce por el intercambio de una partícula mediadora

4 tipos de fuerzas básicas:
fuerte, débil, electromagnética y gravitatoria

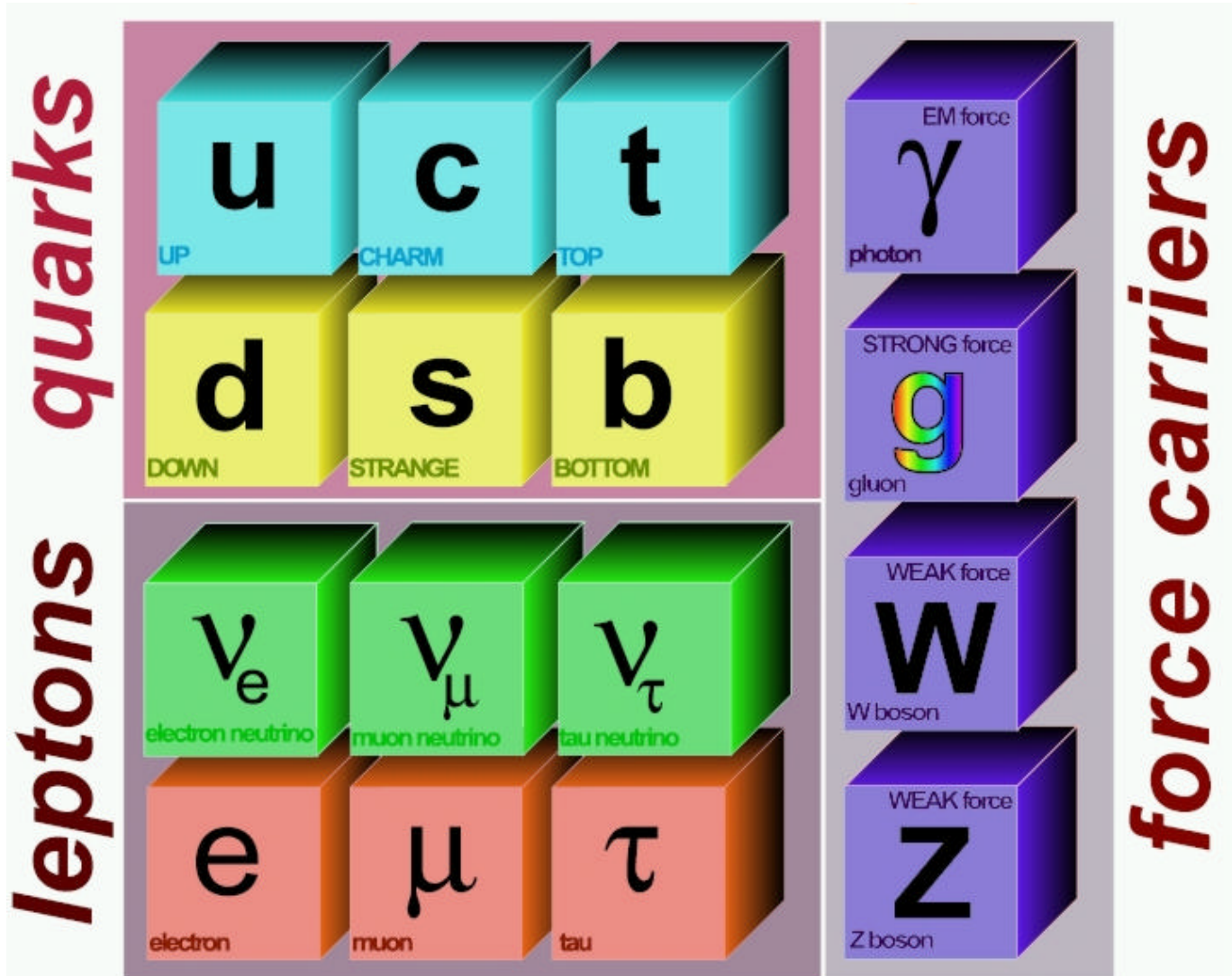
THE FORCES IN NATURE

TYPE	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN:
STRONG NUCLEAR FORCE	~ 1	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO-MAGNETIC FORCE	$\sim \frac{1}{1000}$	PHOTON (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	$\sim \frac{1}{100000}$	BOSONS Z^0, W^+, W^- (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	GRAVITON ?	HEAVENLY BODIES

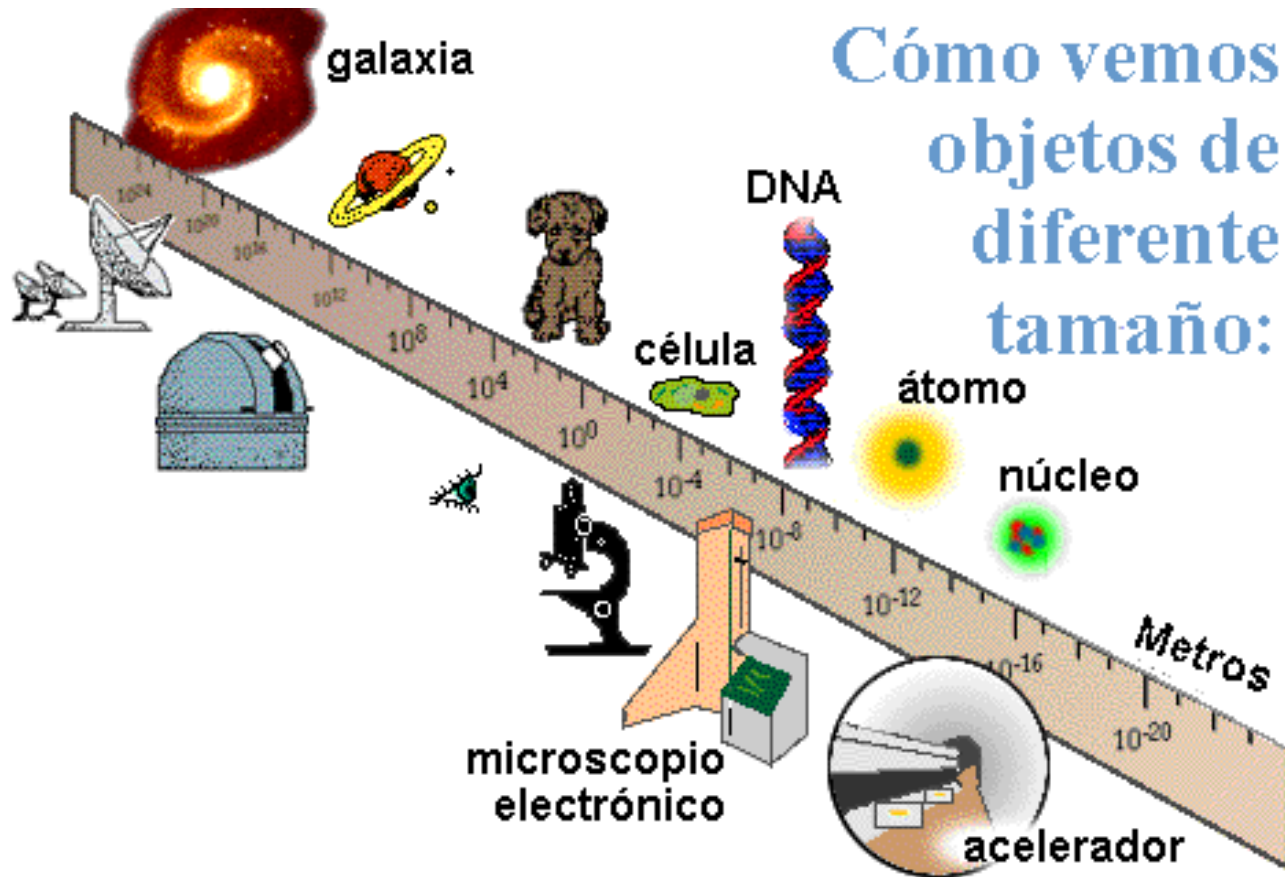


THE EXCHANGE OF PARTICLES IS RESPONSIBLE FOR THE FORCES

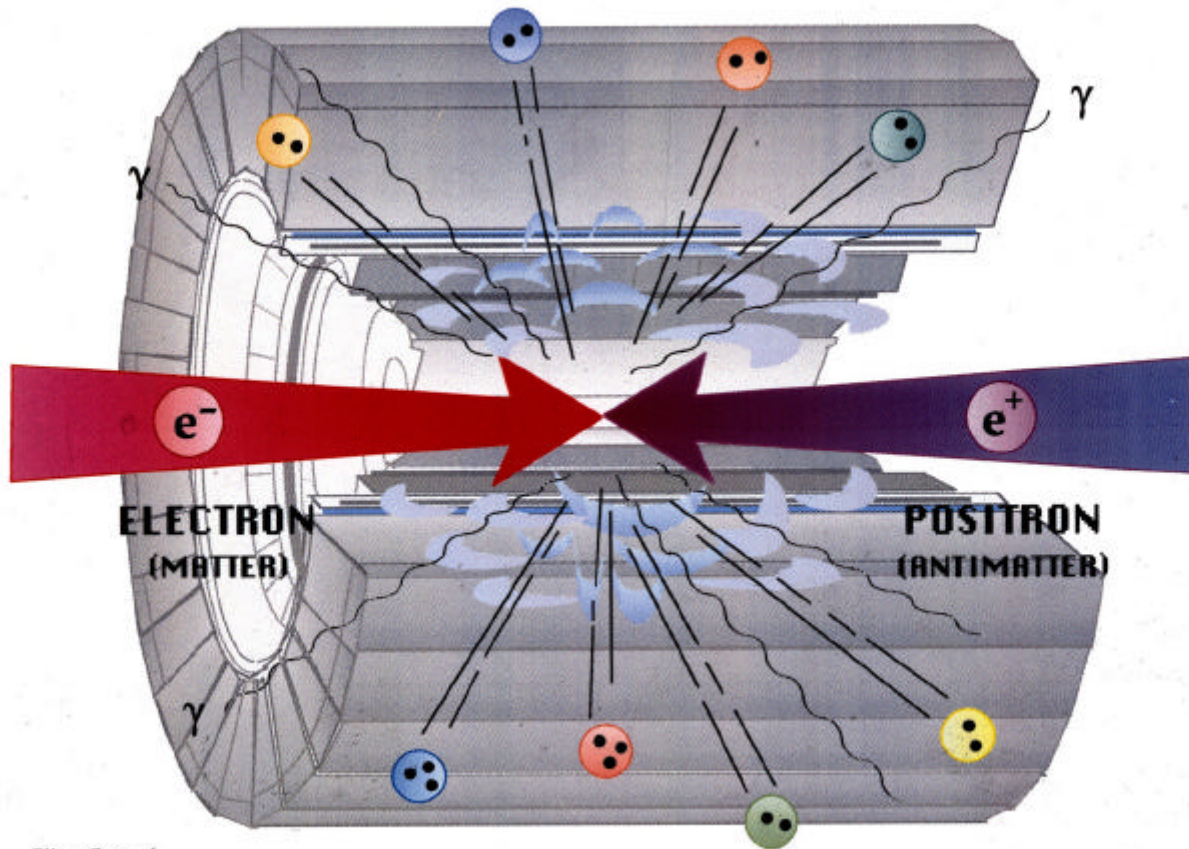
Modelo Estándar de Partículas Elementales



¿Qué instrumentos nos permiten 'observar' estas partículas?



Colisiones de partículas a muy alta energía



Eliane Onursal

$$E = mc^2$$

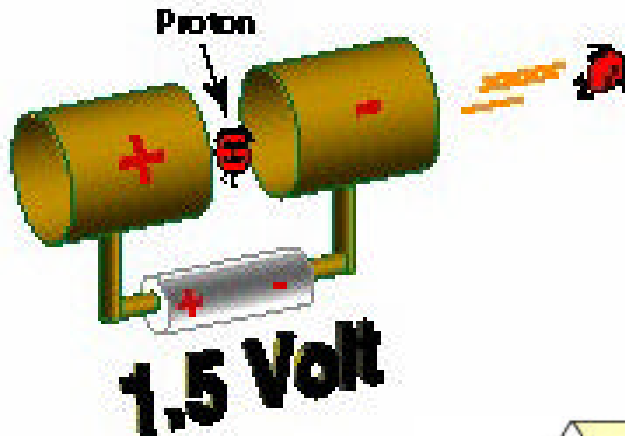
- Explorar el interior de partículas no elementales
- Crear nuevas partículas a partir de energía disponible

¿Cómo se aceleran partículas?

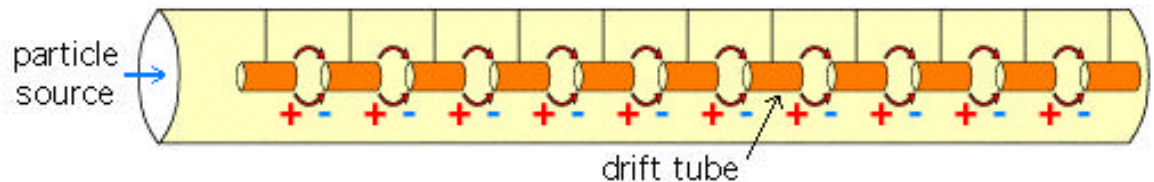
Por medio de campos eléctricos

$$\overline{F} = m \cdot \overline{a} = q \cdot \overline{E}$$

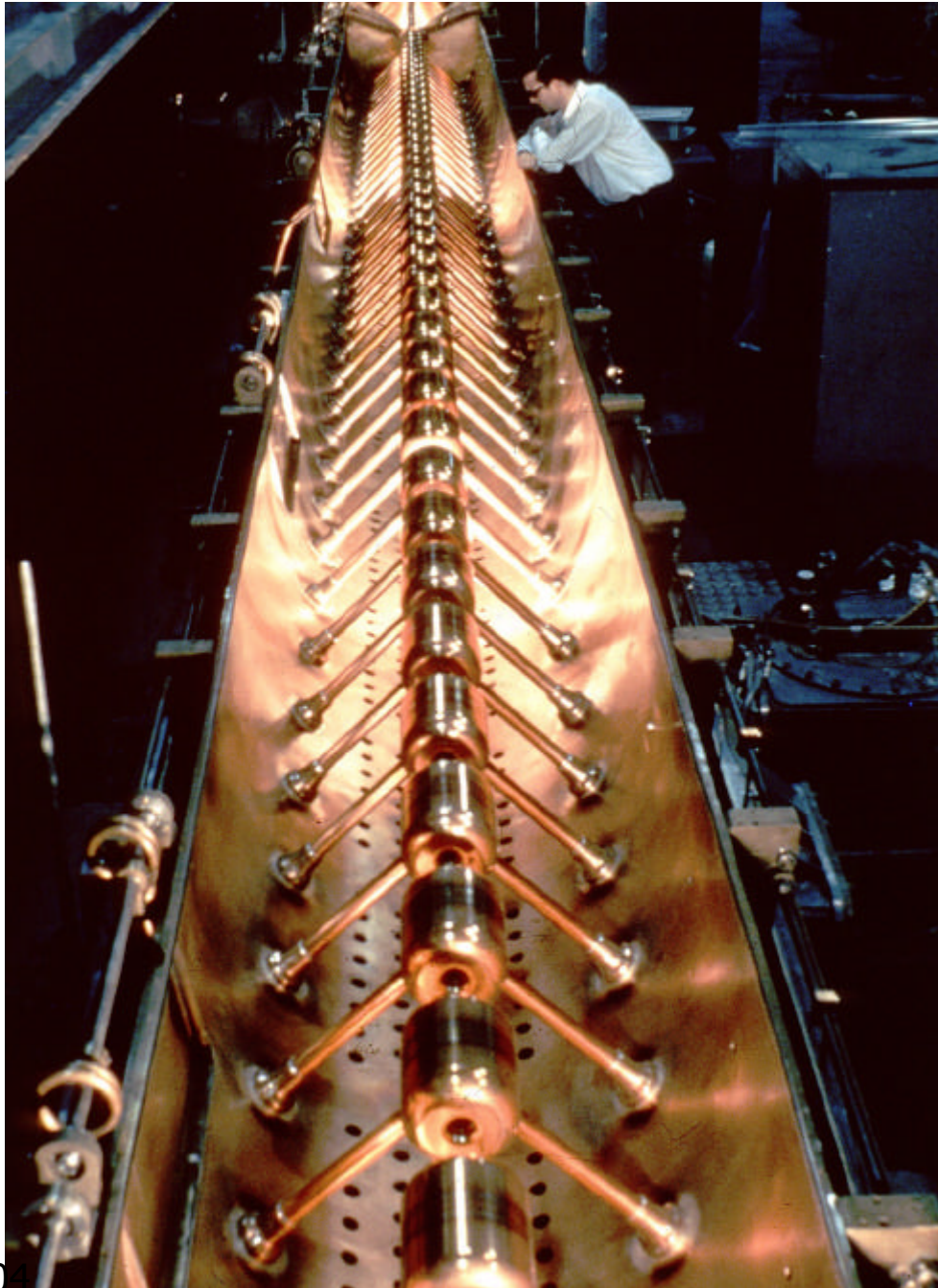
➔ Partículas cargadas (e^- , p , \bar{p} , e^+ , núcleos, ...)



Campos eléctricos alternantes aceleran a lo largo de longitud, L



Aceleradores lineales: $E \propto L$ acelerador

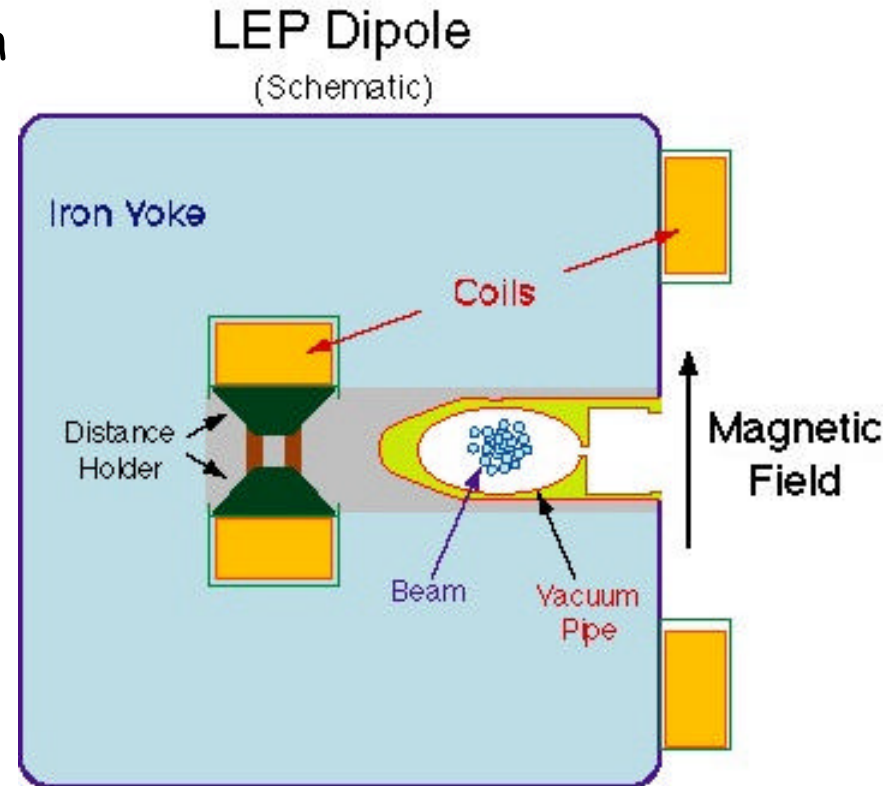
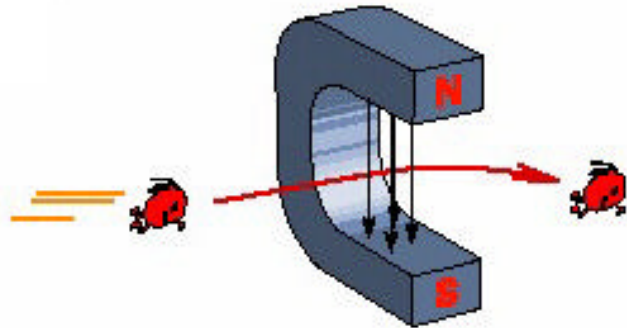


Acelerador
lineal
(~1950)

¿Cómo curvar trayectorias de partículas?

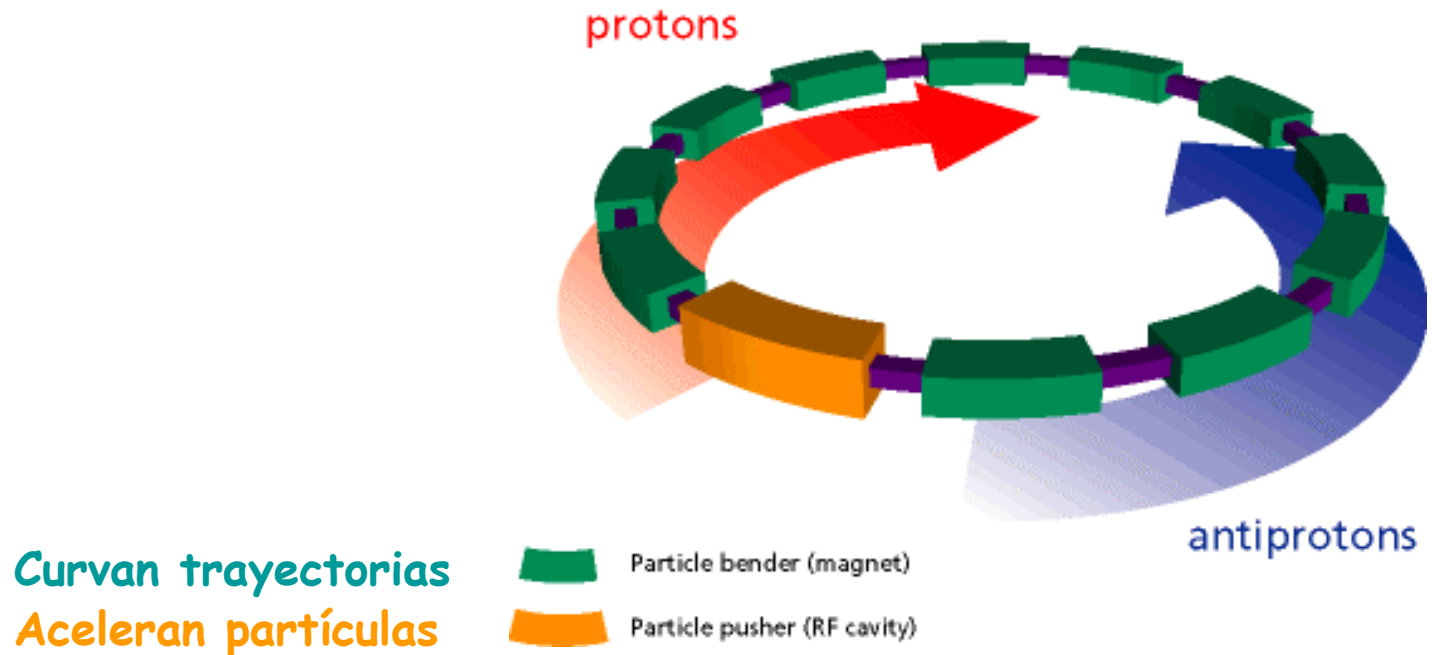
Con un campo magnético, \vec{B} $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Las trayectorias de partículas son circulares, consiguiendo energías finales mayores



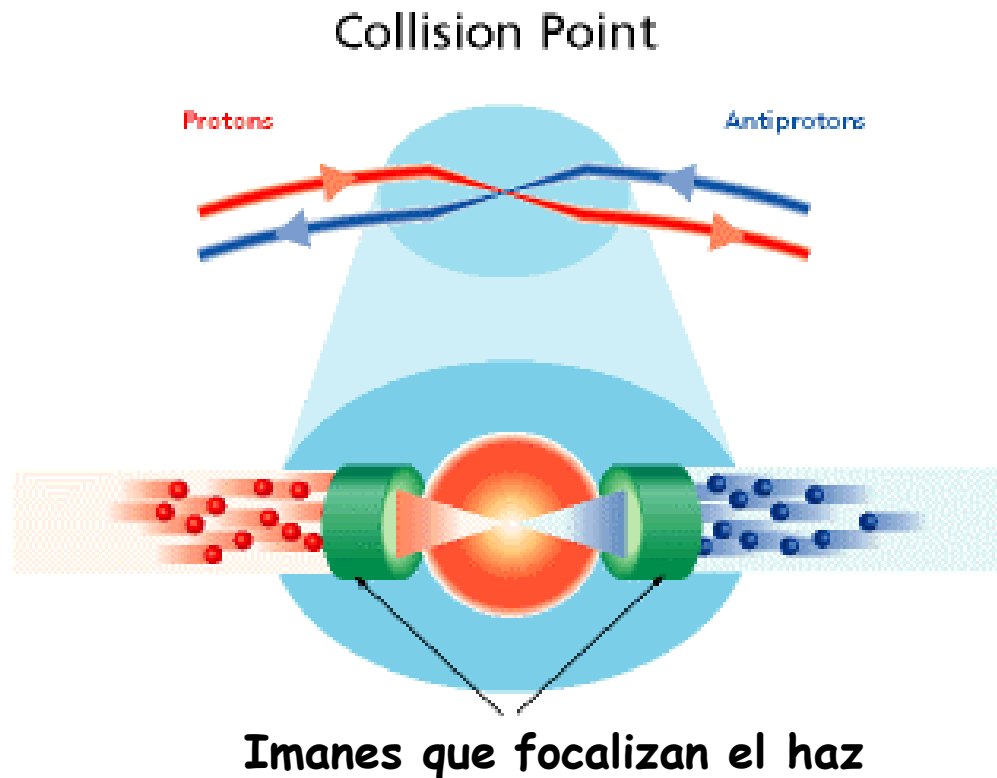
Radiación Sincrotrón: partículas cargadas aceleradas emiten radiación, perdiendo energía

Idea esquemática de acelerador circular = colisionador de partículas



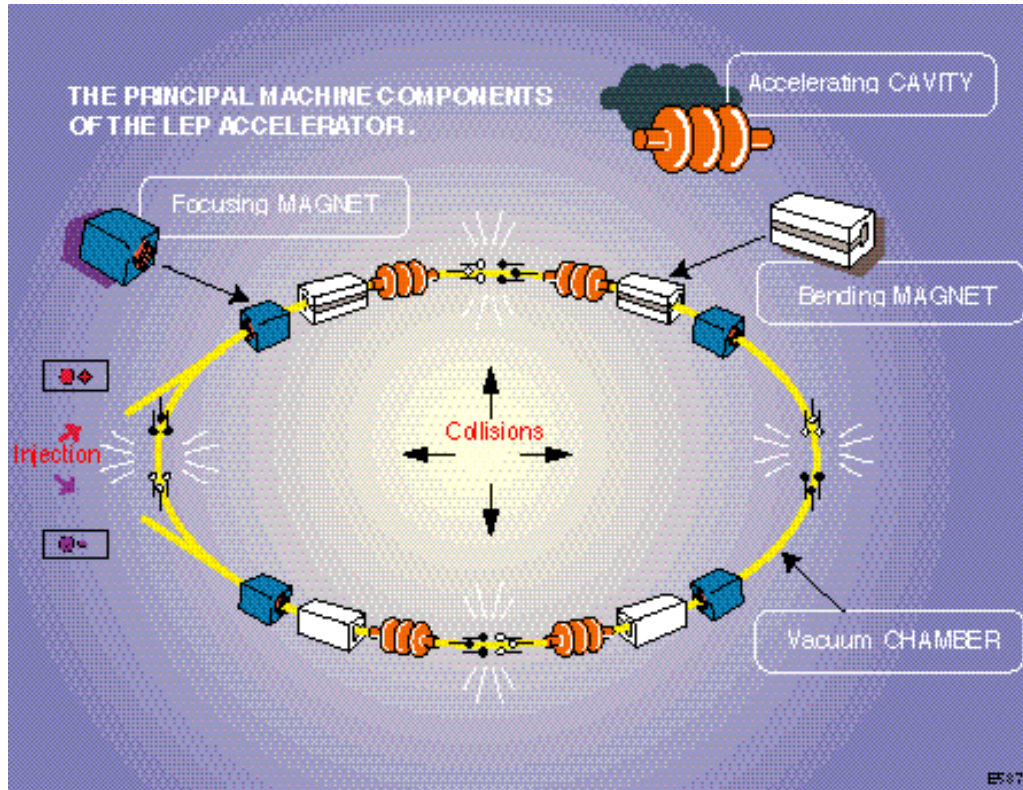
Haces de partículas giran en sentidos opuestos, en trayectorias separadas, y en algunos puntos se les hace colisionar.

Punto de interacción o colisión en un acelerador circular



$$\text{Luminosidad} = \frac{\text{Número partículas}}{\text{Unidad tiempo} \cdot \text{unidad superficie}} \quad (\sim 10^{32} \text{ part./s/cm}^2)$$

Elementos de un acelerador



➤ **Cavidades aceleradoras**
Cu, Superconductoras Nb (a -270° C)

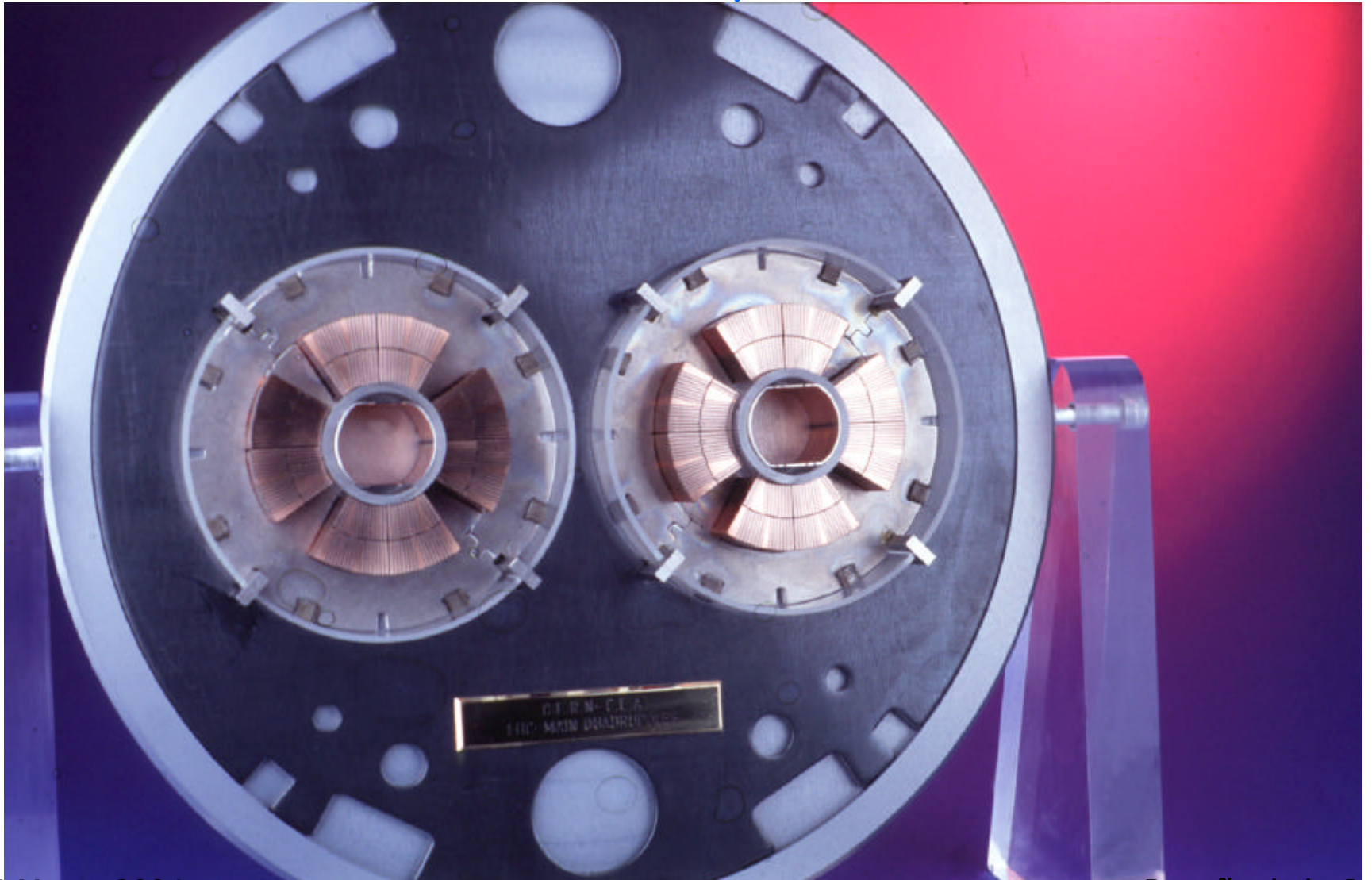
➤ **Dipolos**
Imanes curvan trayectoria

➤ **Cuadrupolos, Sextupolos**
Focalizan y empaquetan haz

➤ **Tubo del haz**
Vacío mejor que espacio exterior

➤ **Túnel**
Gran obra ingeniería civil

Sección de un acelerador Cuadrupolo



Porción de tubo de haz abierto



4-Marzo-2004

Begoña de la Cruz

Interior de túnel de acelerador



Interior de túnel de acelerador



4-Marzo-2004

Begoña de la Cruz

CERN

Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire
(Ginebra, Suiza)



Member States (Dates of Accession)

 AUSTRIA (1959)	 DENMARK (1953)	 GREECE (1953)	 NORWAY (1953)	 SPAIN (1/1961-12/1968-1/1983)
 BELGIUM (1953)	 FINLAND (1991)	 HUNGARY (1992)	 POLAND (1991)	 SWEDEN (1953)
 BULGARIA (1999)	 FRANCE (1953)	 ITALY (1953)	 PORTUGAL (1986)	 SWITZERLAND (1953)
 CZECH FR (1993)	 GERMANY (1953)	 NETHERLANDS (1953)	 SLOVAK FR (1993)	 UNITED KINGDOM (1953)

CERN (1954 -)

Centre Européene pour la Recherche Nucléaire
(Ginebra, Suiza)

En el Laboratorio Europeo de Física de Partículas

- PS (Proton Synchrotron)
1959, P=200 m, E =28 GeV
- SPS (Super Proton Synchrotron)
1970, P=6 km, E =450 GeV
- LEP (Large Electron Positron Collider)
1989, P=27 km, E =200 GeV
- LHC (Large Hadron Collider)
2007 , P=27 km, E =14 TeV

Unidades Energía

$$1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Kilo} \rightarrow 10^3$$

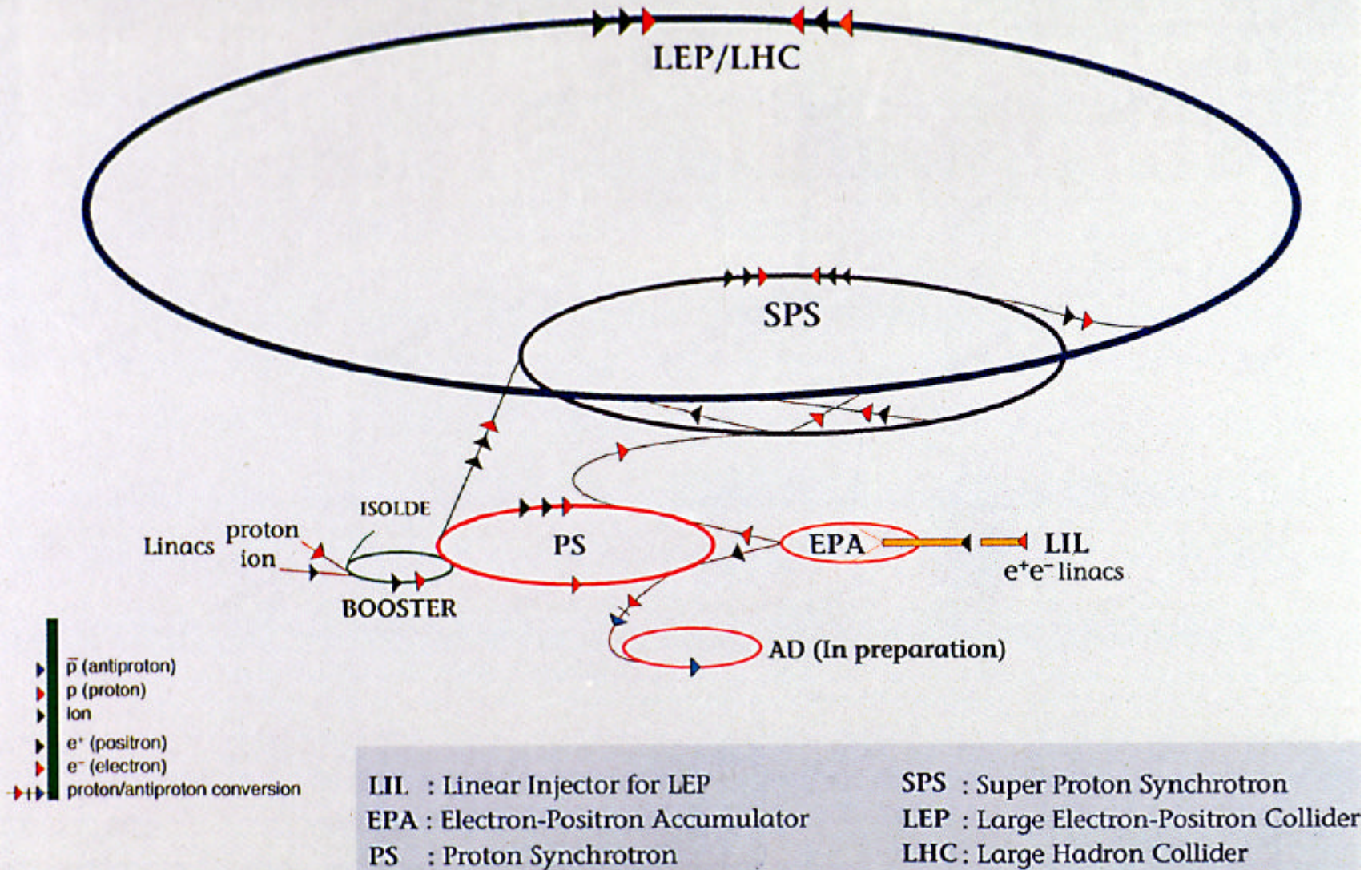
$$\text{Mega} \rightarrow 10^6$$

$$\text{Giga} \rightarrow 10^9$$

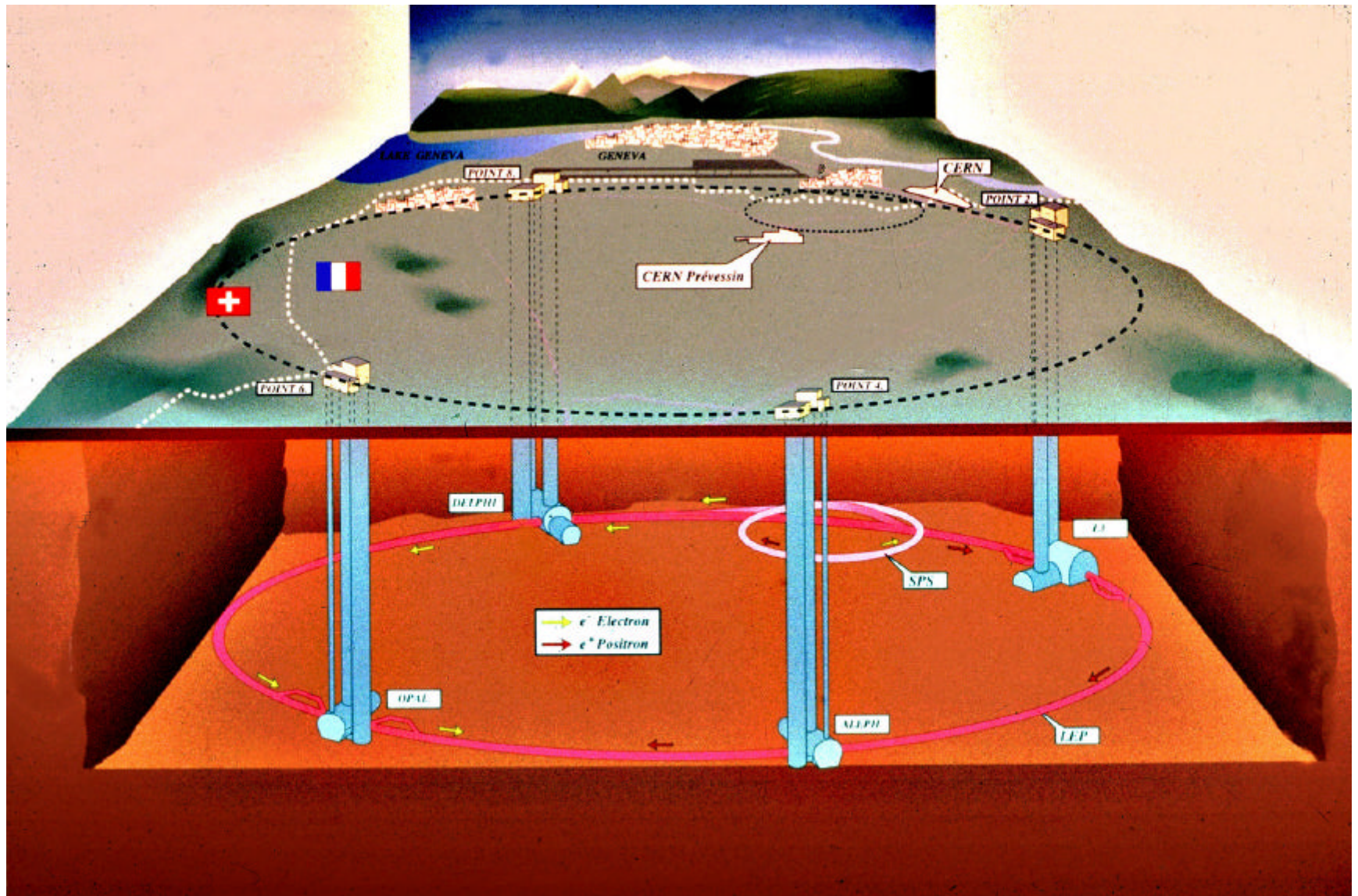
$$\text{Tera} \rightarrow 10^{12}$$

Cadena de aceleradores en el CERN

CERN's Chain of Accelerators



Acelerador LEP del CERN



Vista aérea de la zona del CERN



4-Marzo-2004

Begoña de la Cruz

Monorail en el interior de LEP



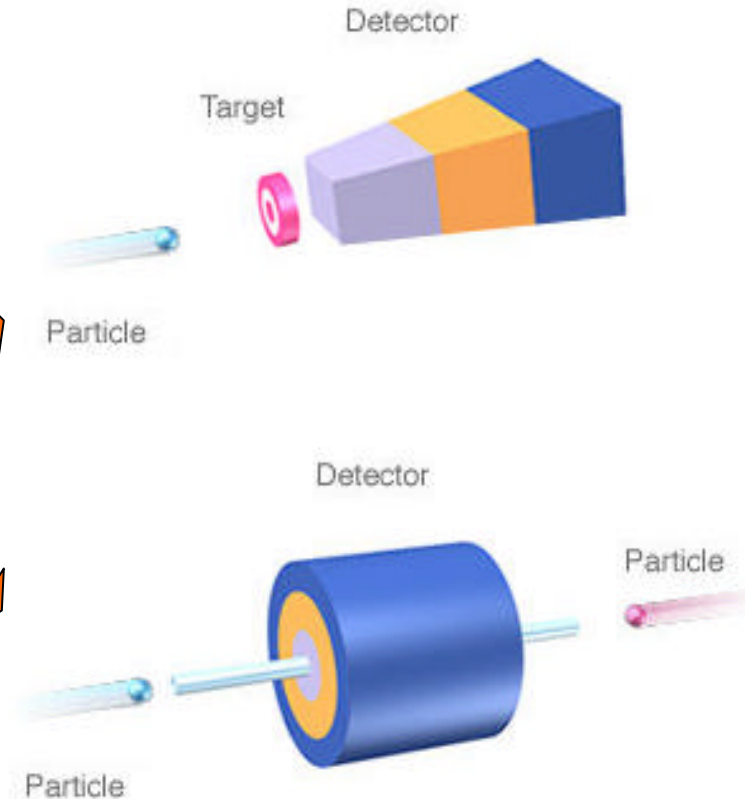
4-Marzo-2004

Begoña de la Cruz

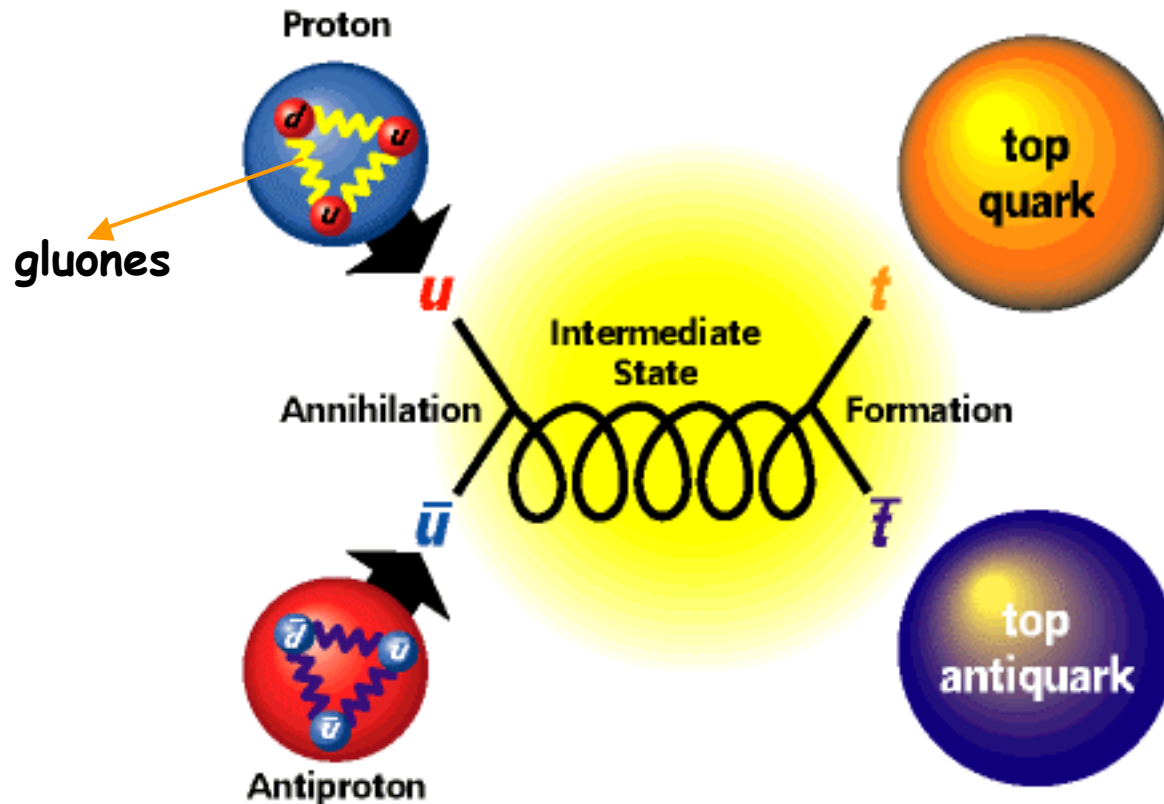
Tipos de experimentos

Blanco fijo

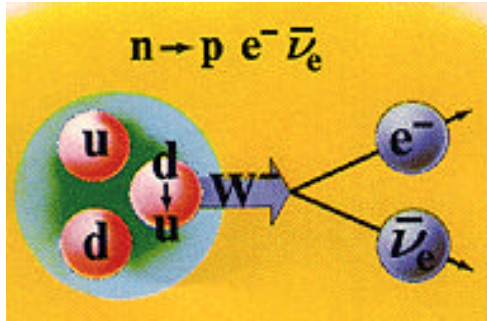
Colisión de haces



¿Qué ocurre en la interacción?

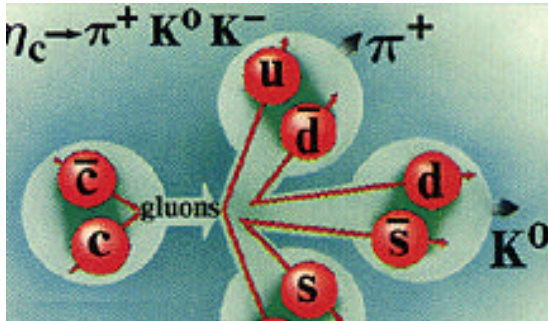


Algunos ejemplos de interacciones



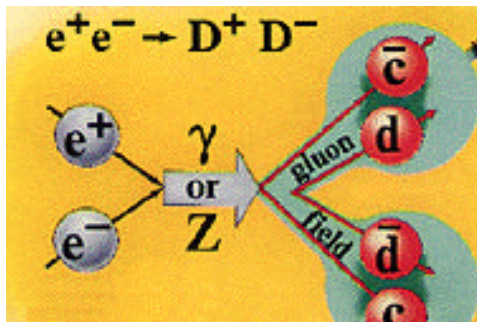
Desintegración (β) del neutrón

Interacción débil (W)



Desintegración de η_c

Interacción fuerte (g)



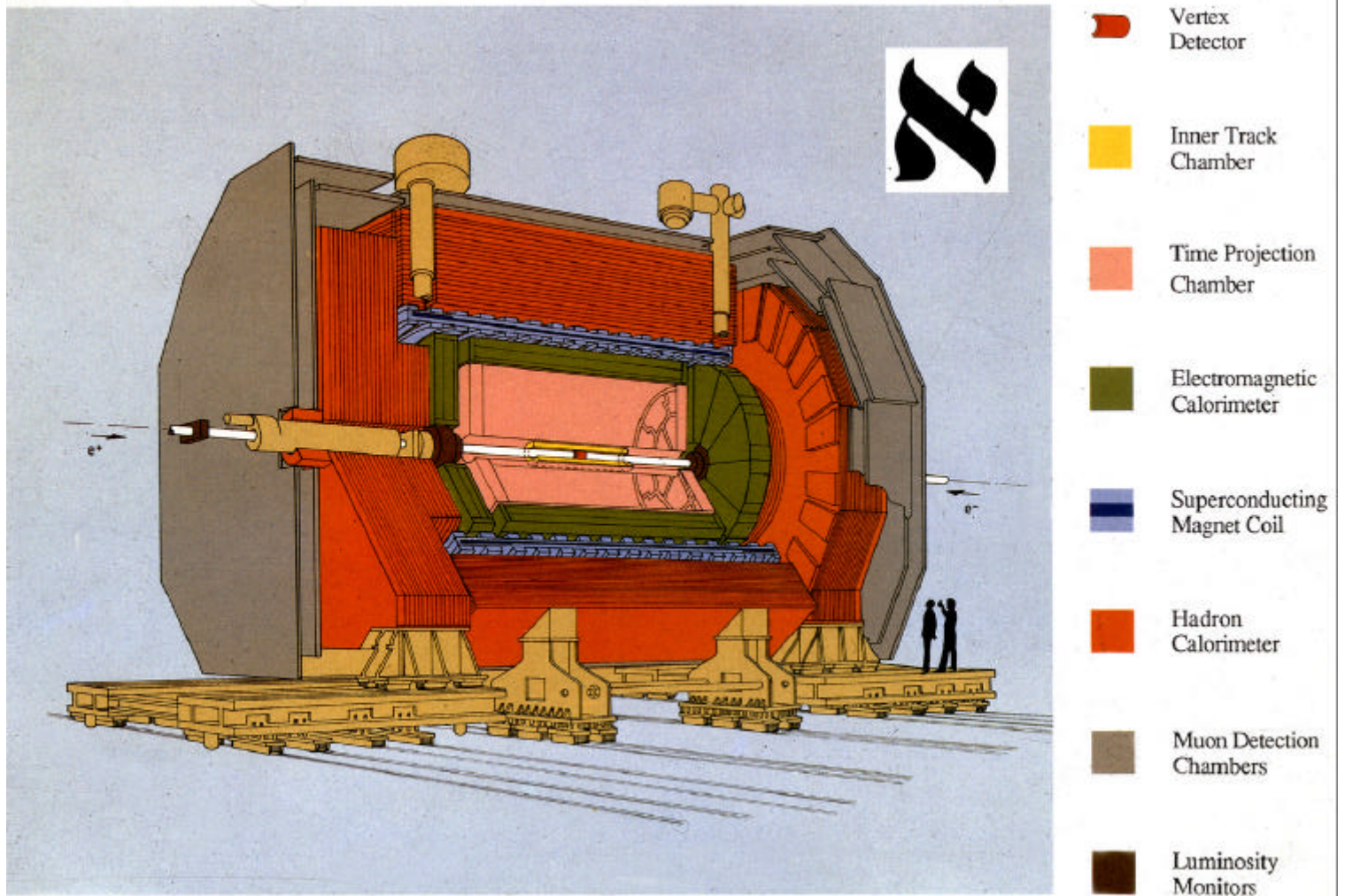
Proceso $e^+e^- \rightarrow D^+D^-$

Interacción electrodébil (γ, Z)

Colisión $q\bar{q}$

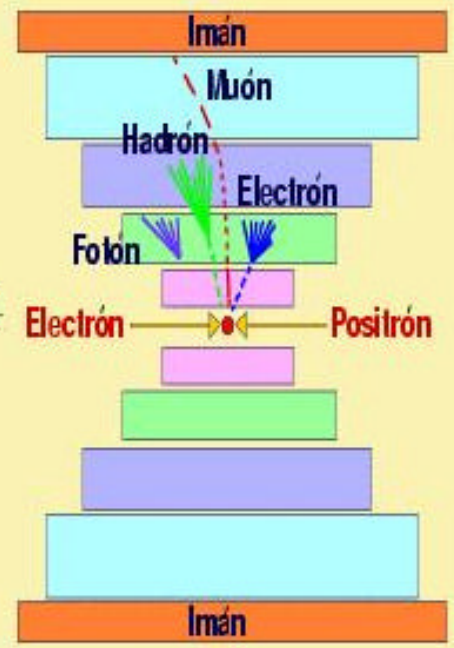
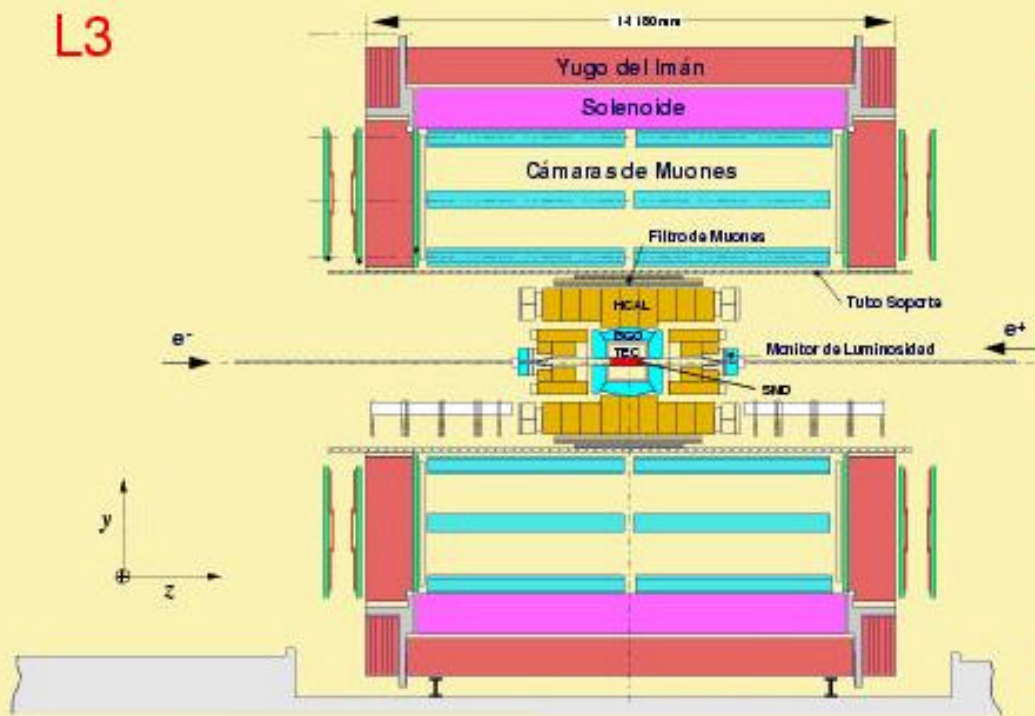


Esquema típico de un detector



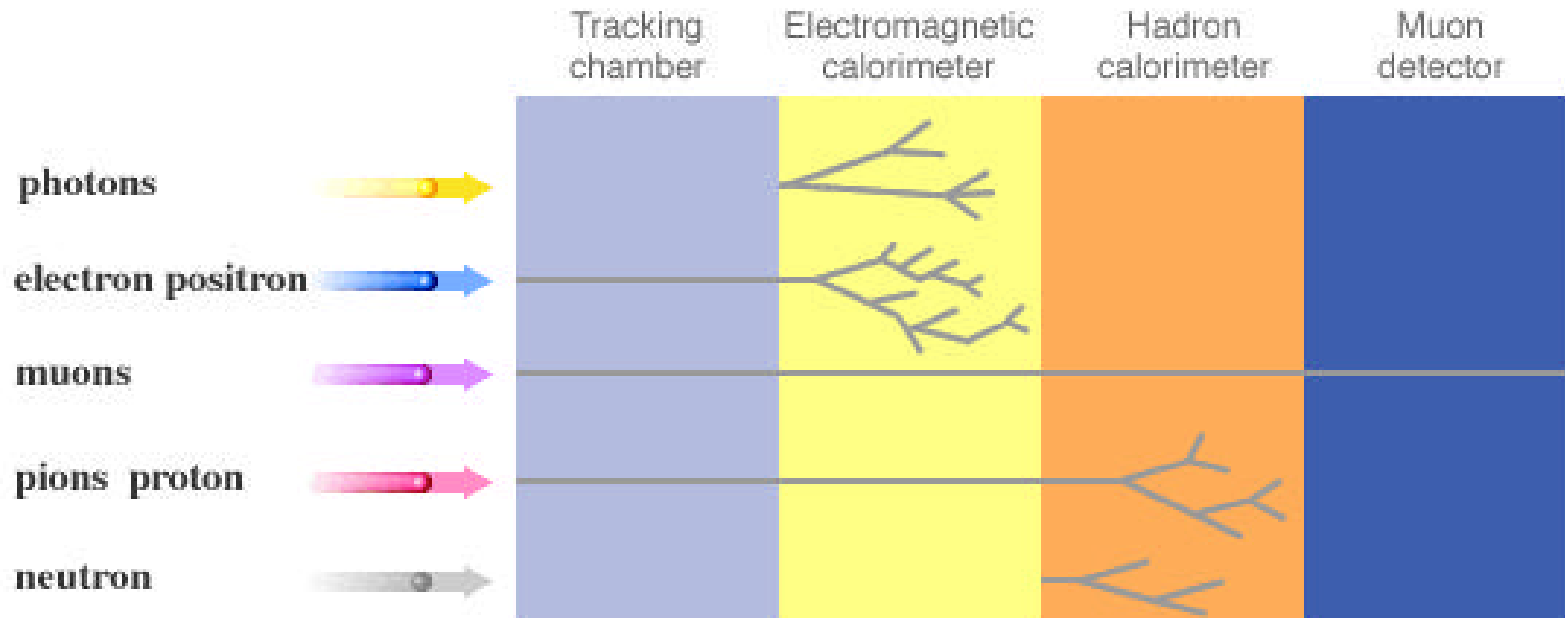
EL EXPERIMENTO L3

L3

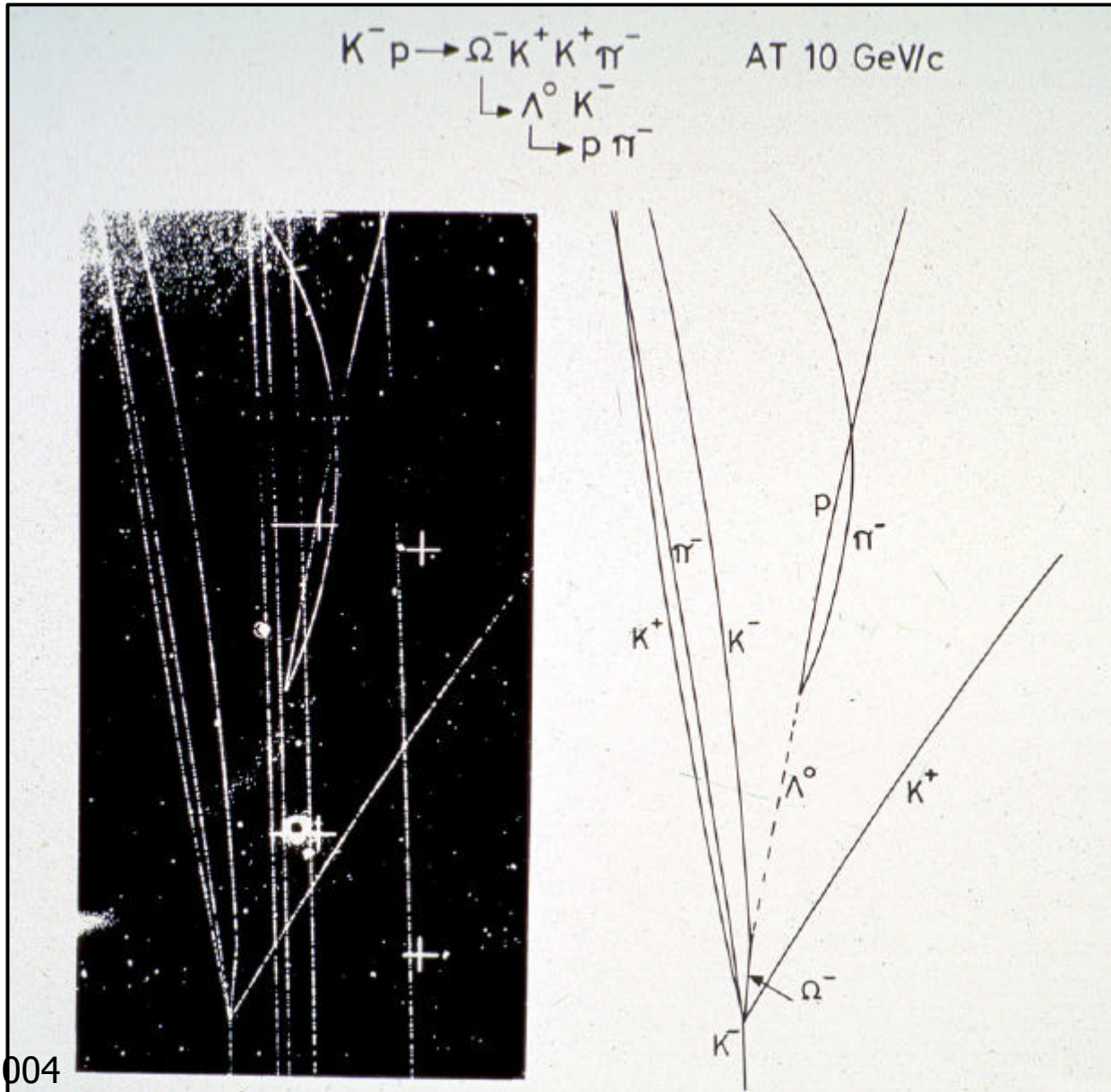


Identificación de partículas en L3

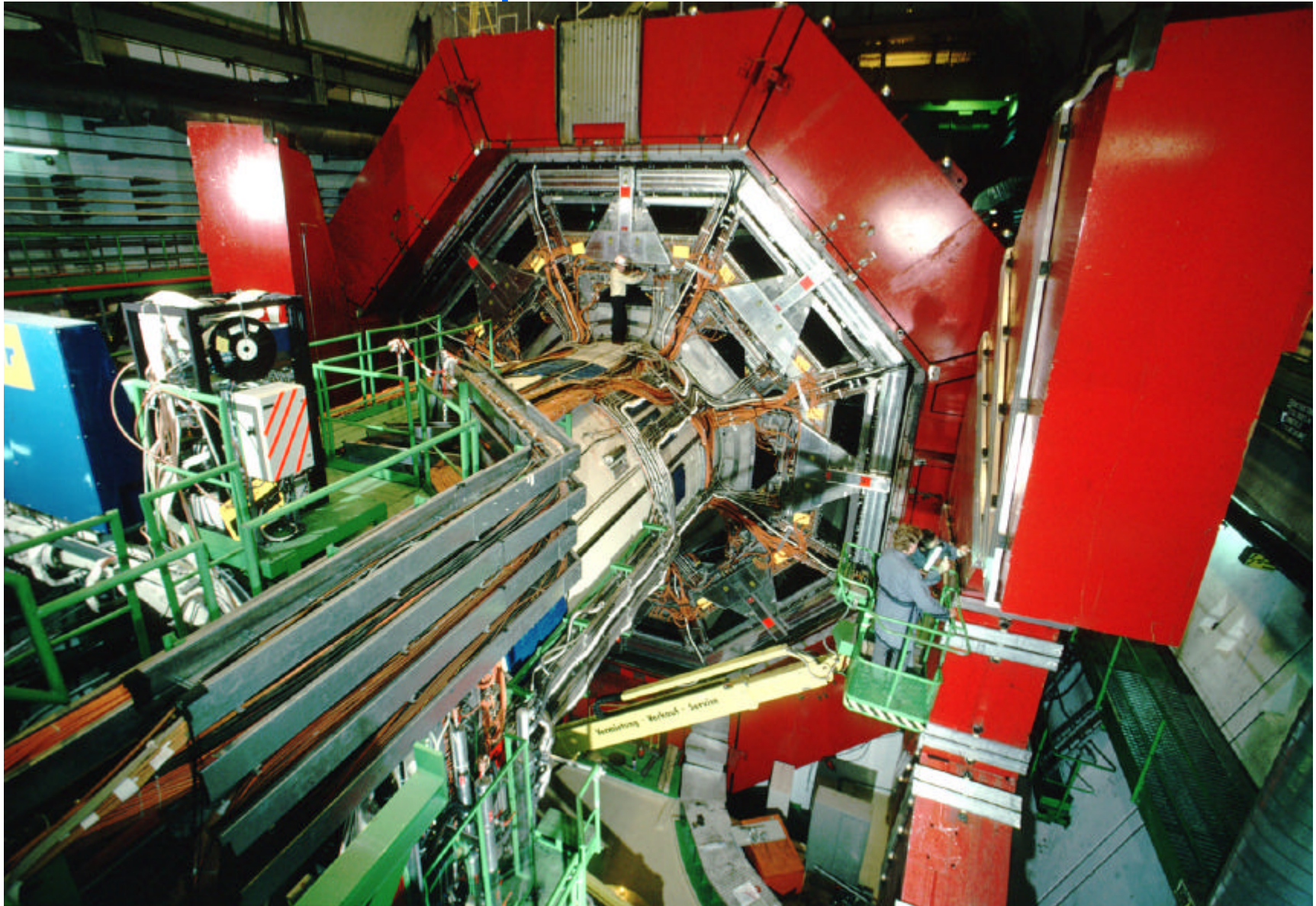
Identificación de partículas en distintos detectores



Suceso típico en cámara de burbujas (~1960)



Experimento L3



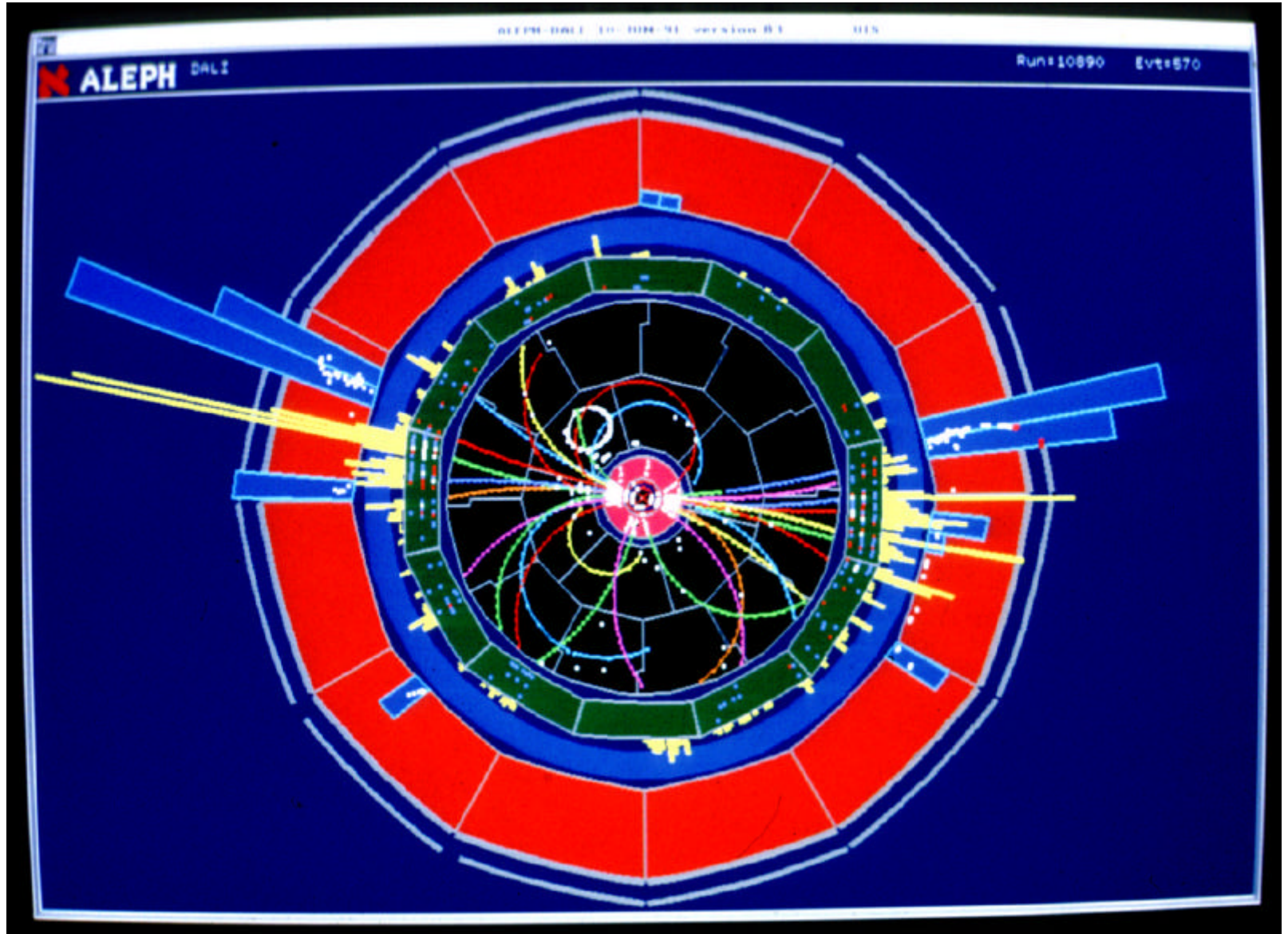
4-Marzo-2004

Begoña de la Cruz

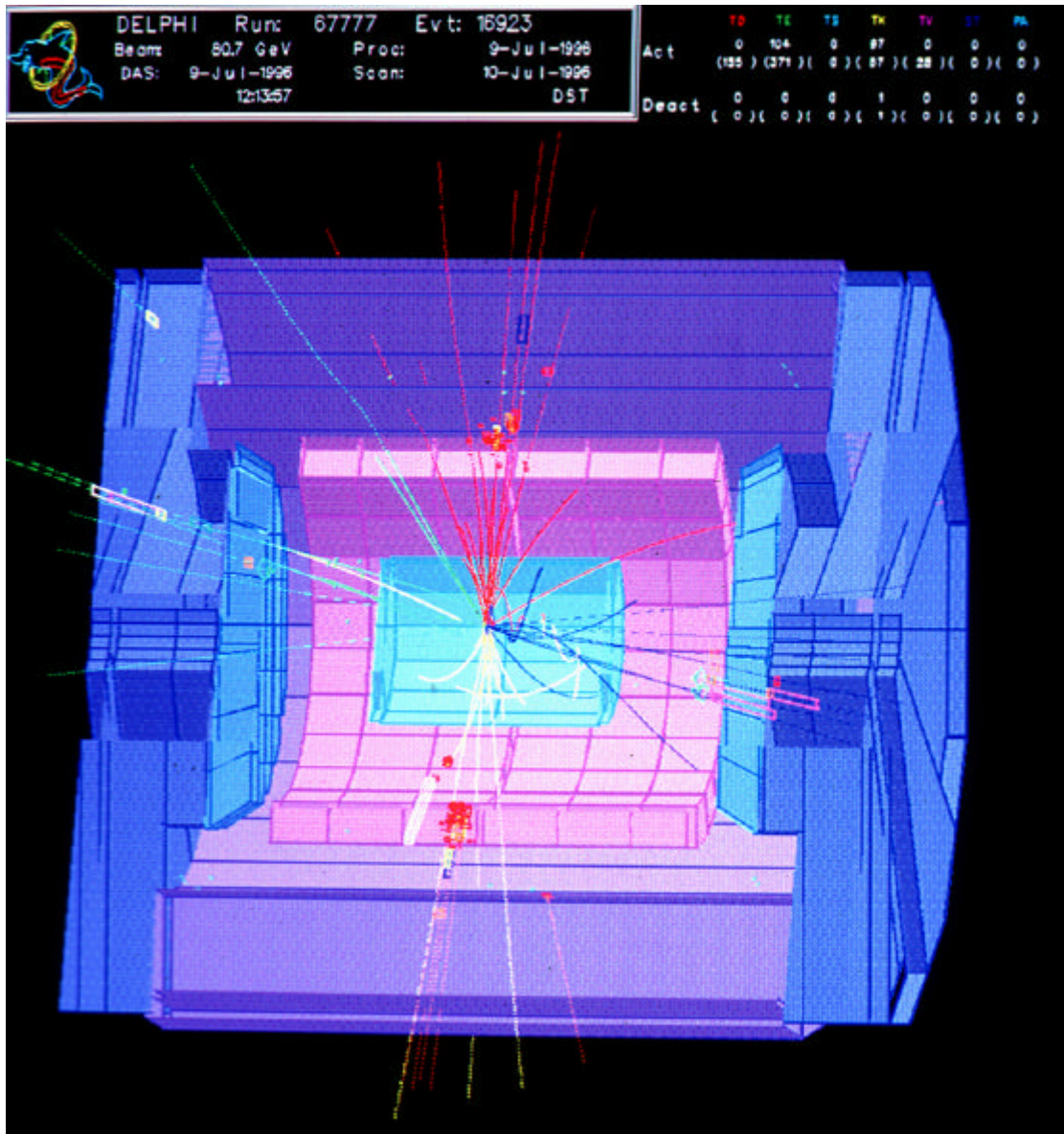
¿Cómo llegan hasta nosotros los datos?



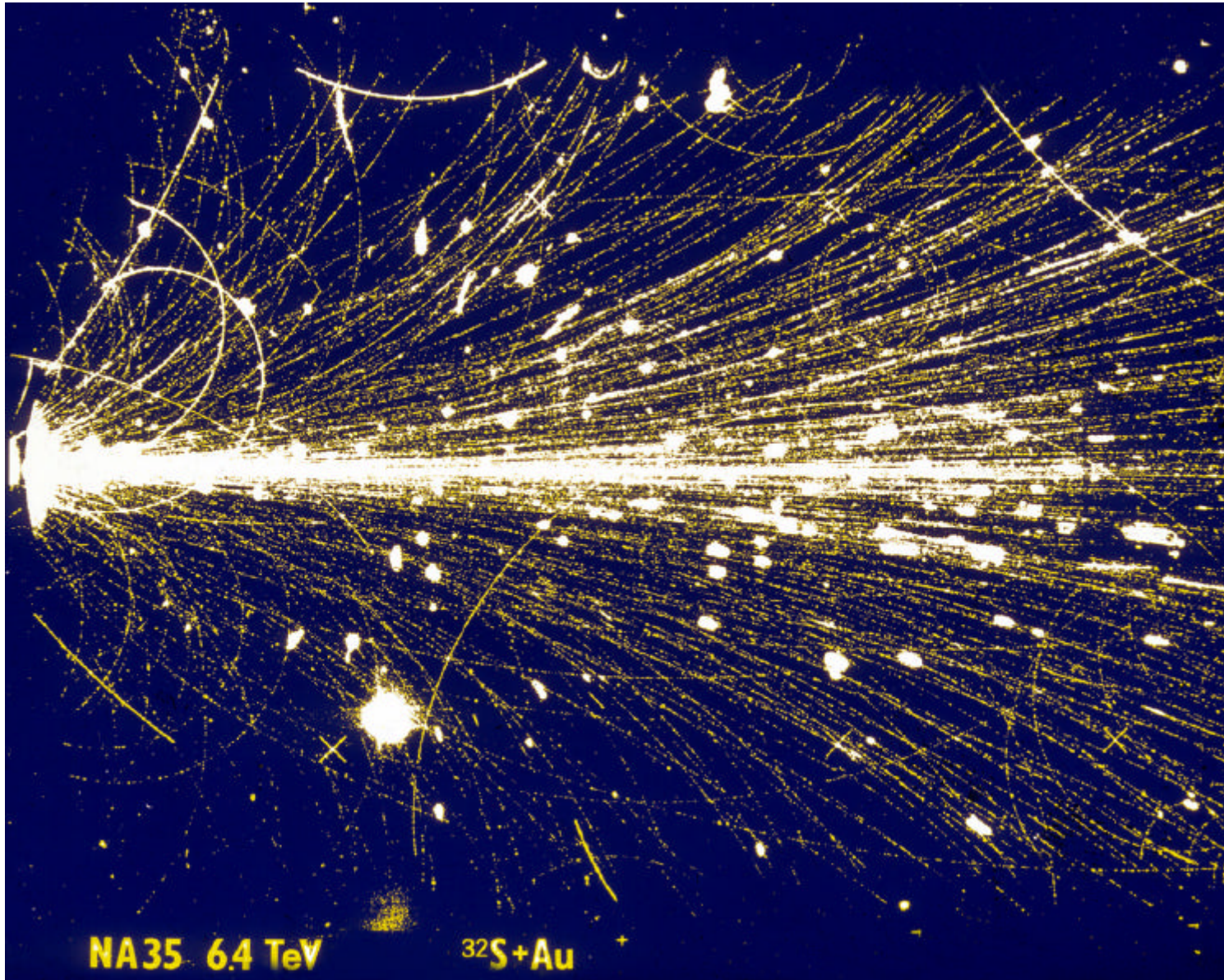
Productos de colisión detectados con ALEPH



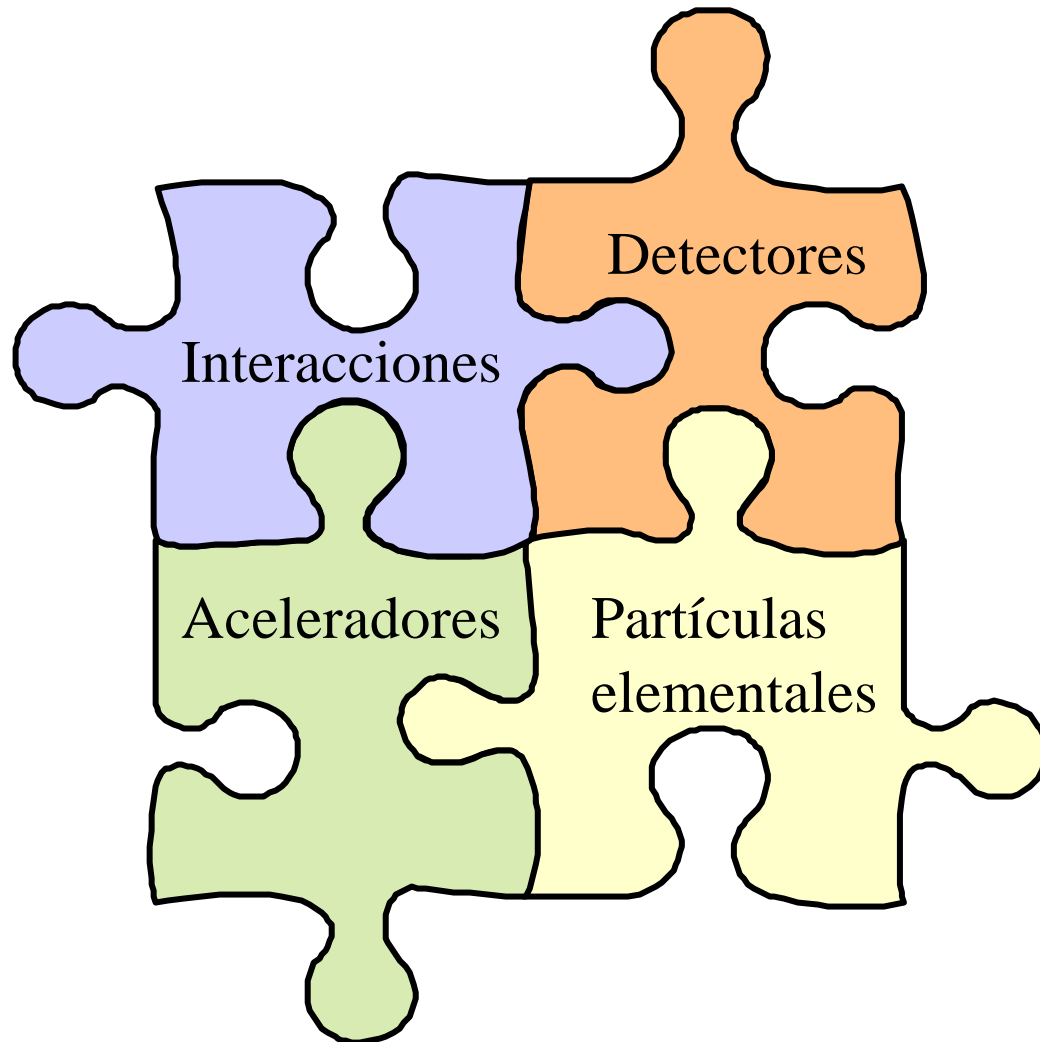
Productos de colisión detectados con DELPHI



Experimento de blanco fijo

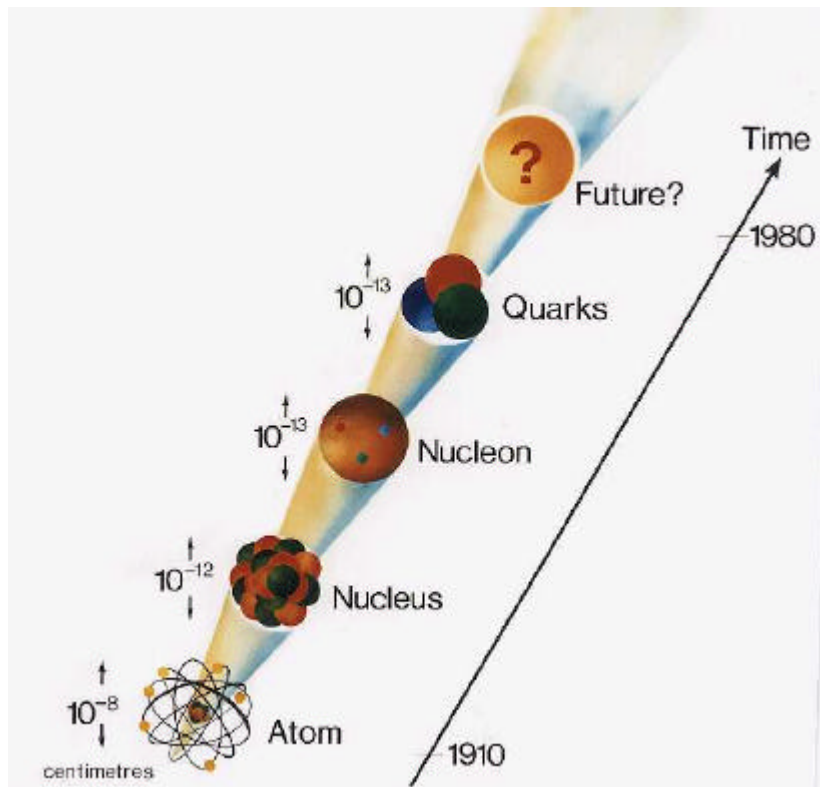


Puzzle de la Física de Partículas...



...no está completo

- Problema de la unificación de las 4 interacciones (falta gravitación); ligado a serias implicaciones cosmológicas.



- Existencia de posibles partículas más elementales o nuevas interacciones; ligado a existencia de dimensiones extra.

- Origen de masa de partículas, por qué son tan diferentes entre sí; ligado a la búsqueda de la partícula Higgs.

Aplicaciones de Aceleradores y Física de partículas

Investigación

Física de partículas y Astrofísica del Espacio
Radiación sincrotrón en Geología (edad) y Química (estructura virus)
Semiconductores

Medicina

Rayos X, Radioterapia, Tomografías (PET),
Bombardeo de cáncer con haces de partículas
Bisturís de haces láser (en desarrollo)
Técnicas de imagen más sofisticadas que Rayos X

Industria

Esterilizar con haces e^- (equipo médico, comida)
Circuitos integrados más pequeños
Implantaciones con haces de iones (aviones, caderas artificiales)
Revelar contenido vehículos, containers...

Protección medio ambiente

Convertir residuos radiactivos en elementos estables

Algunos laboratorios en el mundo

CERN (Ginebra, Suiza)

<http://public.web.cern.ch/public>

Fermilab (Chicago, EEUU)

<http://www.fnal.gov/>

DESY (Hamburgo, Alemania)

<http://www.desy.de/html/home>

SLAC (Standforf, EEUU)

<http://www.slac.stanford.edu/>

Brookhaven (Nueva York, EEUU)

<http://www.bnl.gov/world/>

begona.delacruz@ciemat.es