

Los retos de la Física de Partículas en la nueva etapa del LHC

María José Herrero Solans

Instituto de Física Teórica, IFT-UAM/CSIC

Alcobendas, MUNCYT, 15 de Noviembre de 2015



Instituto de
Física
Teórica
UAM-CSIC



La eterna pregunta: Por Qué ?



A lo largo de la Historia, el mayor reto de la Física ha sido y seguirá siendo.....:
Entender el por qué de los fenómenos de la naturaleza en sus varios niveles de estructura.

También en la Física de Partículas hay muchas preguntas y muchos retos.....
Para entenderlos nos vamos a sumergir en los niveles más profundos de la materia..... **A cuantos metros de profundidad?**

Dónde están las Partículas Elementales? (en metros)



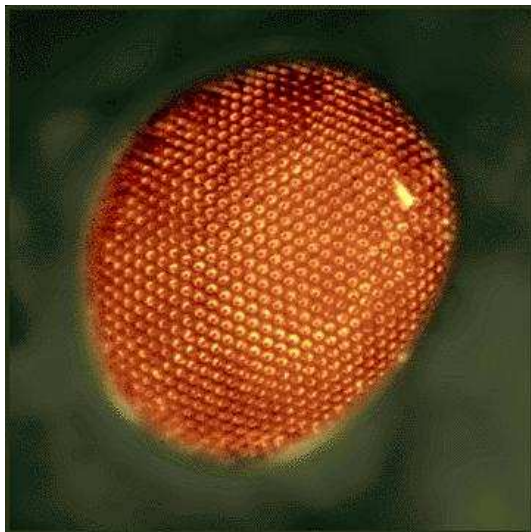
$$10^0 = 1$$



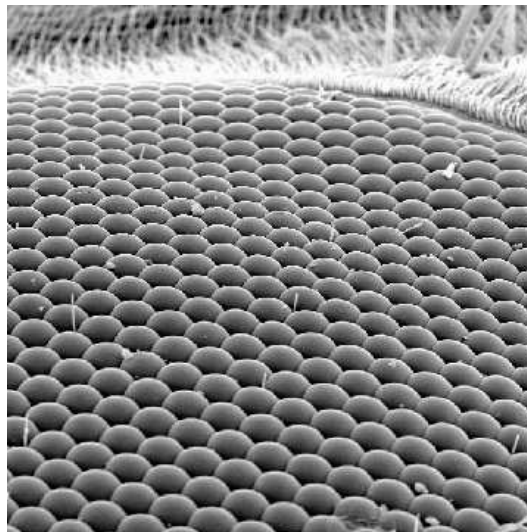
$$10^{-1} = 0.1$$



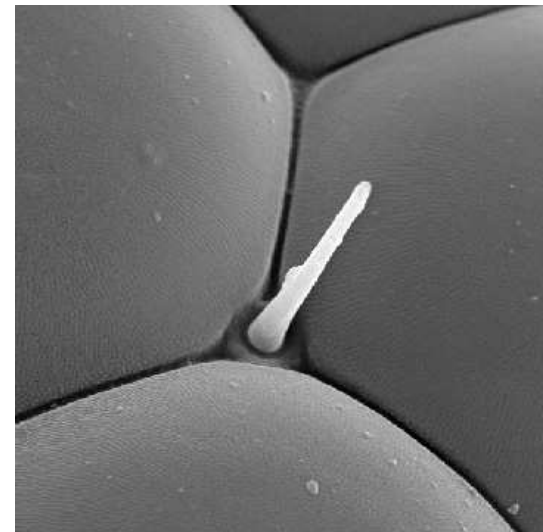
$$10^{-2} = 0.01$$



$$10^{-3} = 0.001$$

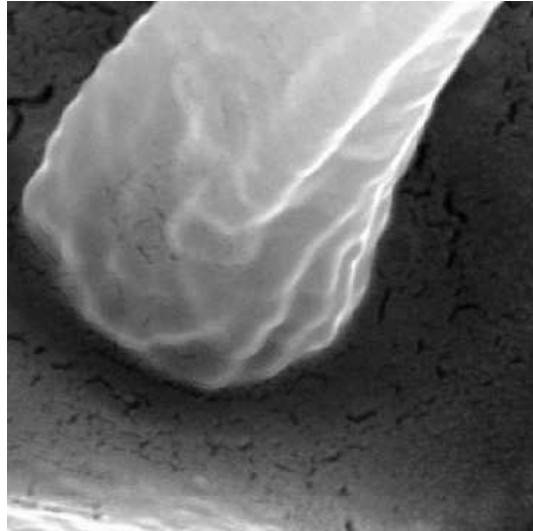


$$10^{-4} = 0.0001$$

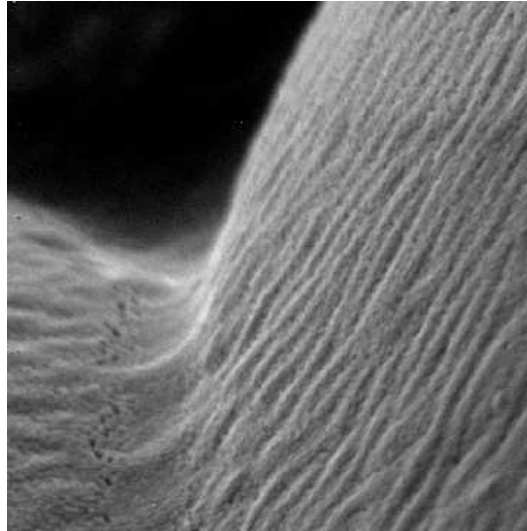


$$10^{-5} = 0.00001$$

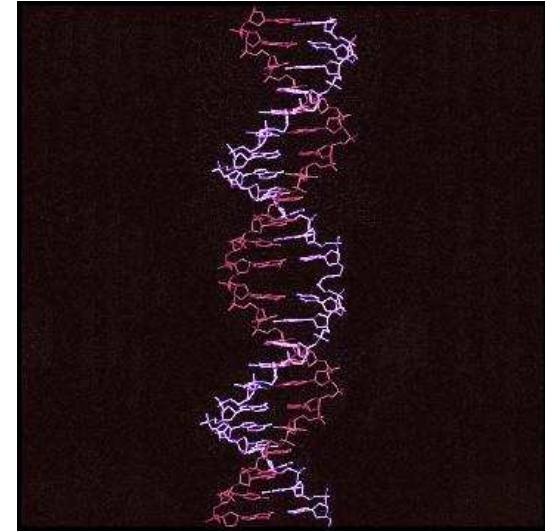
Dónde están las Partículas Elementales? (en metros)



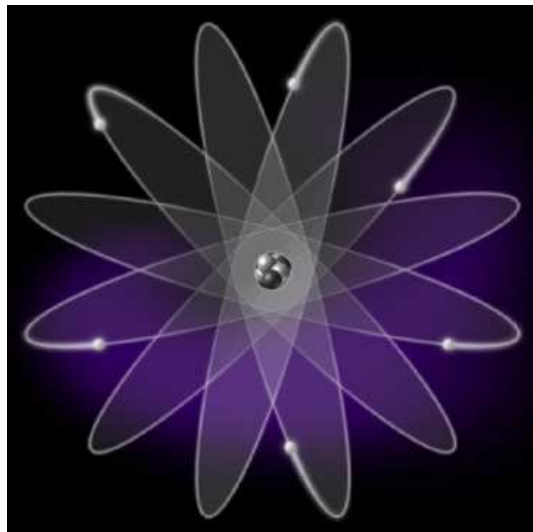
$10^{-6} = 0.000001$



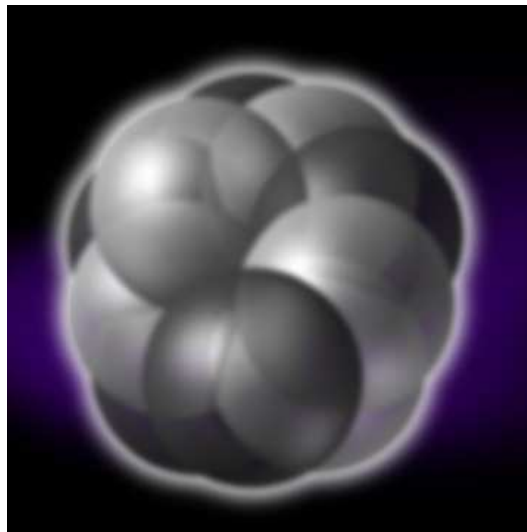
$10^{-7} = 0.0000001$



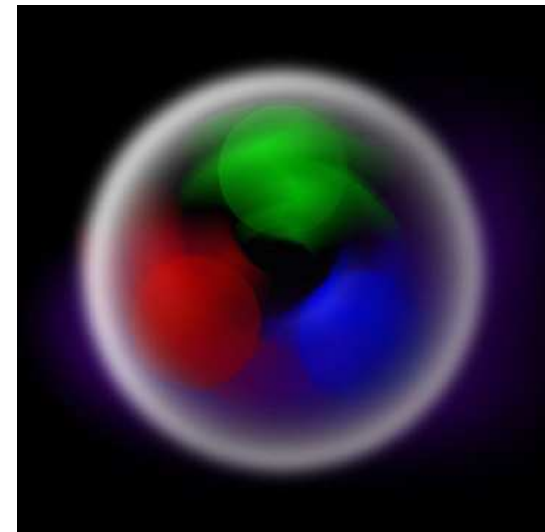
$10^{-8} = 0.00000001$



10^{-10} electrones



10^{-14} nucleo



10^{-15} quarks

Qué son las Partículas Elementales?

Constituyentes de la materia más pequeños y sin subestructura

Ejemplos:

1) electrones (en los átomos) 2) quarks (en los protones)

Todas las otras partículas (no elementales) están compuestas de partículas elementales. Ejemplo: un protón esta compuesto de tres quarks.

Relevancia:

Conociendo la composición en partículas elementales y las interacciones fundamentales entre ellas podemos conocer (potencialmente) todo el universo

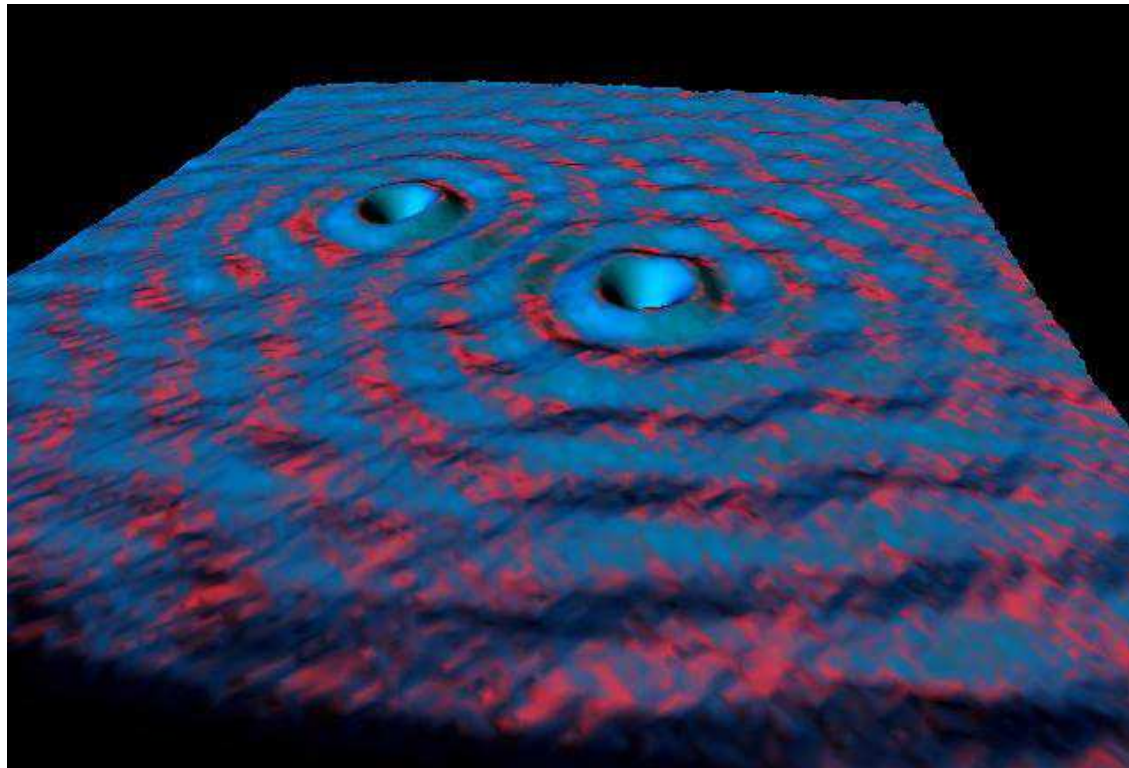
Qué conocemos de las Partículas?

Cómo lo sabemos?

Por qué son así?

Dualidad Onda-Partícula

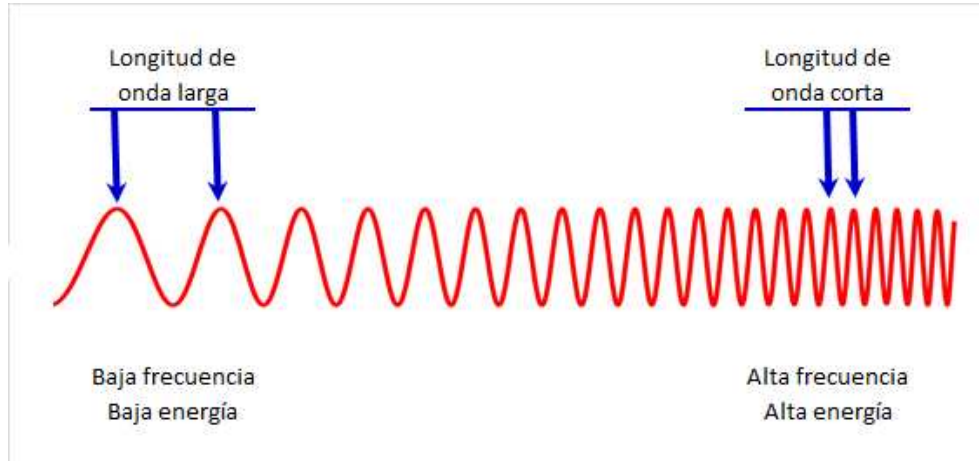
Ejemplo: electrón = onda y partícula



Ondas producidas por los electrones en la superficie de un cristal de cobre. En la imagen vemos como estas ondas se perturban al encontrarse con dos 'defectos' de tamaño atómico del cristal

El carácter de 'onda' de una partícula permite establecer una relación entre energía y distancia.

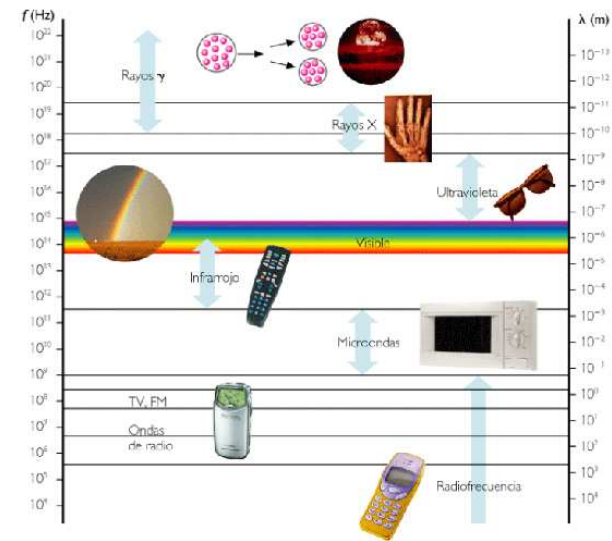
Propiedades de las Ondas



menor longitud \rightarrow mayor frecuencia
mayor energía



zona ondas de radio



Longitud onda $\sim 1-0.1$ m , Frecuencia $\sim 300-3000$ MHz, Energía $\sim 10^{-6} - 10^{-5}$ eV
Para llegar a los quarks, 10^{-15} m, necesitamos 10^{15} veces esa energía, 10^9 eV = 1 GeV

Con grandes energías exploramos pequeñas distancias

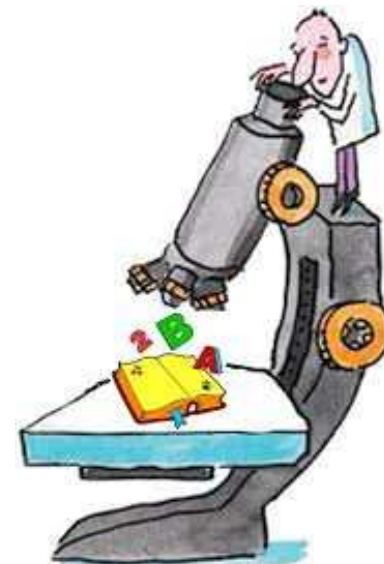
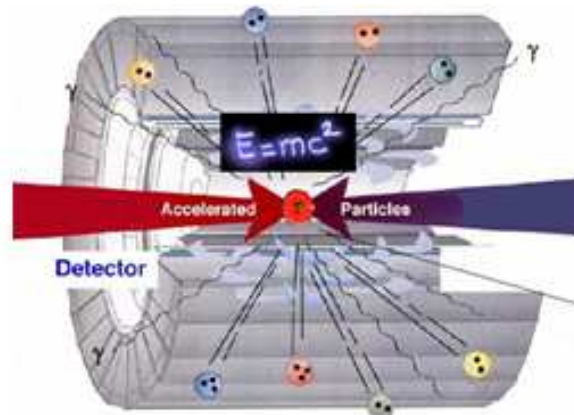
$$\lambda = \frac{h}{|\vec{p}|} \quad \text{L. de Broglie (1923)}$$

Una partícula muy energética que colisiona contra otra escruta sus componentes

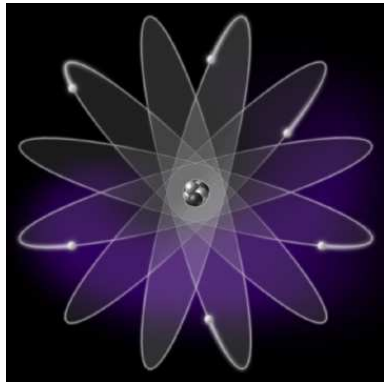
Ej: un electrón con energía de 1 GeV que choca contra un protón (masa del protón = 1 GeV = 10^9 eV) lo explora a distancias $\lambda \simeq 10^{-15}$ m y ve sus componentes :

LOS QUARKS

Aceleradores de partículas = Microscopios muy potentes

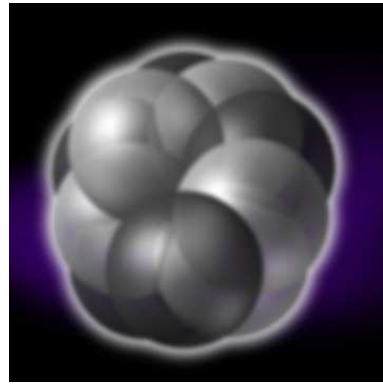


Tipos de partículas elementales



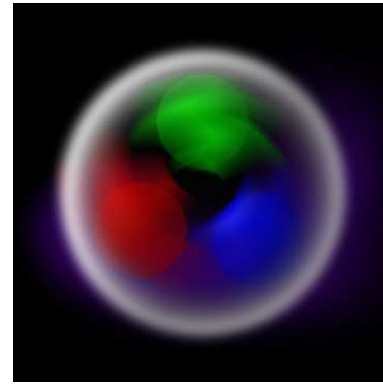
Atomo

$10^4 \text{ eV} \leftrightarrow 10^{-10} \text{ m}$



Nucleo

$10^8 \text{ eV} \leftrightarrow 10^{-14} \text{ m}$



Quarks

$10^9 \text{ eV} \leftrightarrow 10^{-15} \text{ m}$



LHC : Sub-quarks?

$1.4 \times 10^{13} \text{ eV} \leftrightarrow 10^{-19} \text{ m}$

Constituyentes elementales de materia ordinaria (hoy casi 10^{-19} m)

★ Leptones

electrones e^- (Thomson 1897)

Están en las capas externas de los átomos

neutrinos ν (Pauli 1930, Fermi 1932)

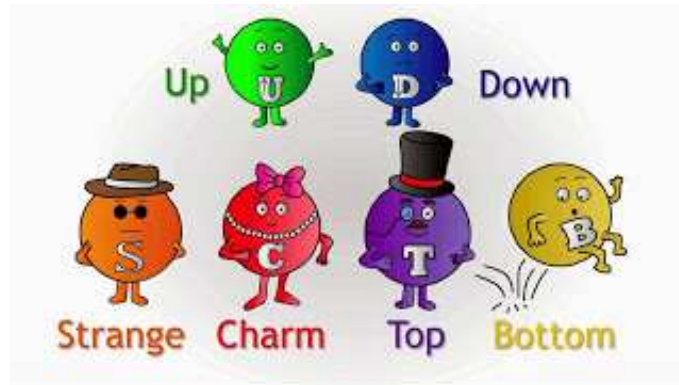
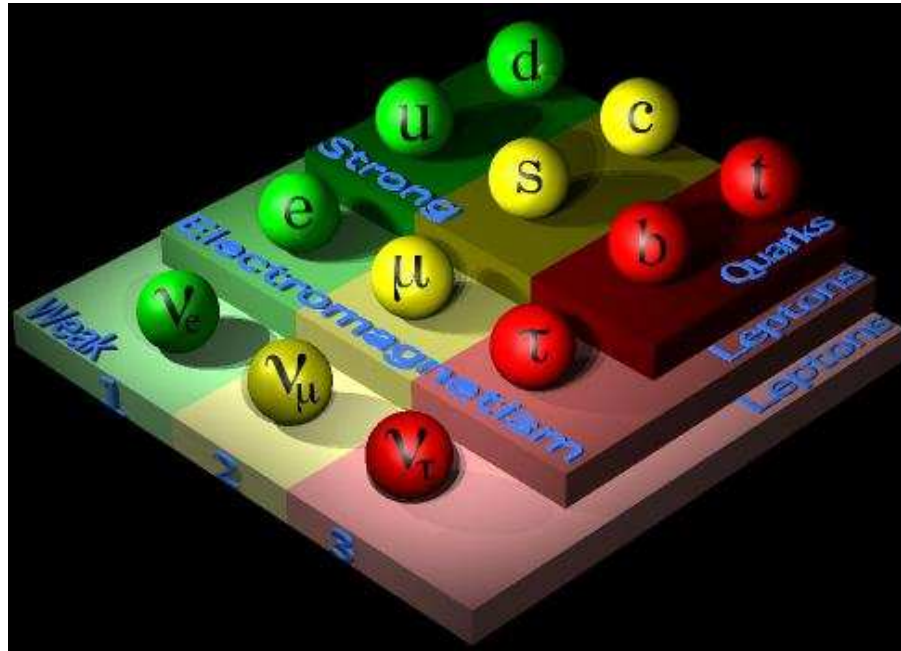
Se producen en las desintegraciones β del neutrón $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}$

★ Quarks (Gell-Mann 1964)

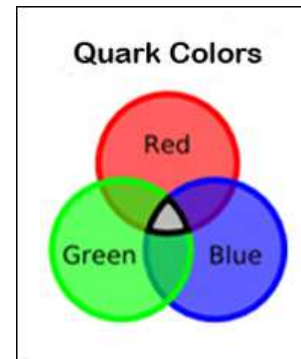
u (up=arriba) y d (down=abajo)

CONFINADOS en el interior de los protones y neutrones (en los nucleos)

Las 12 partículas elementales conocidas



Sabores



Colores

Algunas utilizan letras griegas (tau..). Otras hacen referencia a sus propiedades electricas (neutrino..). Las letras de los quarks hacen referencia a su nombre en inglés (up..). Hay seis quarks (seis 'sabores' de quarks) y cada quark puede tener tres 'colores'.
Propiedades básicas: masa y carga eléctrica.

Propiedades básicas: masa y carga eléctrica

La masa de las partículas se suele medir en comparación con la masa del protón m_p

La carga eléctrica en comparación con la carga del electrón $-e$

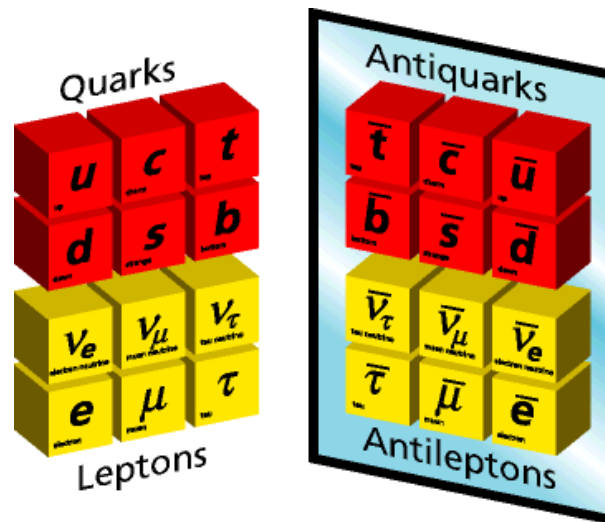


Ejemplo: $m_u = 0.002 \times m_p$, $Q_u = \frac{2}{3}e$

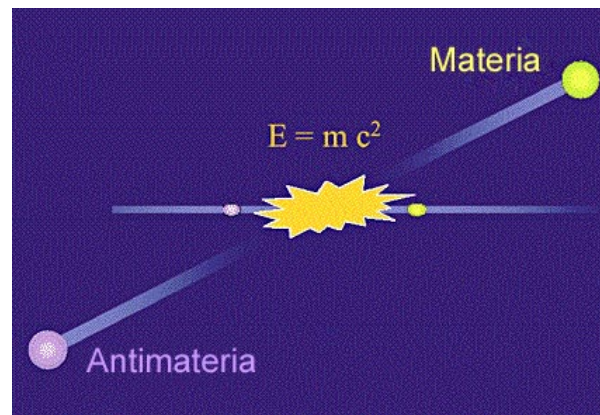
$$m_p = \frac{2}{10^{27} \text{ ceros}} \text{ Kg} = 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$e = \frac{1.6}{10^{19} \text{ ceros}} \text{ Culombios}$$

Partículas y sus anti-partículas



Las anti-partículas tienen las cargas de signo opuesto a las partículas



Las partículas y las anti-partículas se aniquilan entre sí
Las anti-partículas forman la anti-materia

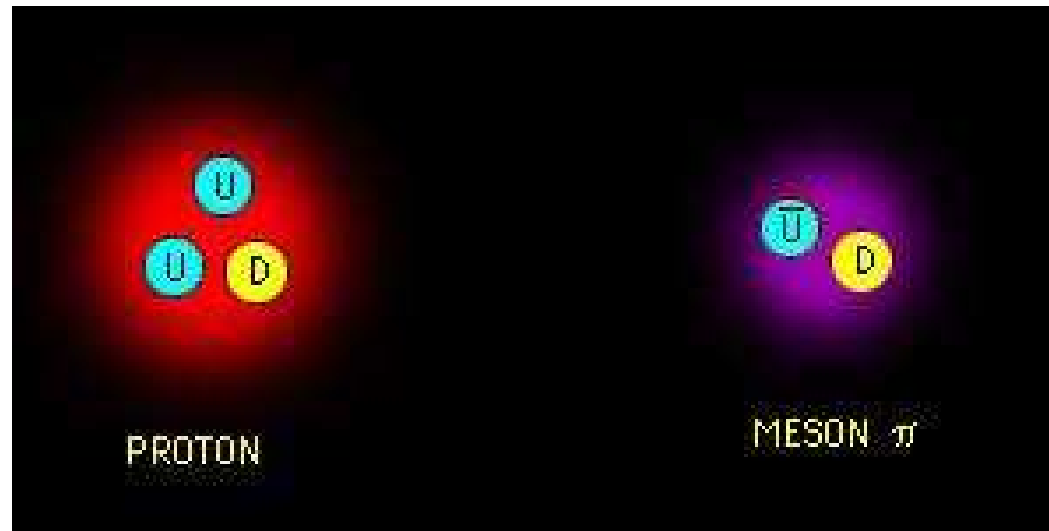
Formando hadrones

Los quarks forman hadrones de dos tipos:

Bariones (tres quarks) y Mesones (quark y anti-quark)

Ejemplos: protón (uud), mesón π (=pión) ($\bar{u}d$)

Las cargas de los quarks se suman: carga del protón = $\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = +e$



Otros ejemplos: neutrón (ddu), mesón π neutro ($\bar{u}u, \bar{d}d$)

Familias de partículas elementales

Se ordenan por masas crecientes en Familias o Generaciones.

Hasta la fecha se conocen tres generaciones:

Three generations of matter

	I	II	III
Mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
Charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name →	u up	c charm	t top
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino
0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	
-1	-1	-1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	
	e electron	μ muon	τ tau

up, charm y top son quarks 'primos'

down, strange y bottom son quarks 'primos'

neutrino-electrónico, neutrino-muónico y neutrino-tauónico son neutrinos 'primos'

electrón, muón y tau son leptones 'primos'

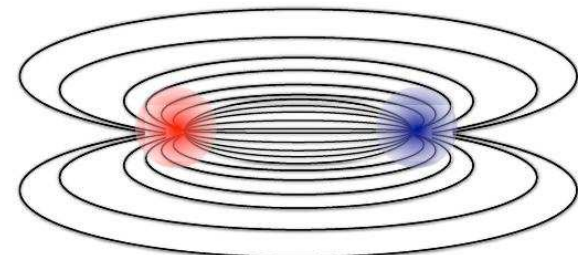
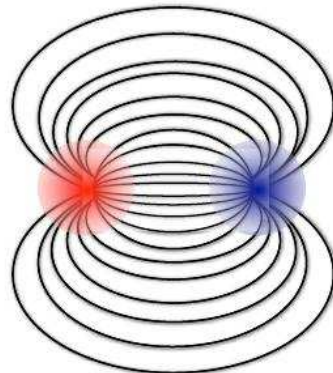
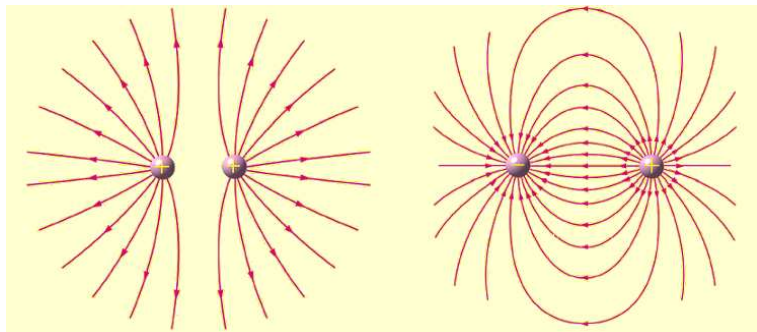
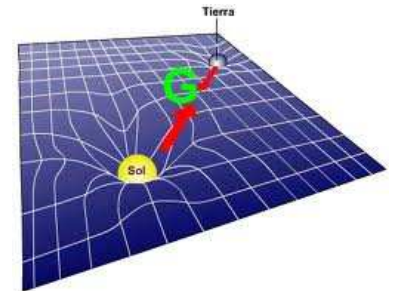
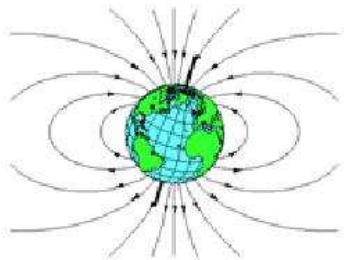
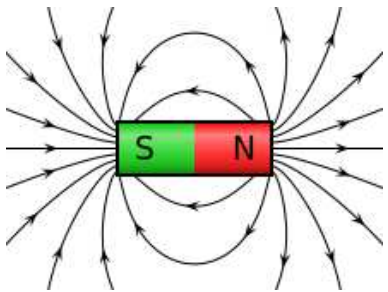
Por qué tres familias y no más?
Experimentalmente confirmado 3.
Razón desconocida.

Campos y Partículas

Campos: Un campo representa la distribución y variación en el espacio de una magnitud física.

Los campos pueden tener un origen (ser producidos por algo) y afectar a lo que se sitúa en su dominio de acción

Ejemplos de campos: campo magnético, campo eléctrico, campo electromagnético (eléctrico y magnético unificados), campo gravitatorio, campo de color, etc



Intercambio de partículas

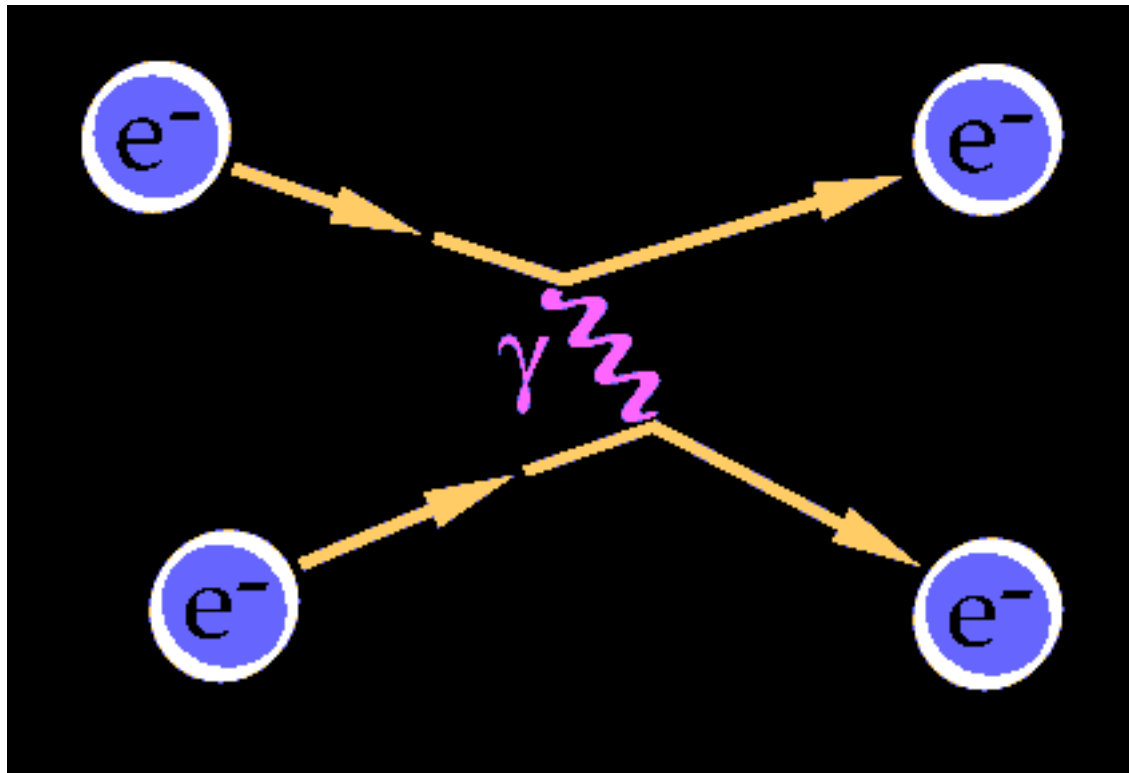


El intercambio de partículas produce fuerzas (=interacciones)

Estas fuerzas pueden ser de mayor o menor intensidad según sean las propiedades de lo que se intercambia

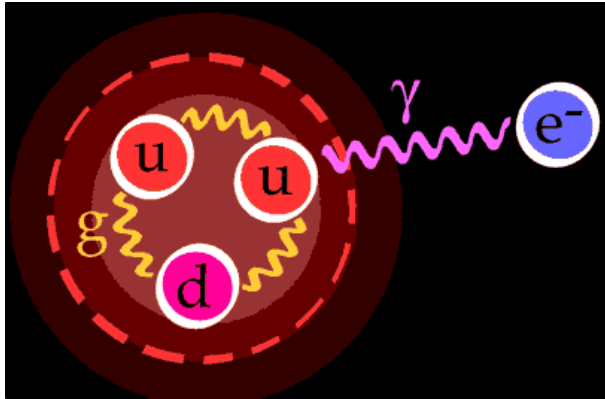
Partículas mediadoras de las interacciones

Versión cuántica de los campos: Un campo cuántico entre dos partículas elementales que interaccionan mutuamente se describe como el intercambio entre ellas de otra partícula llamada mediadora de la interacción

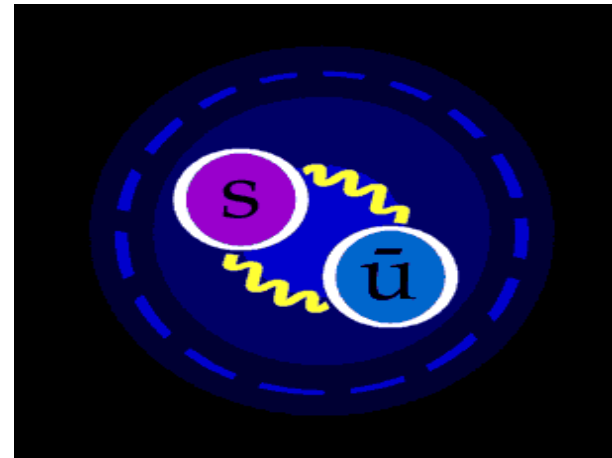


Partícula mediadora de las interacciones electromagnéticas = Fotón = γ

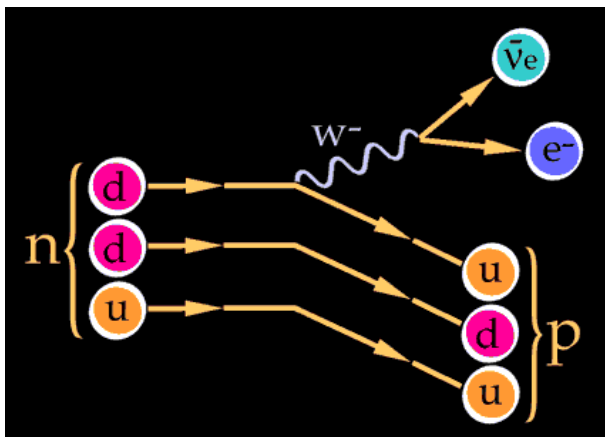
Interacción = Intercambio de una Partícula



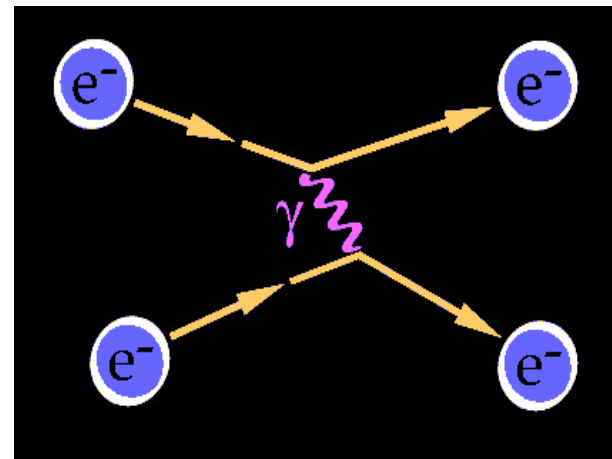
Átomo de Hidrogeno



Kaón



Desintegración del neutrón



Colisión electrón-electrón

Tipos de interacciones fundamentales

★ Interacción Electromagnética

- Responsable de la atracción entre el núcleo atómico y la nube electrónica
- Mantiene unidos a los átomos que forman las moléculas y a ellas entre sí
- Responsable de las reacciones químicas y los procesos biológicos
- En resumen: **Es la responsable de LA VIDA**

Partícula mediadora de la int. electromagnética: **FOTÓN**

★ Interacción Fuerte

- La más fuerte: Un factor 100 más intensa que la electromagnética
- Mantiene unidos a los protones y neutrones en el núcleo atómico
- Mantiene unidos a los quarks dentro de los protones y neutrones
- Responsable de las reacciones nucleares (fusión y fisión)
- Responsable de la energía producida en el interior del Sol y de las estrellas

Partícula mediadora de la int. fuerte: **GLUÓN**

Tipos de interacciones fundamentales (cont.)

★ Interacción Débil

- Es un factor $1/10^4$ más débil que la electromagnética
- Responsable de la desintegración del neutrón $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}$
(nota: el protón no se desintegra pues $m_p < m_n$)
- Responsable de las desintegraciones beta de los núcleos
Partículas mediadoras de la int. débil: **BOSONES W^+ , W^- , Z**

★ Interacción Gravitatoria

- La más débil de todas: Un factor $1/10^{33}$ más débil que la débil !!!
- Responsable de que estemos confinados sobre la Tierra
- Responsable del movimiento planetario
- Responsable de la condensación de la materia en estrellas, galaxias, etc
- Responsable de la evolución del Universo
Partícula mediadora de la int. gravitatoria: **GRAVITÓN** (No observado!)

Tabla resumen de partículas: materia e interacción

Three generations of matter			Bosons (forces)	
	I	II	III	
Mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
Charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Name →	u up	c charm	t top	γ photon electromagnetic force
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon strong force
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force

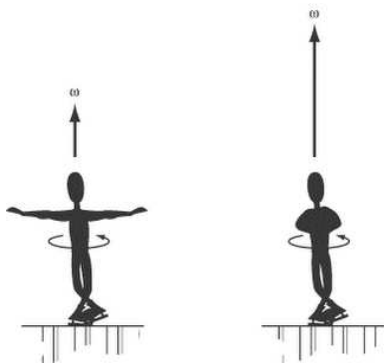
Partículas de materia (quarks y leptones) en tres generaciones y partículas mediadoras (bosones) de tres interacciones: electromagnética, fuerte y débil

Una propiedad muy importante: El espín

Es una propiedad de carácter exclusivamente cuántico

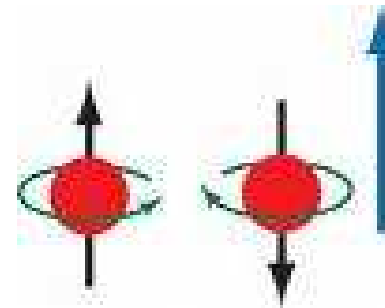
Podemos imaginar que la partícula rota sobre sí misma generando un momento angular intrínseco = el espín de la partícula

Mundo clásico



El momento angular se conserva

Figurativo cuántico:

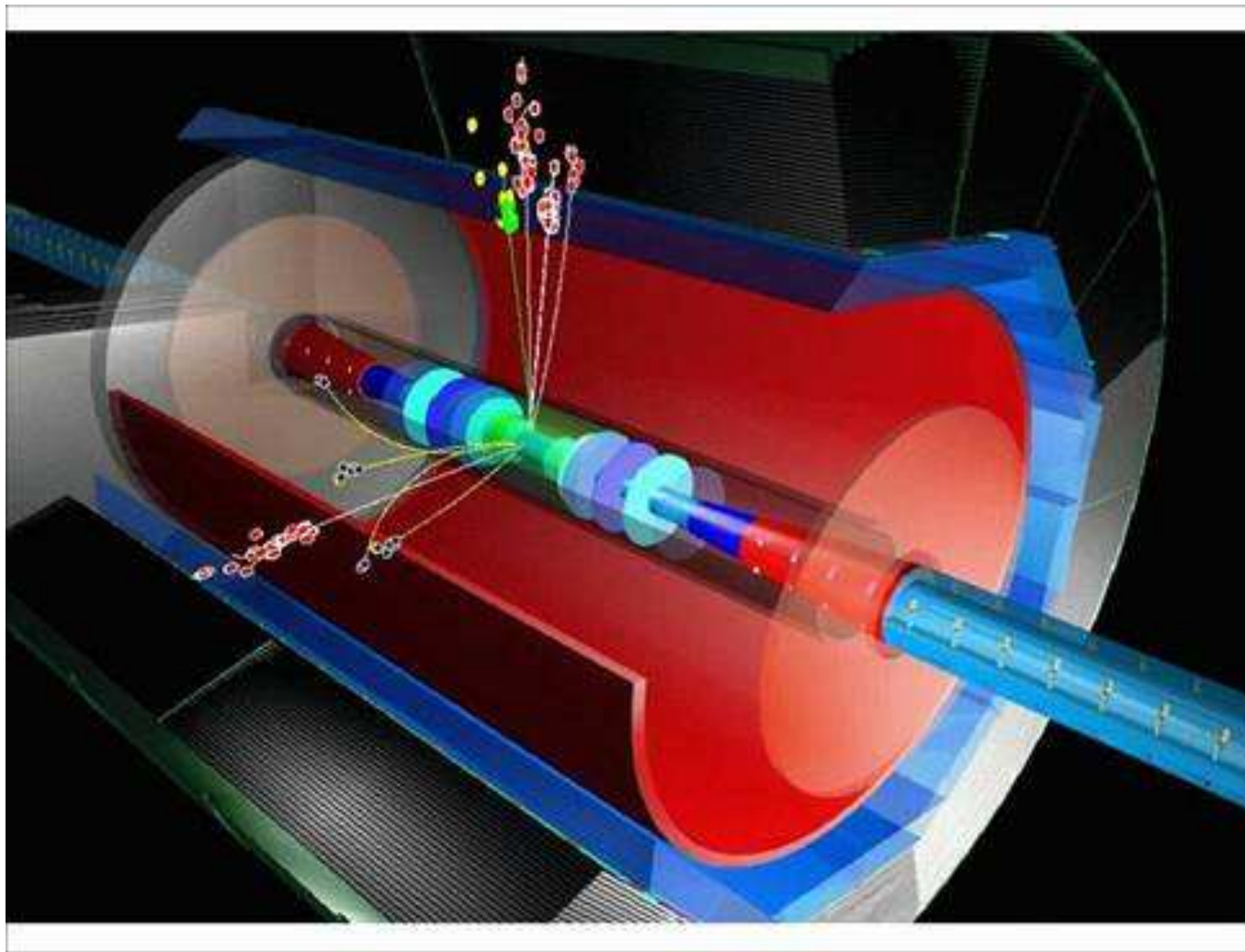


Ejemplo: electrón

En general: espín de un fermión = número semientero

espín de un bosón = número entero

Dónde y cómo se producen las partículas

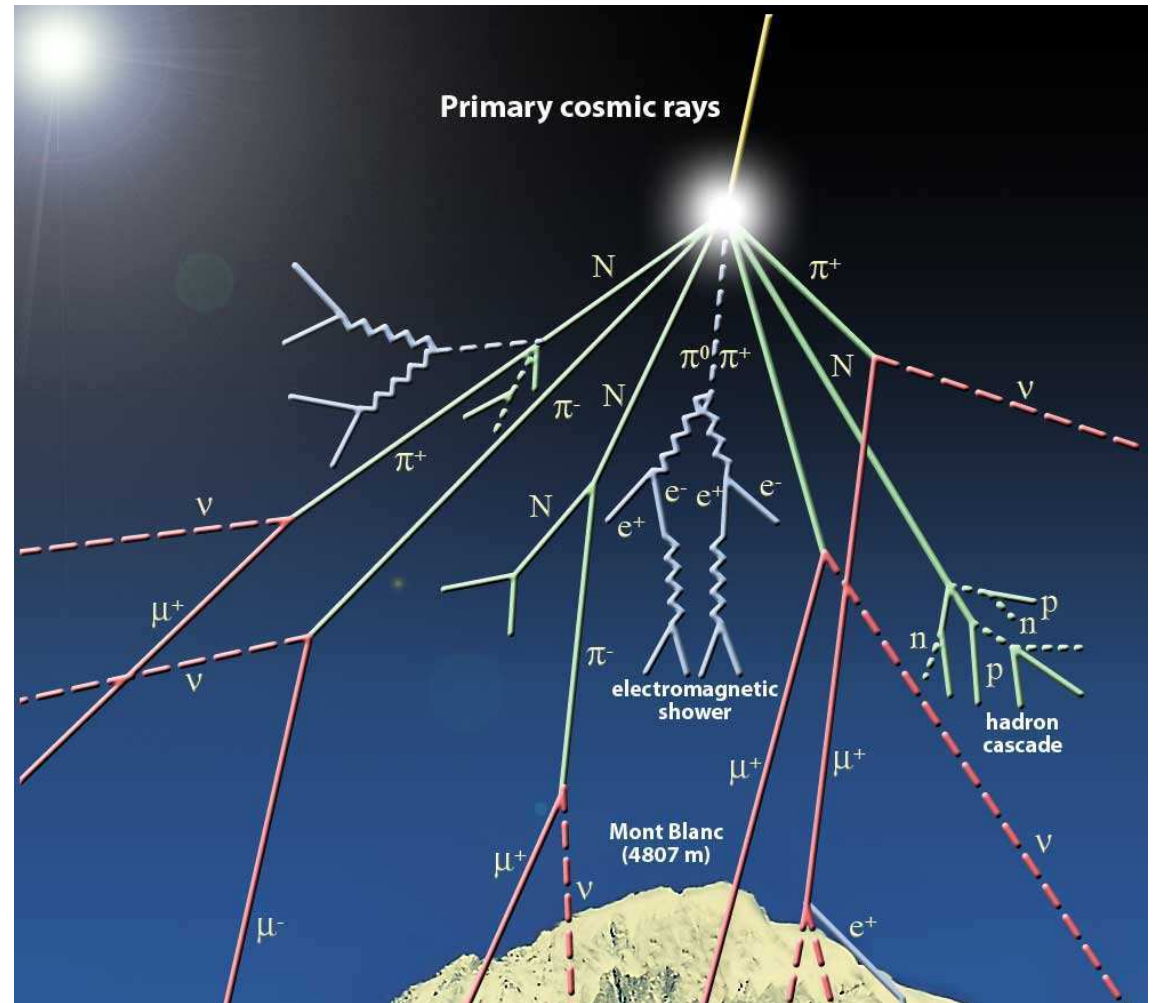
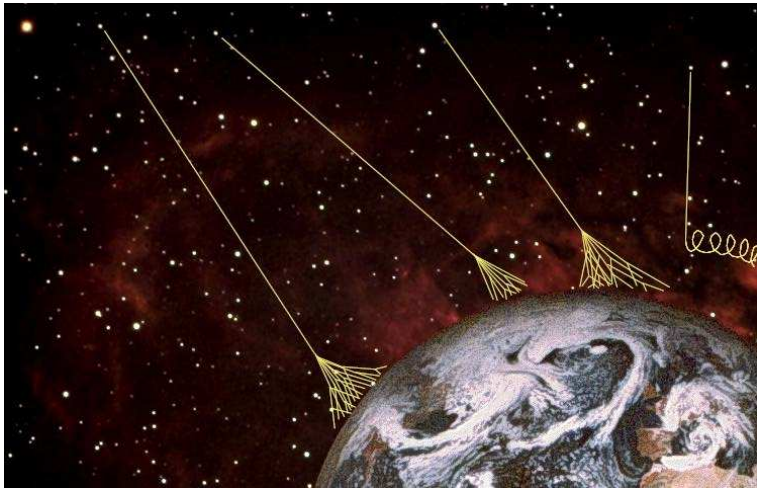


Colisionadores:

Aceleradores de partículas en haces frontales que colisionan en un punto
La energía acumulada en la colisión se transforma en la producción
de otras partículas (Conservación de la Energía: $E = mc^2$)

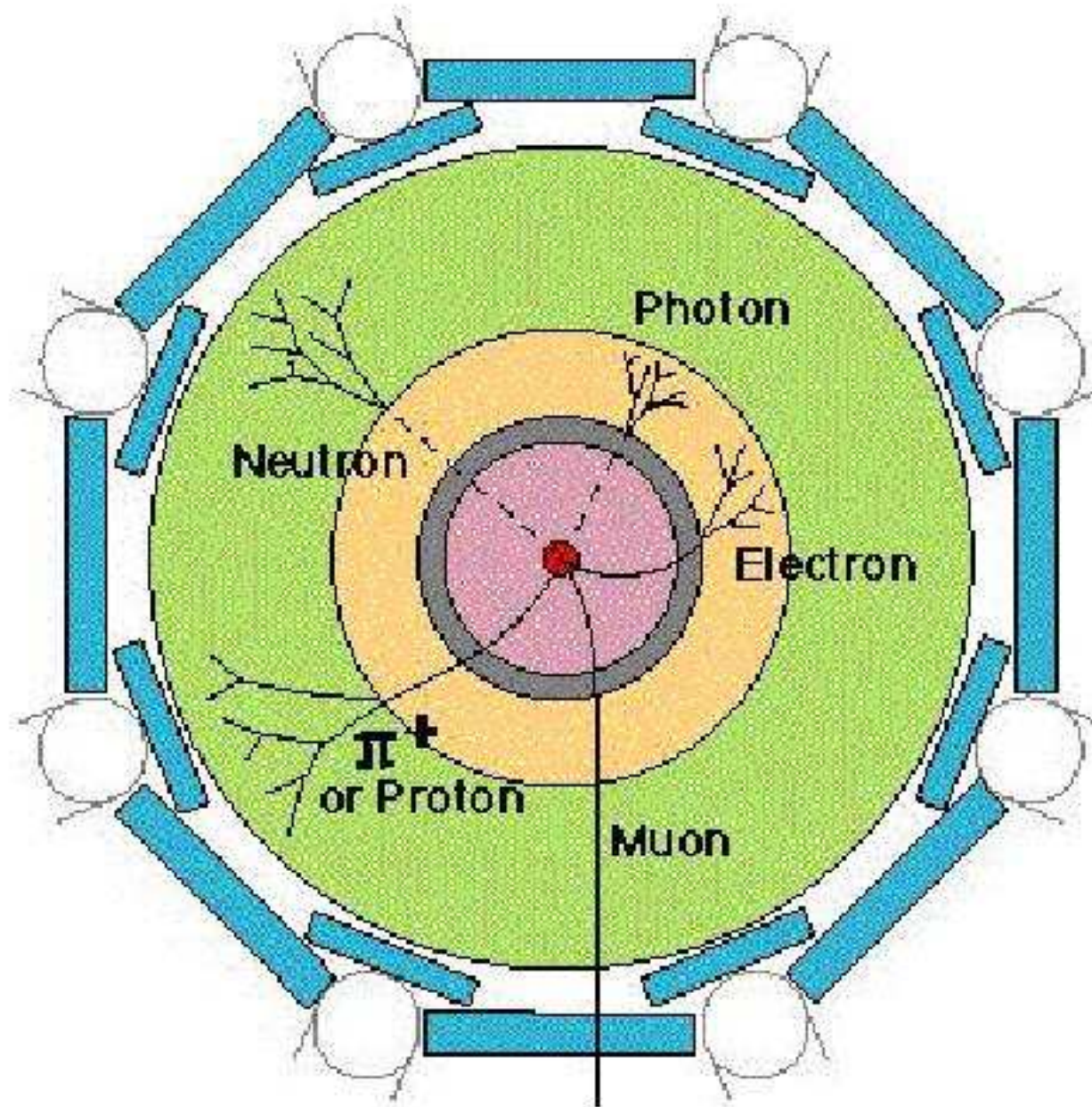
También nos llegan desde el espacio

Cascadas de partículas en rayos cósmicos



En este caso la fuente no puede ser manipulada por el hombre: Hay que esperar a que el Cosmos nos envíe los rayos de partículas.

Cómo sabemos que se han producido las partículas?



Trazas en los detectores: Huellas de las partículas

LHC: El gran proyecto europeo del siglo XXI

Large Hadron Collider (LHC) = El Gran Colisionador de hadrones (protones)

Es el acelerador de partículas más grande y potente del mundo

Lugar: Frontera Francia-Suiza, cerca de Ginebra



Laboratorio CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear)

El CERN se fundó en 1954 y es un ejemplo modélico de colaboración internacional

El CERN tiene 20 estados miembros, incluido España

El LHC se construyó en la década de 1980 y empezó a funcionar en 2009/2010

En el LHC hay más de 10.000 científicos e ingenieros involucrados y más de 500 instituciones y empresas del mundo: no solo Europa, también EEUU, Asia,...

España en el LHC

Tras un primer periodo (1961-1968), España volvió a ingresar en el CERN como miembro de pleno derecho en 1983.

Los 20 Estados miembros que componen el CERN contribuyen a su presupuesto con una cuota fija en función de su PIB. España es el quinto contribuyente detrás de Alemania, Reino Unido, Francia e Italia, con una cuota del 8,53% del total para 2013.

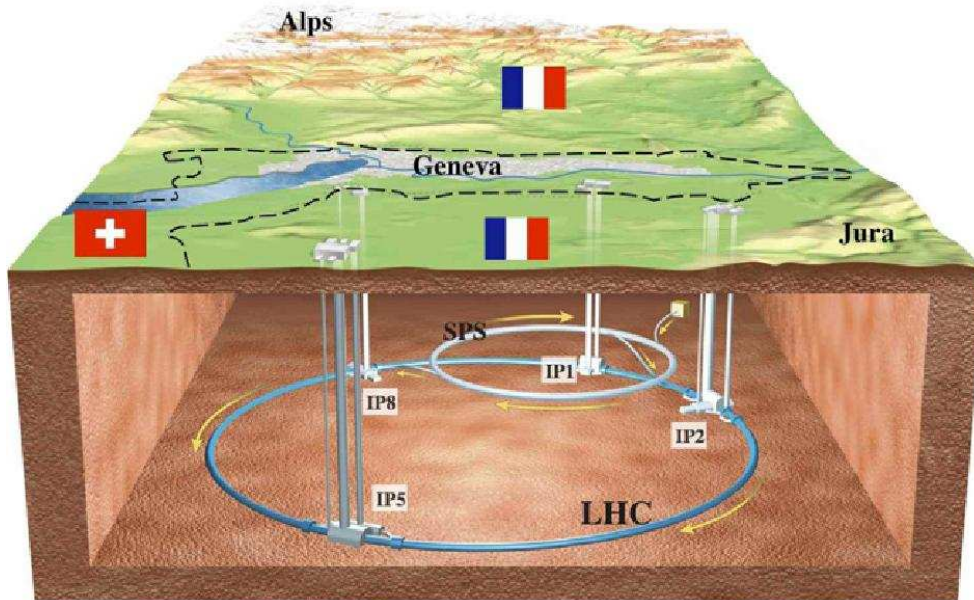
En la actualidad hay más de 500 científicos, ingenieros y técnicos españoles en el CERN entre personal de plantilla, asociados, colaboradores y estudiantes.

200 científicos y técnicos españoles participan en el LHC y sus principales experimentos (ATLAS, CMS, LHCb y ALICE).

En la construcción y mantenimiento del LHC y sus experimentos participan 70 empresas españolas. España es el quinto Estado miembro del CERN en retornos industriales, obteniendo el 6,5 % del total de las adjudicaciones.

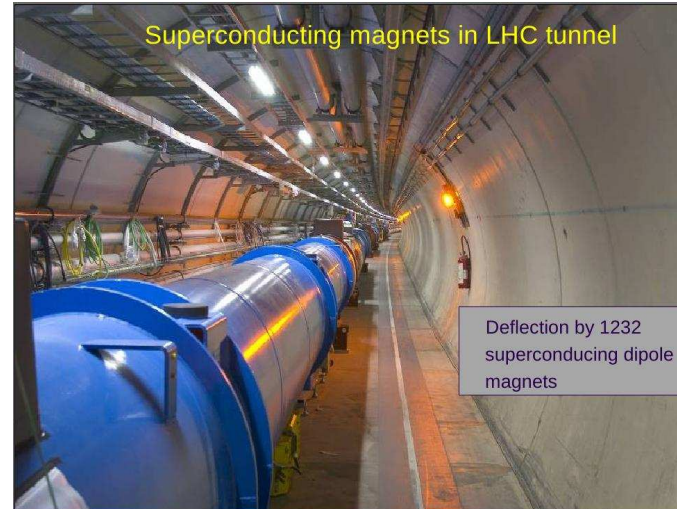
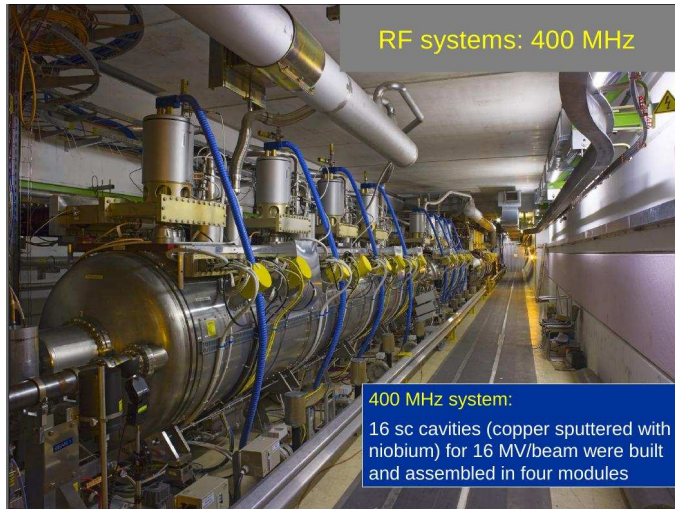
El tunel del LHC

Longitud circunferencia: 27 Km, Profundidad: 100 m (aprox)



Fantástica obra de ingeniería en la que se tuvo en cuenta muchos y variados aspectos: obras públicas, geológicos, medioambientales,...etc. Incluso se consideraron los posibles efectos de la luna y el paso del tren francés TGV.

Aceleración de protones en el LHC



Cada haz contiene unos 3000 paquetes y cada paquete unos 100.000 millones de protones.

Aceleración mediante Cavidades de Radiofrecuencia (Campos Electricos, RF).

Los haces se enfocan y se curvan mediante Electroimanes Superconductores (unos 1800 a -271 grados).

Los protones alcanzan casi la velocidad de la luz (llegan a más del 99.9%).

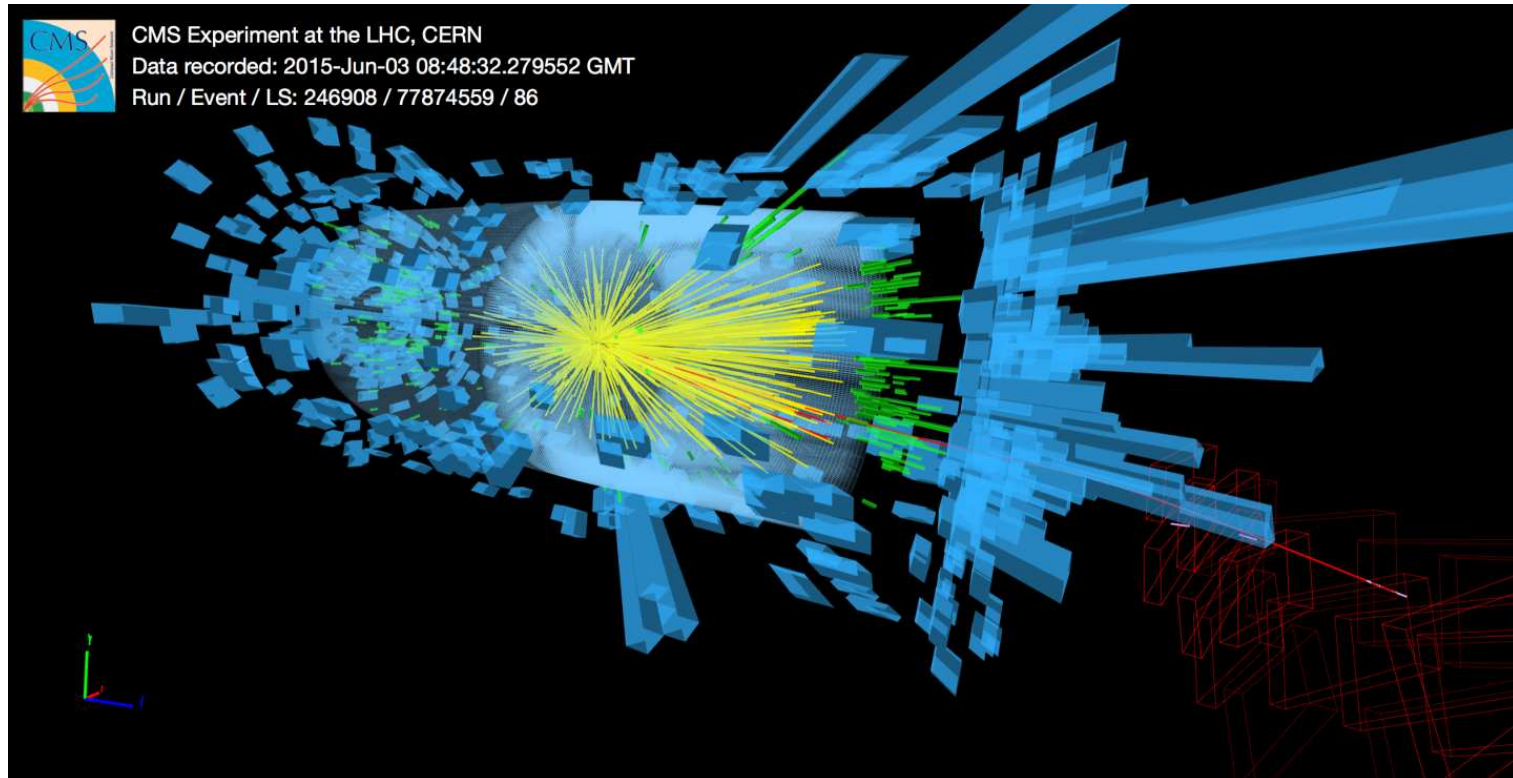
Energía total (de los dos haces) = 7 TeV, 8 TeV (pasado), 13 TeV (presente) y 14 TeV (futuro)

La primera etapa del LHC (Run 1)

El Run 1 comenzó en 2009/2010 y terminó en 2013. Tuvo su momento de mayor gloria el día 4 de Julio de 2012, cuando se anunció el descubrimiento de una nueva partícula: El Bosón de Higgs.



La nueva etapa del LHC (Run 2)



La gran noticia mundial del 3 de Junio de 2015:

Los experimentos del LHC vuelven a funcionar con nuevo récord de energía: 13 TeV, casi el doble de la energía en la etapa anterior (Run 1).

Comparando el LHC con lo cotidiano



Energía total LHC = 13 TeV (13 Teraelectronvoltios) = 13×10^{12} eV = 13000000000000 eV

1eV = un electrón Voltio = es la energía de un electrón en un Voltio

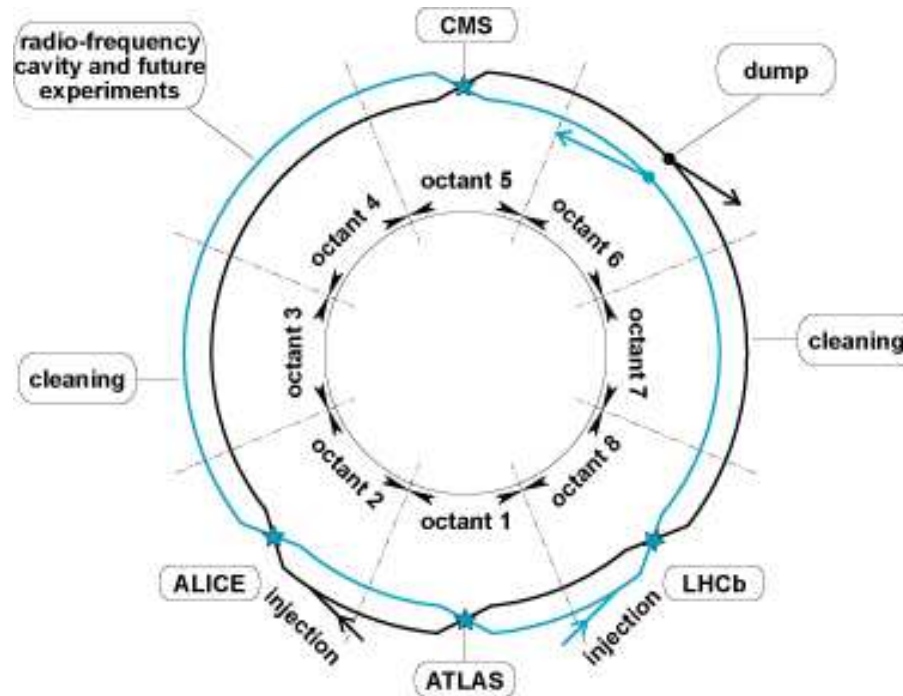
Energía (antigua) TV = 5000 eV

La Energía del LHC es 3000 millones de veces mayor que la de la (antigua) TV

13 veces la energía de un mosquito en un espacio 1 trillón de veces más pequeño!!!

Cruces de haces y choques de protones en el LHC

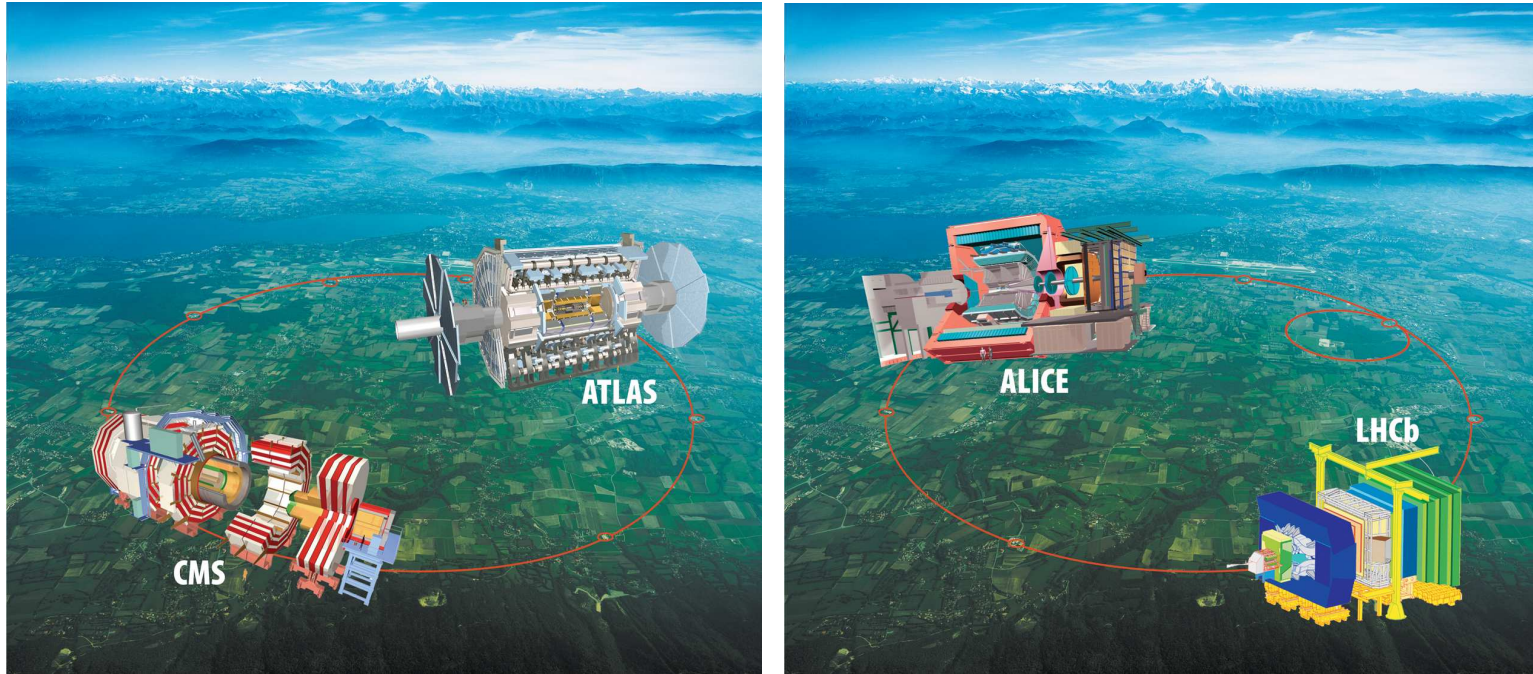
Los cruces de haces se producen en cuatro regiones de interacción.



Las partículas son tan pequeñas que la probabilidad de que dos de ellas choquen al cruzarse los haces es extremadamente pequeña. Pero como los haces se cruzan unas 30 millones de veces por segundo, al final ocurren.....

600 millones de choques de partículas por segundo!!!!

Los Detectores del LHC



ATLAS = A Toroidal LHC ApparatuS (Aparato Toroidal en el LHC)

CMS = Compact Muon Solenoid (Solenoid Compacto para Muones)

LHCb = LHC for B physics (Detector en LHC para mesones B)

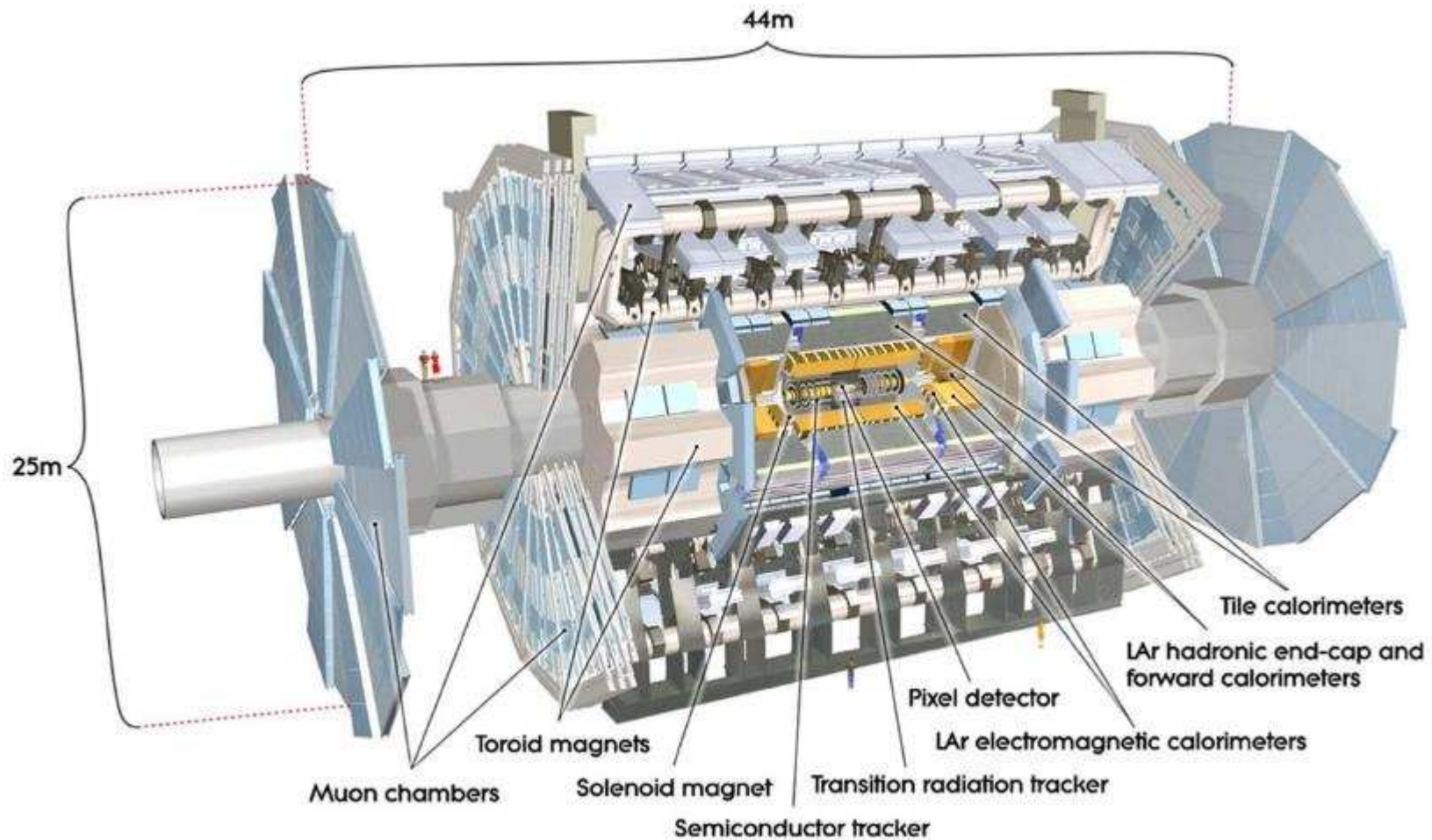
ALICE = A Large Ion Collider Experiment (Gran Colisionador de Iones)

Enormes colaboraciones (ejemplo: CMS)



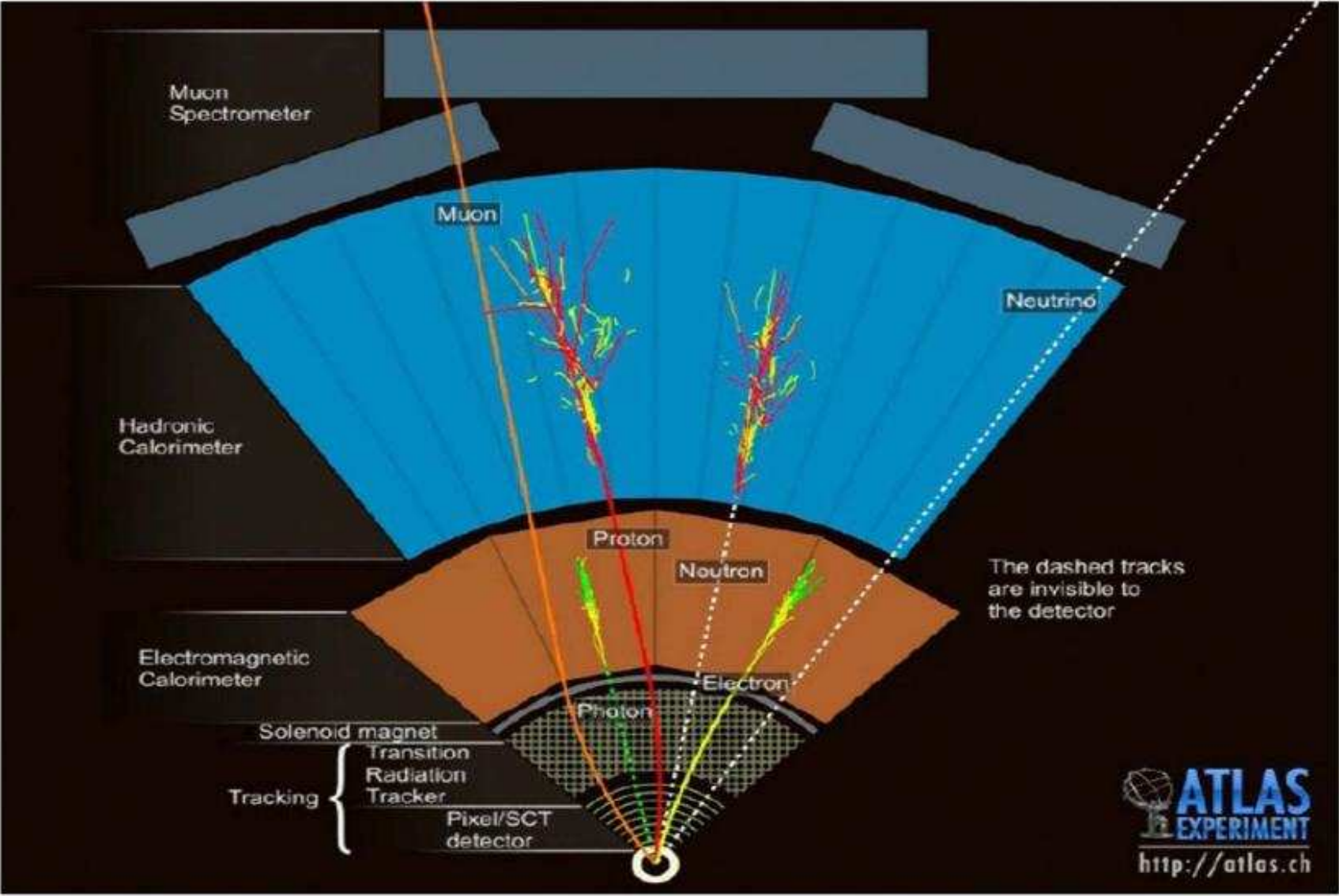
Con 2000 miembros entre científicos e ingenieros, 155 instituciones y 37 países

Detectores de dimensiones colosales (ejemplo: ATLAS)

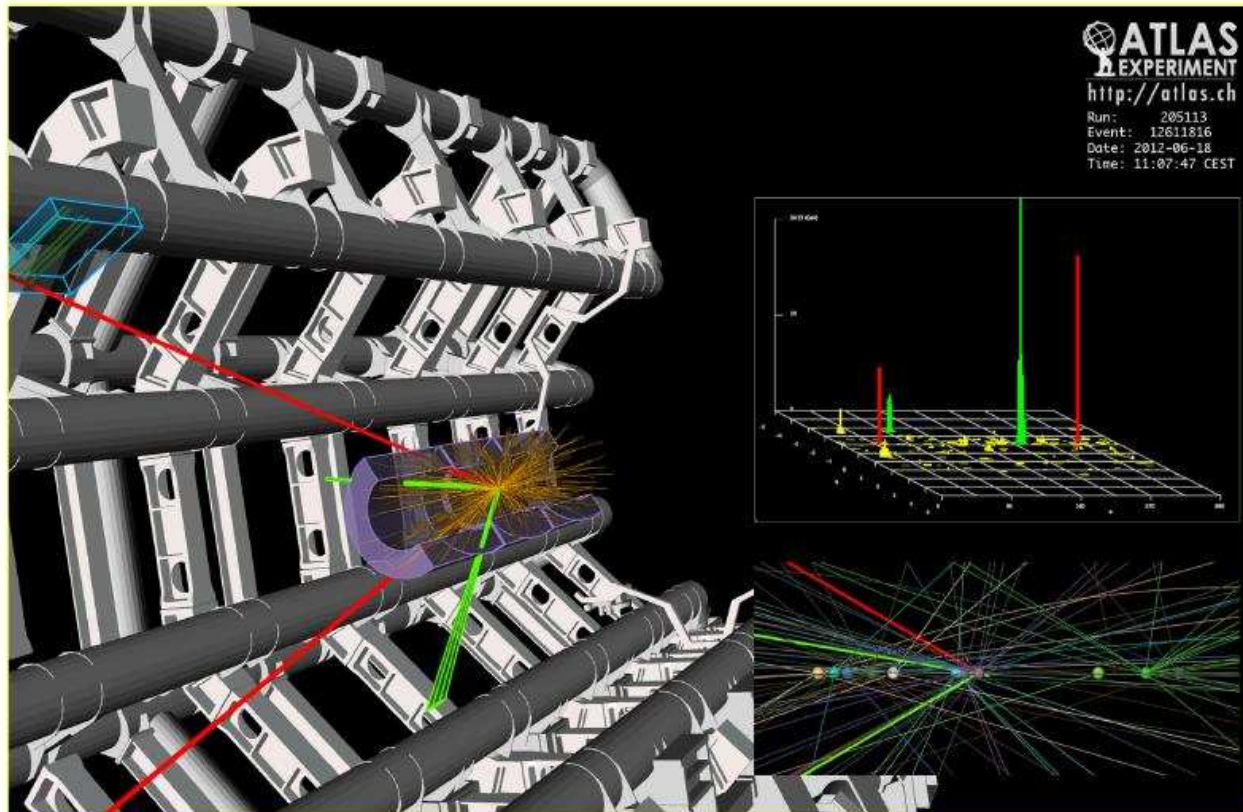


Con subdetectores específicos colocados en capas sucesivas entorno al punto central de la colisión: detector de vértice, calorímetro electromagnético, calorímetro hadrónico, cámaras de muones, etc

Detectando cada tipo de partícula (ejemplo: ATLAS)



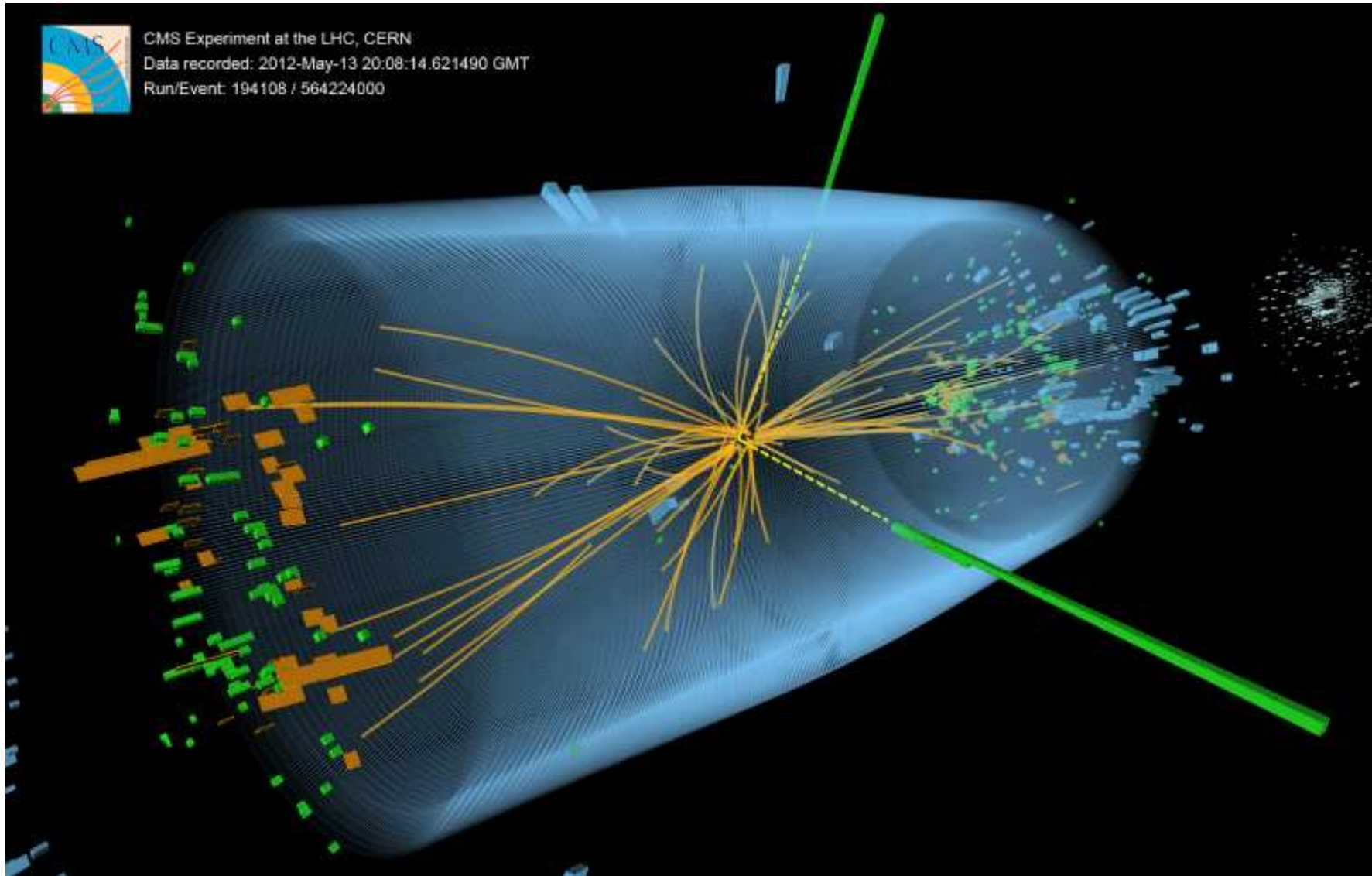
Reconstruyendo los eventos (ejemplo: ATLAS)



Enorme trabajo de procesamiento de información y simulación de imágenes por ordenador

GRID = decenas de miles de ordenadores de todo el mundo (25 millones de Gigabytes de datos al año)

Así 'se vió' el Bosón de Higgs.... (desintegrándose en dos fotones)



Y así también (desintegrándose en cuatro leptones)

The golden channel

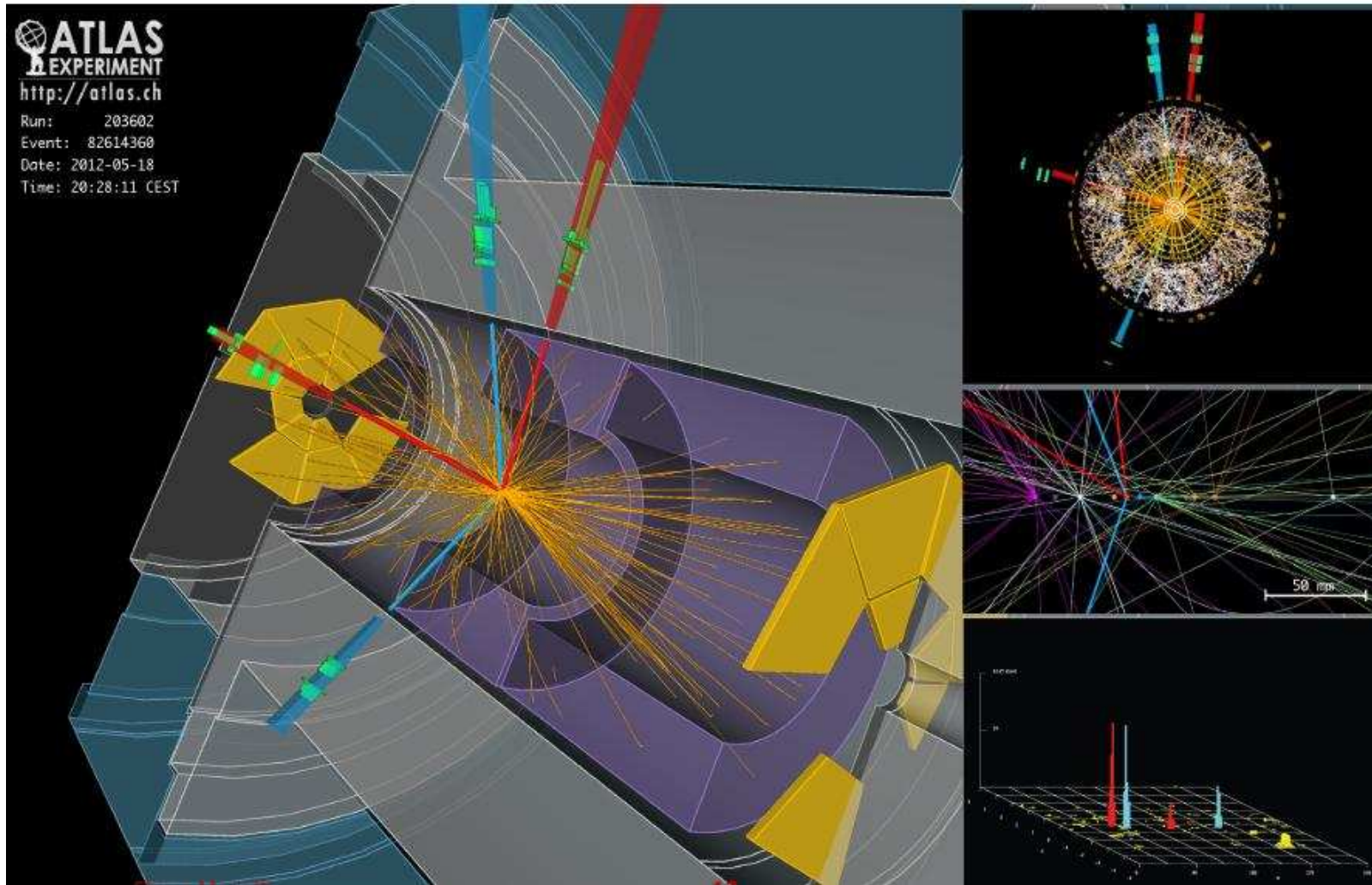


Tabla de partículas elementales en el Modelo Estándar

Q U A R K S	UP mass $2,3 \text{ MeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	CHARM mass $1,275 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	TOP mass $173,07 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	G A U G E B O S O N S	GLUON 0 0 1 	HIGGS BOSON mass $126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 
	DOWN mass $4,8 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	STRANGE mass $95 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	BOTTOM mass $4,18 \text{ GeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 		PHOTON 0 0 1 	
	L E P T O N S	ELECTRON mass $0,511 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ 	MUON mass $105,7 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ 		TAU mass $1,777 \text{ GeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ 	Z BOSON mass $91,2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 
		ELECTRON NEUTRINO mass $<2,2 \text{ eV}/c^2$ 0 spin $\frac{1}{2}$ 	MUON NEUTRINO mass $<0,17 \text{ MeV}/c^2$ 0 spin $\frac{1}{2}$ 		TAU NEUTRINO mass $<15,5 \text{ MeV}/c^2$ 0 spin $\frac{1}{2}$ 	W BOSON mass $80,4 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 

Con el descubrimiento del Bosón de Higgs hemos completado la tabla del Modelo Estándar, confirmando el marco teórico con un extraordinario éxito.

La construcción, desarrollo y predicciones del Modelo Estándar han dado lugar a numerosos premios Nobel de Física.

Modelo Estándar: éxito sin precedentes

Marco teórico que describe con notable éxito (hasta la fecha) tres de las cuatro interacciones fundamentales: electromagnética, débil y fuerte. Incluye dos Teorías: Teoría Electrodébil y Cromodinámica Cuántica.



(Glashow, Weinberg, Salam; Nobel Física 1979)

Teoría Electrodébil: desarrollada en los '60

Describe las int.: electromagnéticas y débiles

Ints. que afectan a: quarks y leptones



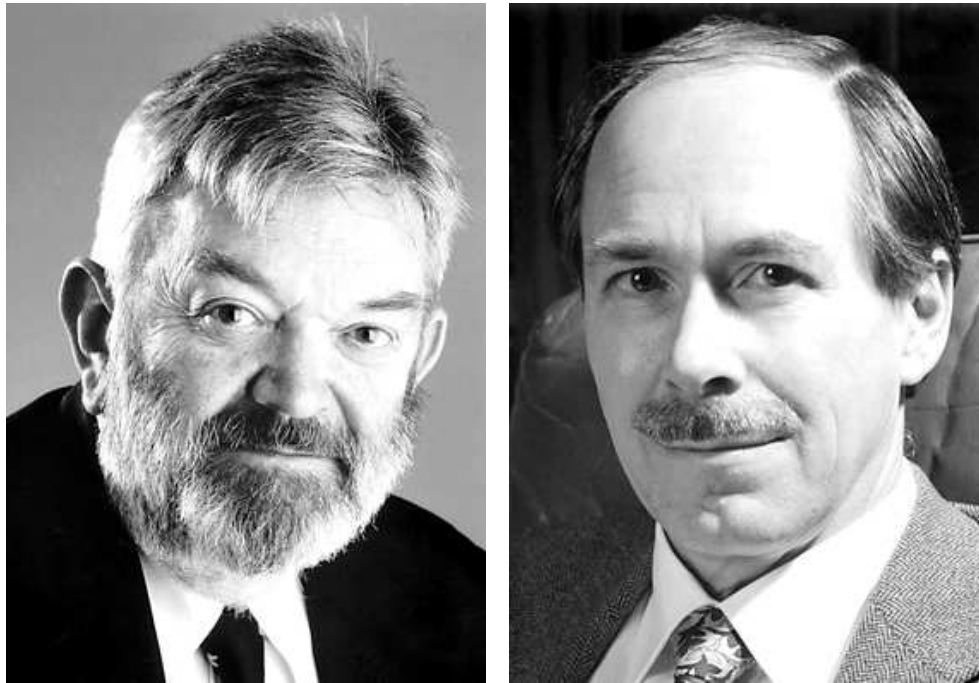
(Gross, Politzer, Wilczek; Nobel Física 2004)

Cromodinámica Cuántica: en los '70

Describe las int.: fuertes

Ints. que afectan a: quarks

Más premios Nobel en relación con el ME



Martinus Veltman y Gerardus t' Hooft (Holandeses)

Premios Nobel de Física 1999

Por demostrar la consistencia (en su estructura cuántica)
del Modelo Estándar (Parte Electrodébil)

Los premios Nobel por el descubrimiento del Higgs



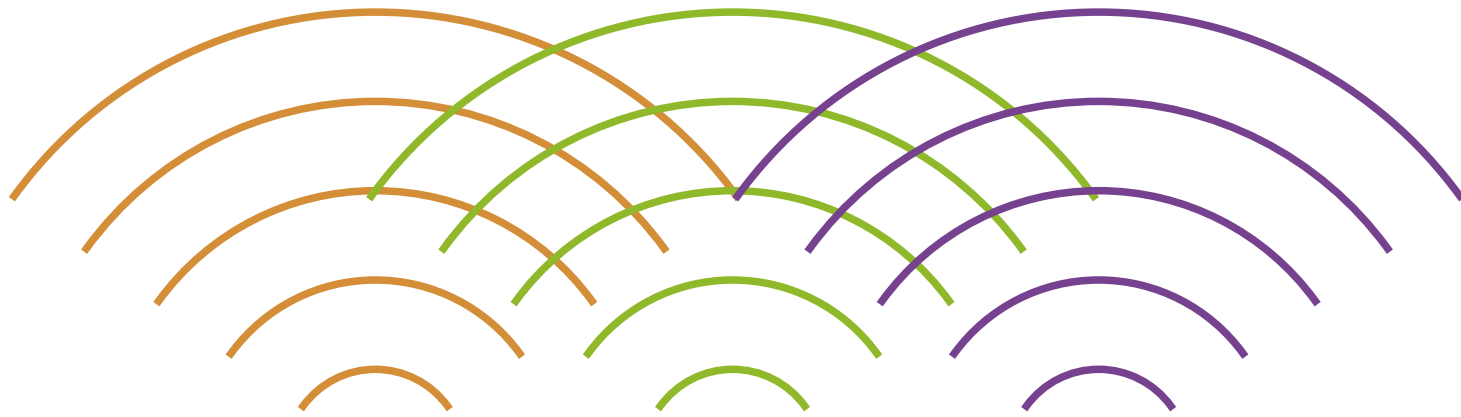
Francois Englert (Belga) y Peter Higgs (Inglés):

Premios Nobel de Física 2013 (8 Octubre)

Por proponer el mecanismo de generación de masas y predecir la existencia de la partícula 'de Higgs'

También participó Robert Brout (Americano-Belga) fallecido en 2011

Los premios Nobel del 2015



Takaaki Kajita (Japonés) y Arthur McDonald (Canadiense).

Por el descubrimiento de las oscilaciones de los neutrinos.

Atención: No hay explicación de éste fenómeno en el Modelo Estándar.

Pregunta: Serán los neutrinos un portal para nuevos descubrimientos?

Y ahora qué?

Ahora que hemos encontrado
el Bosón de Higgs....

Cuales son los nuevos retos?

Conocemos todo sobre el Bosón de Higgs?

NO

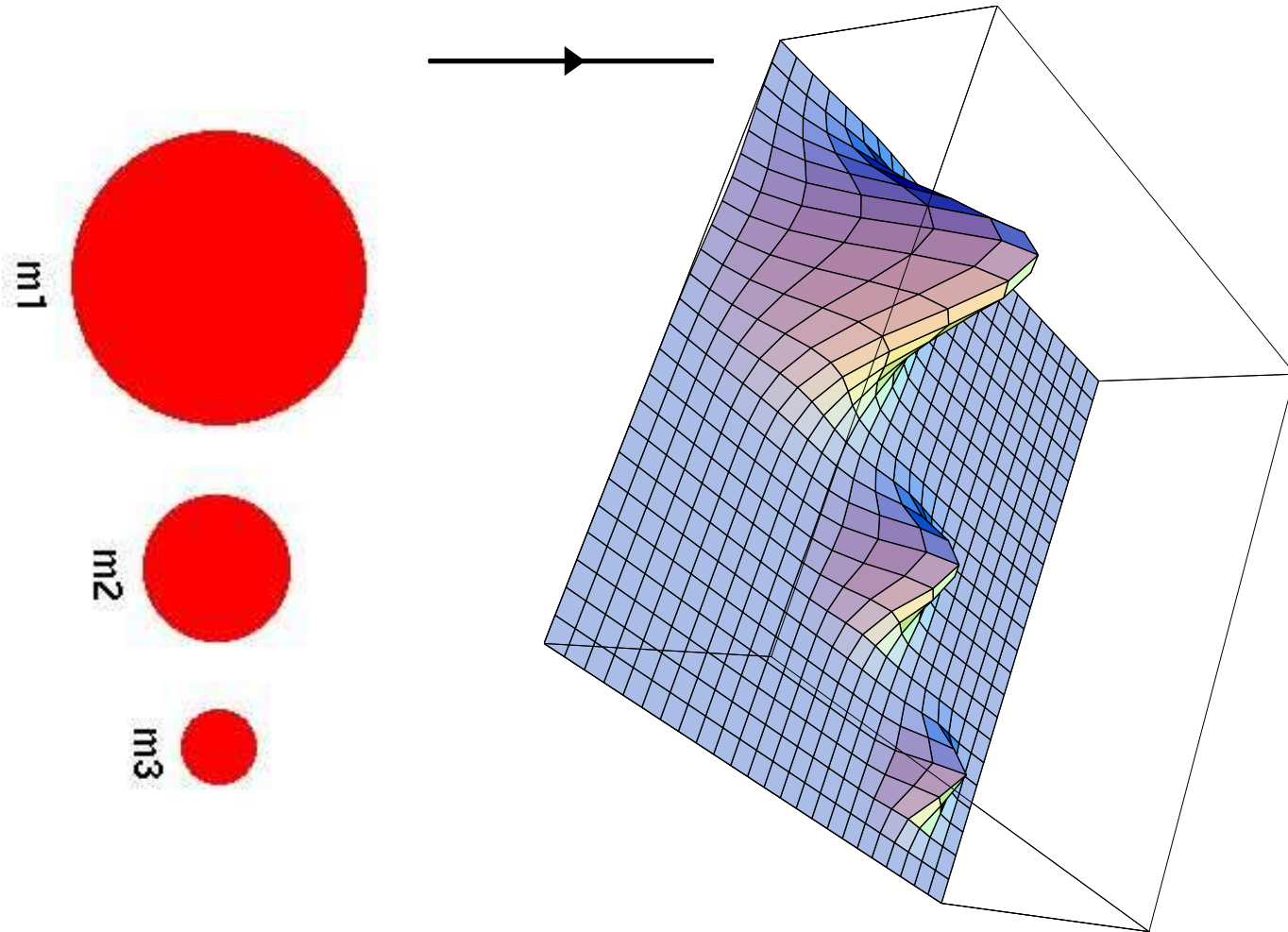
De hecho, conocemos poquísimos sobre esta nueva misteriosa partícula.

Tan solo conocemos:

- Su masa = unas 125 veces la masa del protón
- Vive poquísimos: se desintegra en 10^{-22} segundos!
- No tiene carga eléctrica
- No tiene espín (de ahí su nombre: BOSON escalar de Higgs)
- Es el responsable de las masas de las otras partículas (Mecanismo de Higgs)
- Sus interacciones con las otras partículas son más intensas cuanto más 'obesa' es la partícula

Cómo se genera la masa de una partícula?

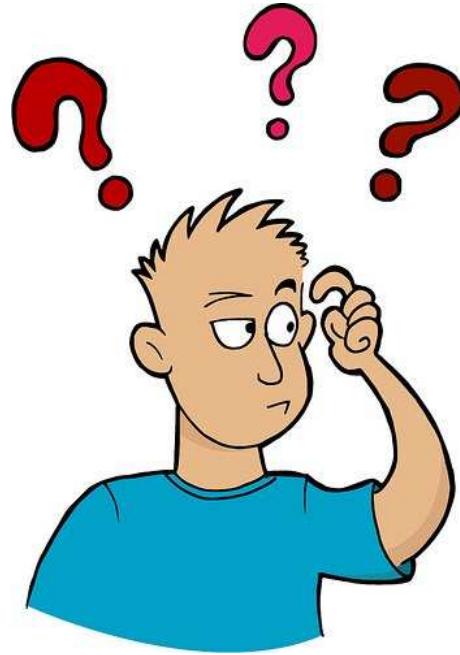
(Visión figurativa 'naive' del Bosón de Higgs)



Campo de Higgs: Efecto que rellena todo el espacio vacío y que afecta a todas las demás partículas que lo atraviesan (o simplemente están en él). Otros campos: eléctrico, magnético, gravitatorio, etc

Mecanismo de Higgs: Al moverse/estar en el Campo de Higgs sienten una fuerza de resistencia similar a las fuerzas de viscosidad en un líquido espeso: mayor resistencia = mayor masa

Lo que desconocemos del Bosón de Higgs



Desconocemos todo lo demás:

- Es una partícula elemental o compuesta?
- Interacciona consigo misma?
- Qué es lo que realmente produce ese Campo de Higgs?
- Qué nueva Física esconde el Bosón de Higgs?
- Tendrá algo que ver con los otros misterios sin resolver?
- Será el Higgs un portal a nueva Física?

Los desafíos del LHC en la nueva etapa

1 Entender mejor qué es realmente el Bosón de Higgs

2 Descubrir nuevas partículas ? (Cuales?)

★ Nuevas subestructuras ?, Subquarks?

★ Otros Bosones de Higgs ?

★ Partículas Supersimétricas ?

★ Responsable de la materia oscura ?

★ Mediadoras de nuevas interacciones ?

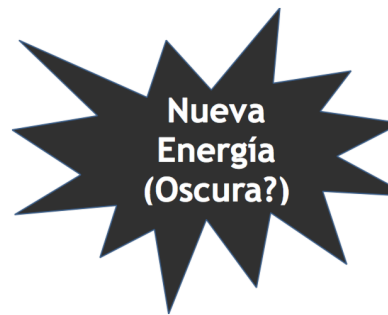
★ ...Pon aquí tu propuesta favorita....

3 Efectos nuevas dimensiones ? (Cuántas?)

Conservación de la Energía: $E = mc^2$

Los protones a gran velocidad (gran energía), colisionan frontalmente, se autodestruyen y se crean nuevas partículas que pueden ser muy masivas

La lluvia de nuevas ideas

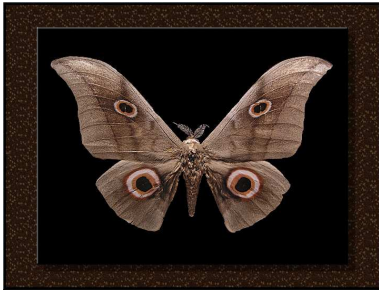


La búsqueda

de nuevas simetrías

Simetrías en la Naturaleza

Simetría= Invariancia ante transformaciones



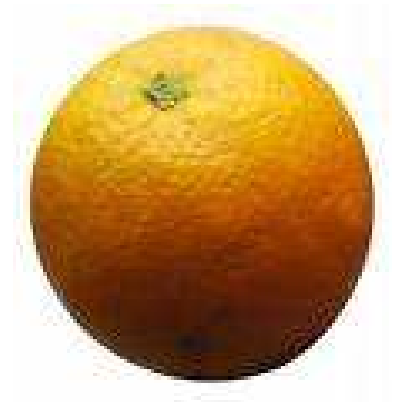
Axial



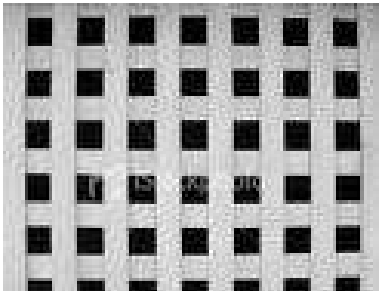
Axial



Radial



Esférica



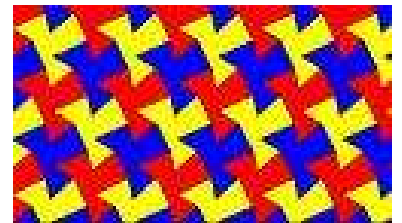
Traslación 1



Traslación 3



Blanco-Negro



Tres colores

Simetrías en Física y cantidades conservadas

Teorema de Noether:

A cada Simetría le corresponde una cantidad conservada y viceversa



Emmy Noether
(1882-1935)

Ejemplos:

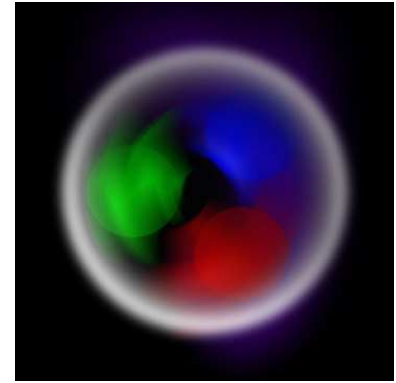
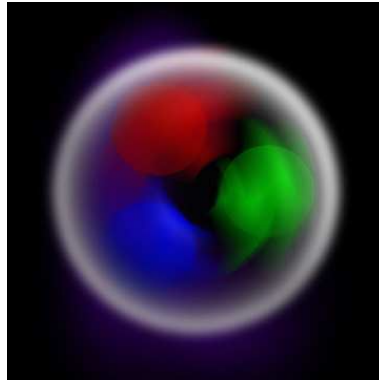
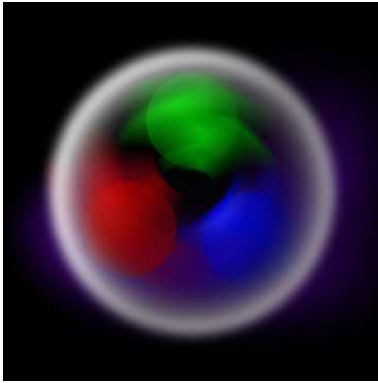
Simetría de traslaciones en el espacio \longrightarrow conservación del momento lineal

Simetría de traslaciones en el tiempo \longrightarrow conservación de la energía

Simetría de rotaciones en el espacio \longrightarrow conservación del momento angular

Simetrías del Modelo Estándar

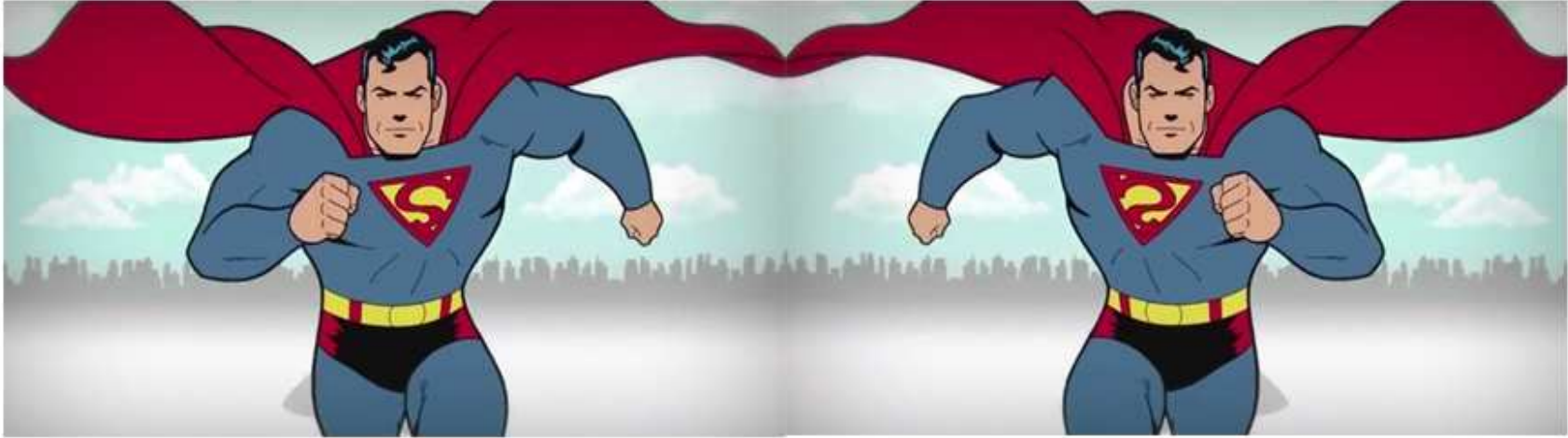
Simetría de 'Color' (Bajo rotaciones de color)



Los tres describen al mismo protón ('blanco')

Simetría de 'Sabor' (Bajo rotaciones de sabor)

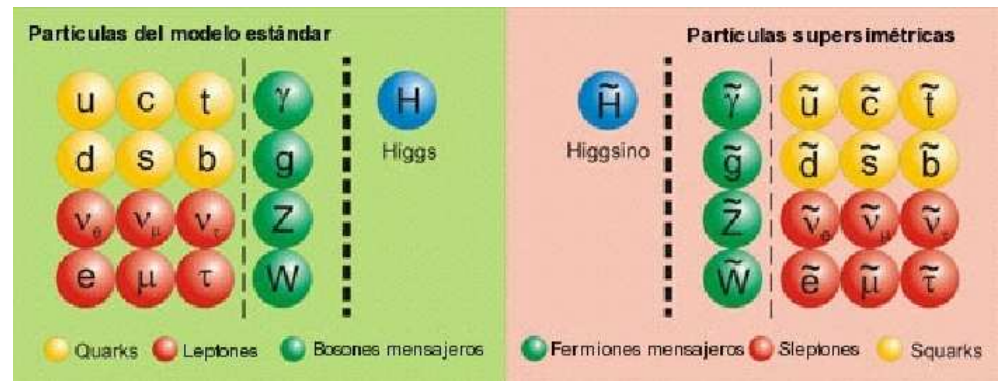
$$u \longleftrightarrow d$$



Supersimetría

Una nueva simetría (SUSY) con muchos aspectos atractivos

Compañeros Supersimétricos



Cada partícula tiene su compañera supersimétrica:

Sus propiedades son exactamente iguales (como si fueran gemelas).

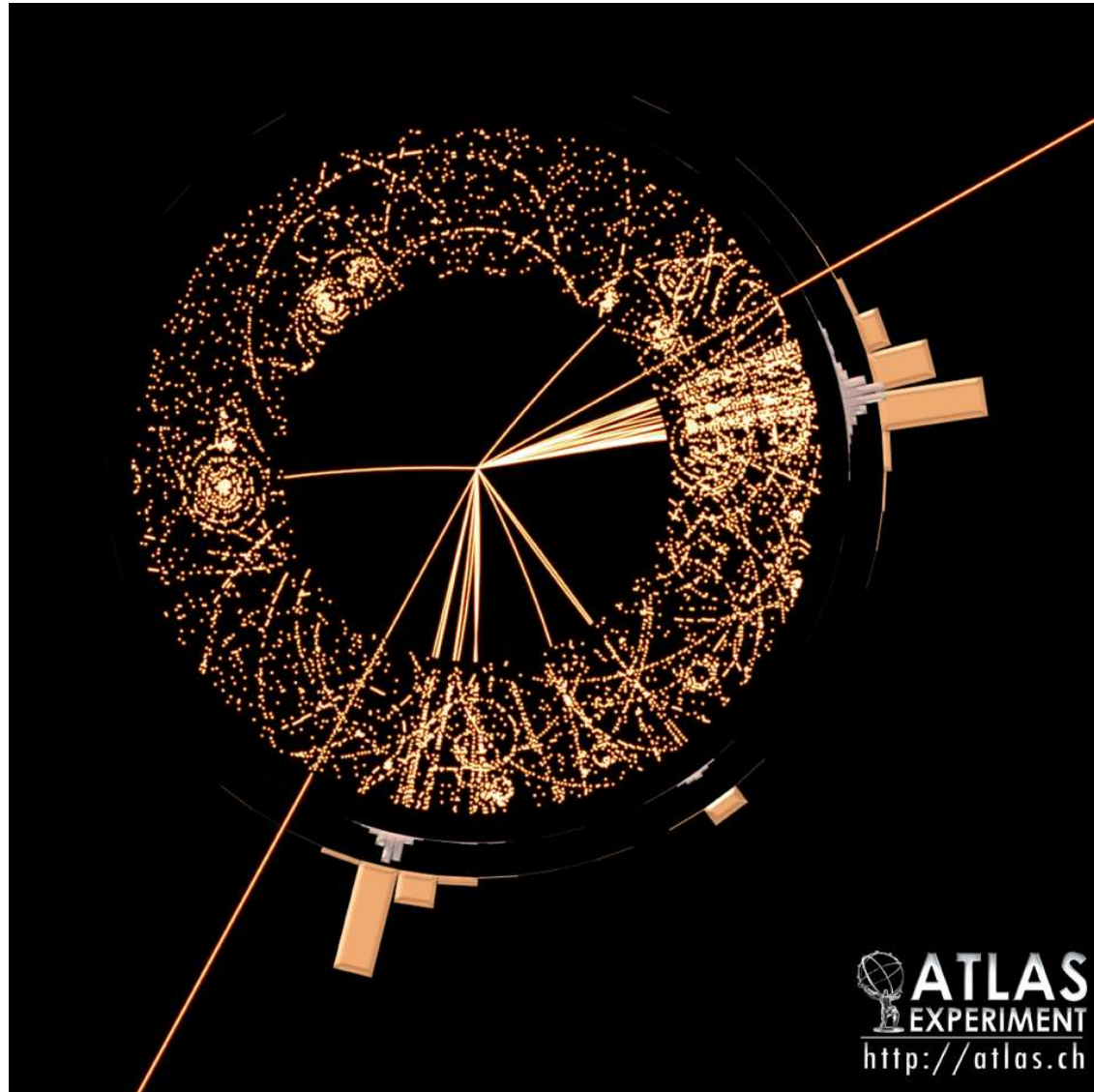
Solo tienen diferente el espín.

El LHC esta buscando a SUSY intensamente....

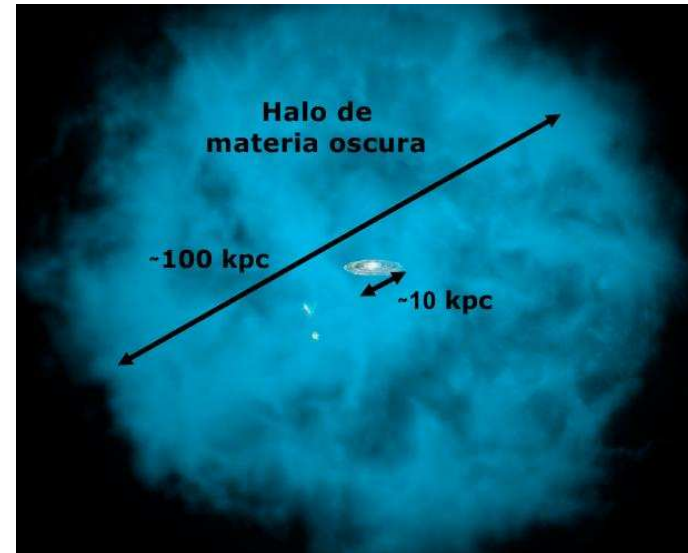
Uno de los compañeros SUSY puede ser la partícula buscada de Materia Oscura.

Que no deja ni rastro en los detectores!.

Evento simulado de Supersimetría en el LHC



El misterio de la materia/energía oscura



La materia ordinaria (quarks y leptones) es solo un 4 % del Universo !

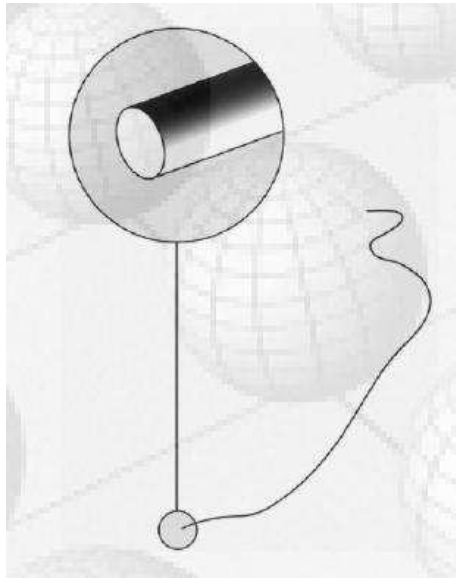
Materia Oscura: nueva forma de materia que no emite ni absorbe luz. No se ve pero se siente: Las Galaxias están rodeadas de un Halo de Materia Oscura. ($1kpc = 3 \times 10^{19}m$)

Es la responsable del 90% de la masa de la Galaxia y es necesaria para explicar su velocidad de rotación.

Energía Oscura: 'algo' que hace que la expansión del Universo se acelere.

Y si el universo tiene más dimensiones de las que vemos?

Vivimos (aparentemente) en 4 dimensiones: 3 de espacio y 1 de tiempo. Pero podría ser que hubiera más dimensiones y no las notemos...?



Lo que parece una dimensión pueden ser realmente dos dimensiones.

La hormiga si que nota las dos dimensiones.

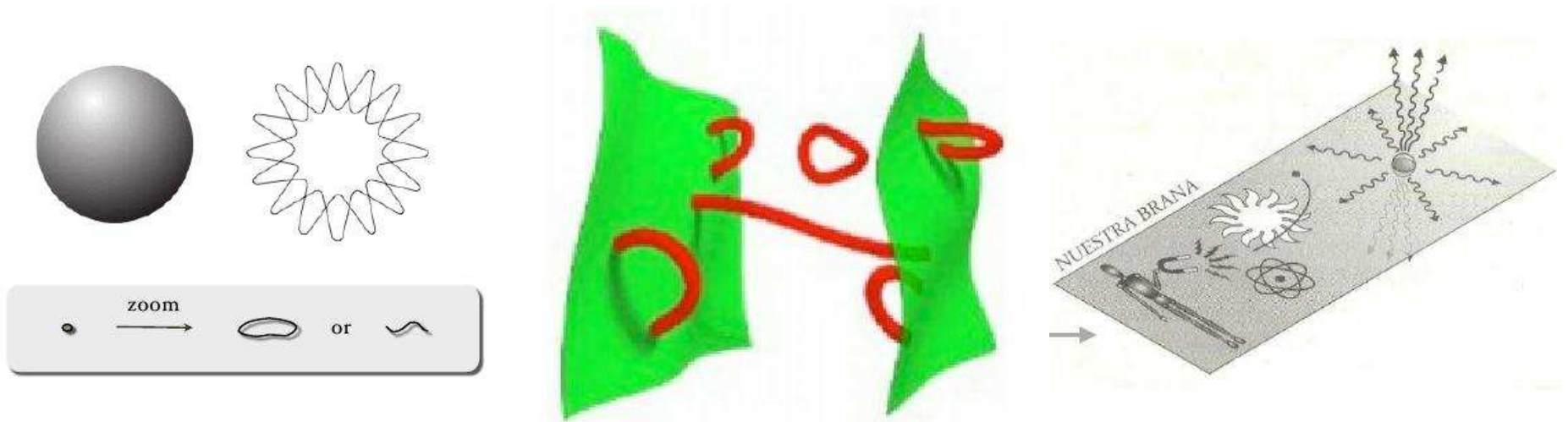
Hay teorías que predicen muchas mas dimensiones que 4 (10,11,...?)

Se llaman teorías con dimensiones extra.

Ejemplos: Teorías de Cuerdas, Supercuerdas, Branas...

En ellas se incorpora también la interacción gravitatoria.

Pero qué son las cuerdas? y las branas?



Hipótesis:

las partículas elementales no son objetos puntuales sino que son **Cuerdas** vibrando. Dependiendo de cómo sean sus modos (frecuencias) de vibración su masa será mayor o menor. Hay dos tipos de cuerdas: cerradas y abiertas.

Al ser objetos con extensión necesitan un universo con más de tres dimensiones espaciales.

Las **Branas** son otros objetos extensos (membranas) que también viven en esos universos con dimensiones extra. Podría ser incluso, que todo nuestro universo estuviera confinado en una 3-brana!

Lo que queda por descubrir en el LHC

El LHC en su nueva etapa va a explorar todos los nuevos fenómenos asociados a la Nueva Física, más allá del Modelo Estándar y podría sorprendernos con nuevos descubrimientos fascinantes.

La Historia continúa.....

y nosotros seguiremos haciendo preguntas

Proporcionando respuestas...



Es el trabajo conjunto de físicos teóricos, experimentales, ingenieros, informáticos,...el que hace avanzar en el conocimiento de los elementos fundamentales de la naturaleza.

Y con ello planteamos nuevos retos!



Muchas gracias