
El bosón de Higgs: la simetría y la masa

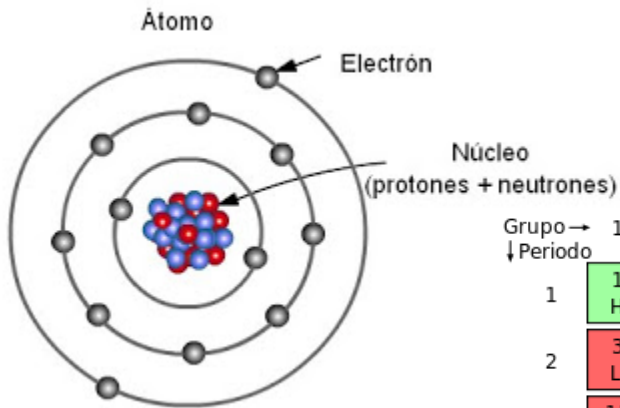
José María Román

Ibarrangelu, 23 de diciembre de 2012

- 1. Elementos químicos
- 2. Relatividad especial y general
- 3. Anti-partículas
- 4. El neutrino
- 5. Hadrones: bariones y mesones
- 6. El modelo estándar de las partículas elementales
- 7. El Higgs: ¿cómo nos da la masa?
- 8. CERN y Fermilab: buscando W y Z, también el quark t
- 9. LHC: buscando el Higgs
- Agradecimientos

1. Elementos químicos: la mecánica cuántica

- Átomos con electrones que giran alrededor de núcleos con un número diferente de **protones** (siglos XVII, XVIII, XIX y **XX**)



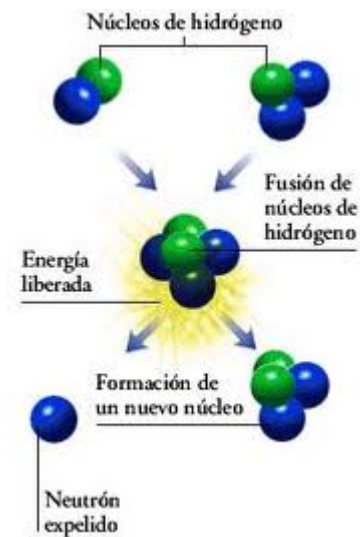
La mecánica cuántica

Grupo →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Período	1 1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
Lantánidos				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actínidos				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

1. Elementos químicos: la mecánica cuántica

■ Elementos artificiales:

Buscar los que faltan



Fusión
nuclear

Fisión nuclear
(centrales nucleares y
bombas nucleares)

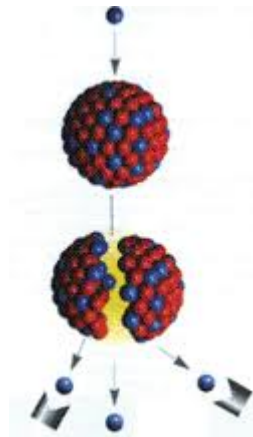


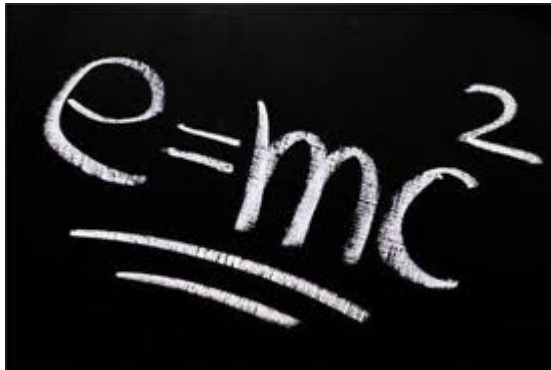
TABLA 23

LOS ELEMENTOS ARTIFICIALES

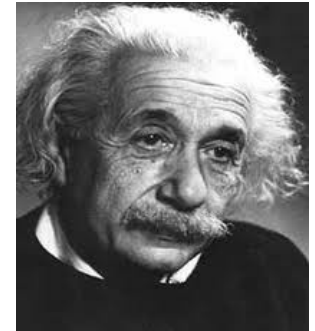
ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Tecnecio	Tc	43	1937	Segrè
Francio	Fr	87	1939	Perrier
Astatino	At	85	1940	Perey
				Corson
				Mackenzie
				Segrè
Neptunio	Np	93	1940	McMillan
				Abelson
Plutonio	Pu	94	1940	McMillan
				Seaborg
Americio	Am	95	1944	Equipo norteamericano
Curio	Cm	96	1944	Equipo norteamericano
Promecio	Pm	61	1948	Equipo norteamericano
Berquelio	Bk	97	1949	Equipo norteamericano
Californio	Cf	98	1950	Equipo norteamericano
Einsteinio	Es	99	1955	Equipo norteamericano
Fermio	Fm	100	1955	Equipo norteamericano
Mendelevio	Md	101	1955	Equipo norteamericano
Nobelio	No	102	1957	Equipo norteamericano
Laurencio	Lw	103	1961	Equipo norteamericano

2. Relatividad especial y general: principios de simetría

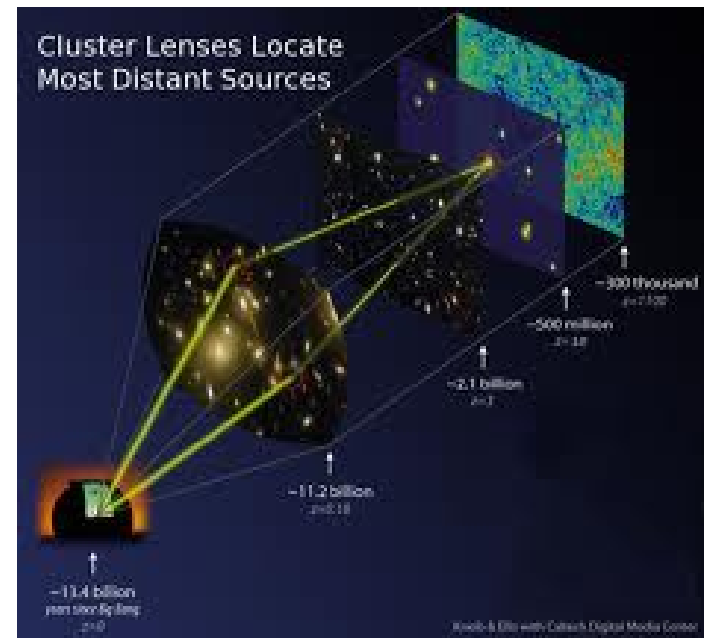
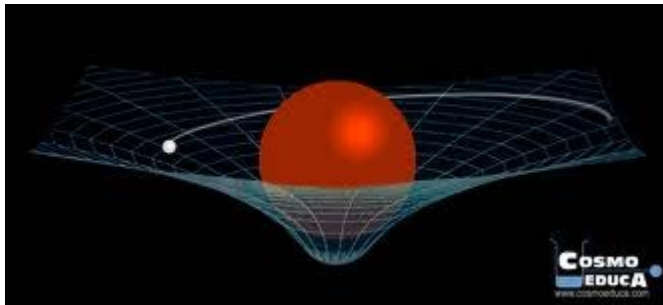
■ Propuestas por Einstein entre 1905 y 1917


$$E=mc^2$$

La **masa** y la **energía**
están relacionadas (son lo mismo)



La gravedad se explica porque la
masa curva el espacio-tiempo

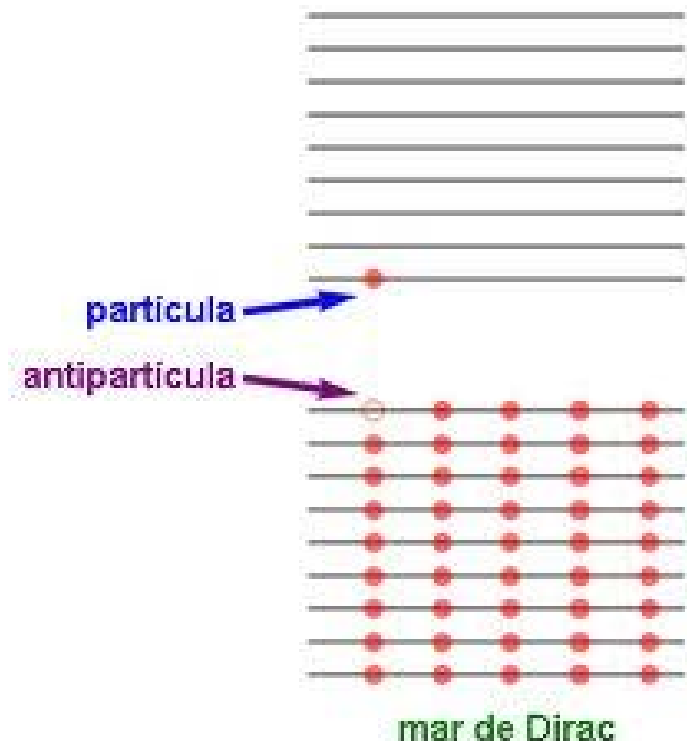


3. Anti-partículas: consecuencia de la relatividad

- Dirac en 1930 para explicar los electrones **relativistas** ve que existen electrones con energías negativas, cuya ausencia se comporta como un electrón de energía positiva y carga positiva

En realidad son **positrones**
(anti-partícula del electrón)

Observados experimentalmente
en 1932



4. El neutrino: la desintegración beta, ¿qué se me escapa?

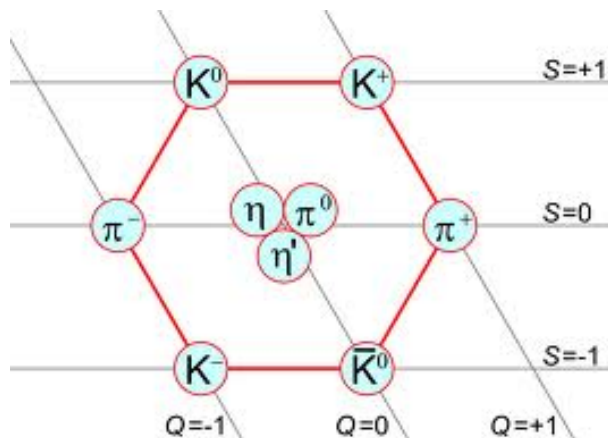
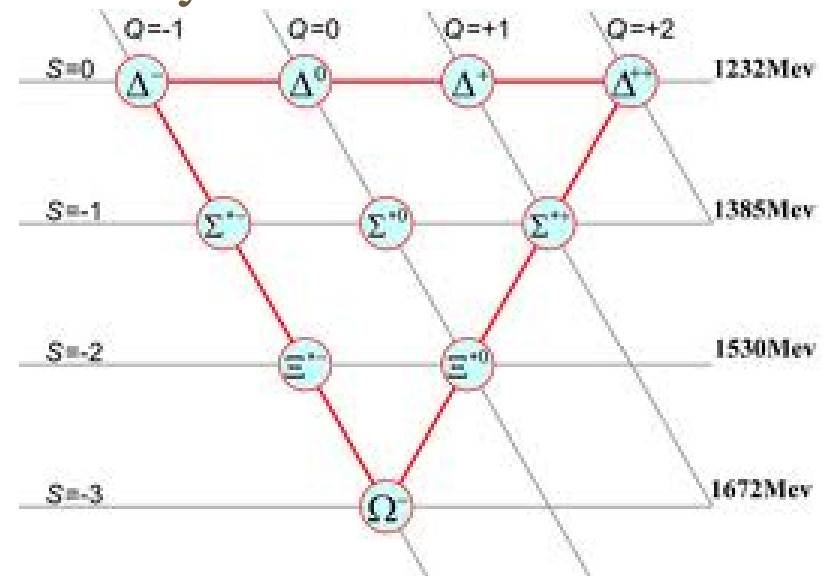
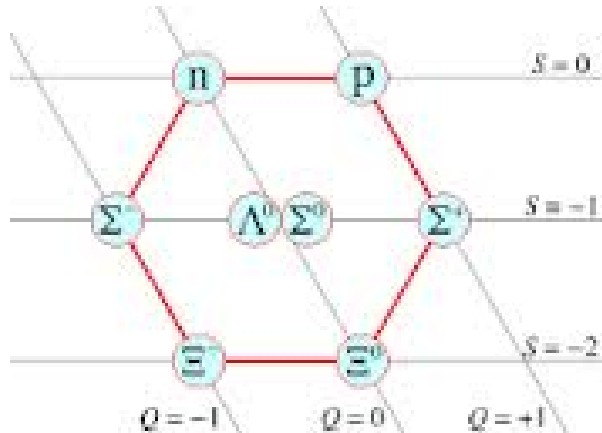
- La existencia del **neutrino** fue propuesta en **1930** por el físico **Wolfgang Pauli** para compensar la aparente pérdida de energía en la **desintegración beta de los neutrones**

El **neutrino** había de ser sin masa,
ni carga, ni interacción fuerte.
Es difícil de detectar.

- En **1956 Clyde Cowan y Frederick Reines** demostraron su existencia experimentalmente
- En **1987 Leon Max Lederman, Melvin Schwartz y Jack Steinberger** descubrieron los dos restantes tipos de neutrinos: **tauónicos y muónicos**

5. Hadrones: Bariones y Mesones, el mogollón

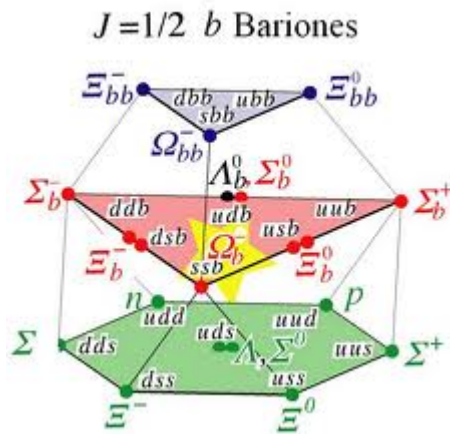
- Bariones: del mismo tipo que protones y neutrones



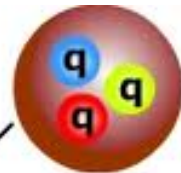
- Mesones y piones: descubiertos en 1947 por Powell

5. Hadrones: Quarks y QCD, ¡menos mal!

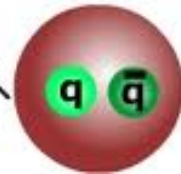
- Cromodinámica Cuántica (QCD): agrupación de simetría para la **interacción fuerte**



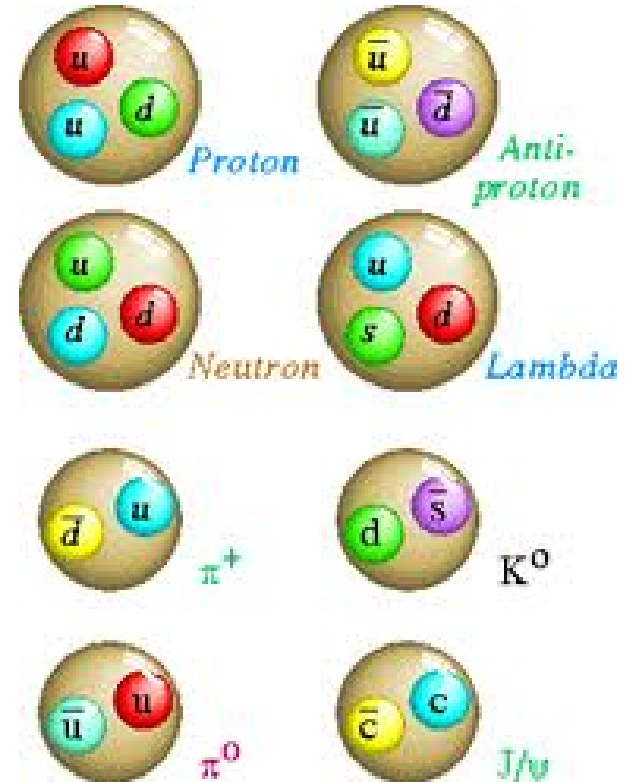
Hadrones



Bariones



Mesones

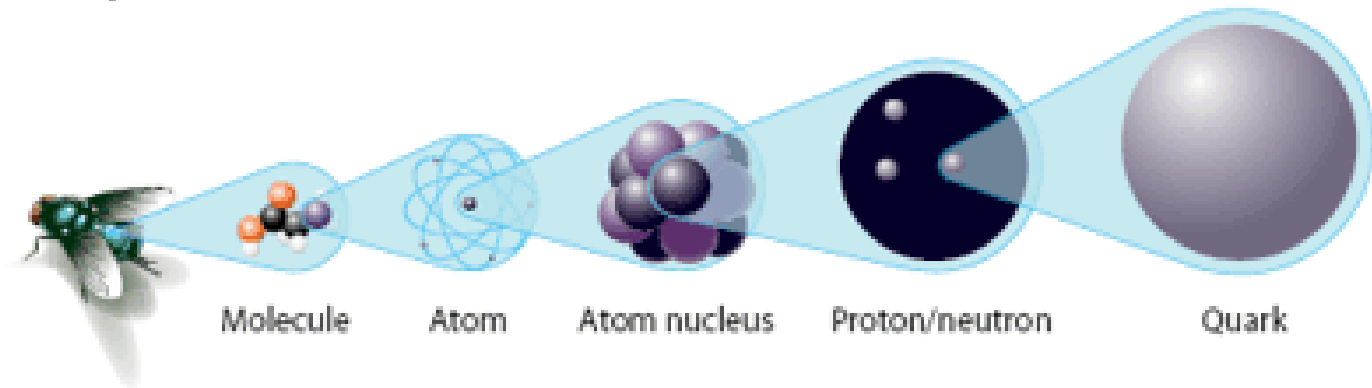


QUARKS:

La combinación de quarks da lugar a todos los constituyentes de la materia

6. El modelo estándar de las partículas elementales

■ Revisitamos el camino recorrido



Into the matter. Electrons and quarks are the smallest building blocks of all matter.

Elementary particles

	First family	Second family	Third family		Forces	Messenger particles
Leptons	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	Higgs?	electromagnetic force	photon
	electron	muon	tau		weak force	W, Z
Quarks	up	charm	top		strong force	gluons
	down	strange	bottom			

6. El modelo estándar de las partículas elementales

Partículas elementales

Forman toda la materia:

- Quarks
- Leptones

Mediadores de interacción:

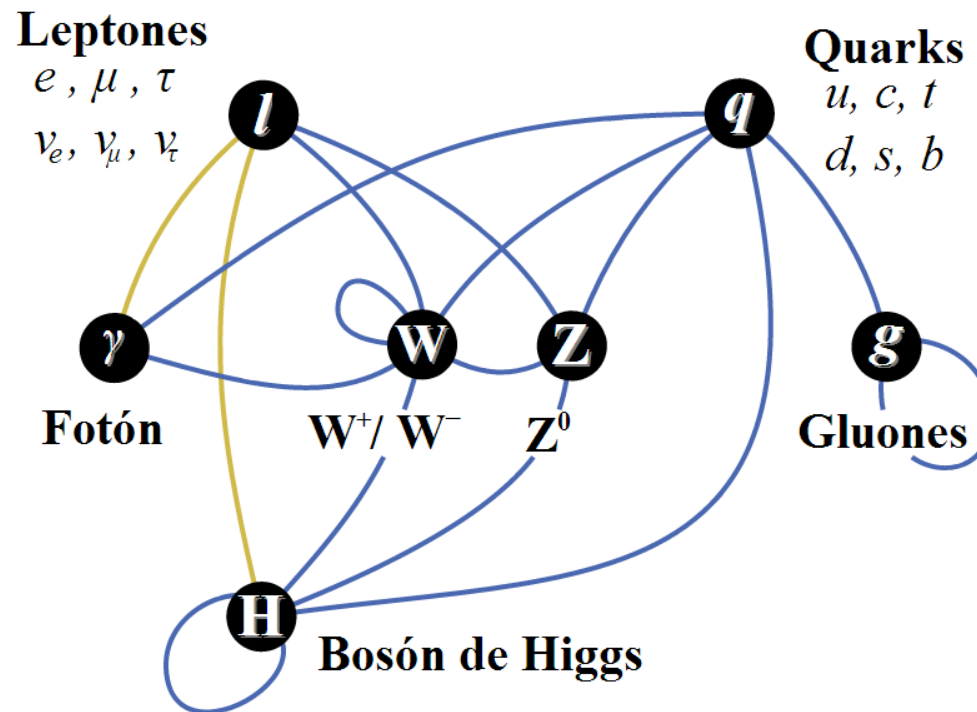
- Fotón (Electromagnetismo)
- Gluón (Int. fuerte)
- Z^0 y W^\pm (Int. débil)

¿Y el Higgs?

Quarks	$2.4 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	$1.27 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	$171.2 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ fotón
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	$104 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluón
Leptones	$<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electrón neutrino	$<0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muón neutrino	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV/c^2 0 1 Z^0 bosón Z
	0.511 MeV/c^2 -1 $\frac{1}{2}$ e electrón	105.7 MeV/c^2 -1 $\frac{1}{2}$ μ muón	1.777 GeV/c^2 -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV/c^2 ± 1 1 W^\pm bosón W
				Bosones de Gauge

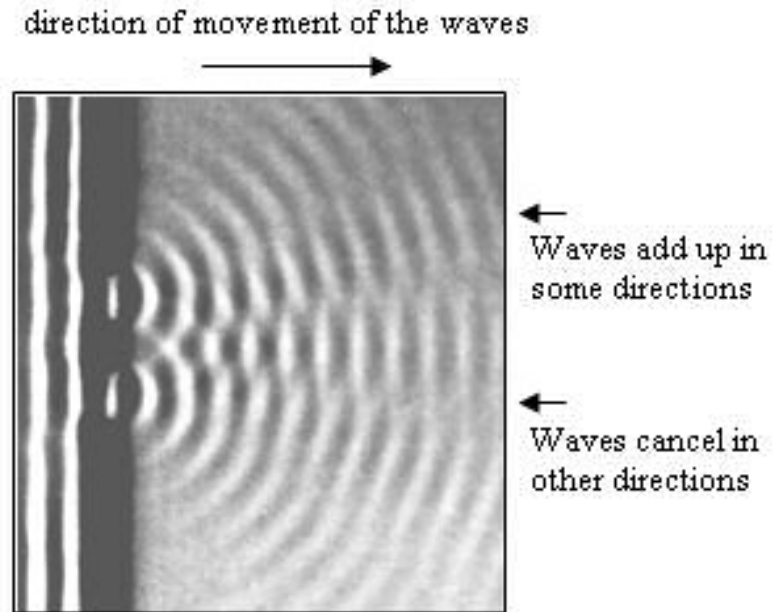
6. El modelo estándar de las partículas elementales

- El modelo estándar se basa en **relaciones de simetría** muy fuertes, principalmente relativas al **fotón**, Z^0 y W^\pm , que les obliga a ser partículas **sin masa**. ¡Pero no lo son!
- ¿Y si la masa fuera una interacción con el campo de Higgs?



7. El Higgs: ¿cómo nos da masa?

- ¿Qué es una partícula? Una perturbación de un campo cuántico



- Cada tipo de partícula tiene asociado un campo cuántico, pero el campo cuántico NO ES NINGUNA PARTÍCULA
- Las **perturbaciones** de los campo cuánticos se manifiestan como **partículas**

7. El Higgs: ¿cómo nos da masa?

- En ausencia de electrones no hay campo cuántico electrónico



- En ausencia de Higgs
todavía existe un campo no nulo,
estático: **CAMPO DE HIGGS**

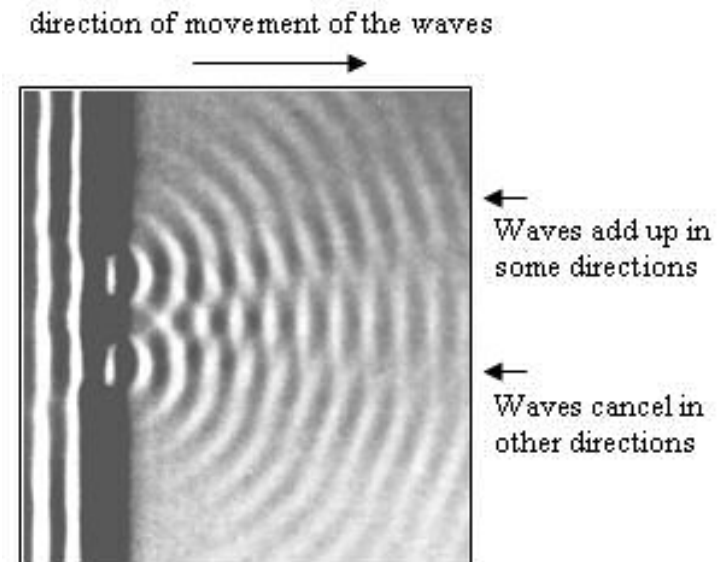
¿Por qué?

El Higgs es auto-interaccionante



7. El Higgs: ¿cómo nos da masa?

- Las partículas de Higgs son las **perturbaciones** de ese campo que lo impregna todo
- El Higgs interacciona con todas la partículas (menos fotón y gluón)
- EL CAMPO DE HIGGS TAMBIÉN INTERACCIONA CON TODO (menos fotón y gluón)



7. El Higgs: ¿cómo nos da masa?

- ¿Qué tienen estos peces a su alrededor?
 - Para nosotros: agua
 - Para ellos: **nada**
- Esa **nada** es el **campo de Higgs**, que no notamos, es nuestro medio natural
- Unos peces **rozan** más que otros con su **nada** (y se mueven con más dificultad)
 - Cuanto más fuerte es la interacción con el campo de Higgs más grande es la masa de una partícula



Rápido



Lento

8. CERN y Fermilab: buscando W y Z también el quark t

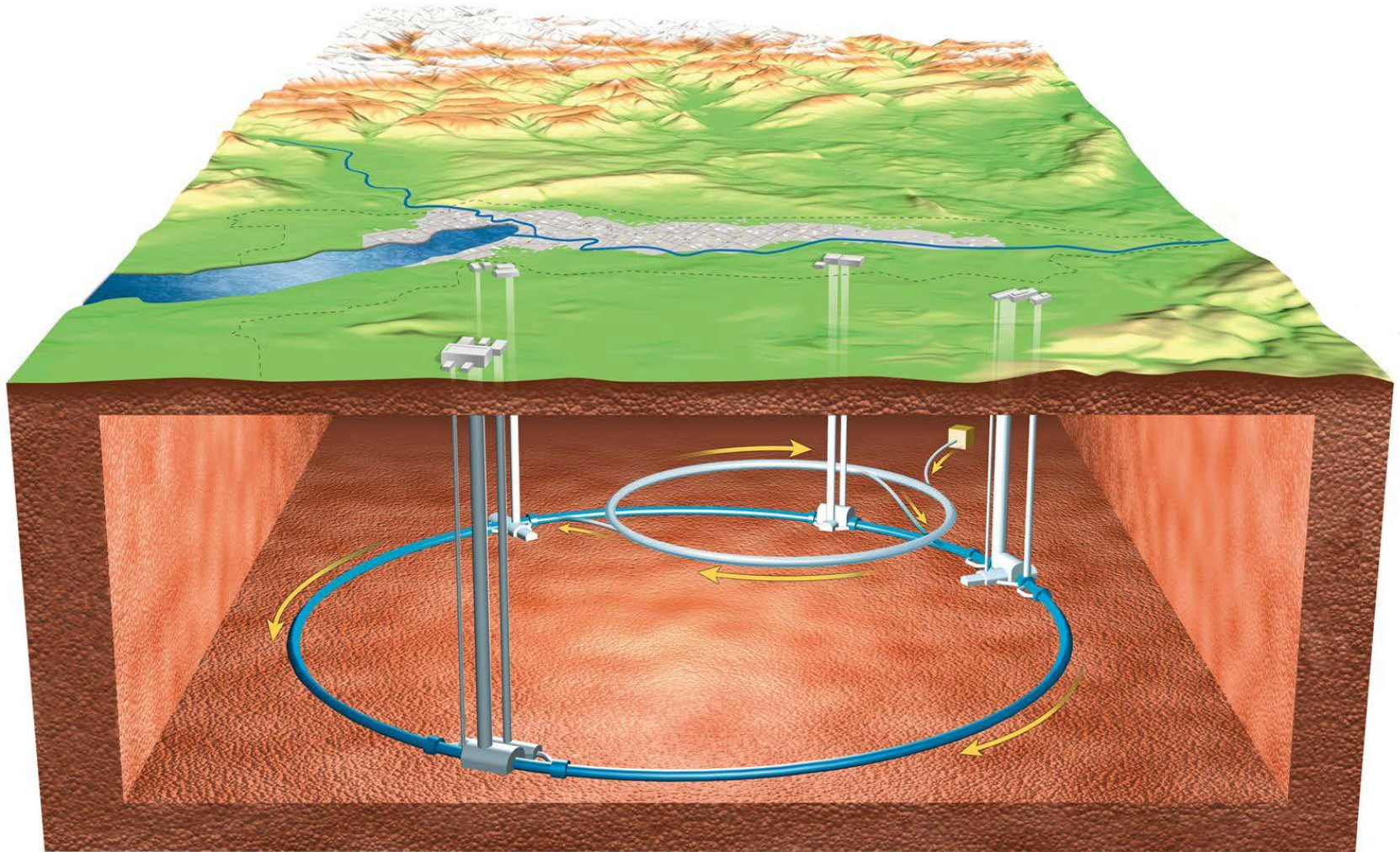
- El Modelo Estándar predice la existencia de los bosones Z^0 y W^\pm , el gluón, y los quarks top y charm antes de que esas partículas hubiesen sido observadas:
 - Z^0 y W^\pm descubiertos en el CERN en 1983
 - Quark **top** encontrado en Fermilab en 1995
 - **Gluón** no se ha observado experimentalmente de forma aislada (y seguramente no se pueda, porque es auto-interaccionante)
- El CERN puso en marcha el *Large Electrón-Positron collider* (LEP) en 1989 para la experimentación con los bosones Z^0 y W^\pm

Cantidad	Medida (GeV)	Predicción del Modelo Estándar (GeV)
Masa del bosón W	$80,4120 \pm 0,0420$	$80,3900 \pm 0,0180$
Masa del bosón Z	$91,1876 \pm 0,0021$	$91,1874 \pm 0,0021$

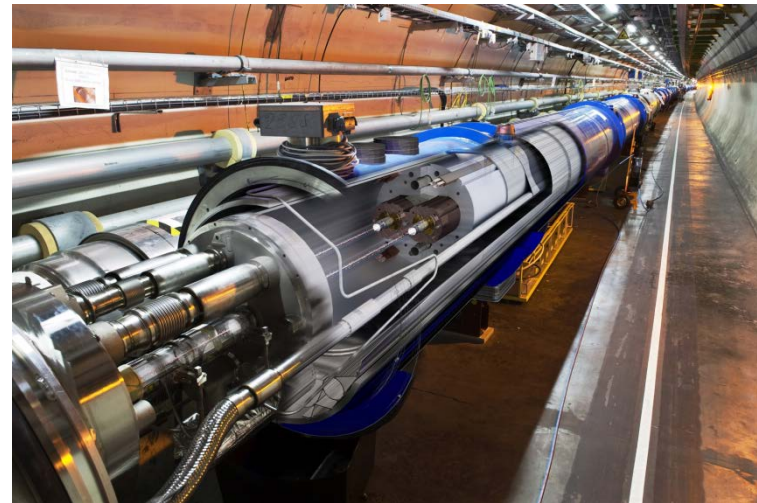
9. LHC: buscando el Higgs

- LHC: Large Hadron Collider (Gran Colisionador de Hadrones). Protón/anti-protón o núcleos de plomo
 - Localización: CERN, cerca de Ginebra en la frontera franco-suiza
 - Instalaciones: túnel de 27 km de circunferencia (utilizando la antigua infraestructura del LEP)
 - Puesta en marcha: 2009 (después de reparar problemas en 2008)
 - Objetivo: Encontrar la partícula de Higgs (entre otros)
 - Energía de operación: hasta 14 TeV (en 2014)
- Tubos de vacío a 10^{-7} Pa ($1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$) e imanes superconductores a -271°C
- Detectores:
 - ATLAS, CMS: buscan el Higgs y nueva física
 - LHCb y Alice: investigan los quark bottom y el plasma quark-gluon

9. LHC: buscando el Higgs

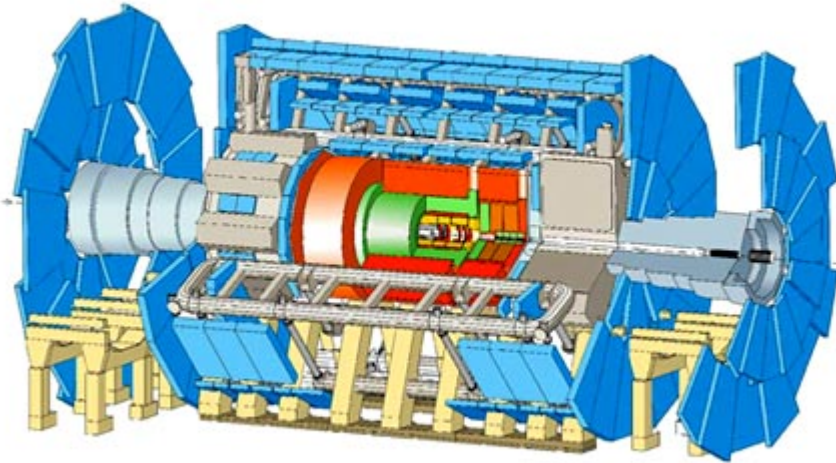


9. LHC: buscando el Higgs, túneles



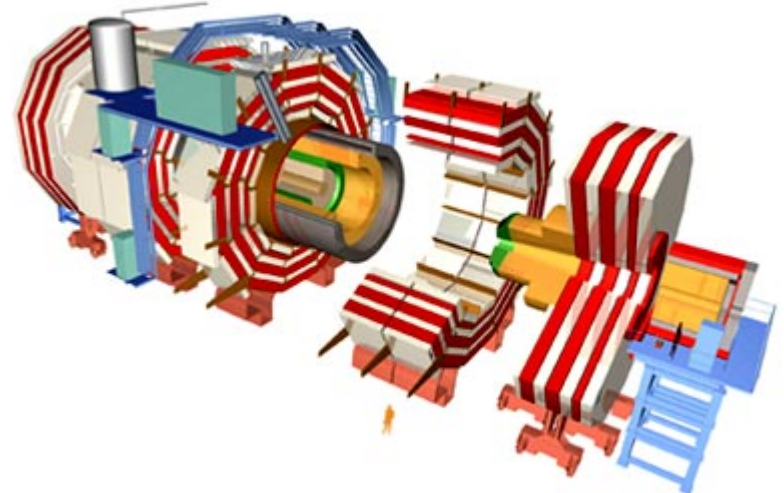
9. LHC: buscando el Higgs, detectores Atlas y CMS

ATLAS detector



Credit : CERN

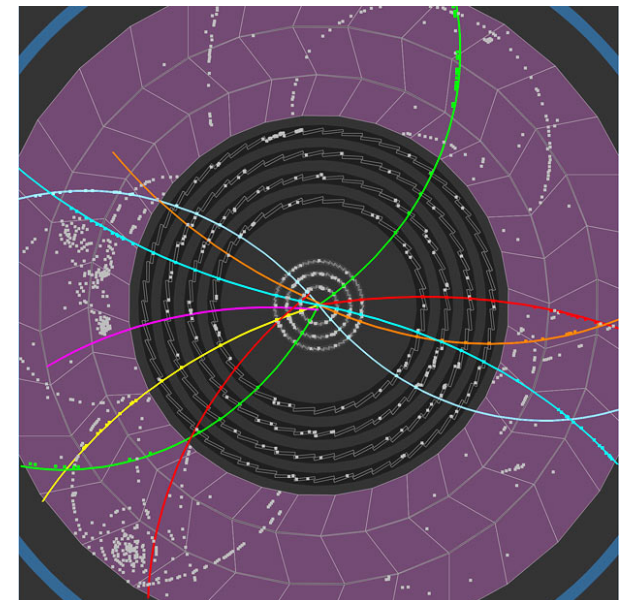
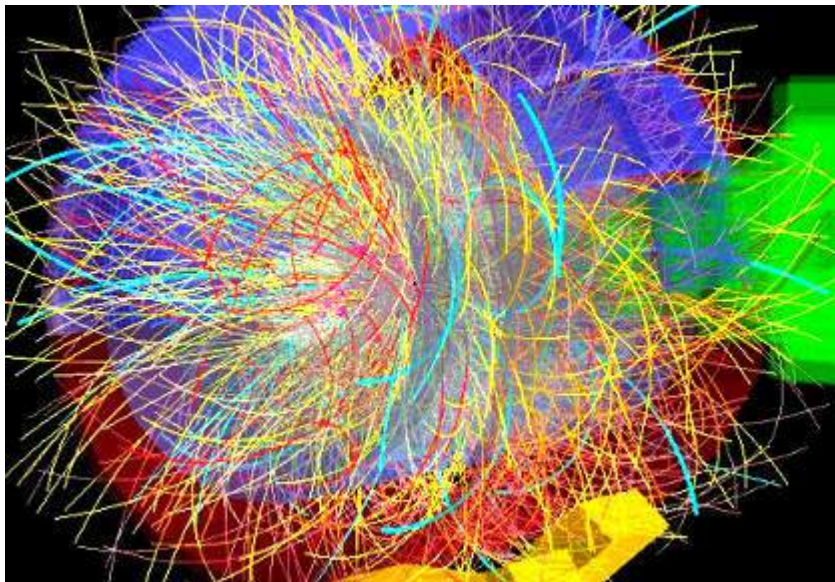
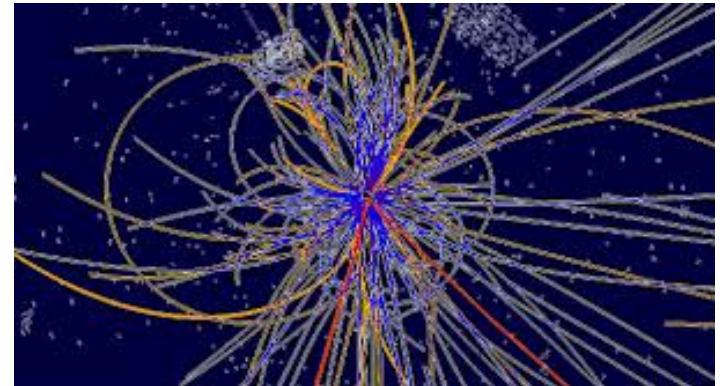
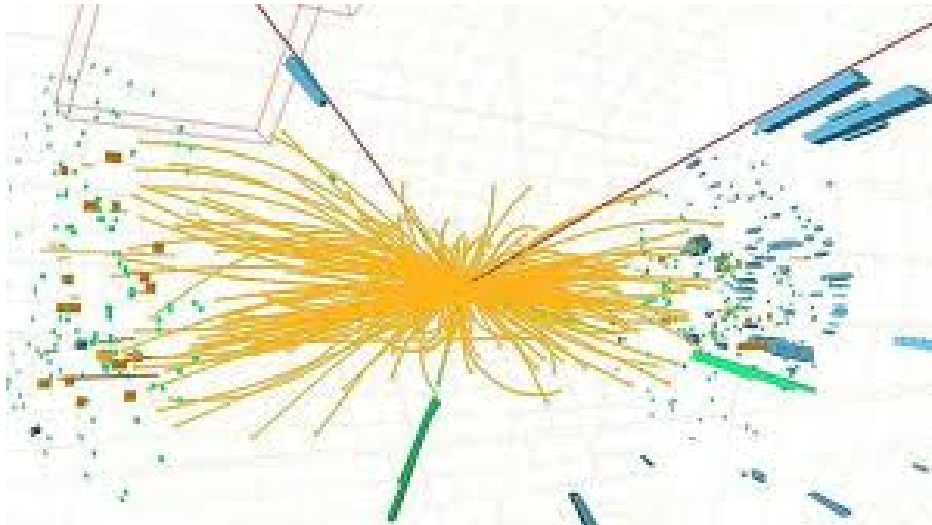
CMS detector



Credit : CERN



9. LHC: buscando el Higgs, detección de colisiones



9. LHC: buscando el Higgs, resultados preliminares

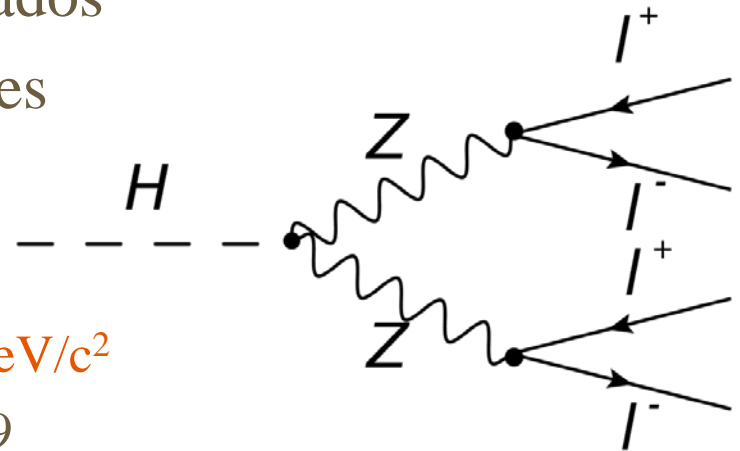
■ El 4 de julio de 2012 fueron presentados por el CERN, los resultados preliminares de los análisis conjuntos de los experimentos ATLAS y CMS:

□ CMS \rightarrow bosón con masa $125,3 \pm 0.6 \text{ GeV}/c^2$

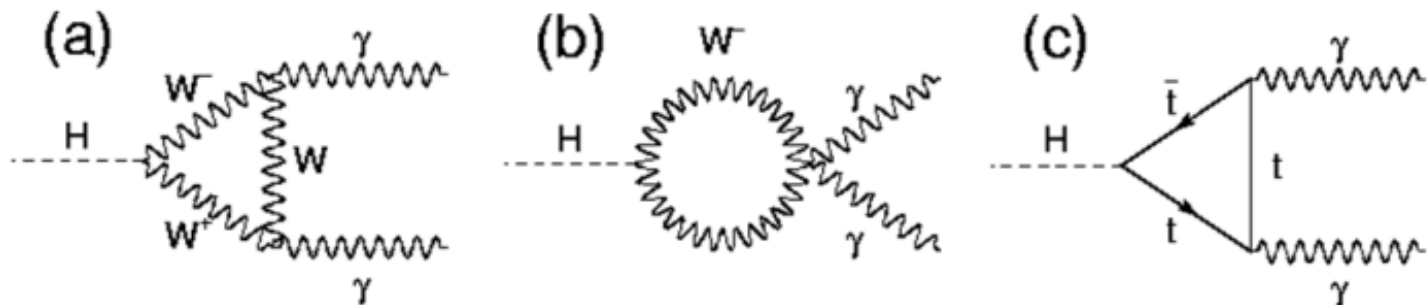
a una significación estadística de sigma 4,9

□ ATLAS \rightarrow bosón con masa $126,5 \text{ GeV}/c^2$

a una significación estadística de sigma 5



■ ¡La señal obtenida es "consistente" con el bosón de Higgs!



Agradecimientos

- A Google por la posibilidad de encontrar tanta información
 - Muchas fotos presentadas son del CERN
 - Otras de blogs varios. Perdón por no referenciarlas apropiadamente
- A Kepa Ruíz Mirazo, por la encerrona
- Al ayuntamiento de Ibarangelu por ceder sus instalaciones para celebrar este tipo de eventos
- A los asistentes por el esfuerzo en venir y el interés mostrado

- ¿Cómo puede suceder esto en un pueblo tan pequeño y alejado (no offense)? ¡Viva Cicely, Alaska! ☺ (o Ibarangelu, Bizkaia)

Eskerrik asko!