

Introducción a la Física de Partículas

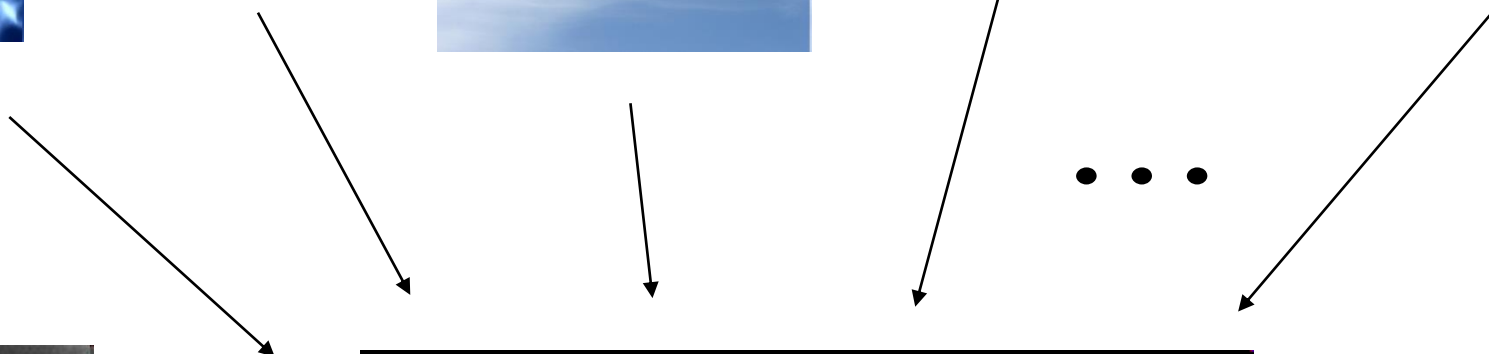
Dra. Begoña de la Cruz

CIEMAT

24 Marzo 2015

¿Por qué hay tantas sustancias y objetos diversos?





Mendeleiev
(1867)

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	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At			Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt											
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb				
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No				

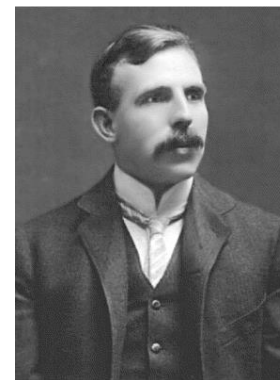
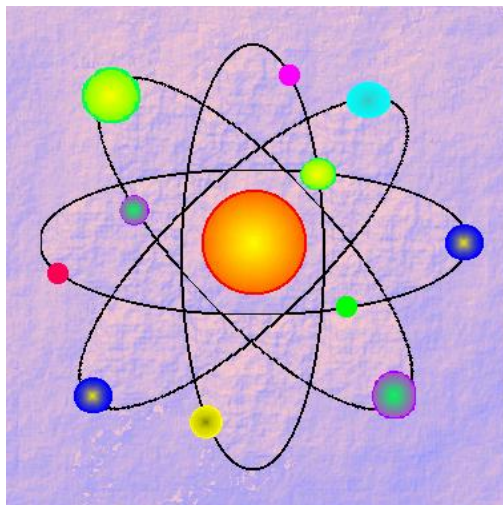
Tabla Periódica

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	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No			



Tabla Periódica

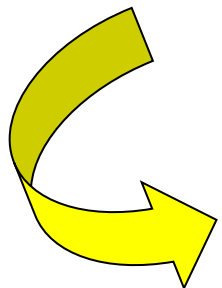
Átomo



Rutherford
(1909)



Bohr
(1913)

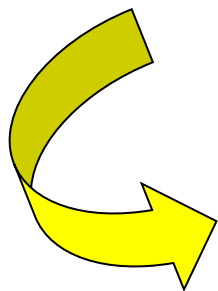
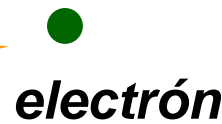
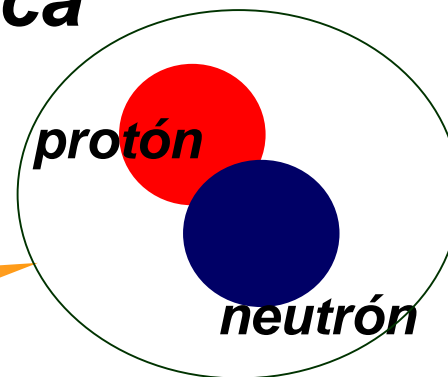
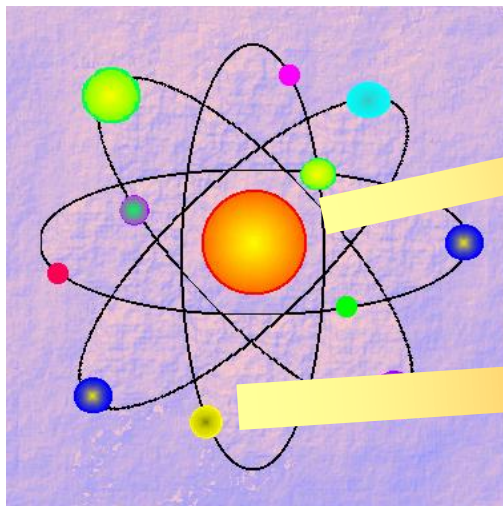


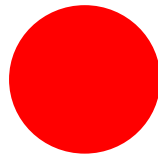
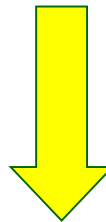
H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt																																					
		<table border="1"> <tr> <td>La</td><td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td> </tr> <tr> <td>Ac</td><td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td> </tr> </table>																La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb																																
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No																																



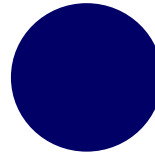
Tabla Periódica

Átomo





protón



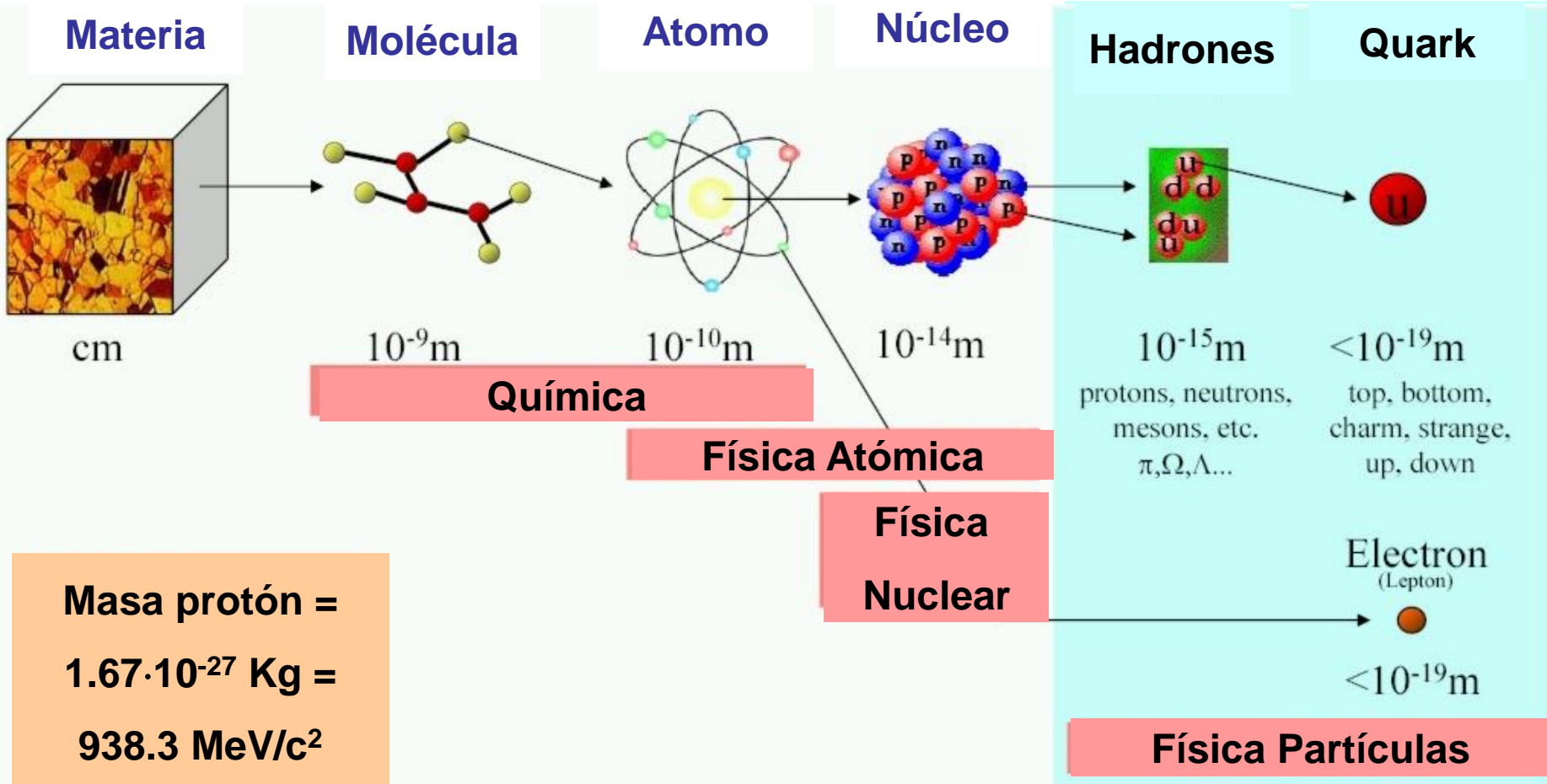
neutrón



electrón

- ❖ Estas partículas son finalmente elementales?...
- ❖ ...O están compuestas por otras aún más simples?...

El estudio para responder estas preguntas corresponde a la
Física de Partículas



Masa protón =
 $1.67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} =$
 $938.3 \text{ MeV}/c^2$
 $\sim 1 \text{ GeV}/c^2$

Materia

1932

p, n, e, ν

1937

μ

1940s

mesones π, K

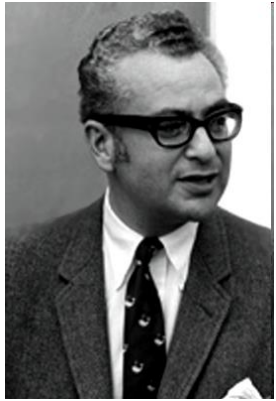
1950s

partículas $\Lambda, \Delta, \Sigma, \dots$

...Actualmente se conocen unas 300 partículas

En 1964 se propuso la idea de los

quarks



como partículas elementales, de carga eléctrica fraccionaria, que existen con distintas personalidades ó sabores

Zweig

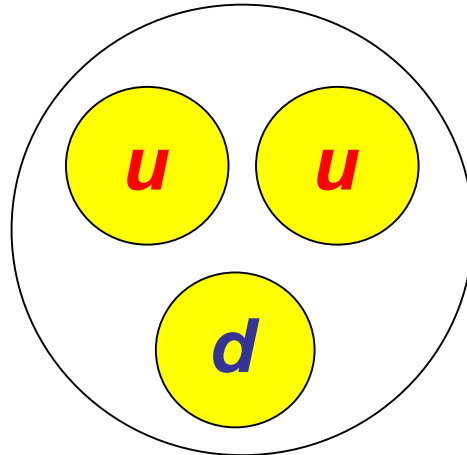
Gell-Mann

$$q(u) = +2/3$$

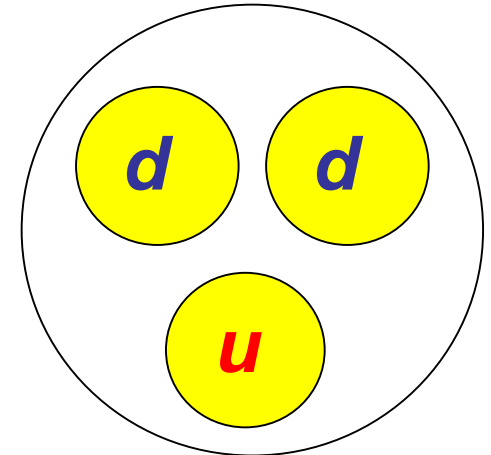
$$q(d) = -1/3$$

$$q(p) = +1$$

$$q(n) = -1/3 - 1/3 + 2/3 = 0$$



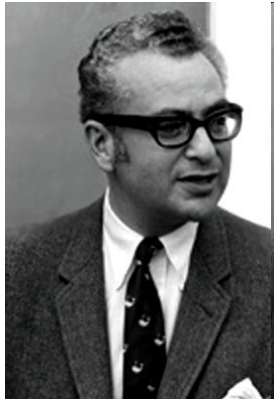
protón



neutrón

En 1964 se propuso la idea de los

quarks



como partículas elementales, de carga eléctrica fraccionaria, que existen con distintas personalidades ó sabores

Zweig

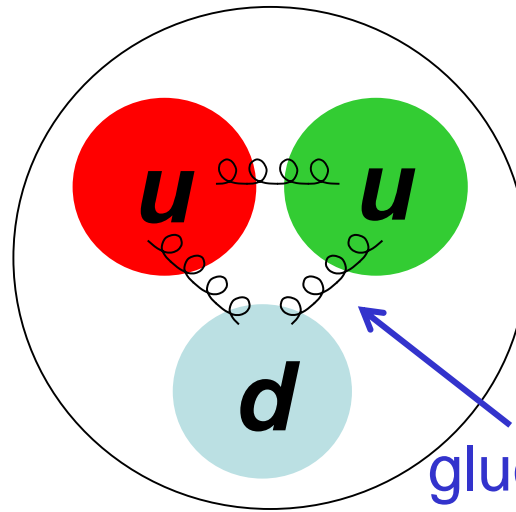
Gell-Mann

$$q(u) = +2/3$$

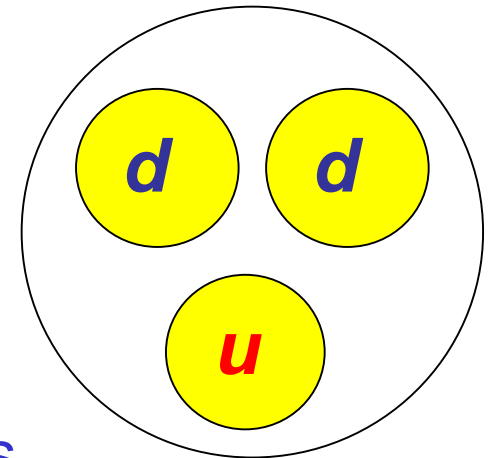
$$q(d) = -1/3$$

$$q(p) = +1$$

$$q(n) = -1/3 - 1/3 + 2/3 = 0$$



protón



neutrón

Partículas Elementales



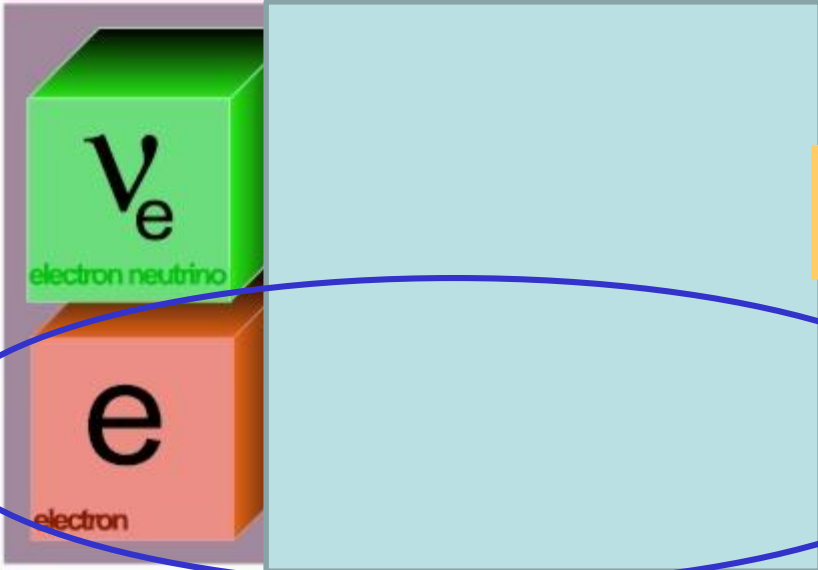
Muchas partículas, además de protones y neutrones, están compuestas por quarks. Hay 6 tipos (sabores) de quarks.

Partículas Elementales

quarks



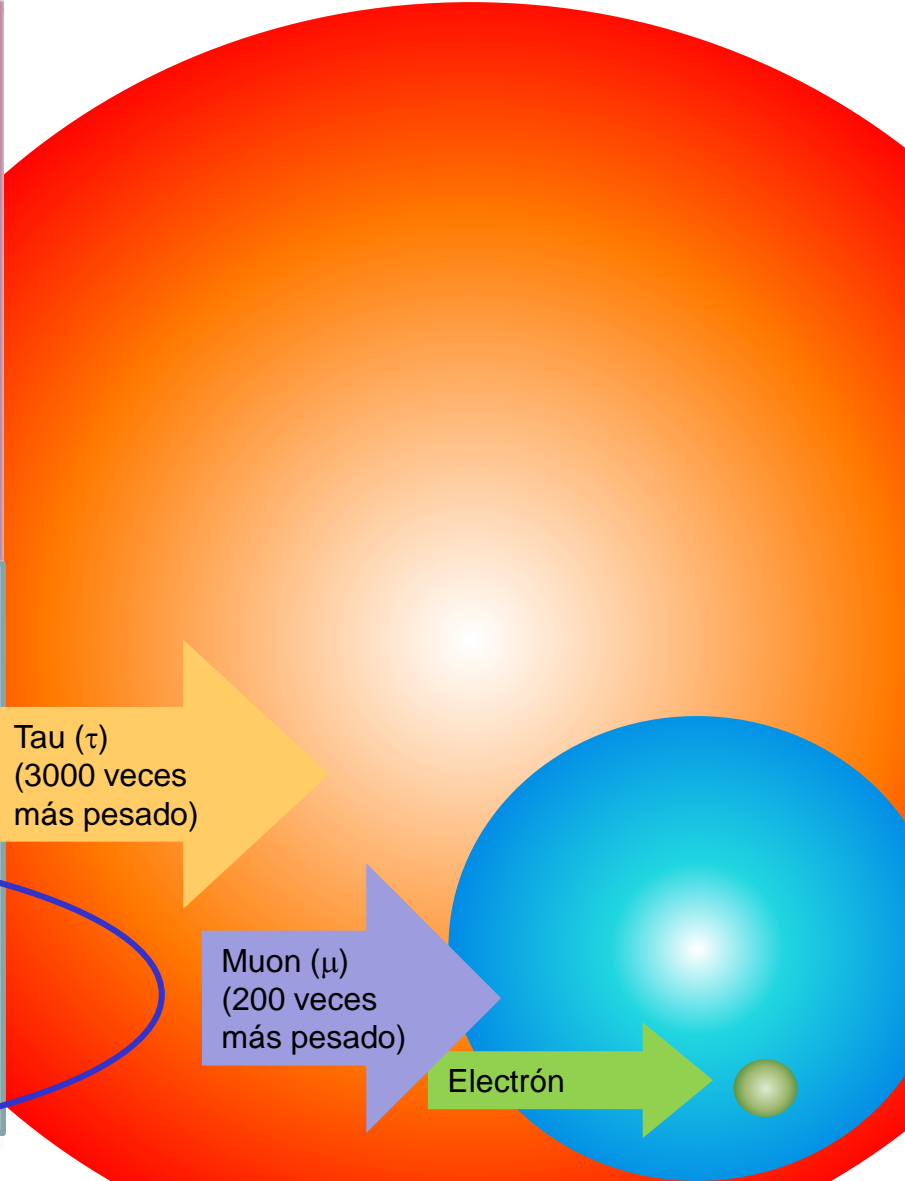
leptones



Tau (τ)
(3000 veces más pesado)

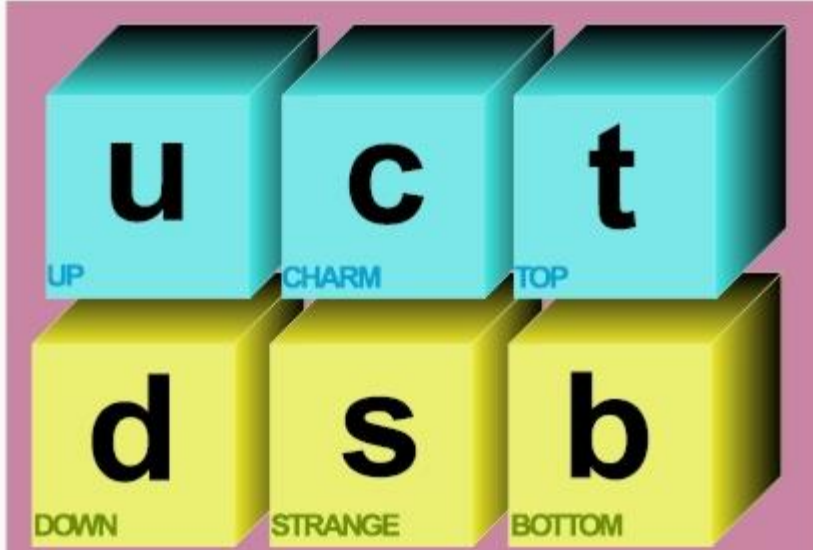
Muon (μ)
(200 veces más pesado)

Electrón

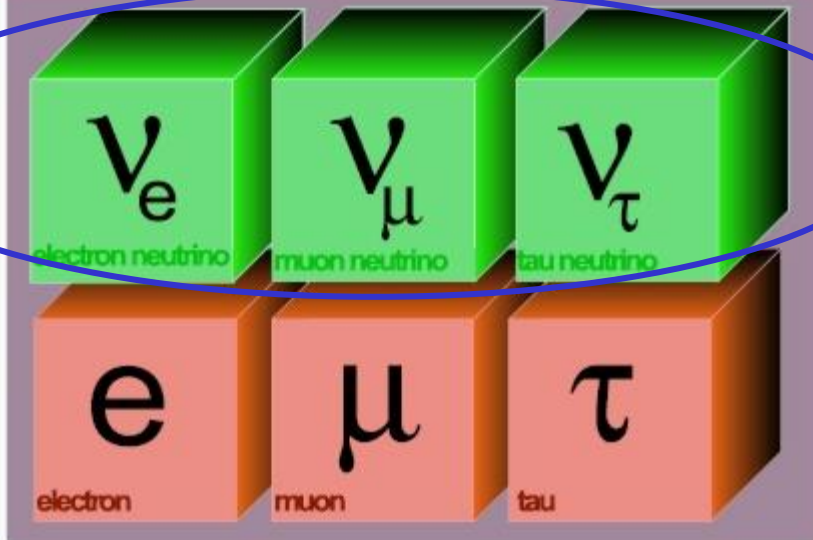


Partículas Elementales

quarks

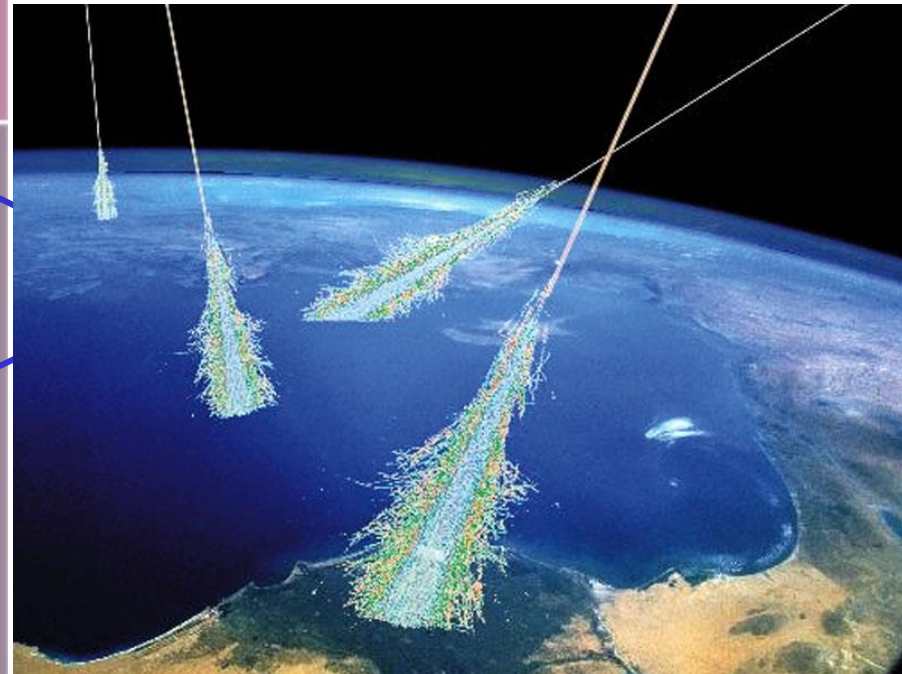


leptones



Neutrinos : Sin carga y con masa extremadamente pequeña ($< m_e$). Su interacción con la materia es muy leve:

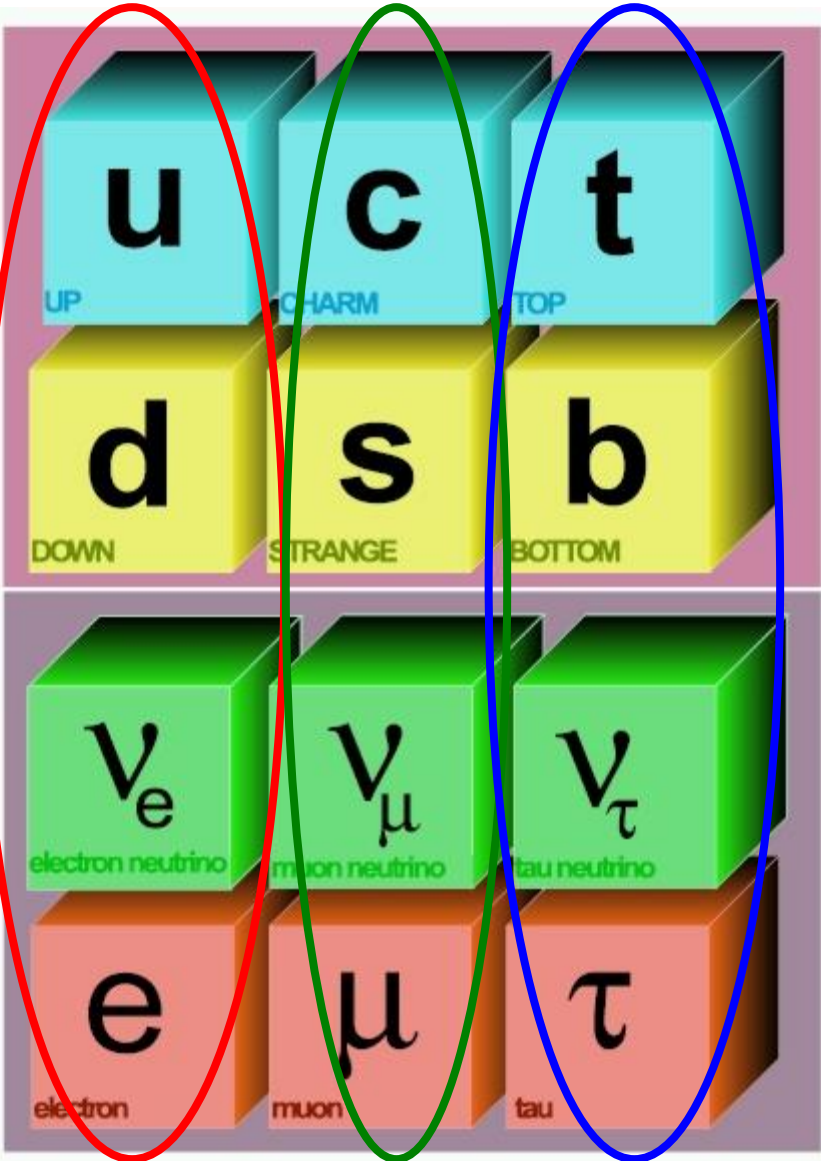
!!!100,000,000,000,000 por segundo en cada persona provenientes del sol!!!



Partículas Elementales

quarks

leptones



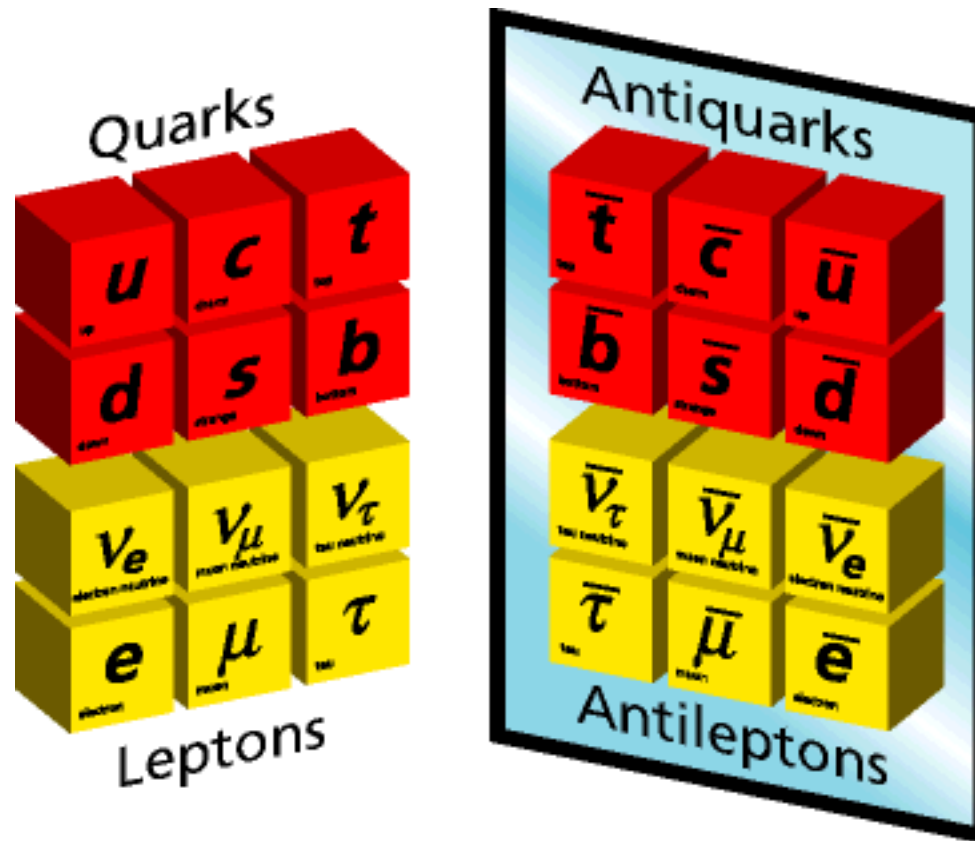
1897
1ª familia:
u, d, e⁻, ν_e

2ª familia:
c, s, μ⁻, ν_μ

3ª familia:
t, b, τ⁻, ν_τ

1995

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.

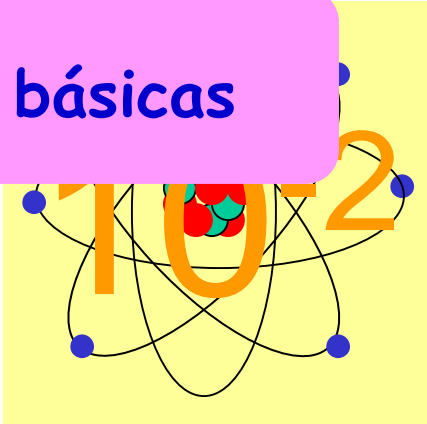
Interacciones

Interacciones

4 interacciones básicas

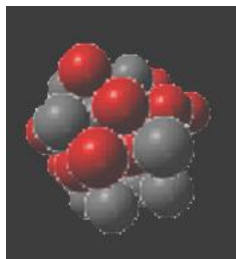


Fuerza gravitatoria



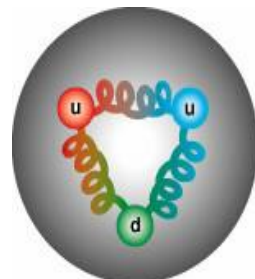
átomo

Fuerza electromagnética



núcleo

1



Proton

Fuerza fuerte o de color



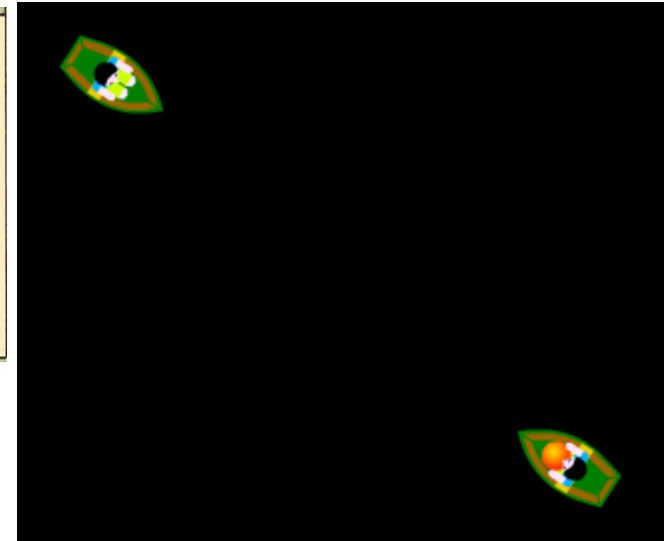
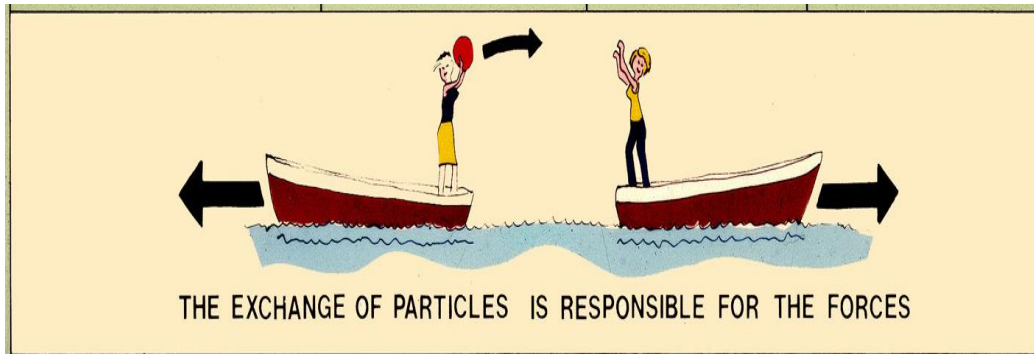
Fuerza débil

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$$

Las interacciones fundamentales

Se produce por el intercambio de una partícula mediadora



<http://www.cerimes.education.fr/>

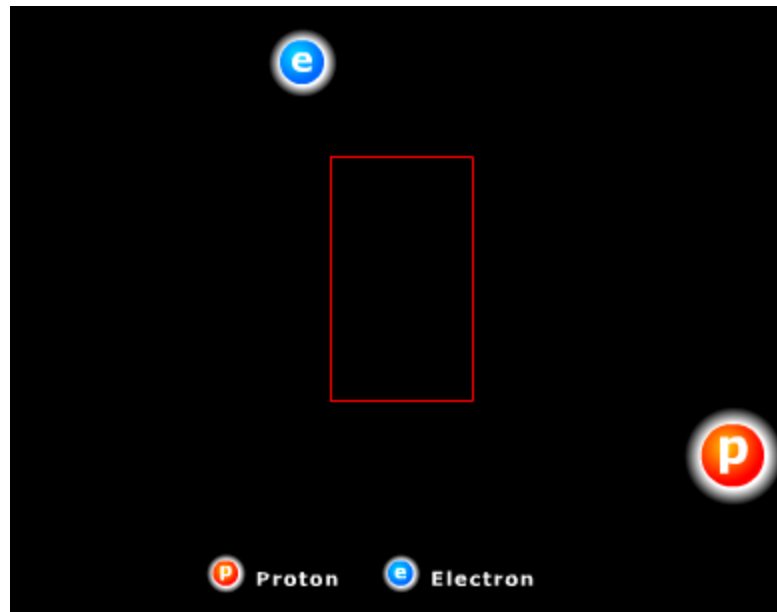
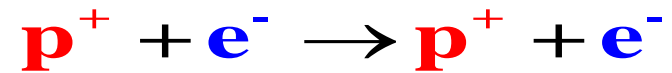
Las partículas de materia interactúan a distancia intercambiando una partícula « mensajera ».

El alcance de la interacción disminuye a medida que la masa de la partícula mediadora aumenta.

Tipo de Interacción	Partícula Mediadora
Electromagnética	γ (fotón)
Fuerte	g (gluón)
Débil	bosones W, Z
Gravitatoria	G (gravitón)

Aún no detectado experimentalmente

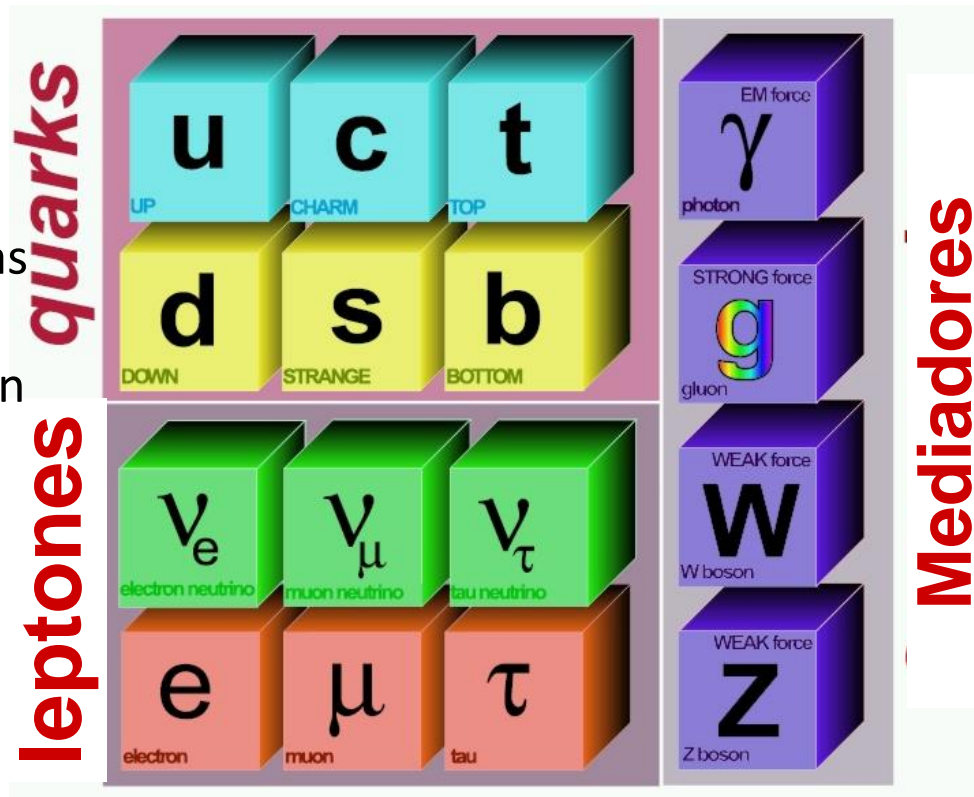
Ejemplo: interacción electromagnética



<http://www.cerimes.education.fr/>

Modelo Estándar de Partículas Elementales

- ❑ En una descripción matemática (**cuántica** y **relativista**) de la materia y las leyes de interacción entre ellas.
- ❑ No incorporar la **Gravitación**, pero sí el resto de interacciones.



Todas las partículas de materia son **Fermiones**. Tienen spin semientero (1/2, 3/2, ...)

Las partículas mediadoras son **Bosones**. Tienen spin entero (0,1,2...)

- ❑ Capaz de hacer predicciones que se han confirmado en experimentos

Modelo Estándar de Partículas Elementales

Requiere que las partículas mediadoras no tengan masa...y sabemos que no todas lo cumplen → problema con origen de la masa

¿ Como adquieren masa las partículas ?

Modelo Estándar de Partículas Elementales

Requiere que las partículas mediadoras no tengan masa...y sabemos que no todas lo cumplen → problema con origen de la masa






¿ Como adquieren masa las partículas ?

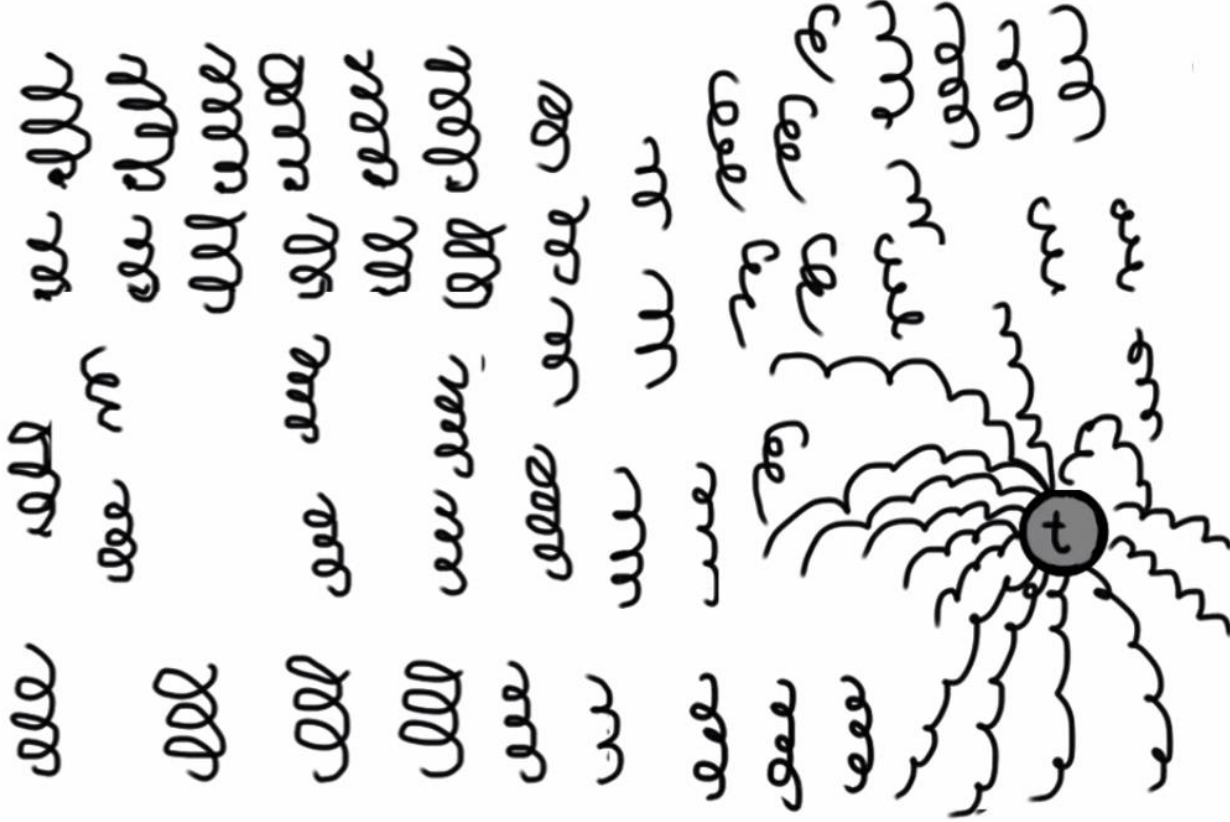
Mecanismo de Higgs:

Hacia 1964, R. Brout, F. Englert, P. Higgs (más tarde G. Guralnik, C. Hagen, T. Kibble) propusieron el llamado **mecanismo de Higgs (BEH)**:

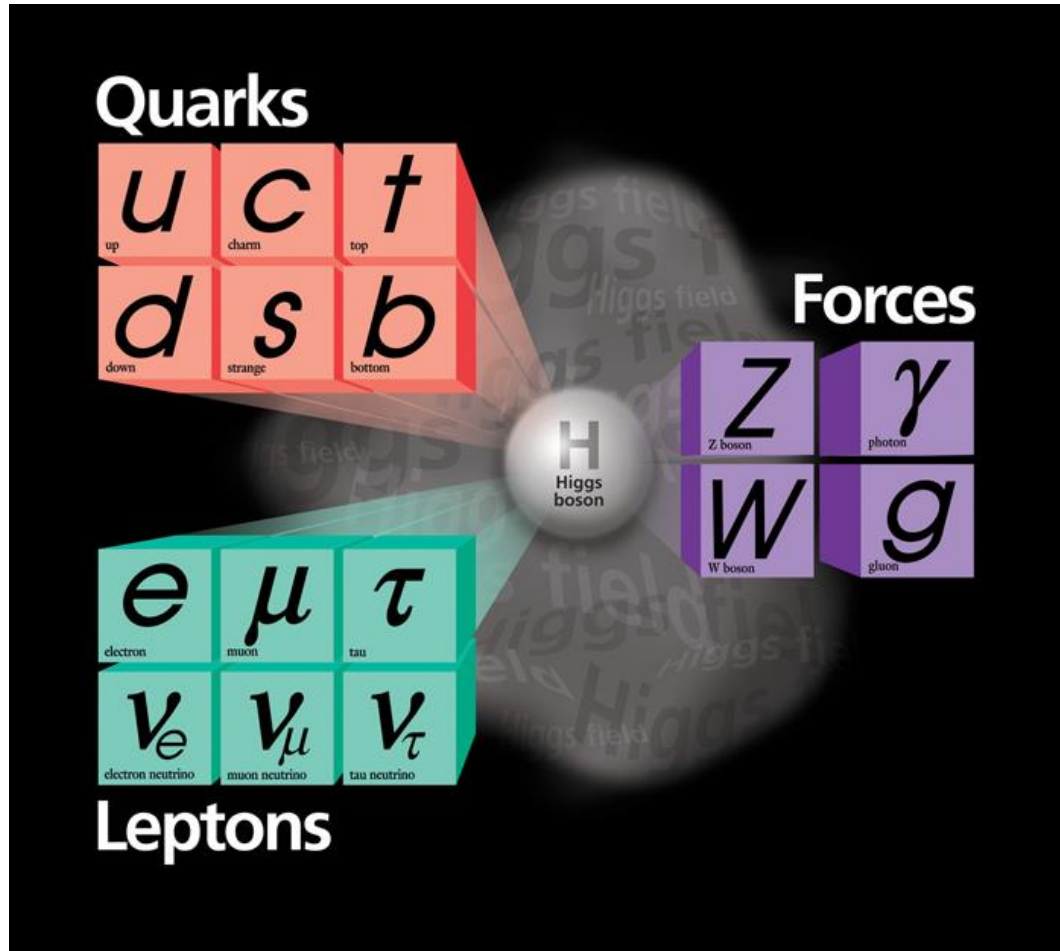
*Todas las partículas serían generadas en el Big Bang sin masa, pero al interaccionar con un nuevo campo, **campo de Higgs**, adquirirían masa, mayor, cuanto mayor sea la interacción.*

Este campo llenaría todo el universo.

-  Higgs Field
-  neutrino ≈ 0 MeV
-  electron ≈ 0.5 MeV
-  MUON ≈ 140 MeV
-  Top quark ≈ 170.000 MeV



Partícula de Higgs



Mecanismo de Higgs:
proporciona masa a **las partículas mediadoras W y Z (bosones)** y a las **de materia (fermiones)**



Asociado a este campo queda una partícula escalar (spin=0):
el bosón de Higgs

- ❑ Confirmar esta hipótesis implicaba detectar nueva partícula Higgs.
- ❑ Era la única pieza que faltaba en el Modelo Estándar
- ❑ m_H debía ser menor que 1 TeV (1000 protones) para teoría correcta

Con el Modelo Estándar describimos de no sólo qué está hecho nuestro planeta sino el resto del Sistema Solar, el sol, nuestra galaxia, las estrellas que vemos....pero ...

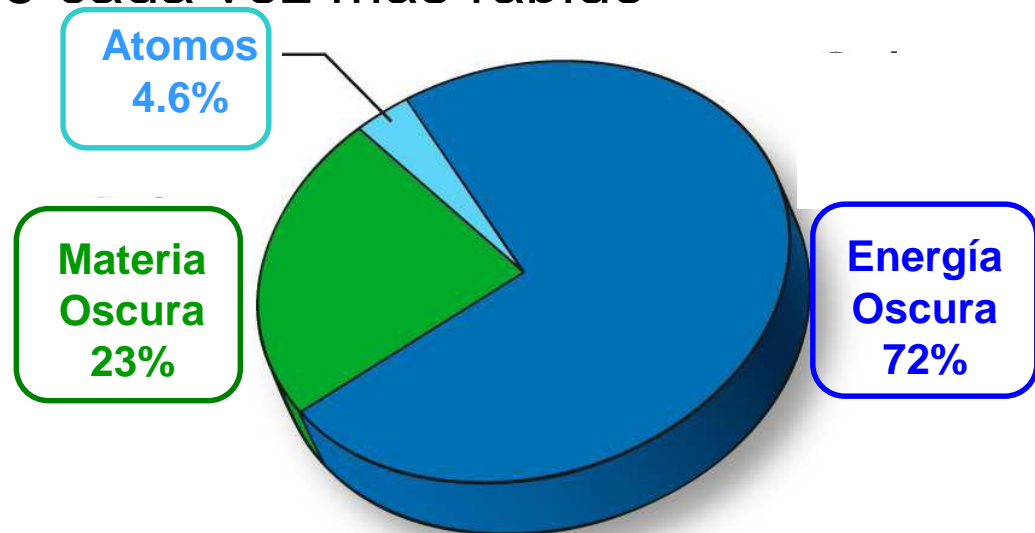
es éso todo lo que hay en el universo?

No!!!

Tenemos pruebas experimentales de la existencia de

- ❖ **materia oscura** (no visible en todo el espectro de radiación electromagnética) es materia fría y
- ❖ **energía oscura**, de origen desconocido, llena todo el universo y lo expande cada vez más rápido

Energía total en Universo



Qué problemas quedan por resolver?

- ❑ El origen de la masa (Higgs) y los valores tan diferentes para unas partículas y otras → en vías de solución??
- ❑ Qué es, qué naturaleza tiene la energía oscura
- ❑ Qué tipo de partícula compone la llamada materia oscura, que sólo “sufre”, aparentemente, la fuerza gravitatoria
- ❑ En el origen del universo debió existir materia y antimateria en iguales proporciones → dónde se encuentra la antimateria hoy en día?
- ❑ Los neutrinos, ν , tienen masa? Oscilaciones entre ellos ...

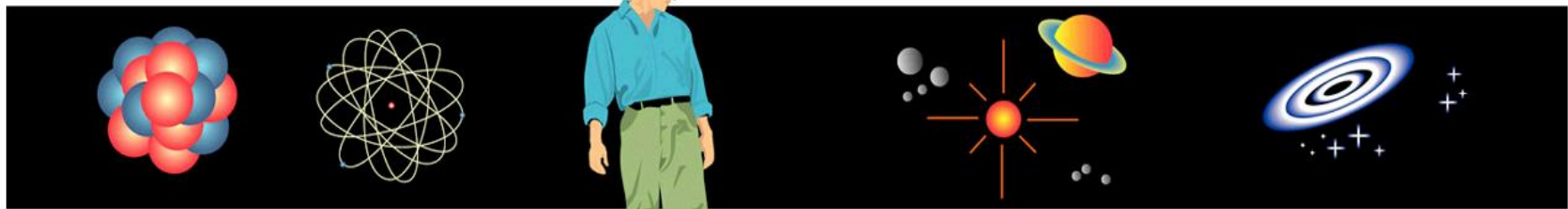
En resumidas cuentas...existe una teoría más global que el modelo Estándar, de la cual éste es una adaptación a las energías de nuestro universo hoy en día?

Los experimentos con colisiones de partículas intentarán resolverlas.

Aceleradores: herramientas en física de partículas

La física de partículas estudia la materia en sus dimensiones más ínfimas

La astrofísica estudia la materia en sus dimensiones más grandes



10^{-15} 10^{-12} 10^{-9} 10^{-6} 10^{-3} 10^0 10^3 10^6 10^9 10^{12} 10^{15} 10^{18} 10^{21} 10^{24}

**Aceleradores
y detectores**

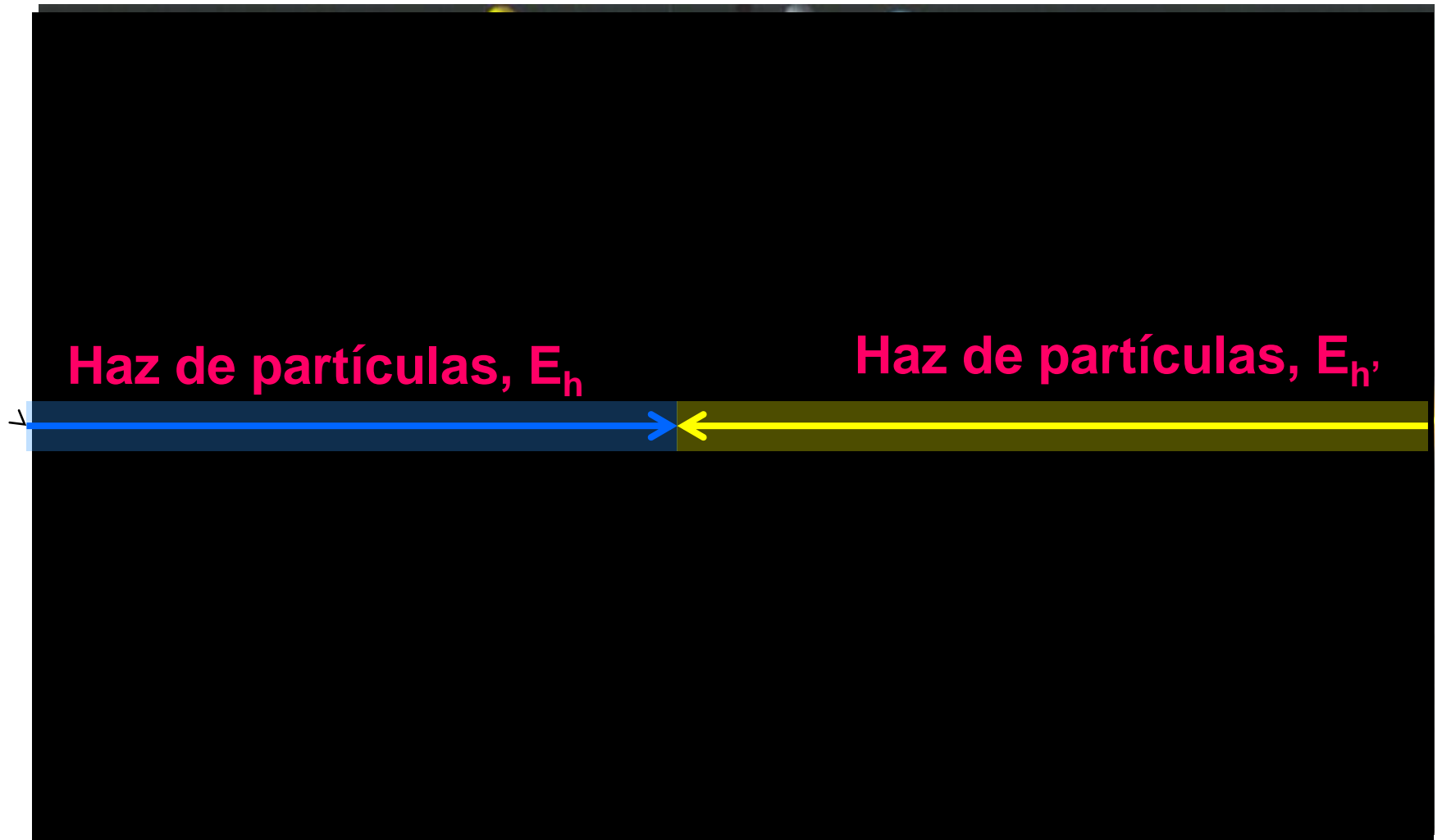
Microscopios

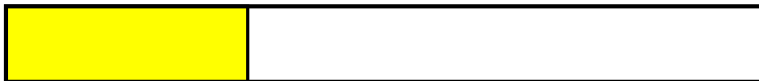
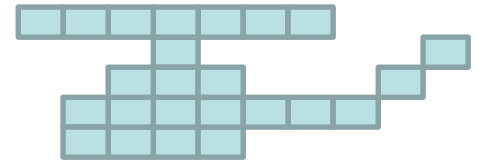
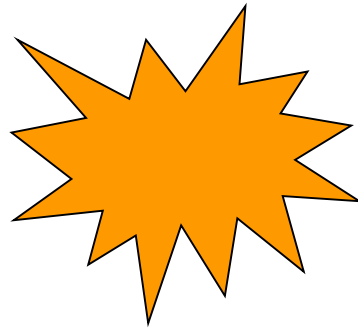
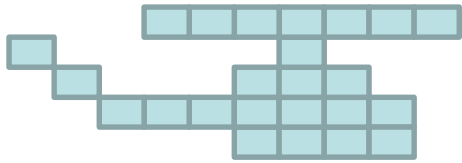
Prismáticos

**Telescopios ópticos y
radiotelescopios**

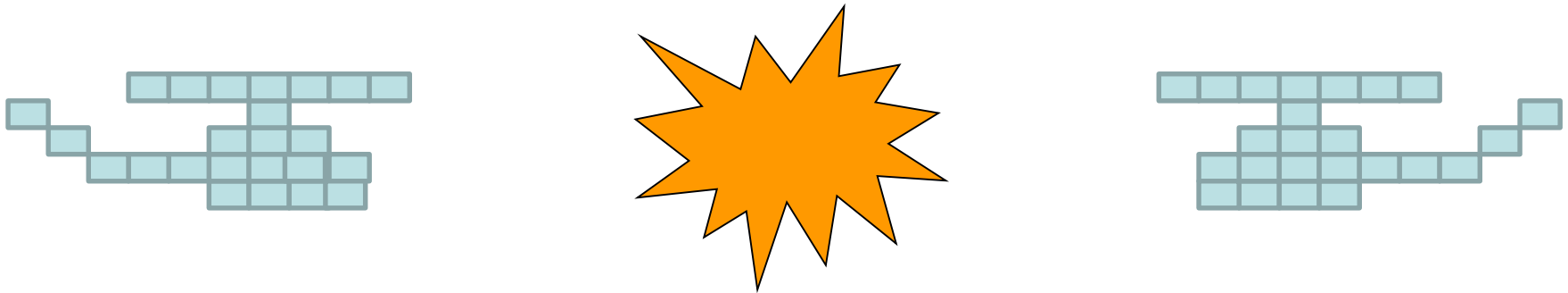
**Se requieren distintos tipos de aparatos para explorar
objetos de distintas dimensiones**

Colisiones de partículas a muy alta energía





Accelerator Energy



Accelerator Energy

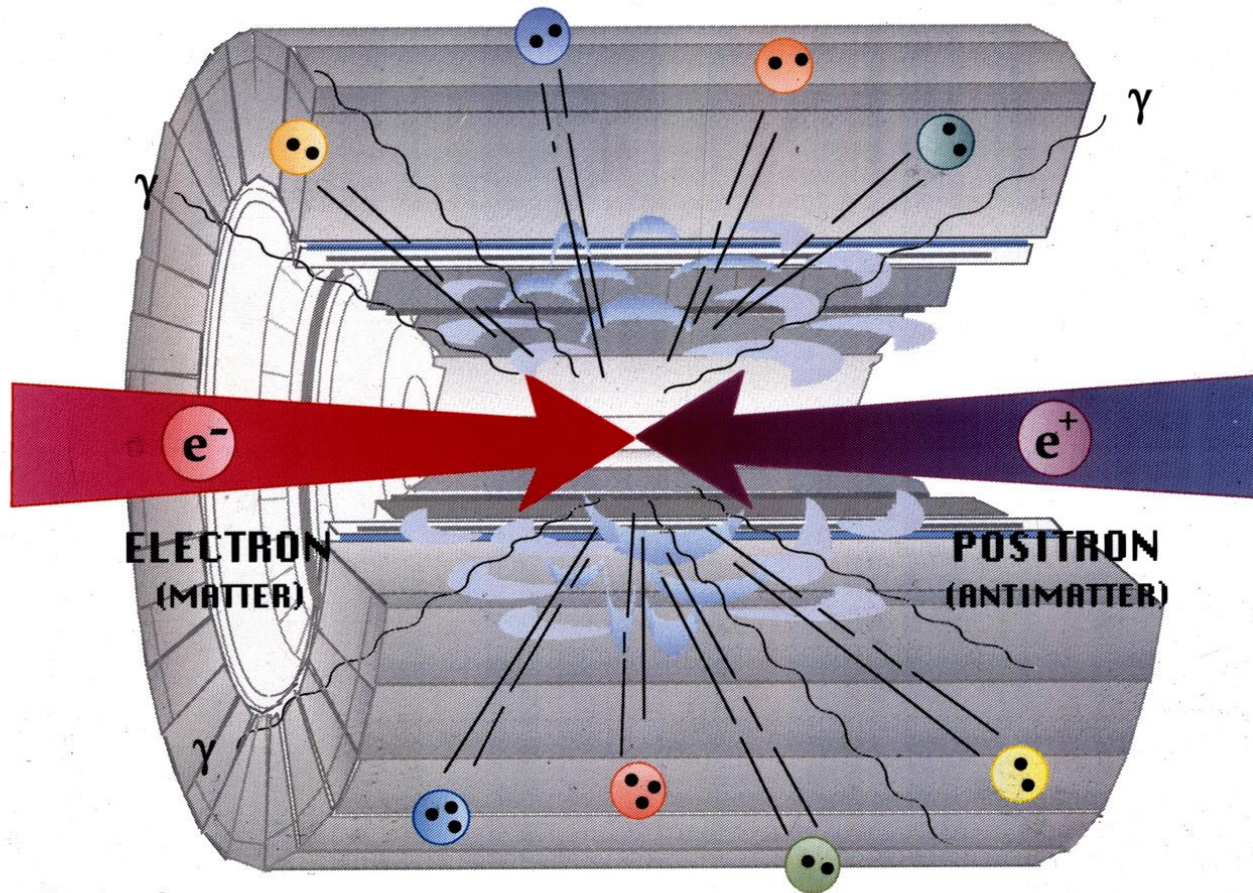


La energía de la colisión se ha empleado
para crear algo nuevo, que
no estaba entre los componentes iniciales!



Accelerator Energy

Colisiones de partículas a muy alta energía



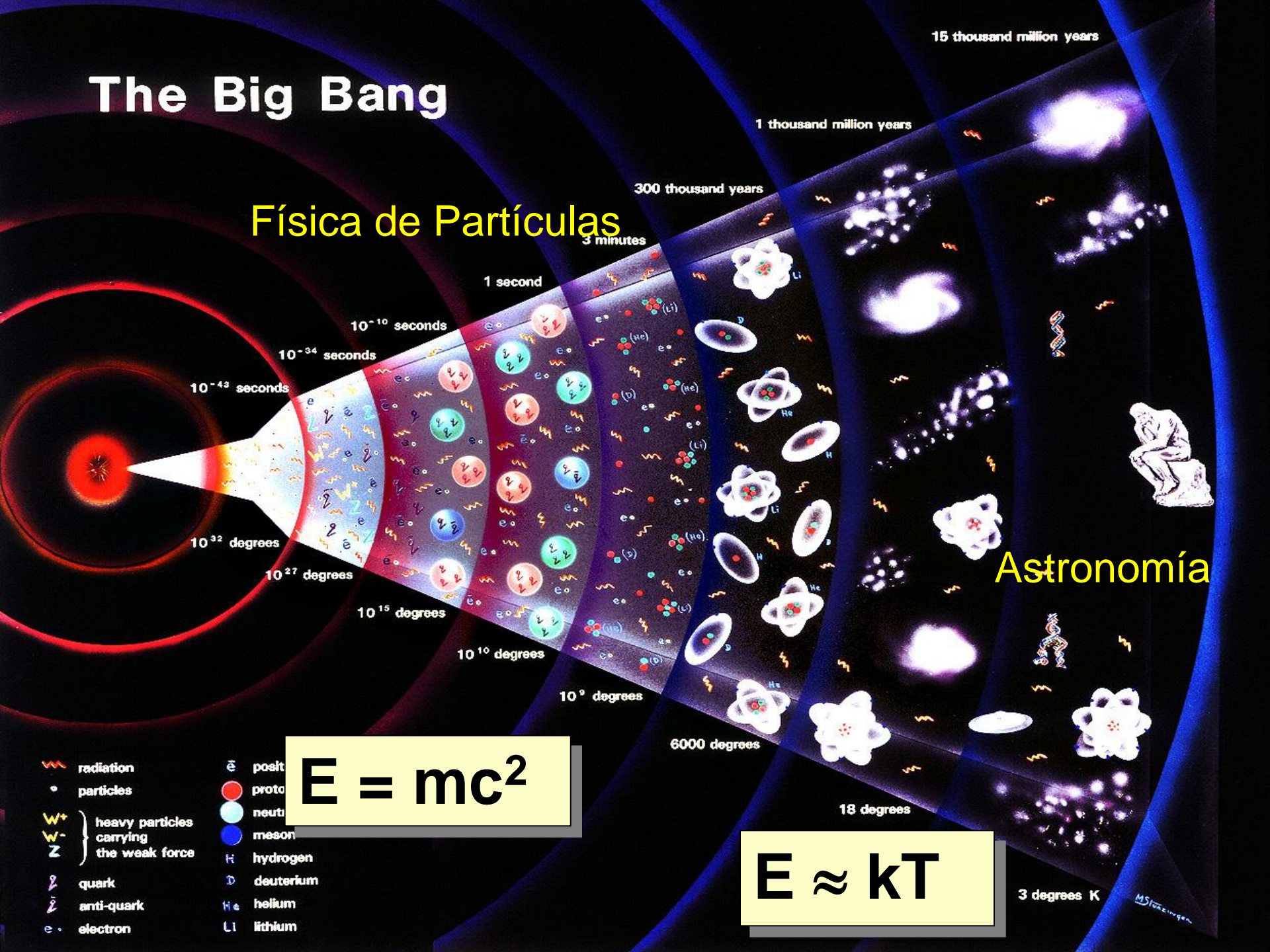
Eliane Omursal

$$E = mc^2$$

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

The Big Bang

Física de Partículas



15 thousand million years

1 thousand million years

300 thousand years

3 minutes

1 second

10^{-10} seconds

10^{-34} seconds

10^{-43} seconds

10^{32} degrees

10^{27} degrees

10^{15} degrees

10^{10} degrees

10^9 degrees

6000 degrees

18 degrees

3 degrees K

$$E = mc^2$$

$$E \approx kT$$

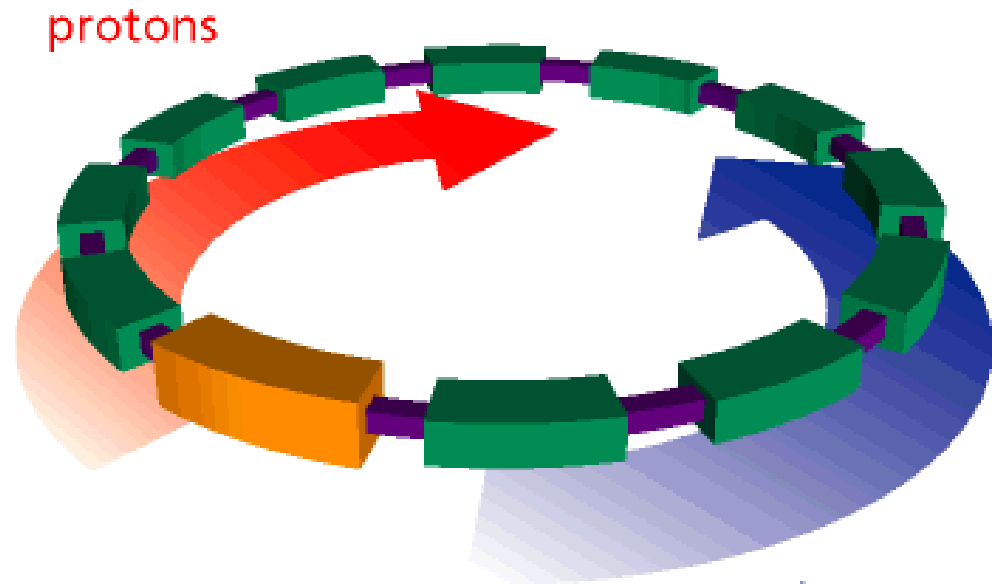
Astronomía

- radiation
- particles
- W^+
 W^-
 Z } heavy particles carrying the weak force
- q quark
- \bar{q} anti-quark
- e^- electron

- \bar{e} positron
- proton
- neutron
- meson
- H hydrogen
- D deuterium
- He helium
- Li lithium

MSU/STScI

Idea esquemática de acelerador circular = colisionador de partículas



Curvan trayectorias



Particle bender (magnet)

Aceleran partículas



Particle pusher (RF cavity)

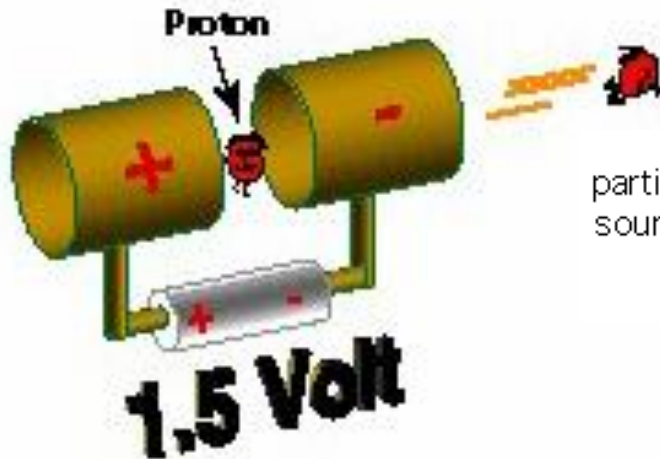
antiprotons

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

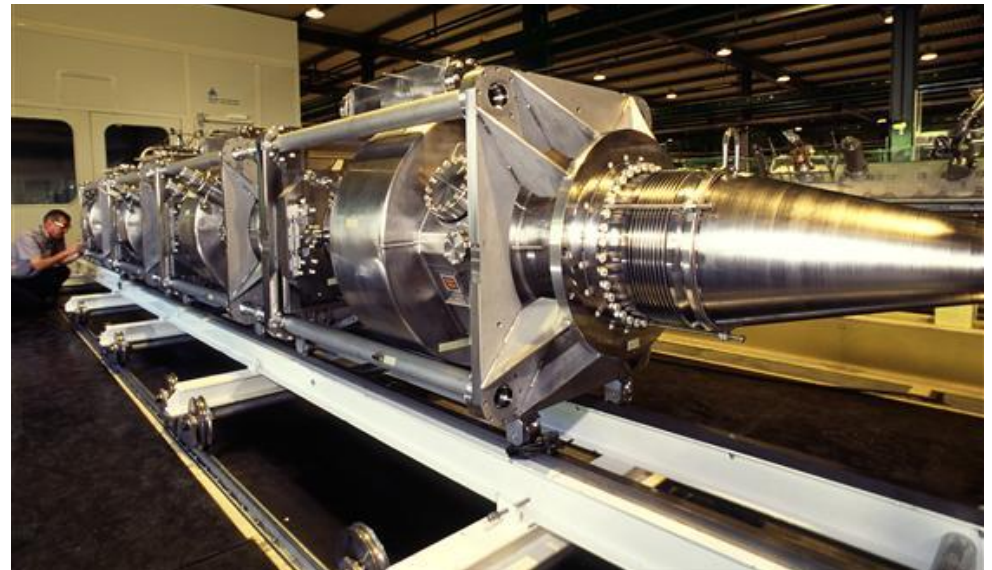
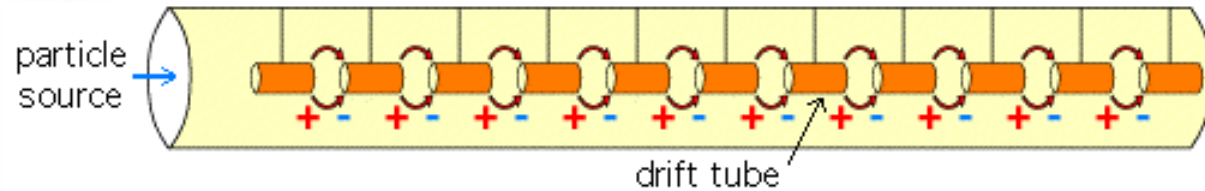
¿Cómo se aceleran partículas?

Por medio de campos eléctricos $\vec{F} = m \cdot \vec{a} = q \cdot \vec{E}$

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



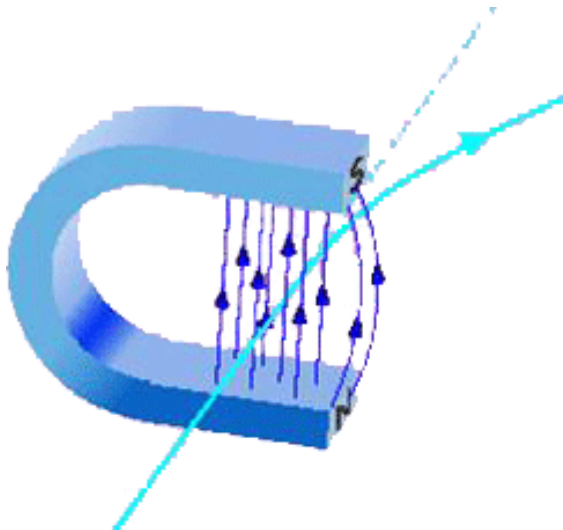
Campos eléctricos alternantes aceleran a lo largo de longitud, L



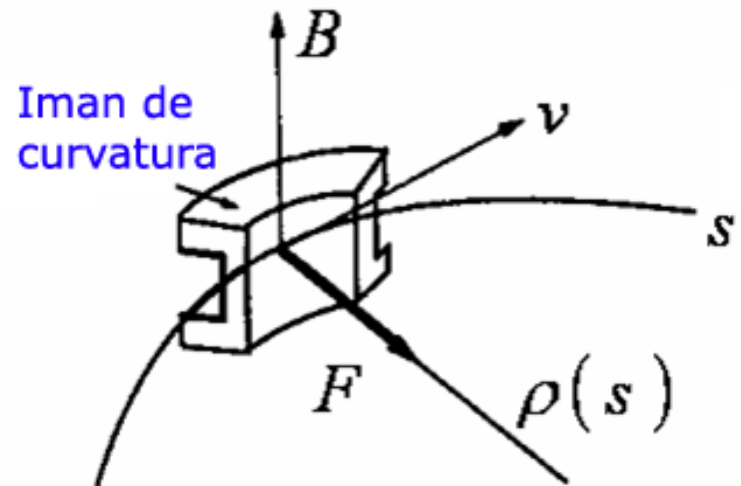
¿Cómo curvar trayectorias de partículas?

Con un campo magnético, \vec{B}

Las trayectorias de partículas son circulares, consiguiendo energías finales mayores



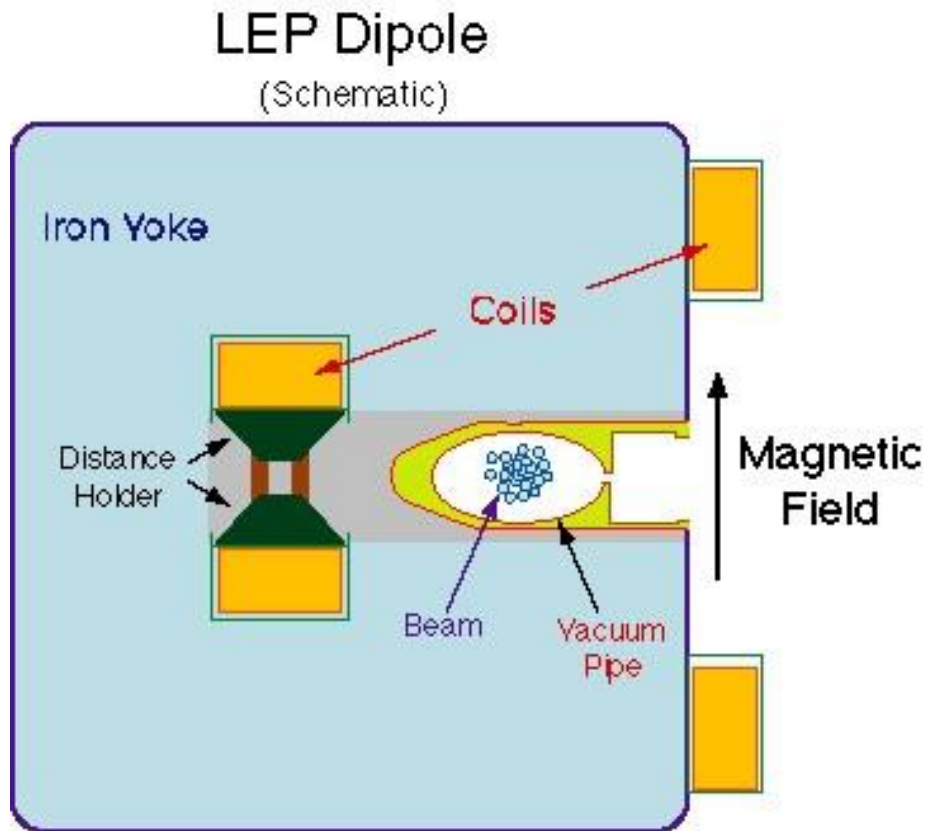
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



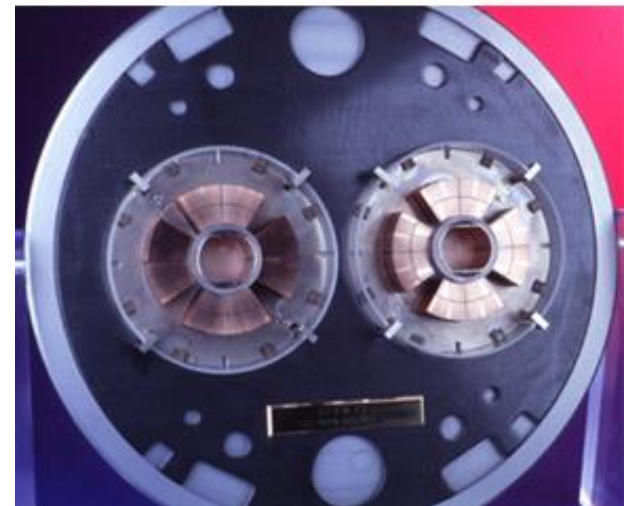
$$\rho = 1/r = eB/p$$

Radiación Síncrotrón: partículas cargadas aceleradas emiten radiación, perdiendo energía

¿Cómo curvar trayectorias de partículas?



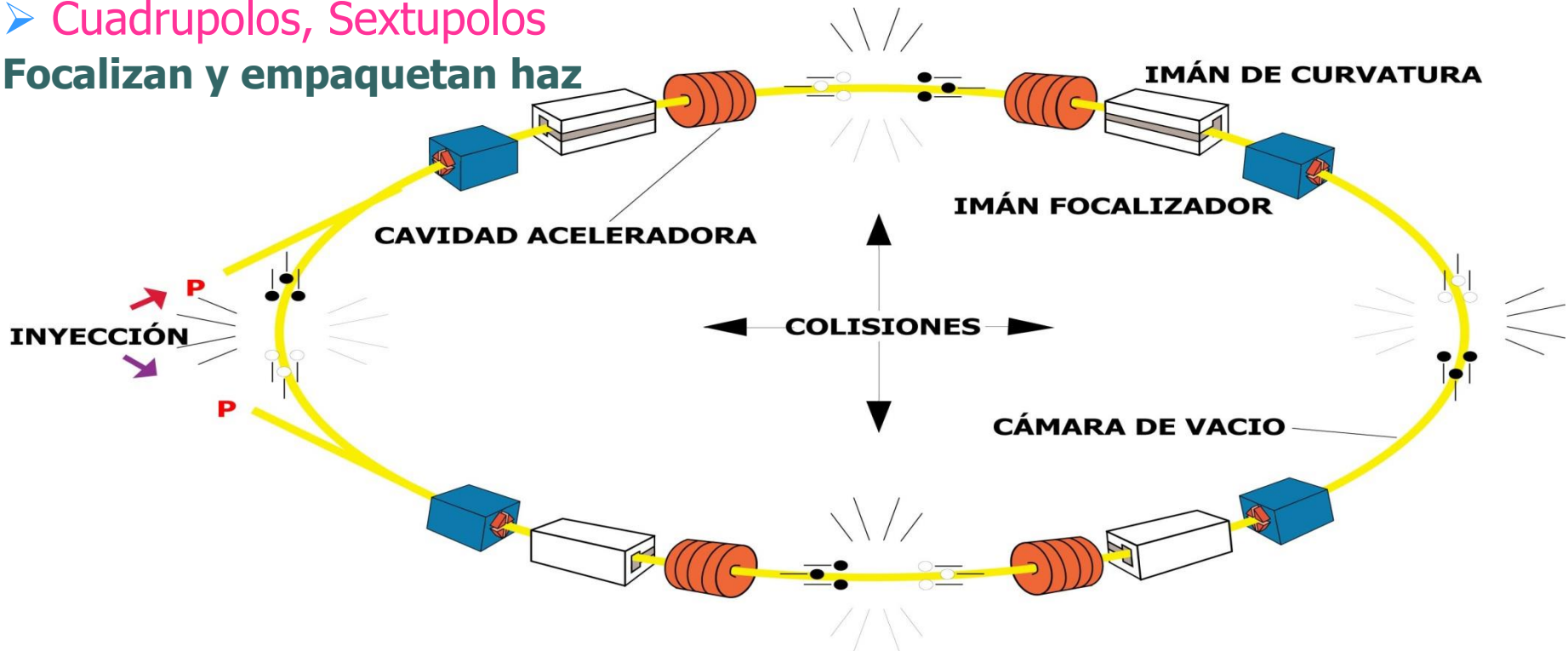
$I \approx 11000$ A
proporciona
 $B = 8.3$ T



Elementos de un acelerador

- Cavidades aceleradoras
Superconductoras Nb (a 4.5 K)
- Dipolos Imanes superconductores,
curvan trayectoria
- Cuadrupolos, Sextupolos
Focalizan y empaquetan haz

- Tubo del haz
Vacío mejor que espacio exterior
- Túnel
Gran obra ingeniería civil



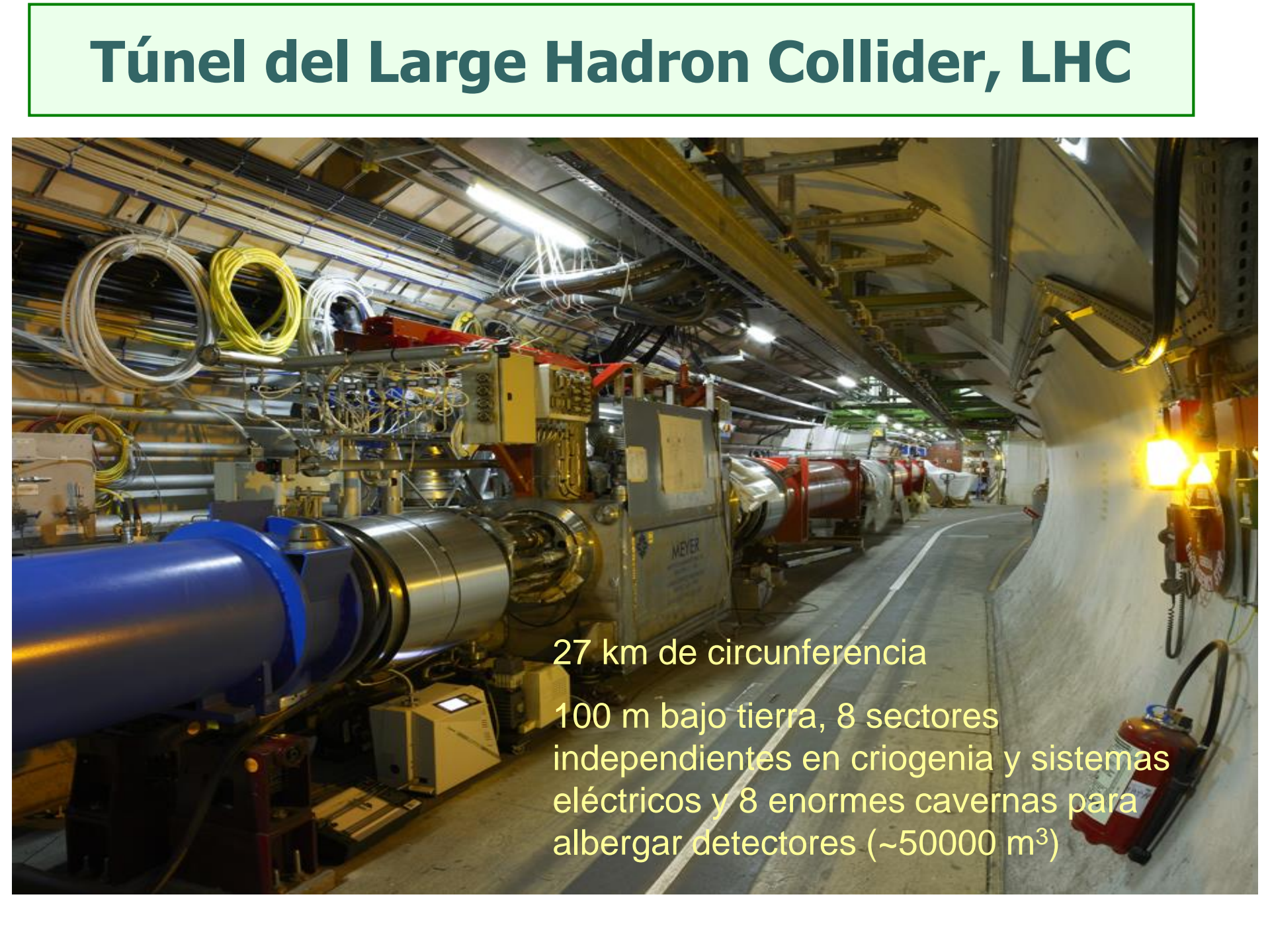
El gran colisionador de hadrones, LHC! en CERN, (Ginebra, Suiza)



Francia

Suiza

Túnel del Large Hadron Collider, LHC

A photograph showing the interior of the Large Hadron Collider (LHC) tunnel. The scene is filled with complex machinery, including large blue and silver cylindrical components, and numerous yellow and white cables hanging from the ceiling. The tunnel is illuminated by bright lights, and a fire extinguisher is visible on the right wall. The overall atmosphere is industrial and technical.

27 km de circunferencia

100 m bajo tierra, 8 sectores independientes en criogenia y sistemas eléctricos y 8 enormes cavernas para albergar detectores (~50000 m³)

Túnel del Large Hadron Collider, LHC

Partículas del haz (hadrones): protones
(también iones de Plomo)

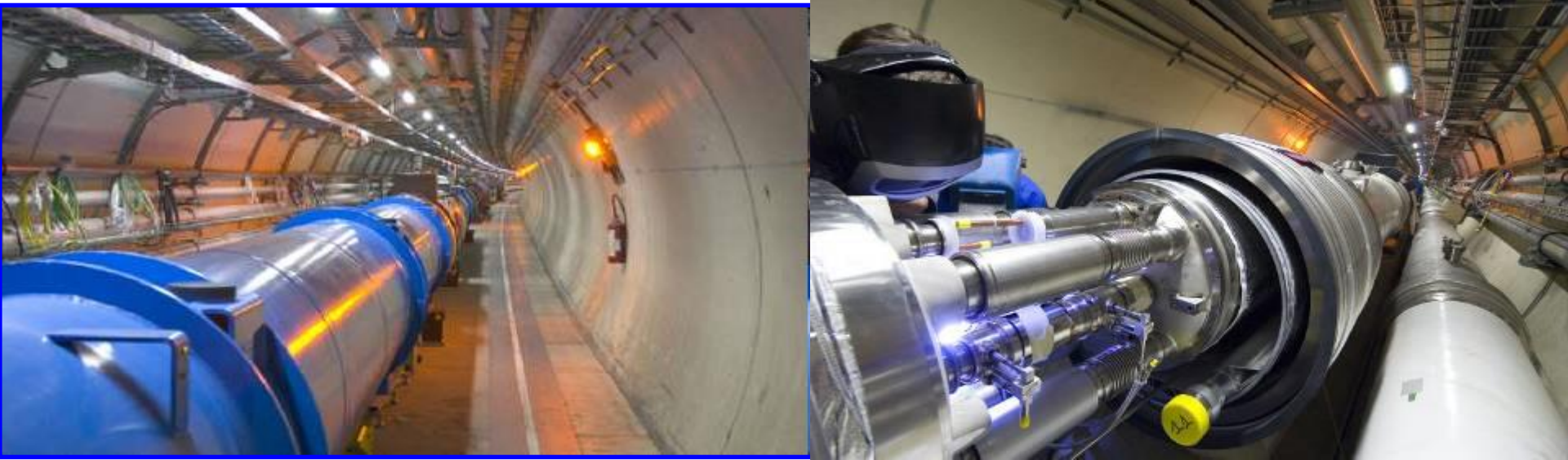
2808 paquetes con **10^{11}** protones cada uno, viajan en un anillo de 27 km de perímetro con el **99.999999%** de la velocidad de la luz, dando **11245 vueltas** cada segundo!!!

~300000km cada s

Y colisionan unos contra otros **40,000,000 veces** por segundo (**40M Hz**)



El LHC

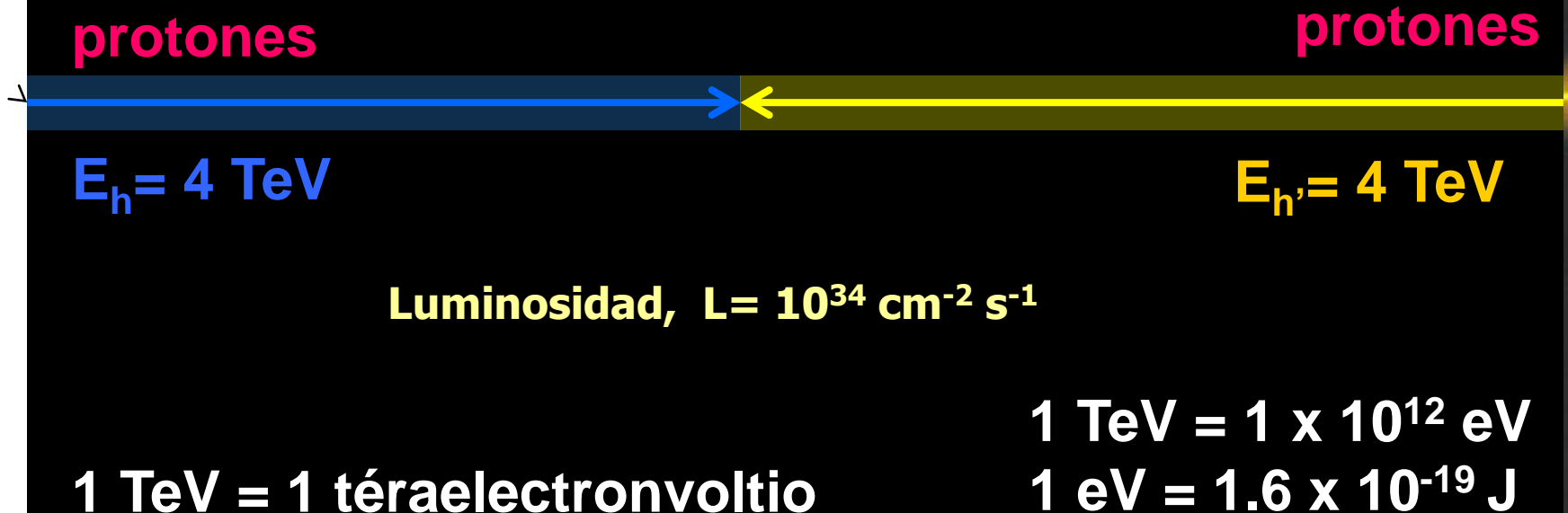


Su construcción y puesta en marcha ha supuesto un auténtico reto tecnológico

- ❖ Miles de imanes superconductores más potentes que existen hoy en día,
- ❖ enfriados con He líquido a 1.9 K, más frío que el espacio exterior,
- ❖ que generan un campo $B=8.3T$ (10000 el campo terrestre)
- ❖ El vacío en el interior del tubo del haz es de 10^{-13} atm, 10 veces menor que en superficie lunar.

El gran colisionador de hadrones, el LHC

Energía del universo 10^{-10} s tras el Big-bang
 $v_p = 99,99999991 \% c$ $c = 300.000 \text{ km/s}$



Complicando las colisiones.....

Las partículas interesantes (los dinosaurios!) desaparecen nada más crearse.



Nos quedan las partículas resultantes
→ hemos de actuar como detectives, y observar las evidencias para reconstruir qué ocurrió!

¿Cómo se detectan las partículas?

Partículas son muy pequeñas para ser vistas → observadas a través de su interacción (perturbación) con ciertos materiales (detectores)

Perturbaciones →

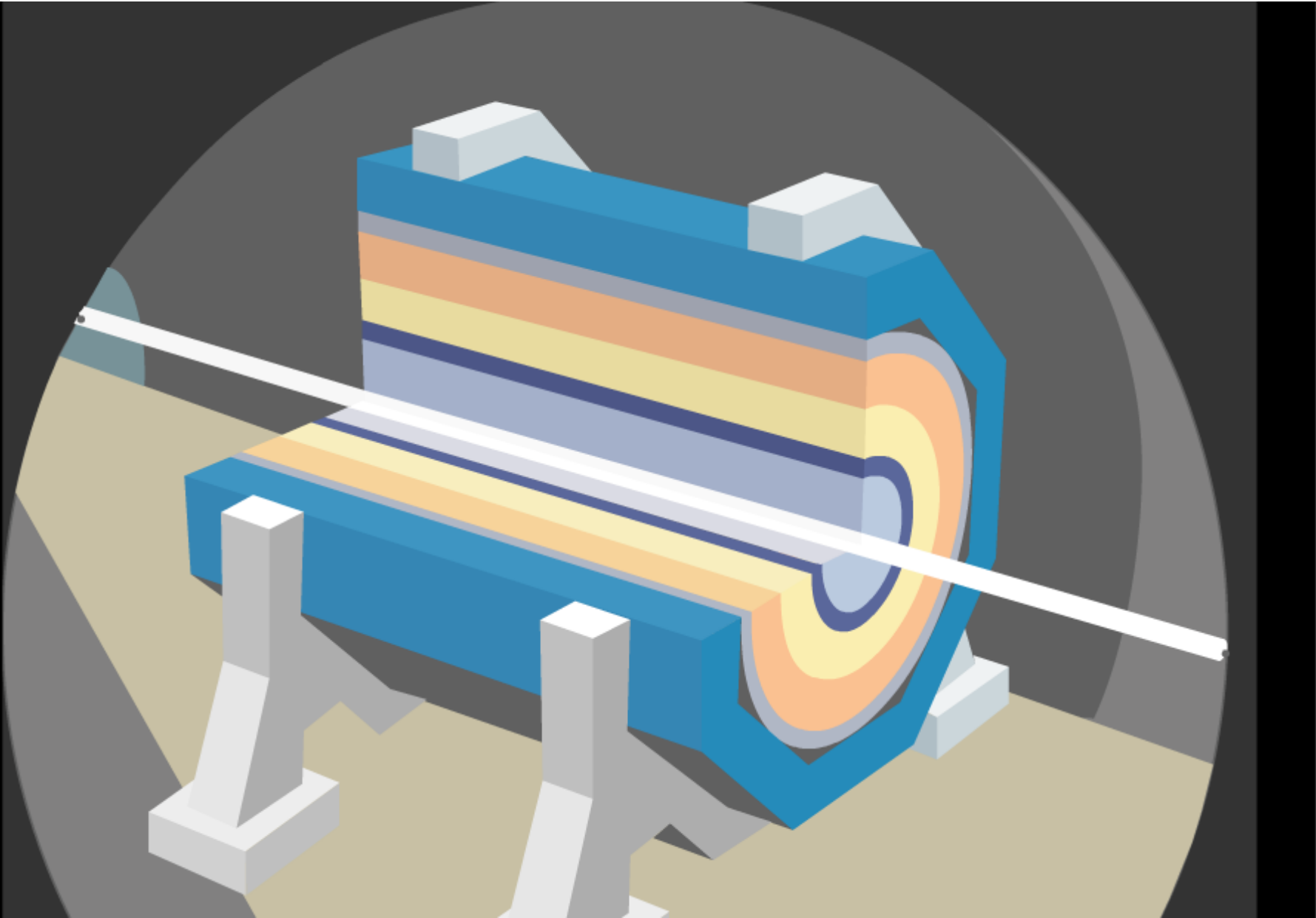
Señales eléctricas →

Recogidas y digitalizadas →

Analizadas



Los detectores del LHC



En el LHC hay 4 grandes detectores

CMS

Propósito general

LHCb

Física del quark b
Violación CP

ALICE

Plasma de quarks
y gluones

ATLAS

Propósito general



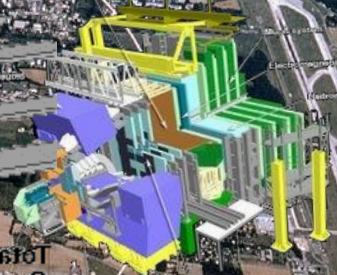
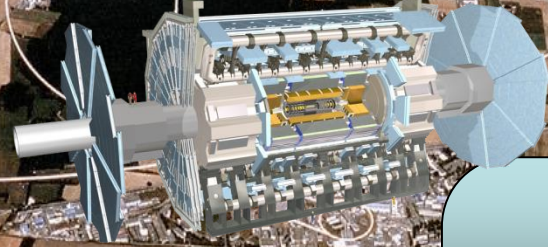
En el LHC

detectores

LHCb
Física del quark b
Violación CP

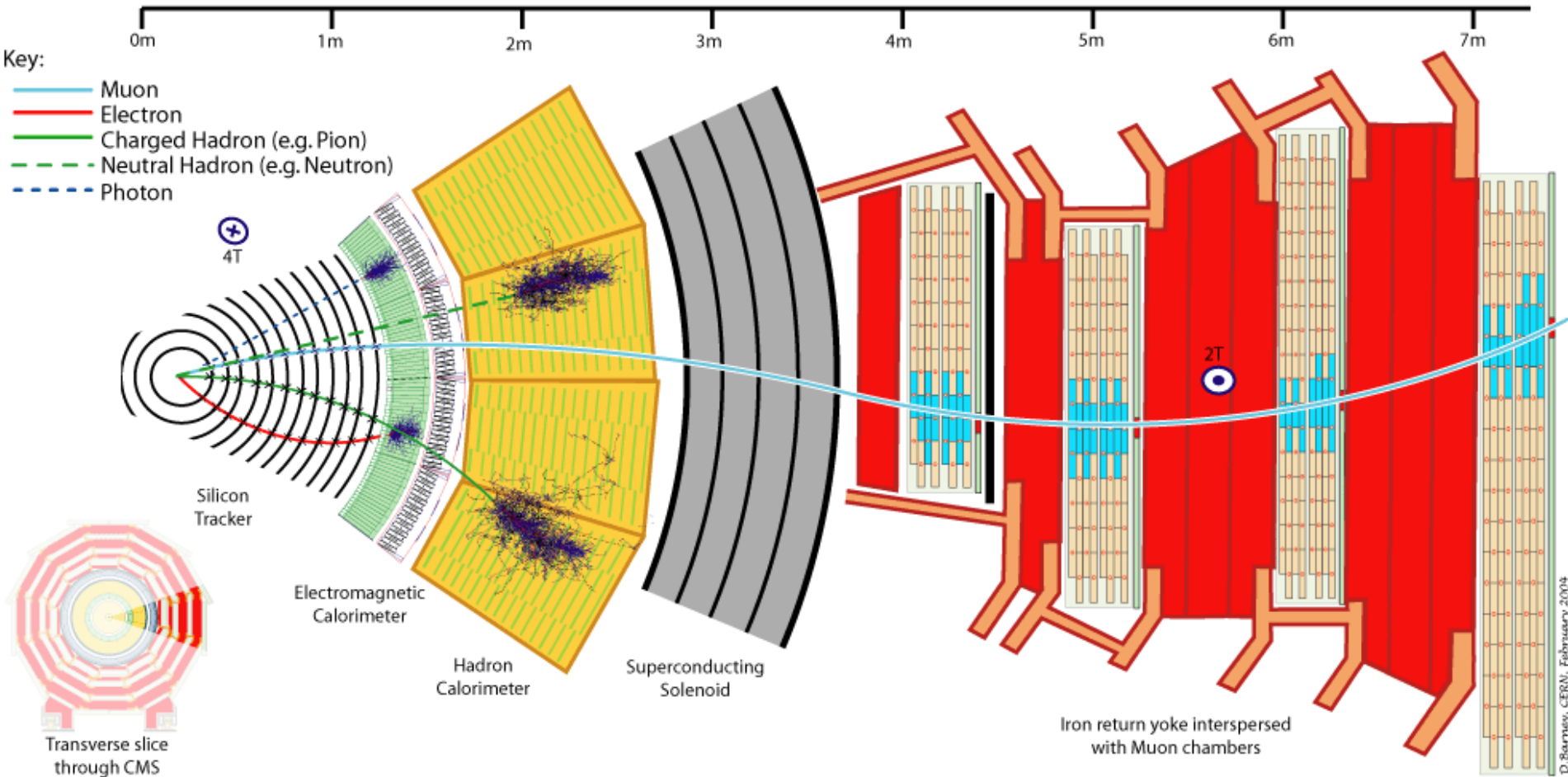
ATLAS
Propósito general

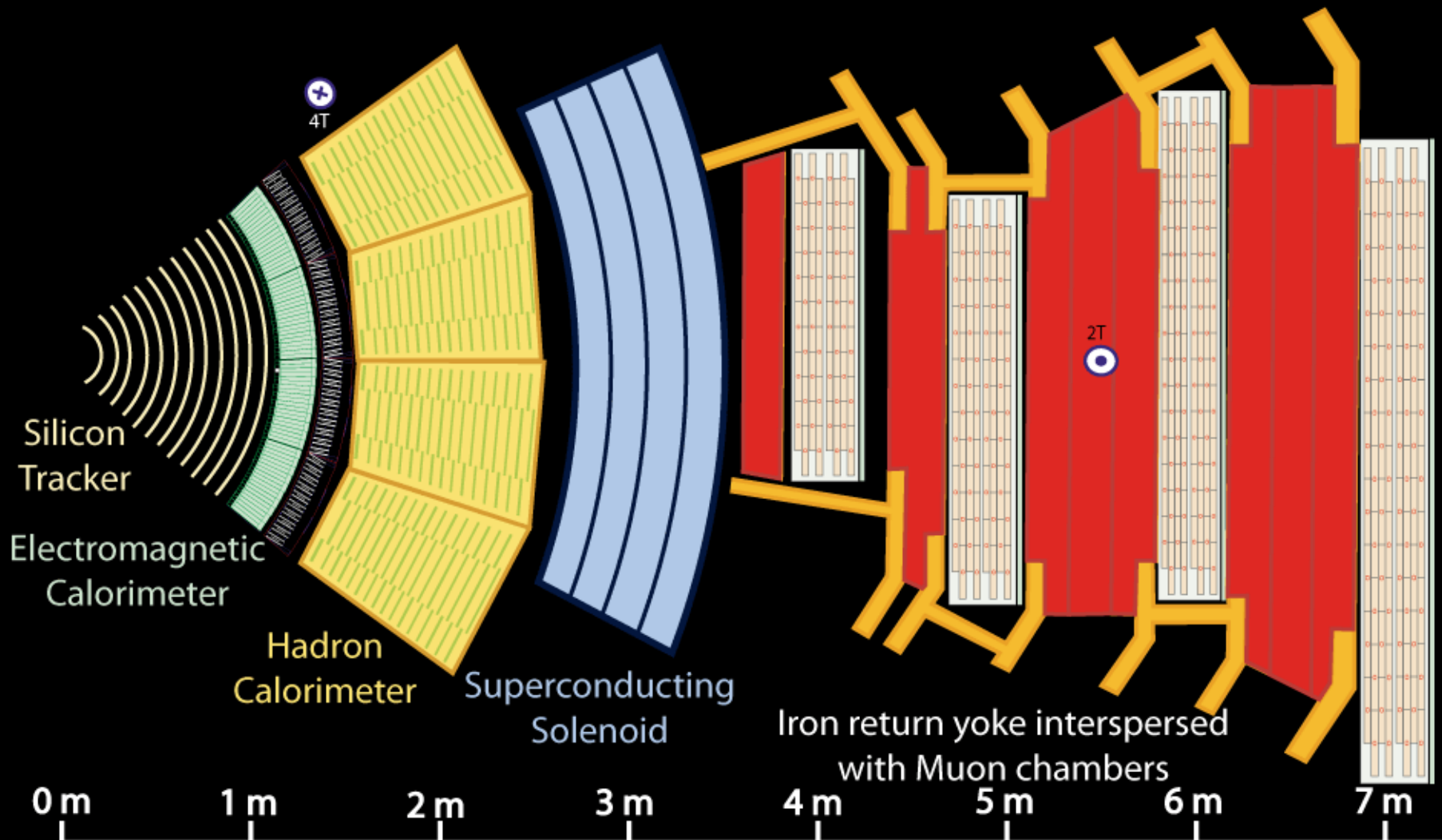
Plasm



Total Weight 14.500 t
Overall diameter 44.00 m
Overall length 32.20 m
Magnetic field 3.8 T

Compact Muon Solenoid (CMS)





Key:

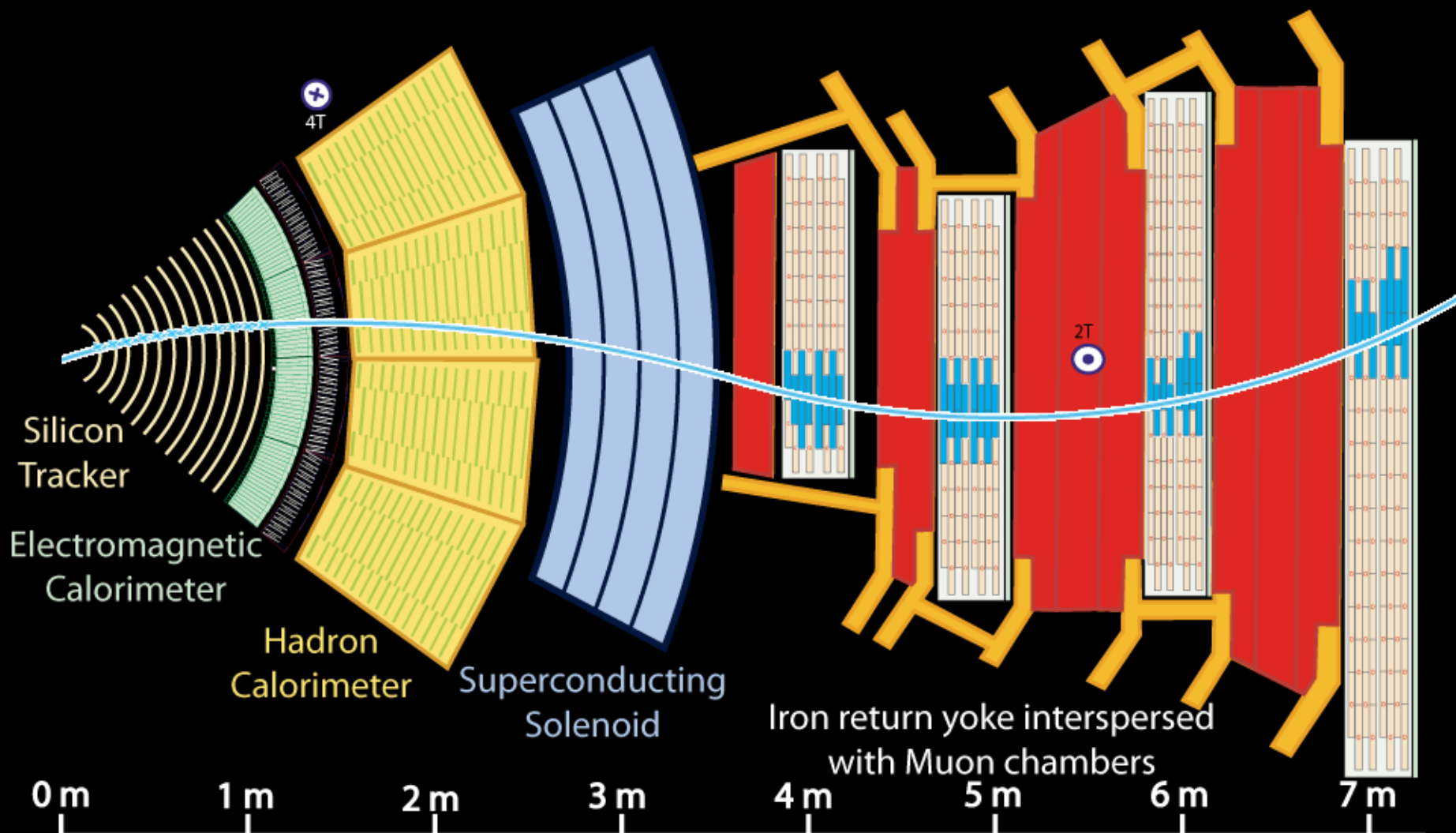
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

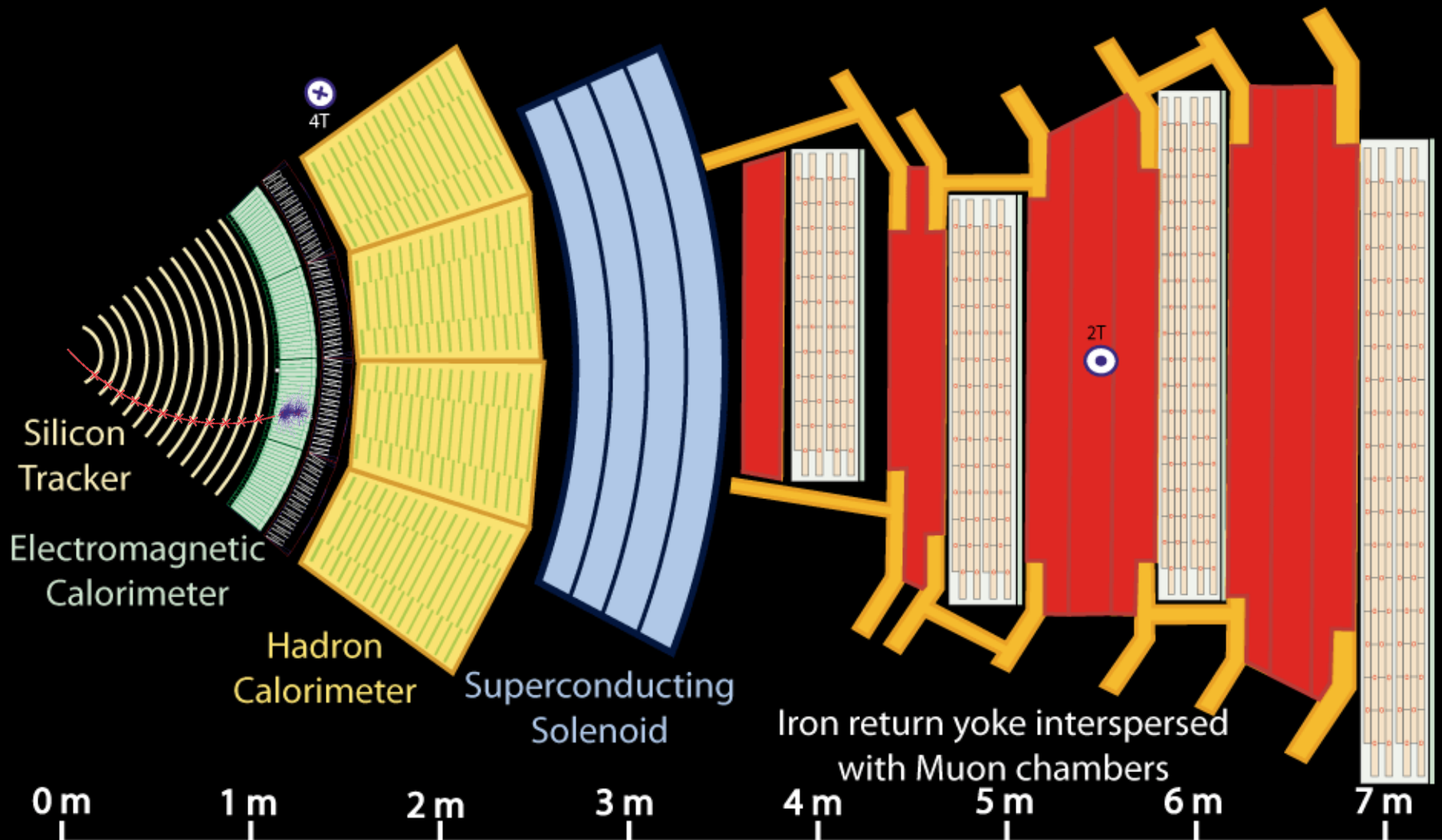
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

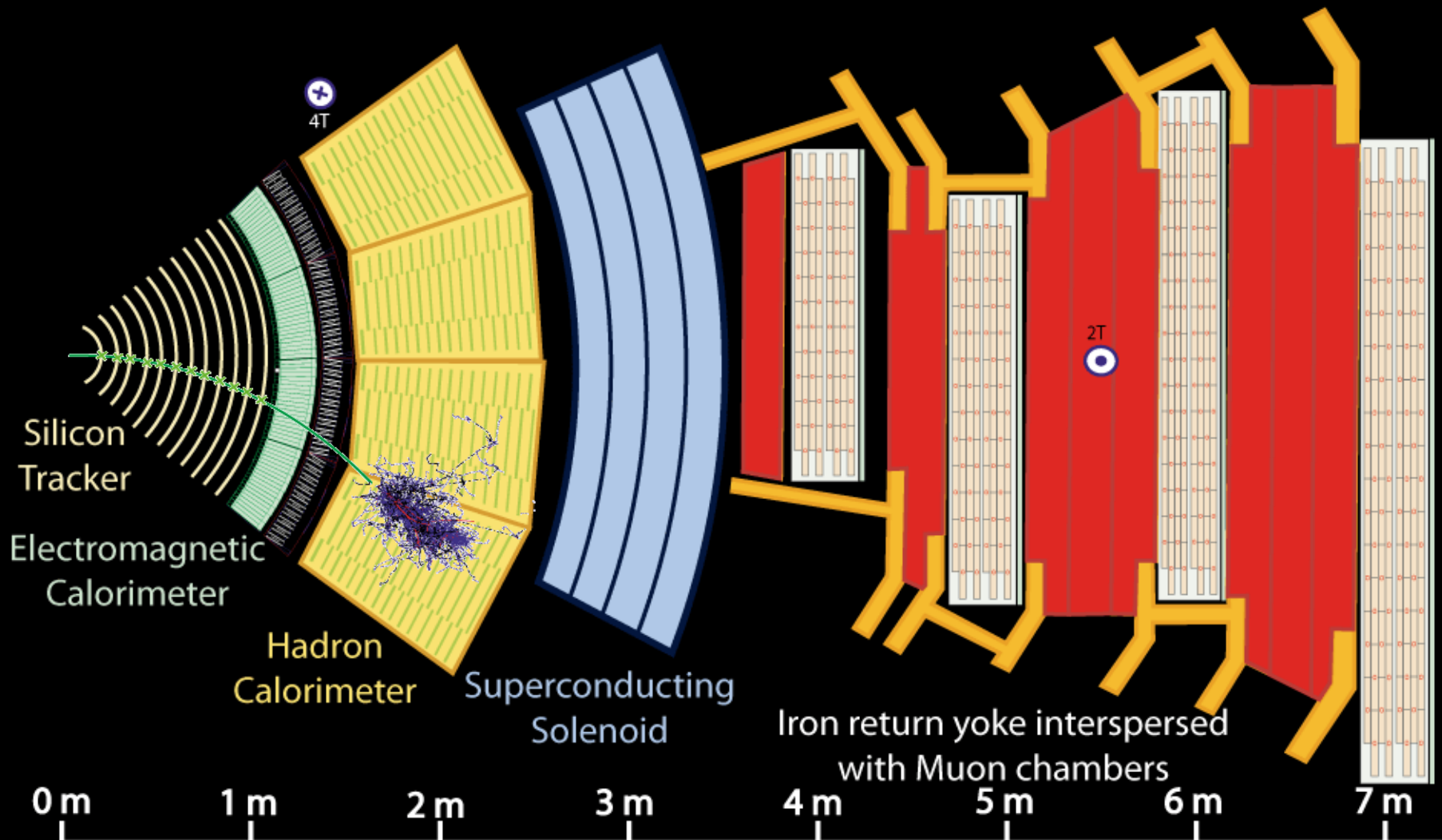
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

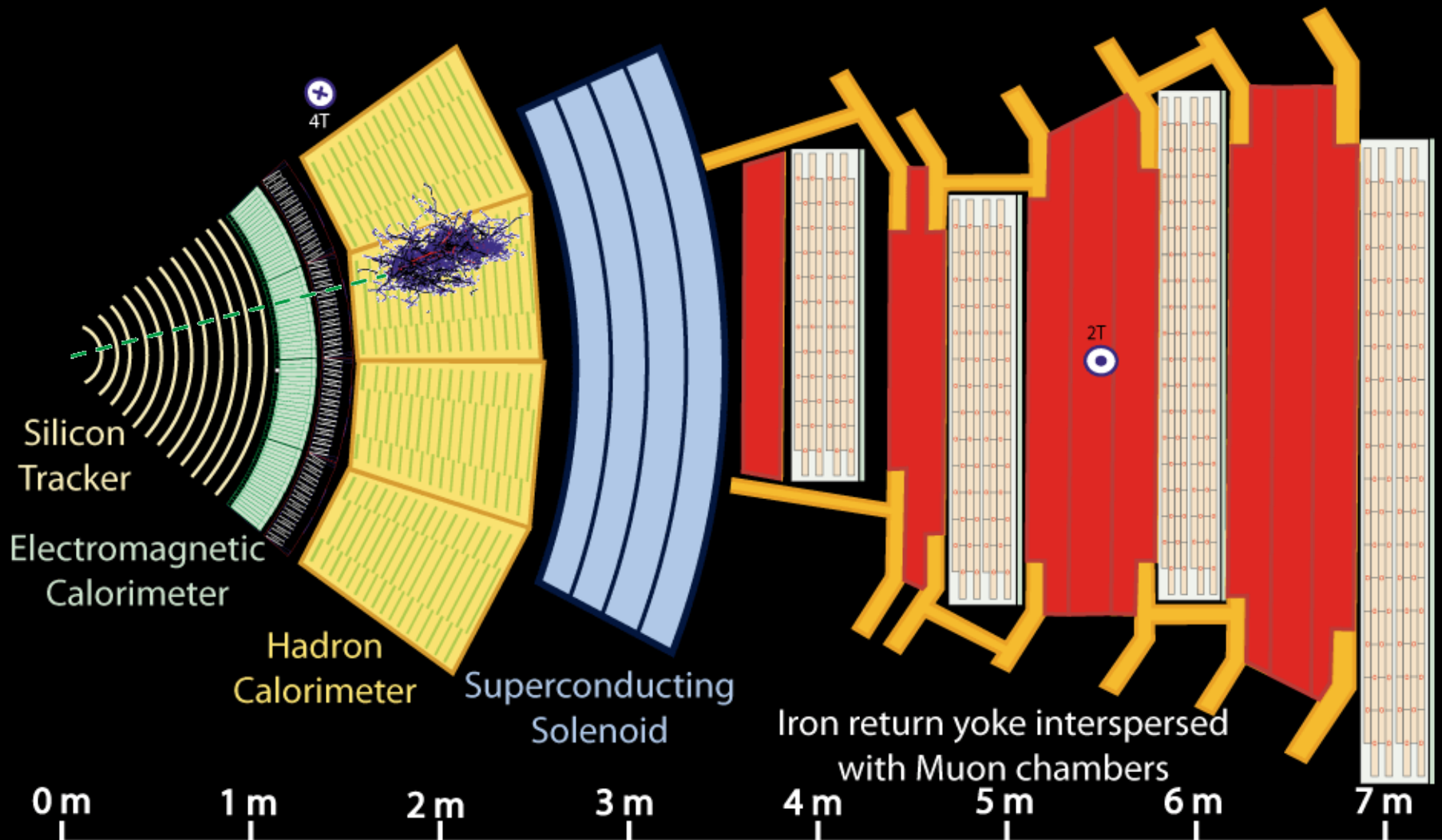
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

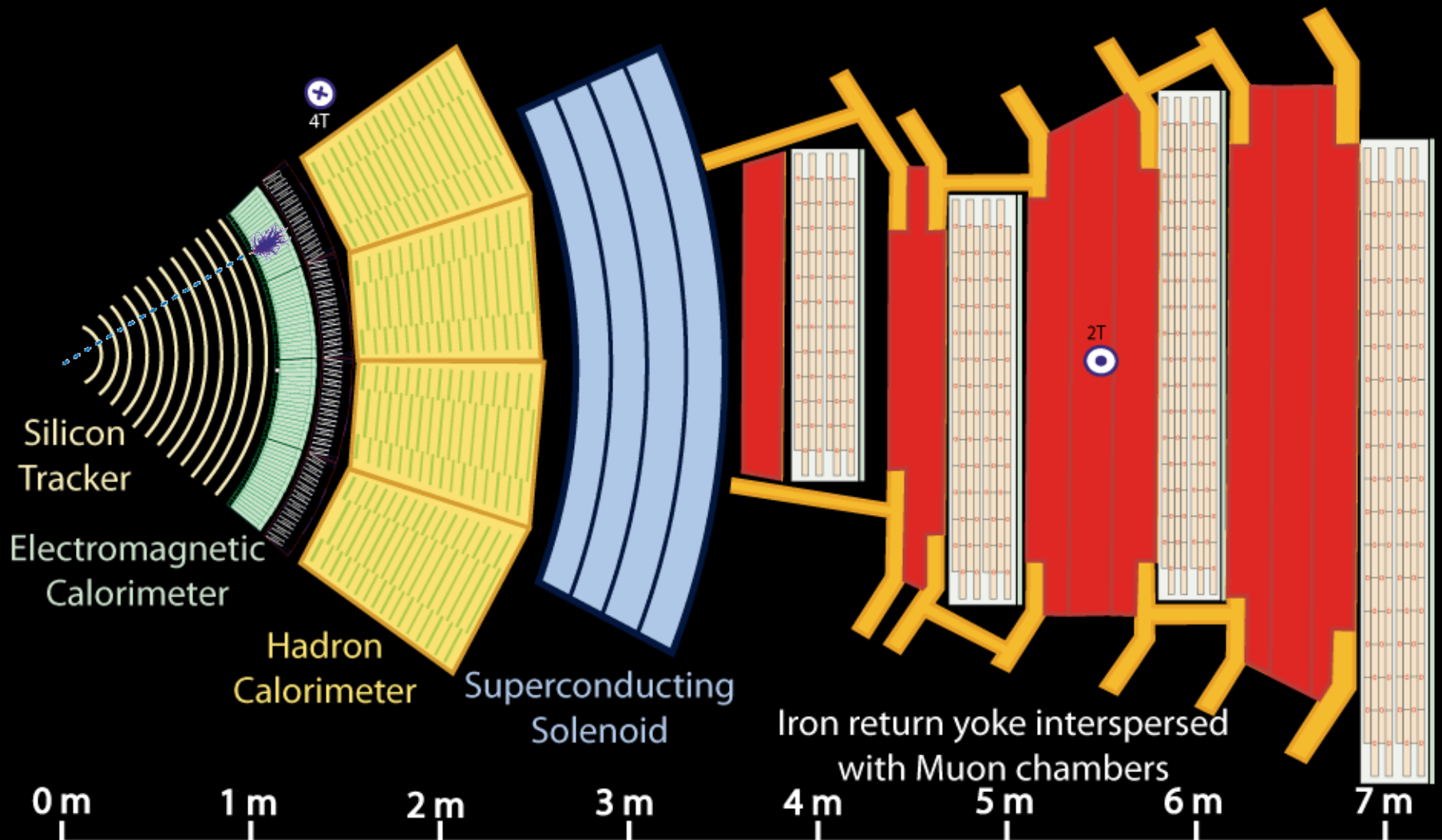
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

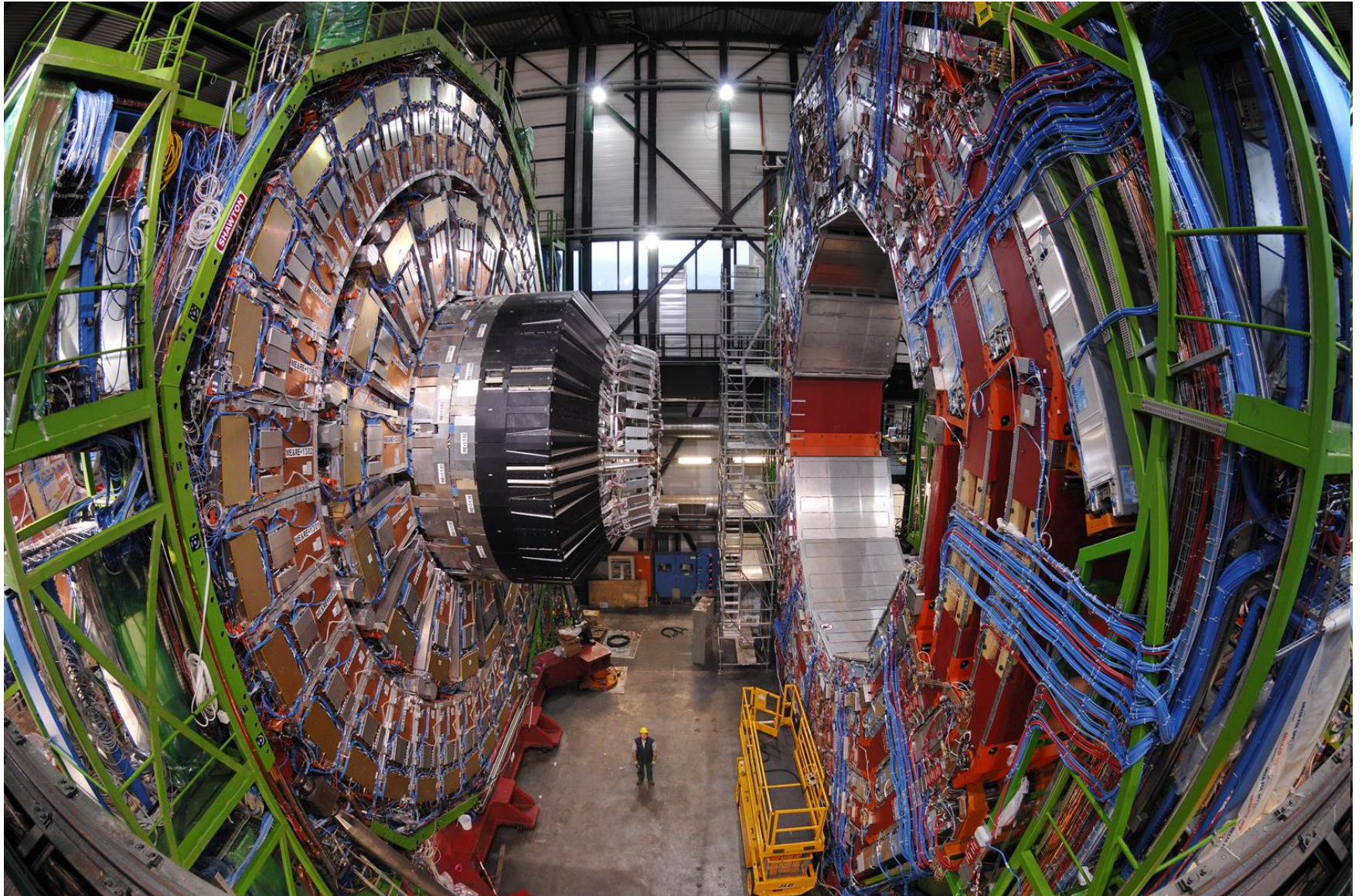
- - - Photon



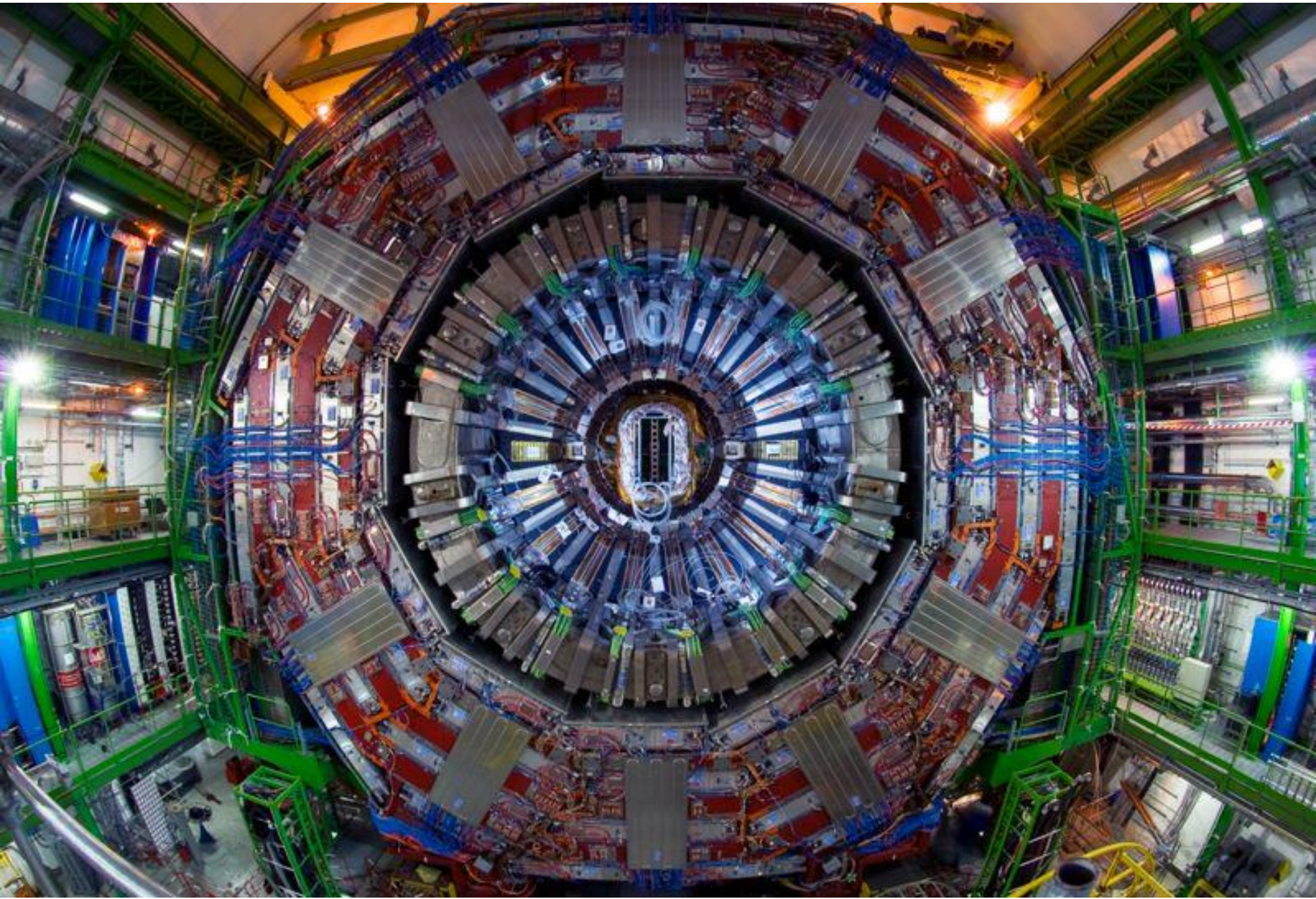
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon

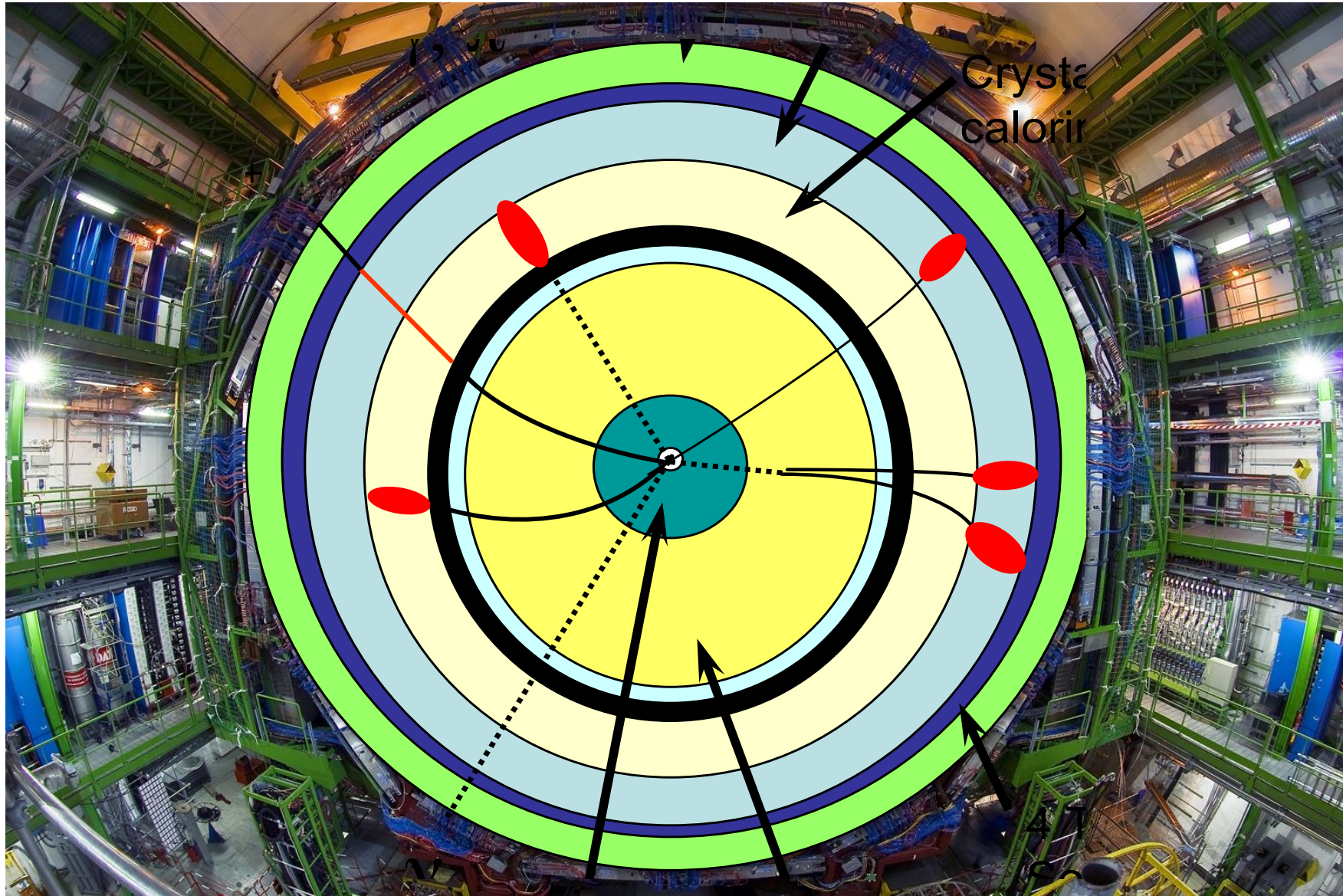
Montaje en una gran nave en superficie



CMS

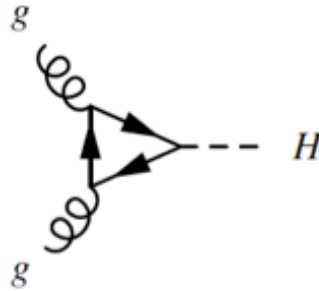


CMS

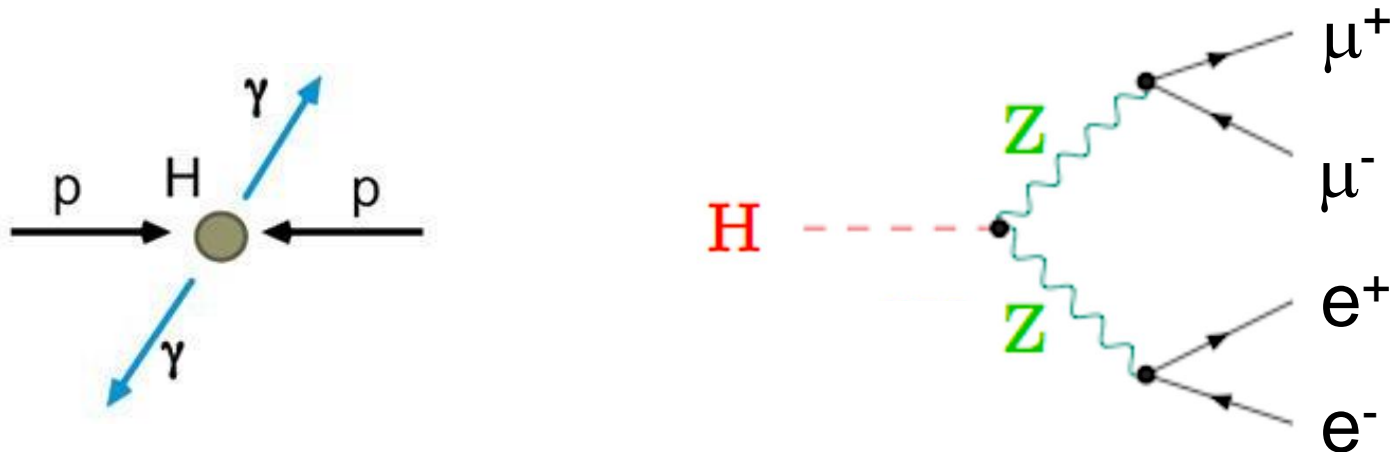


¿Qué se produce en las colisiones pp?

- ❑ Gran variedad de partículas, la mayoría desintegrándose en otras estables.
- ❑ La probabilidad de producir un bosón de Higgs es muy pequeña (Prob $\sim 10^{-12}$)....

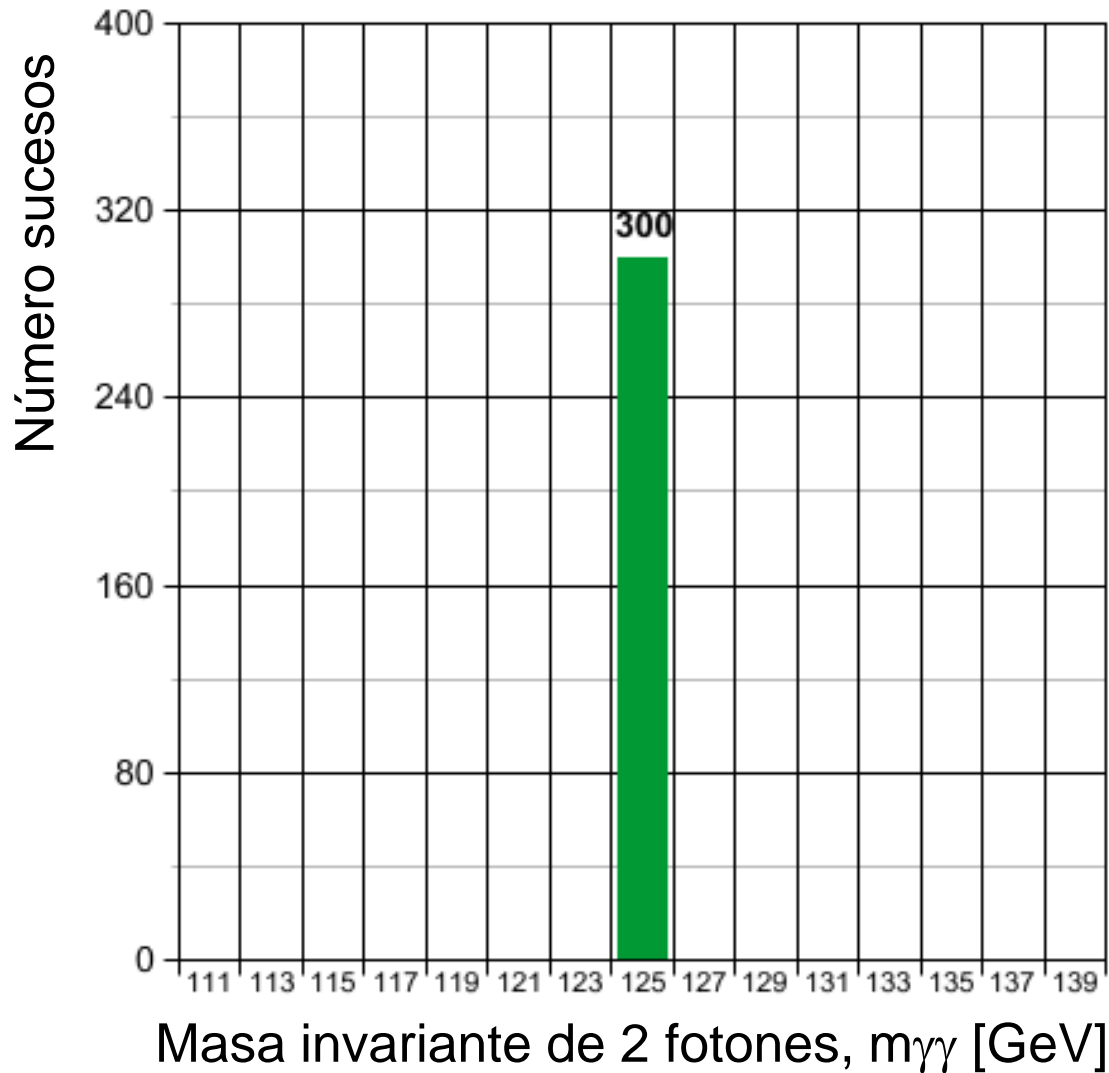


- ❑ Y se desintegra rápidamente ($\tau \sim 10^{-21}$ s)



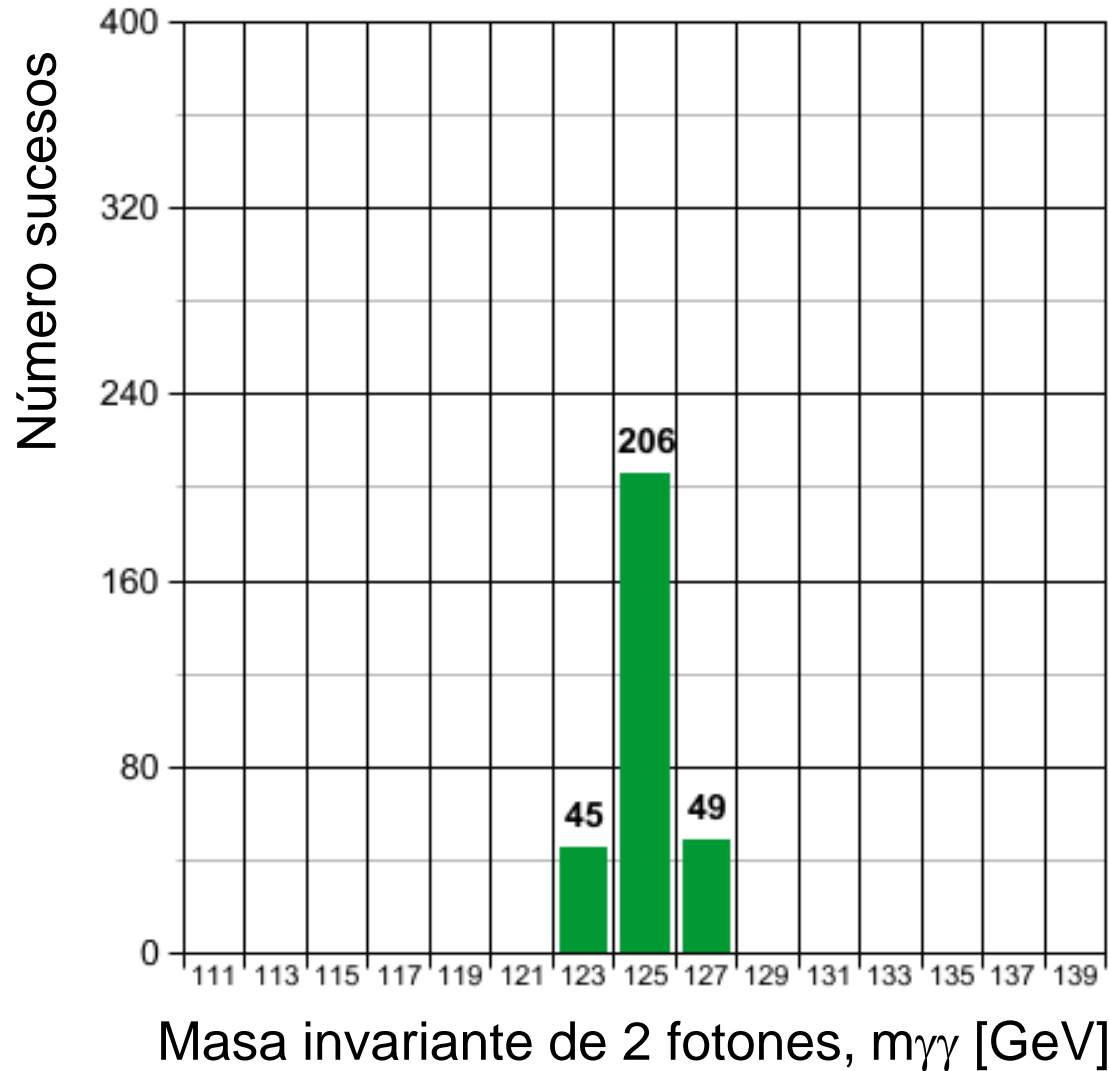
Desintegración de partícula de masa 125 GeV

Histograma de masas



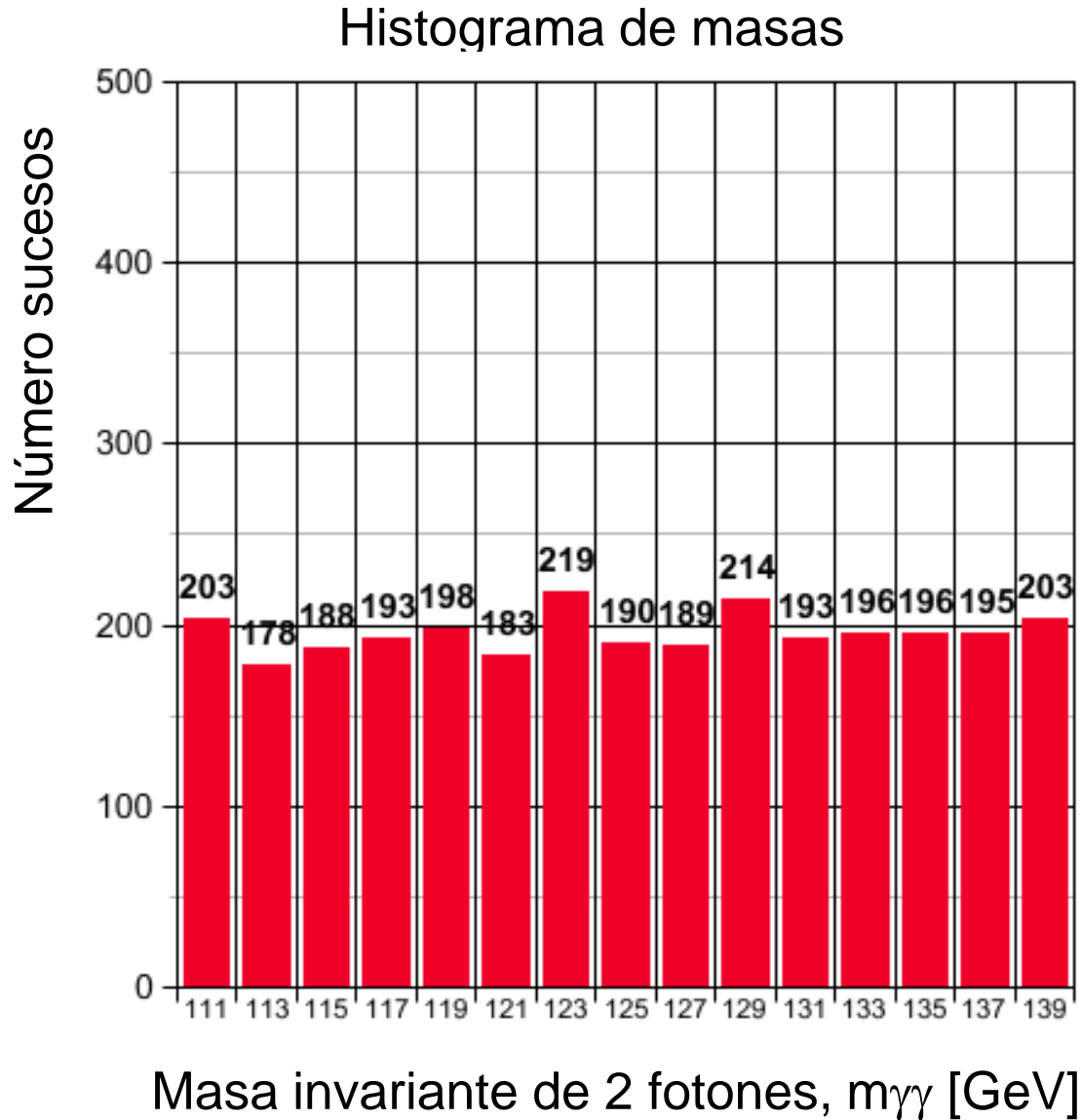
Desintegración de partícula de masa 125 GeV

Histograma de masas



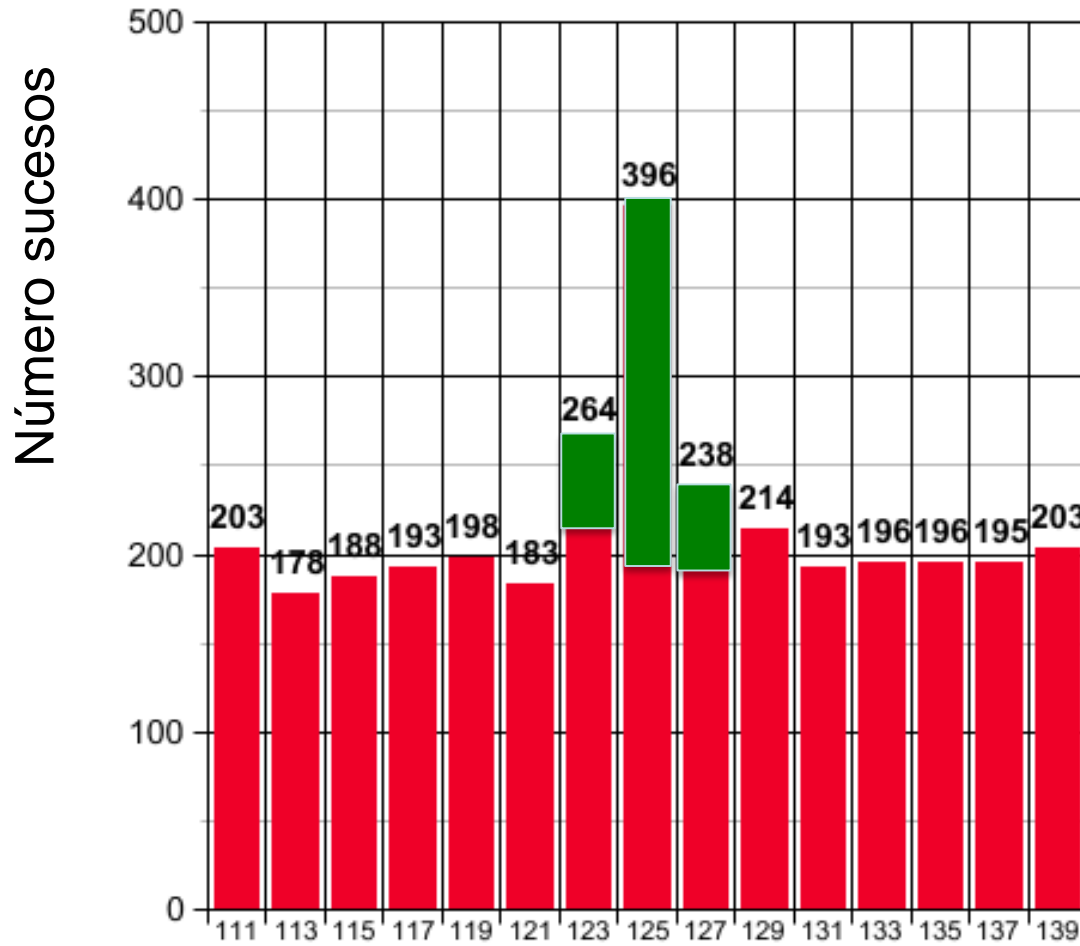
El fondo

Masa de dos fotones, no asociados a desintegración de partícula



Señal + fondo

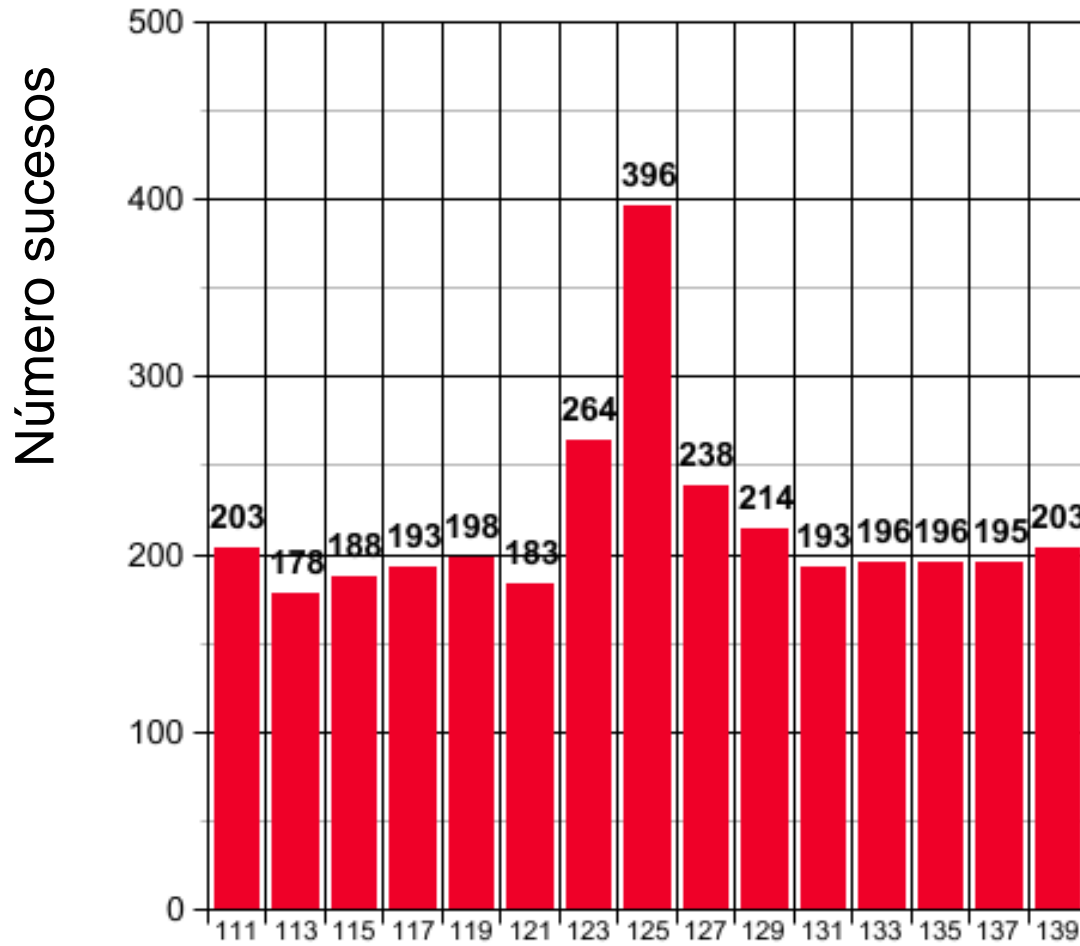
Histograma de masas



Masa invariante de 2 fotones, $m_{\gamma\gamma}$ [GeV]

Señal + fondo

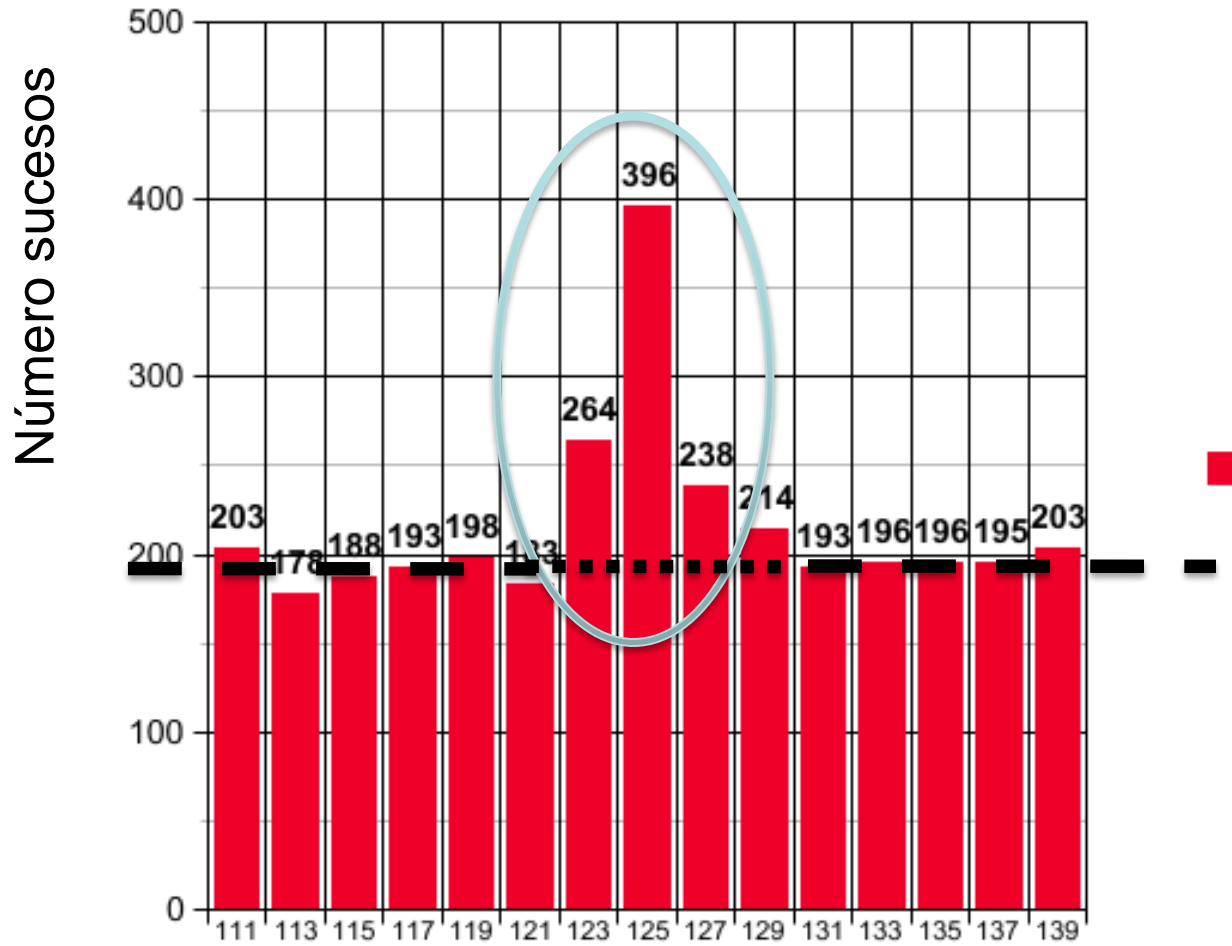
Histograma de masas



Masa invariante de 2 fotones, $m_{\gamma\gamma}$ [GeV]

Señal + fondo

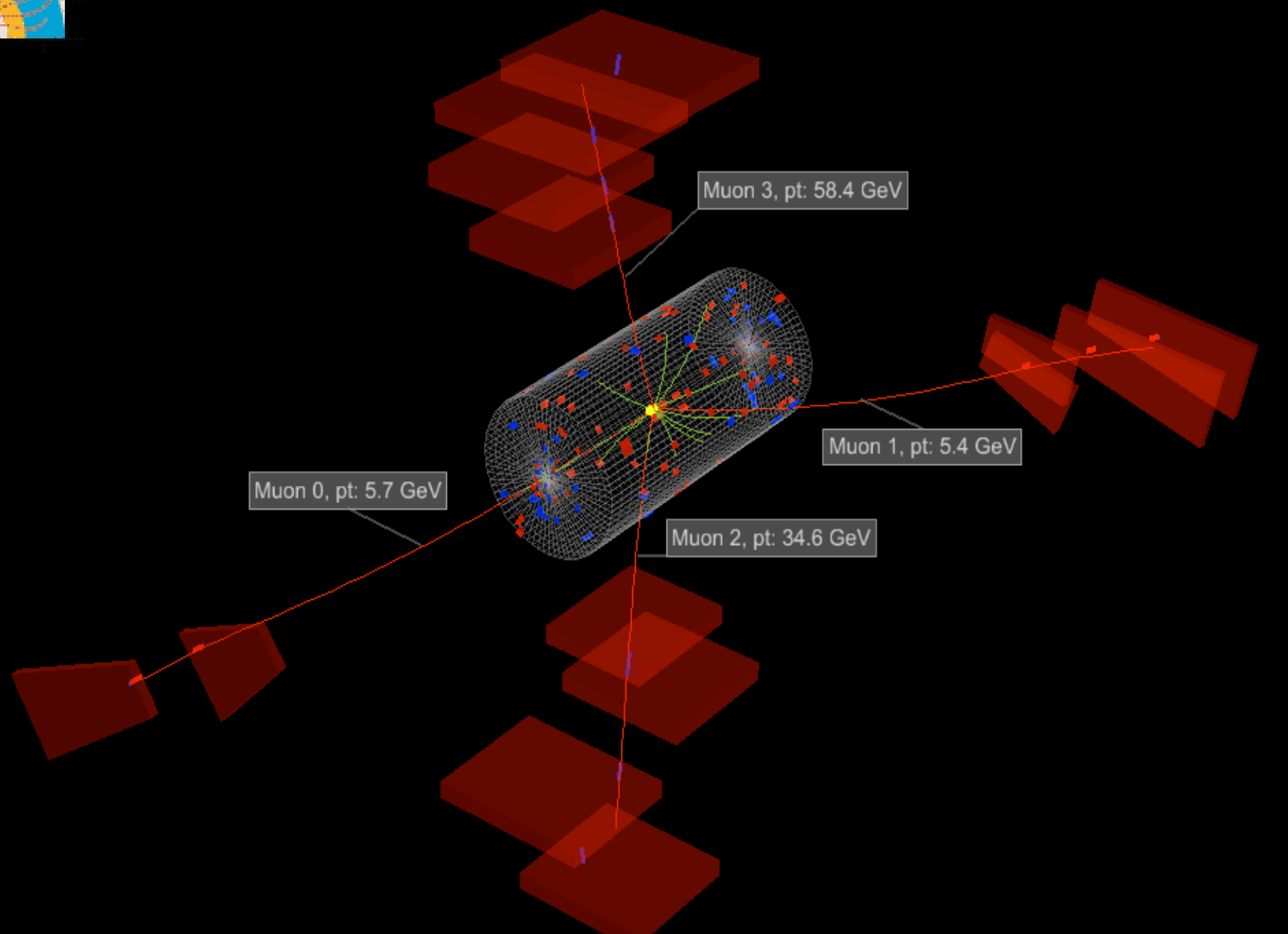
Histograma de masas



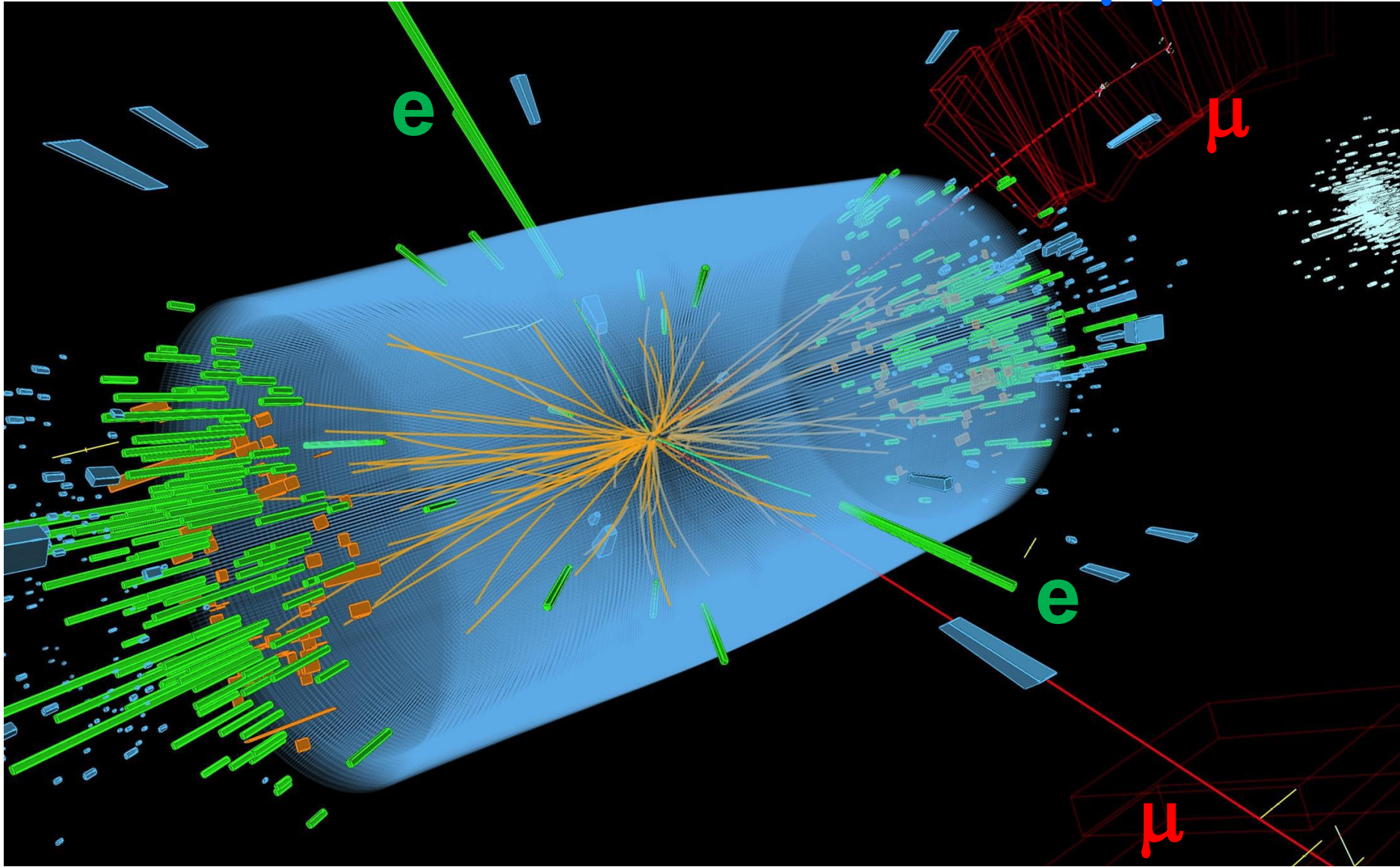
Masa invariante de 2 fotones, $m_{\gamma\gamma}$ [GeV]



Suceso candidato $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4 \mu$

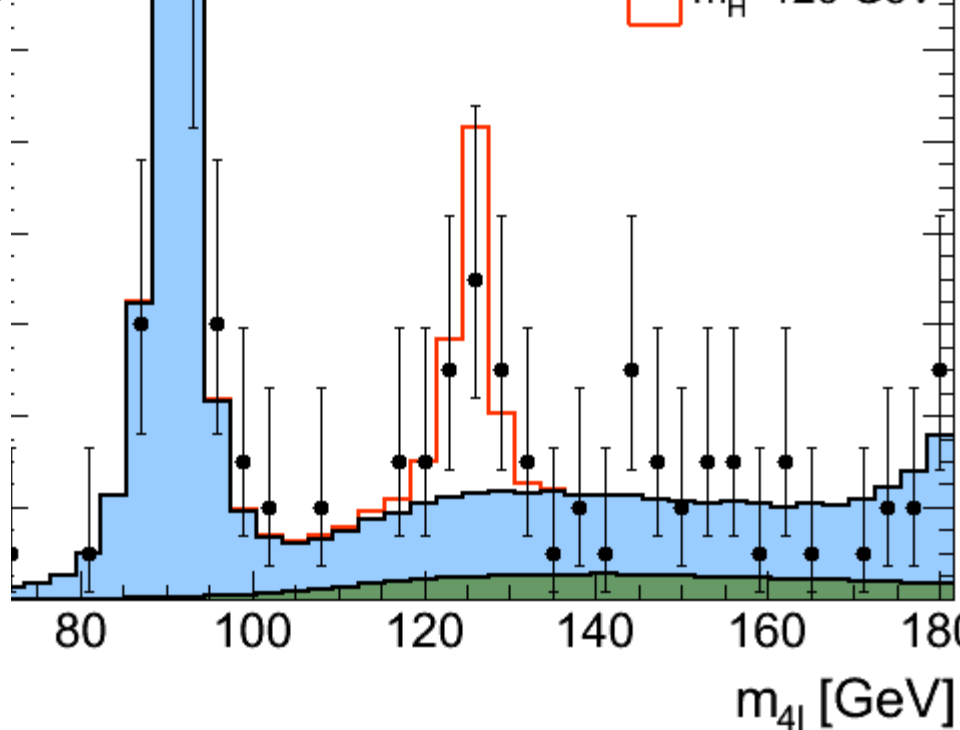
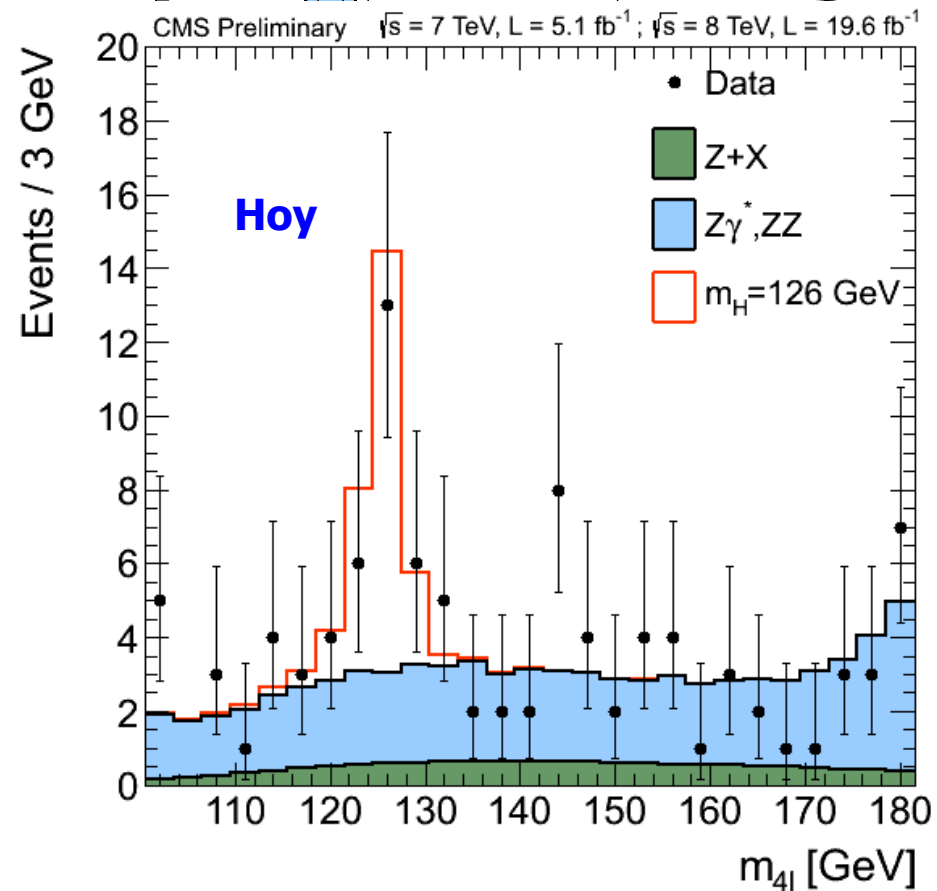
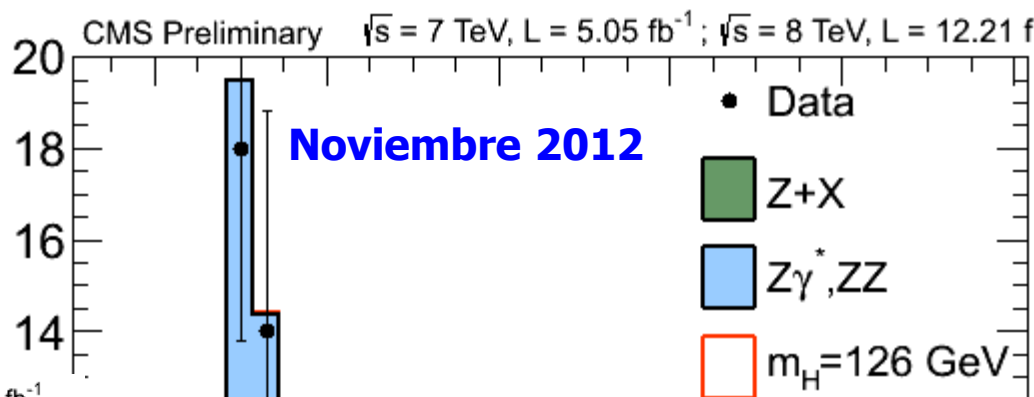


Candidato $H \rightarrow ZZ \rightarrow e e \mu \mu$



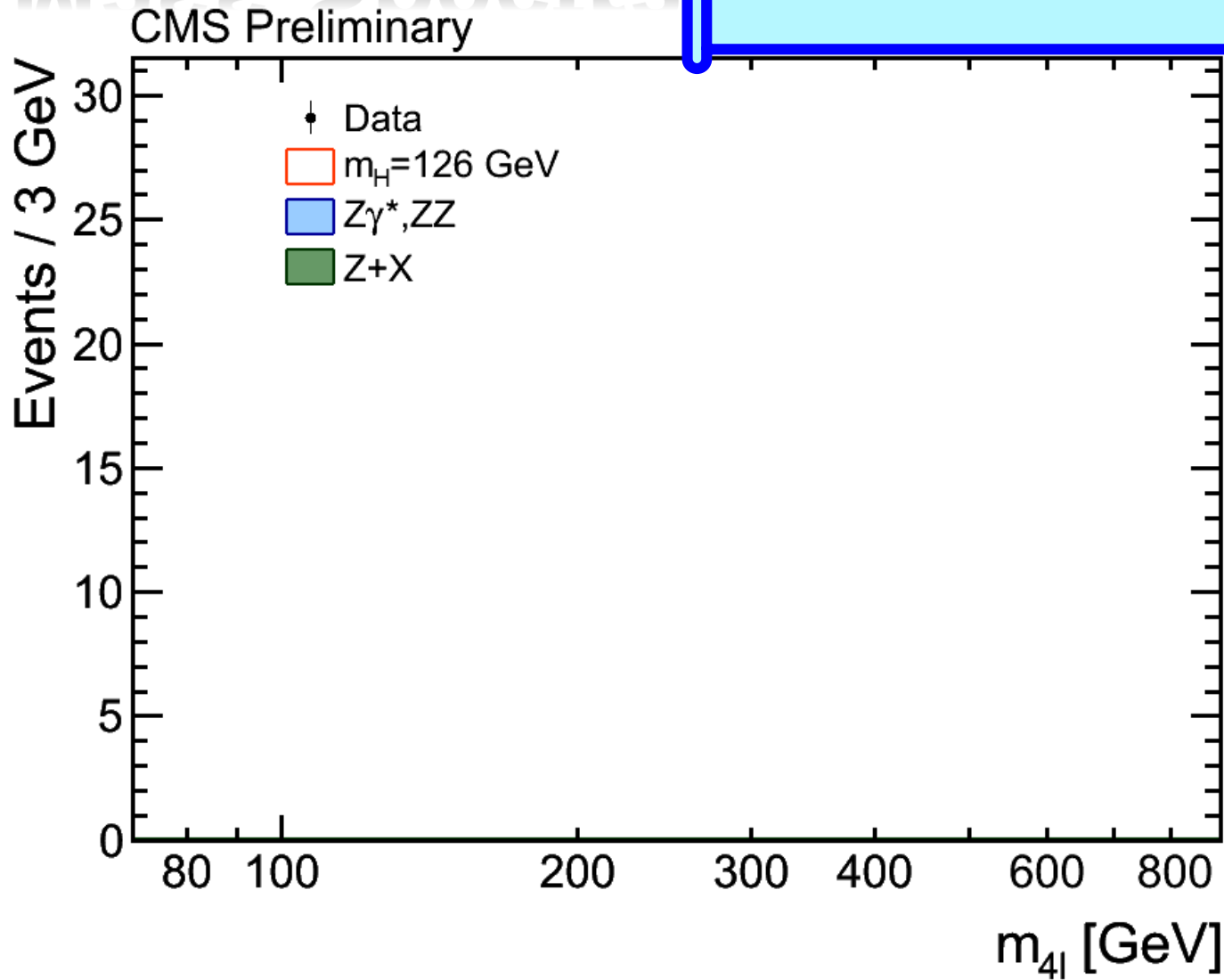
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$

CMS Preliminary $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 5.05 \text{ fb}^{-1}; \sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 5.26 \text{ fb}^{-1}$

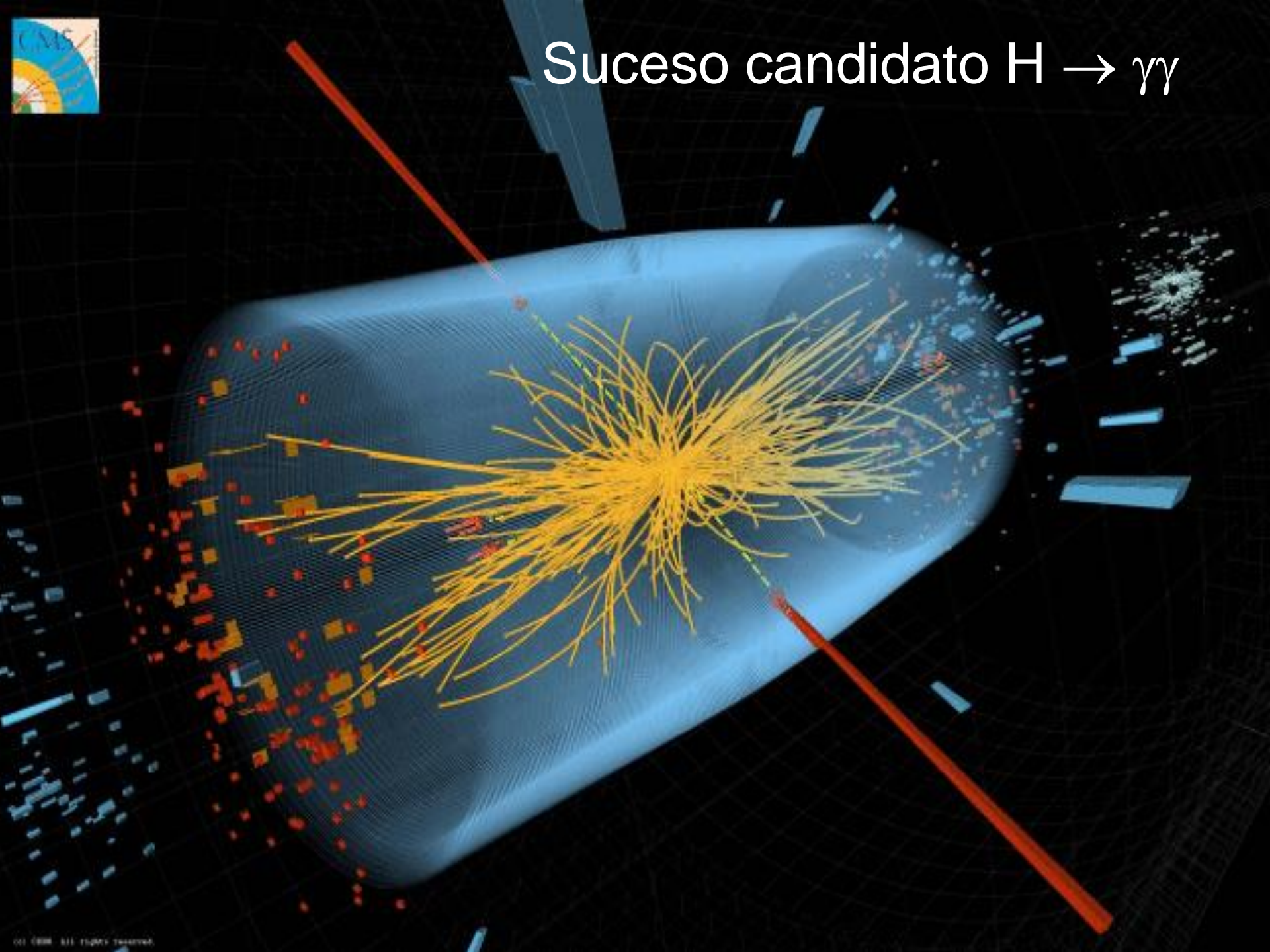


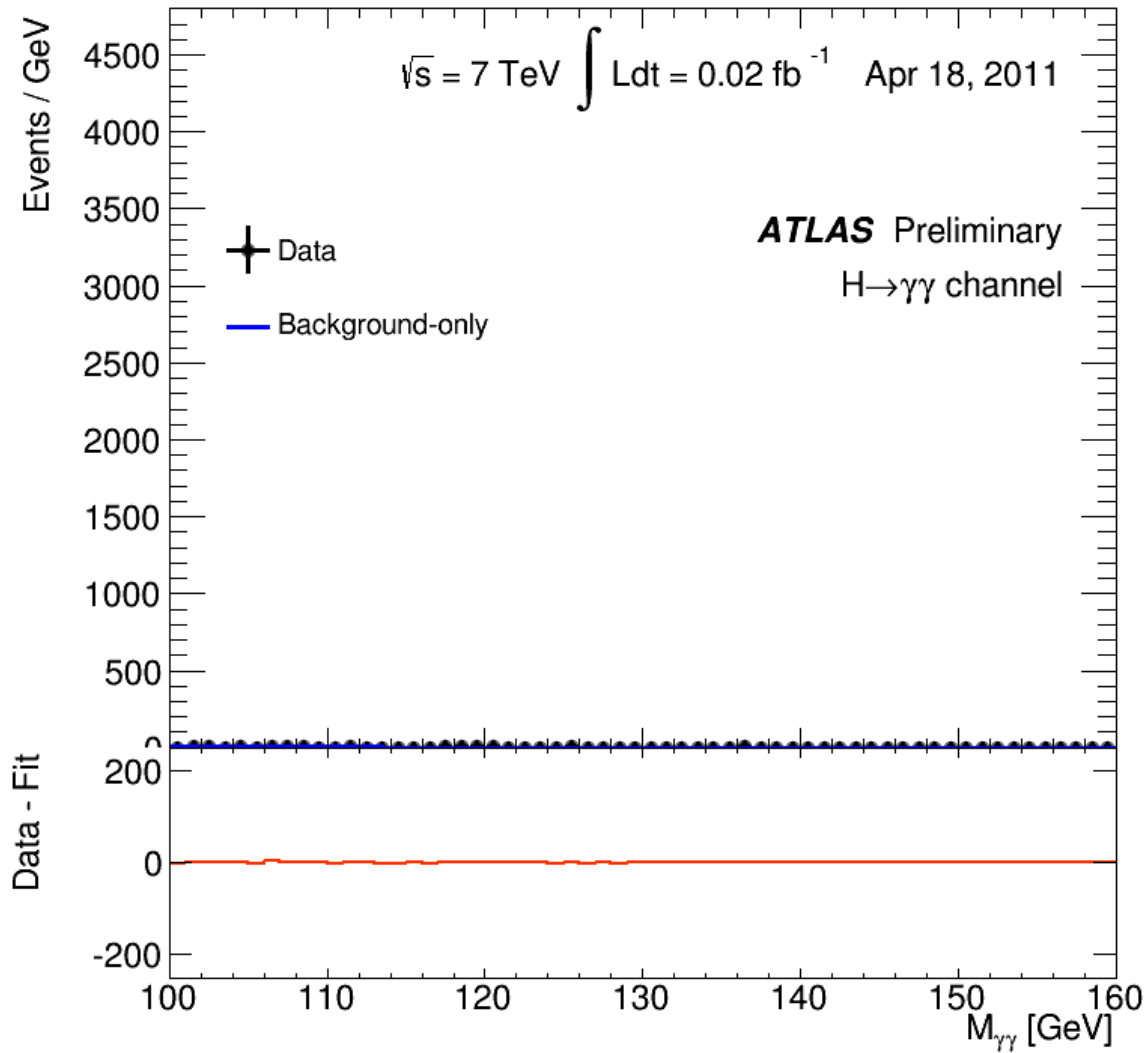
Mass Spectra

THE NOBEL PLOT



Suceso candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$





Un reconocimiento internacional...



Buscar

Español | English | Français | Deutsch | Português | Italiano

Русский العربية Polski

S.A.R. e

ESPECIAL 2013 | LA FUNDACIÓN | S.A.R. EL PRÍNCIPE DE ASTURIAS | PREMIOS PRÍNCIPE DE ASTURIAS | ÁREA MUSICAL | PUEBLO EJEMPLAR DE ASTURIAS | PRENSA

PREMIO PRÍNCIPE DE ASTURIAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA 2013

Peter Higgs, François Englert y el CERN

El descubrimiento del bosón de Higgs constituye un ejemplo emblemático de cómo se ha liderado un esfuerzo colectivo para resolver uno de los enigmas más profundos de la física.

- TRAYECTORIA
- ACTA DEL JURADO
- DECLARACIONES



The Nobel Prize in Physics 2013

François Englert, Peter Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013



Photo: Pnicolet via Wikimedia Commons

François Englert

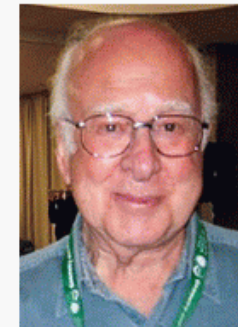


Photo: G-M Greuel via Wikimedia Commons

Peter W. Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs "for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"

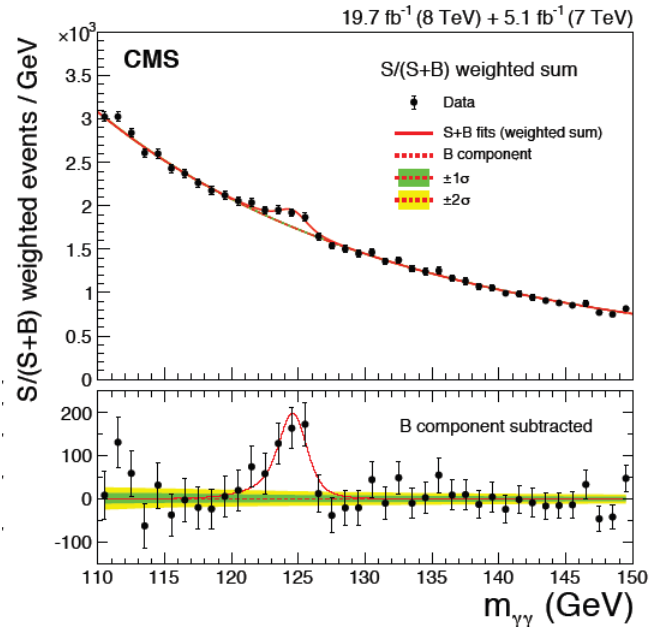
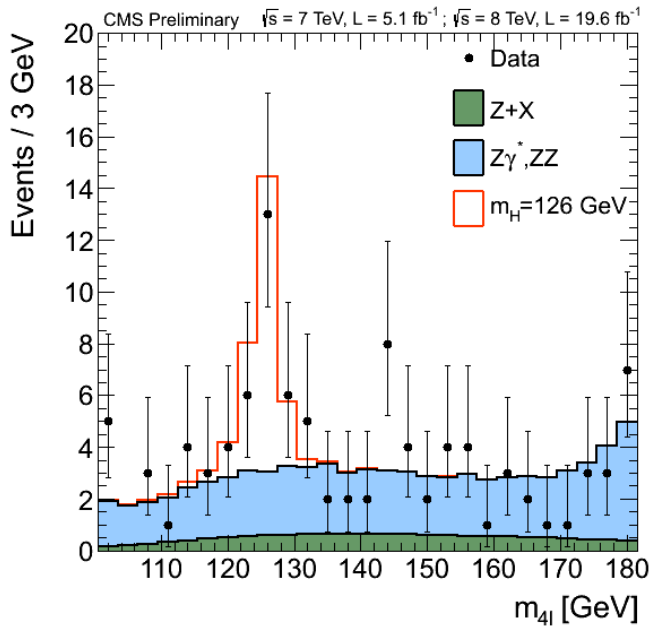
La nueva partícula es SM Higgs

- Masa < 1 TeV:

La nueva partícula es SM Higgs

- Masa < 1 TeV:

$$\begin{aligned} m_H &= 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV} \\ &= 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV} \end{aligned}$$



La nueva partícula es SM Higgs

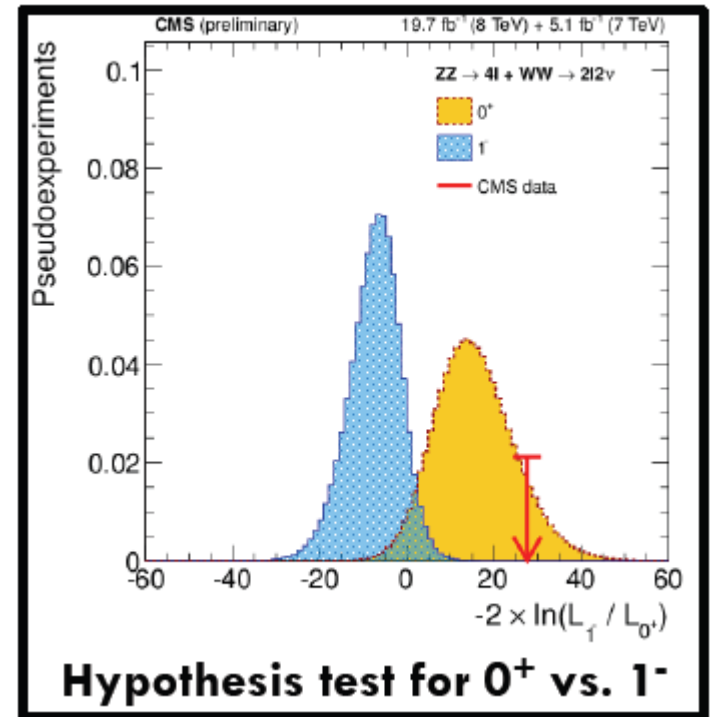
- Masa < 1 TeV: $m_H = 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV}$
 $= 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV}$
- Partícula escalar: spin = 0

La nueva partícula es SM Higgs

- Masa < 1 TeV:

$$m_H = 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV} \\ = 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV}$$

- Partícula escalar: spin = 0



La nueva partícula es SM Higgs

- Masa < 1 TeV: $m_H = 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV}$
 $= 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV}$
- Partícula escalar: spin = 0
- Se produce y desintegra tal y como predice SM. (cualitativa y cuantitativamente)

$$\mu = \frac{\sigma \cdot \text{BR}}{(\sigma \cdot \text{BR})_{\text{SM}}} \sim 1$$

La nueva partícula es SM Higgs

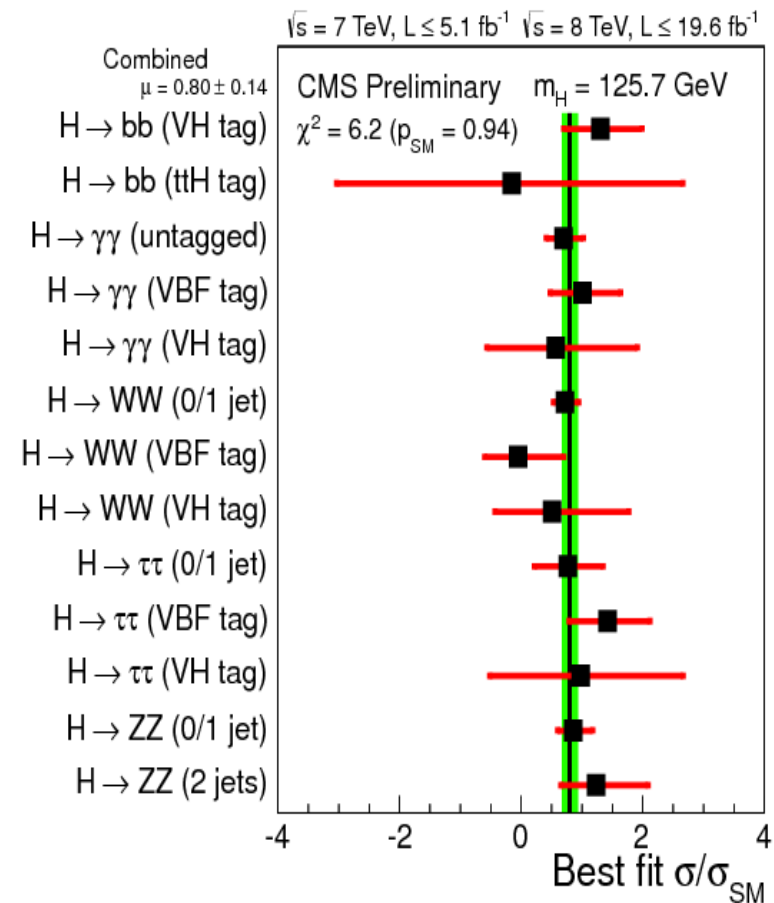
- Masa < 1 TeV:

$$m_H = 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV} \\ = 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV}$$

- Partícula escalar: spin = 0

- Se produce y desintegra tal y como predice SM. (cualitativa y cuantitativamente)

$$\mu = \frac{\sigma \cdot BR}{(\sigma \cdot BR)_{SM}} \sim 1$$



La nueva partícula es SM Higgs

- Masa < 1 TeV: $m_H = 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV}$
 $= 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV}$

- Partícula escalar: spin = 0

- $\mu = \frac{\sigma \cdot BR}{(\sigma \cdot BR)_{SM}} \sim 1$

- Interacciona con el resto de las partículas \propto masa, m_i

La nueva partícula es SM Higgs

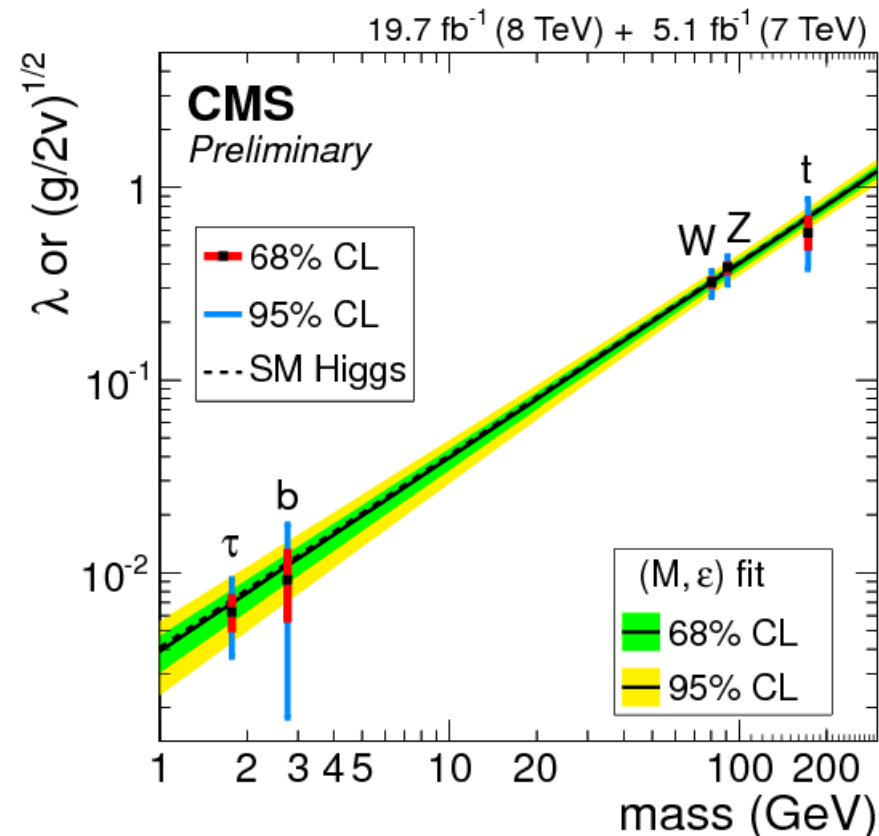
- Masa < 1 TeV:

$$m_H = 125.03 \pm 0.26^{(\text{stat})} \pm 0.14^{(\text{syst})} \text{ GeV} \\ = 125.03 \pm 0.30 \text{ GeV}$$

- Partícula escalar: spin = 0

- $$\mu = \frac{\sigma \cdot \text{BR}}{(\sigma \cdot \text{BR})_{\text{SM}}} \sim 1$$

- Interacciona con el resto de partículas \propto masa, m_i



Y ahora qué??



Y ahora qué??

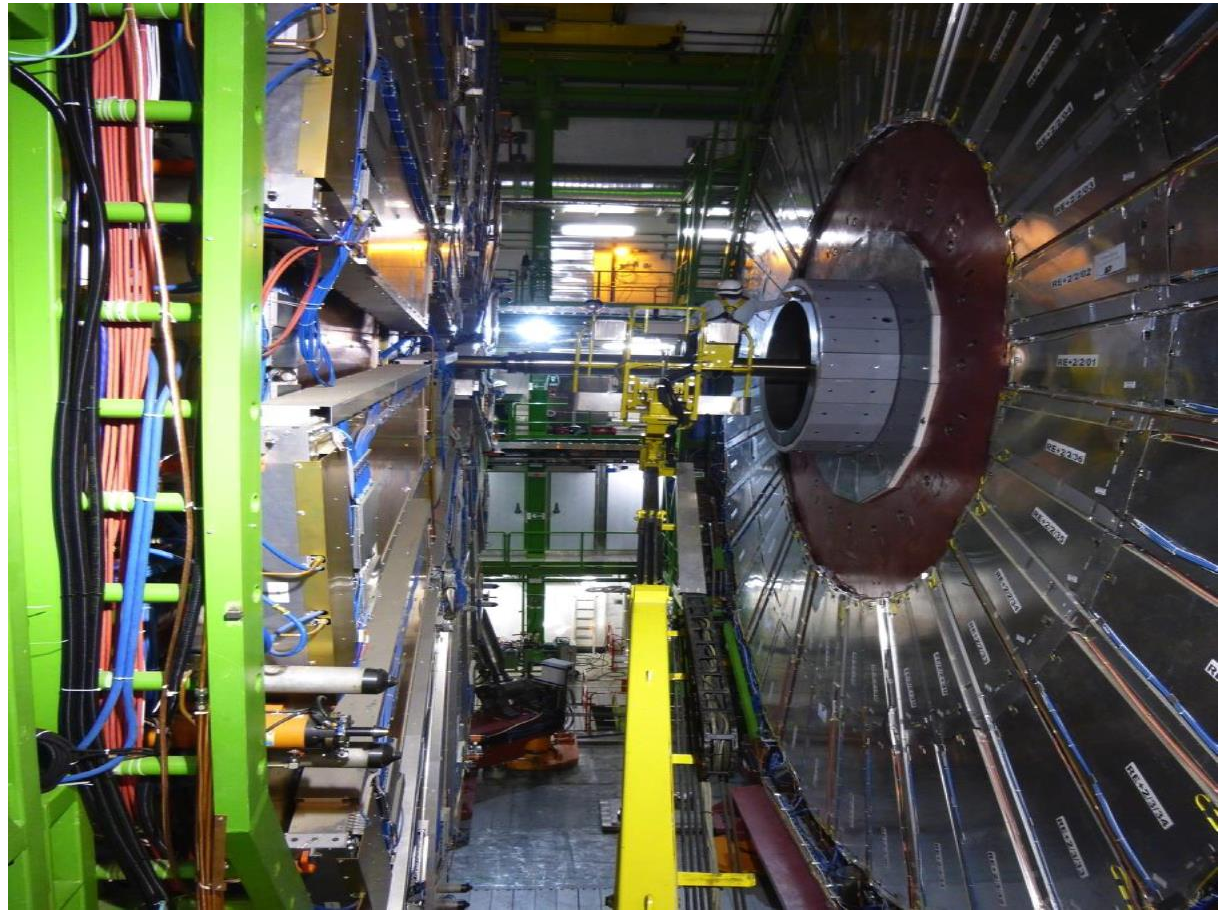
Durante 2013-14 LHC ha estado preparándose para una subida de energía en las colisiones de protones, a 13 TeV.

CMS (y demás experimentos) ha realizado labores de mantenimiento y mejora.

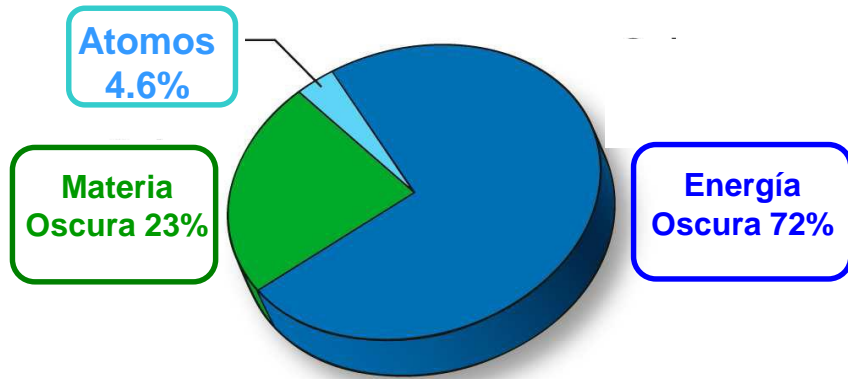
En esta primavera 2015 comienza de nuevo a funcionar el LHC.

Esperamos explorar con gran precisión los procesos físicos en una nueva región de energía...

... Y quién sabe si descubrir algo nuevo!

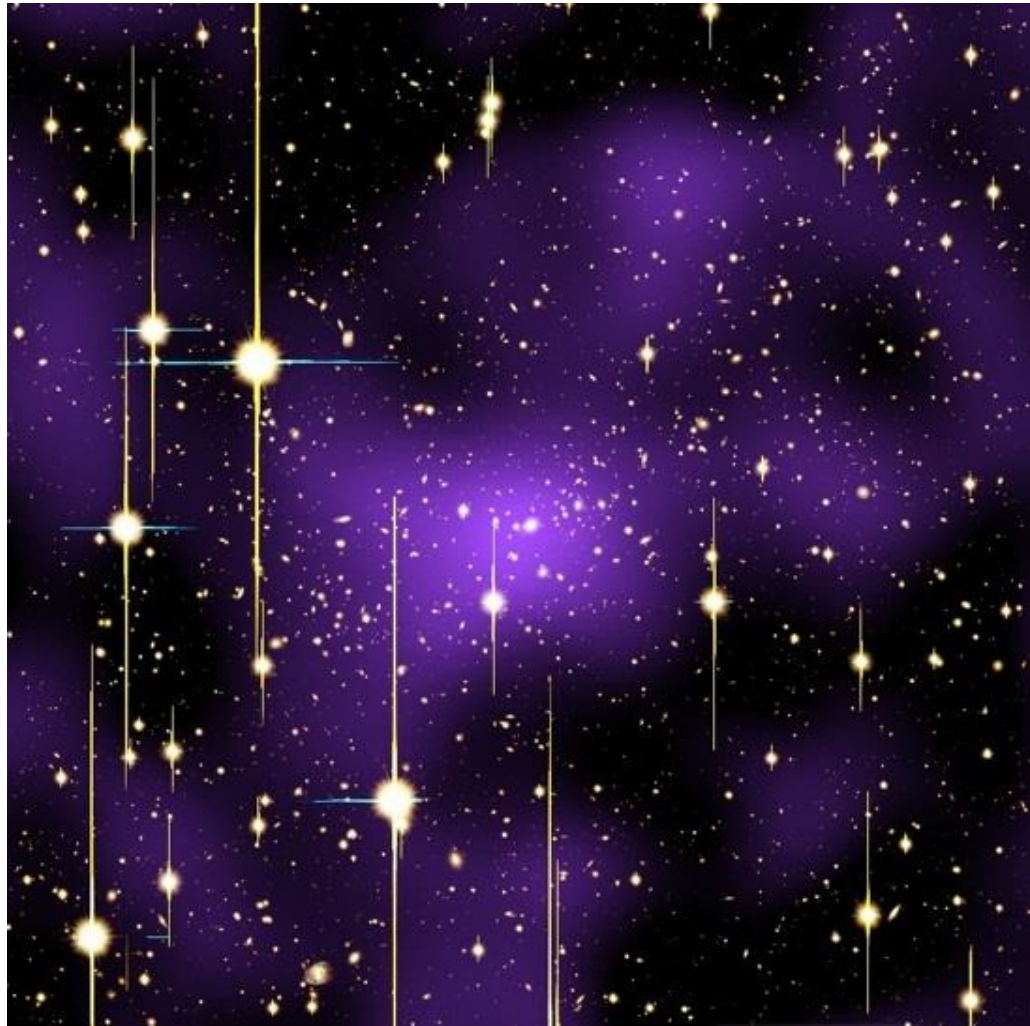


Y ahora qué??



Si la materia oscura fuera visible....

Quizás en esta nueva fase del LHC podemos tener indicios de ella??



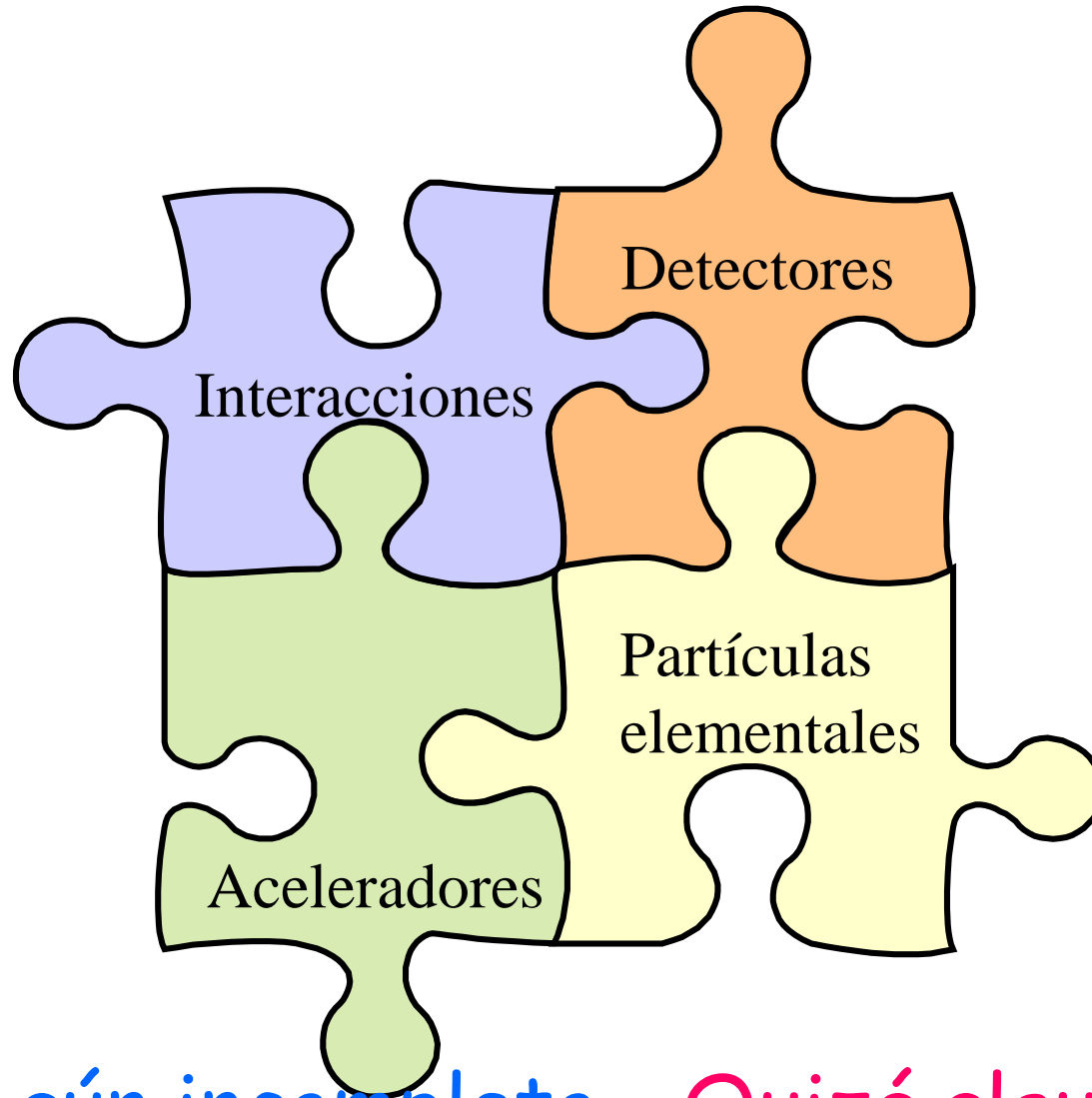
La Física de Partículas se parece a...

..... **Un juego de MasterMind!!**

Donde la Naturaleza ha escondido sus claves y leyes y nosotros, los investigadores , hemos de adivinarlas por medio de **hipótesis, experimentos y comprobaciones!!**



Puzzle de la Física de Partículas...



Está aún incompleto... Quizá algunos de vosotros ayudaréis a componerlo!!