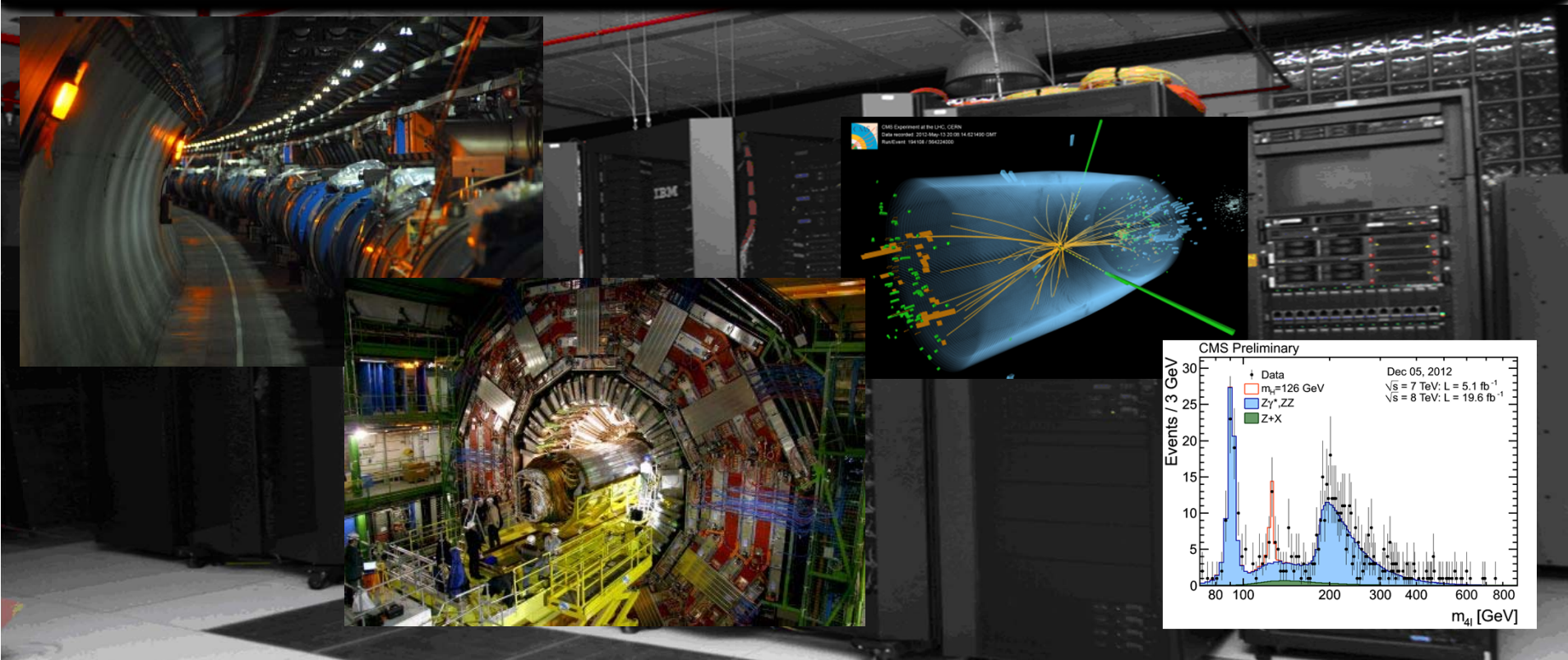


El Bosón de Higgs: Ciencia, Tecnología y Colaboración



¿Conocemos los secretos del Universo?

“Cuánto más aprendes, menos sabes”

De una reciente entrevista a Montserrat Caballé



Jesús Marco de Lucas, Tertulia Fullbright

El bosón de Higgs

¿Que vamos a ver en esta presentación?

✚ Tenemos un **modelo casi perfecto** de la materia

✚ Cómo lo hemos logrado:

Global Science / Ciencia Colaborativa

✚ ¿Podremos continuar aprendiendo?

✚ ¿Y ahora qué?

Un modelo de la materia

- Desde hace más de 40 años el “Modelo Estándar” de partículas elementales, permite explicar (casi) todo sobre la materia a escala subatómica con unas reglas “simples”:

- La materia está formada por **fermiones** (leptones y quarks)
- Sus interacciones (fuerzas) se explican por el intercambio de **bosones** (fotones, gluones, bosones W y Z)

¿Cómo hemos llegado hasta aquí?

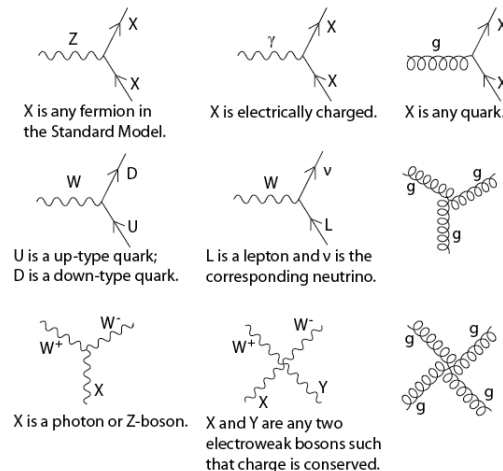
- Teoría de la Relatividad Especial (~1905)
- Teoría Cuántica (~1920)
- Teoría Cuántica Relativista (~1930)
- Teoría Cuántica de Campos (~1950)
 - Electrodébil y Cromodinámica (~1960..)

Tres generaciones de la materia (fermiones)

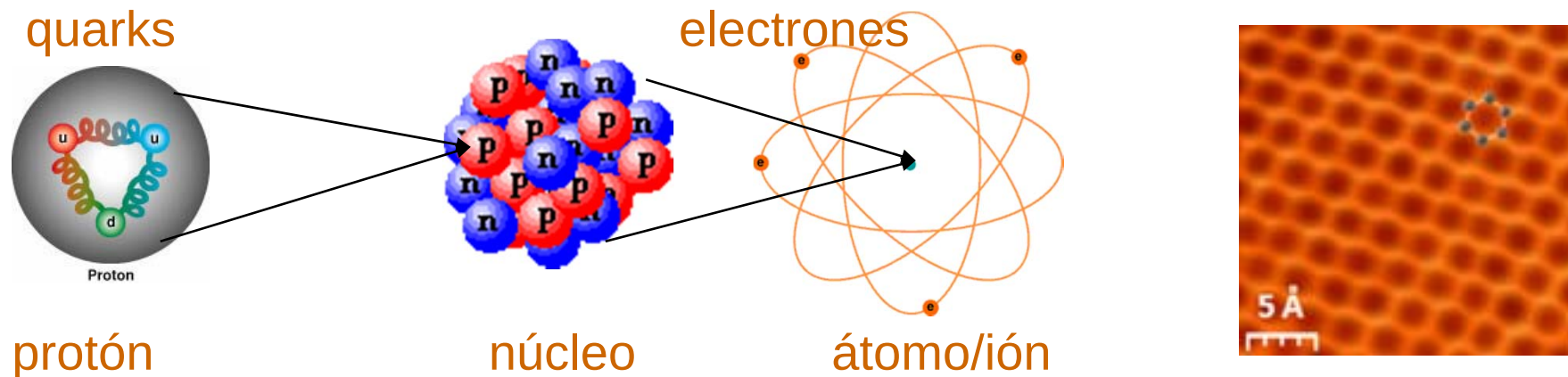
	I	II	III	
masa →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
espín →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	arriba	encanto	cima	fotón
	u	c	t	γ
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	abajo	extraño	fondo	gluón
	d	s	b	g
Quarks				
	<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
	neutrino electrónico	neutrino muónico	neutrino tauónico	bosón Z
	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z^0
	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
	electrón	muón	tauón	bosón W
	e	μ	τ	$W^\pm$
Leptones				

Bosones de gauge

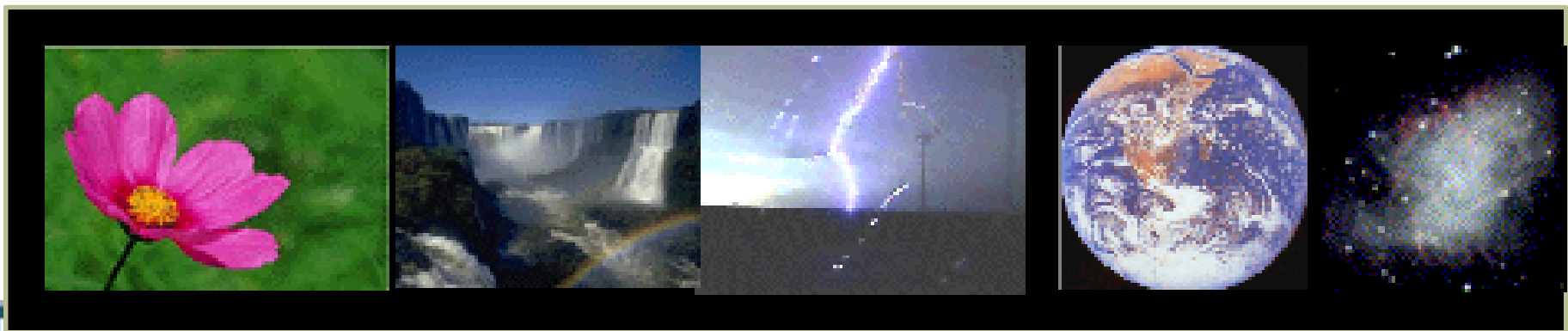
Standard Model Interactions
(Forces Mediated by Gauge Bosons)



De los materiales al Universo



Para explicar los fenómenos naturales necesitamos incluir la fuerza gravitatoria
Para entender el Universo necesitamos la **Relatividad General**



Un modelo de la materia

✿ En el camino hemos perdido “intuición clásica”:

- ✦ Relatividad Especial: Espacio-Tiempo / Momento-Energía y relación Masa/Energía, $E=mc^2$, c como velocidad límite.
- ✦ Física Cuántica: medida y probabilidad de encontrar una partícula en un cierto estado, colapso de la función de onda.
- ✦ Teoría Cuántica Relativista: spin de las partículas, diferencias entre bosones y fermiones, existencia de antipartículas.
- ✦ Teoría Cuántica de Campos: ¿qué es el vacío?

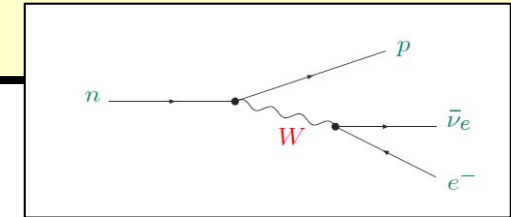
✿ Aunque algunas ideas parecen “razonables”:

- ✦ Fuerza como intercambio de partículas (bosones)
 - Ejemplo de los patinadores intercambiándose un balón
- ✦ Alcance de la fuerza ligado a la masa de la partícula intercambiada
 - Rango infinito: masa nula (fotón)
 - Rango corto: mayor masa (bosones W , Z)

Un modelo de la materia

“Mecanismo” que explica la masa de los bosones de la fuerza débil W, Z (~1964)

- Rotura de simetría mediante la introducción de un campo escalar al que se acoplan los bosones con masa (W, Z) y no los fotones

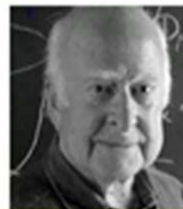


Goldstone = angular
Massive W and Z
“Gang of 6”

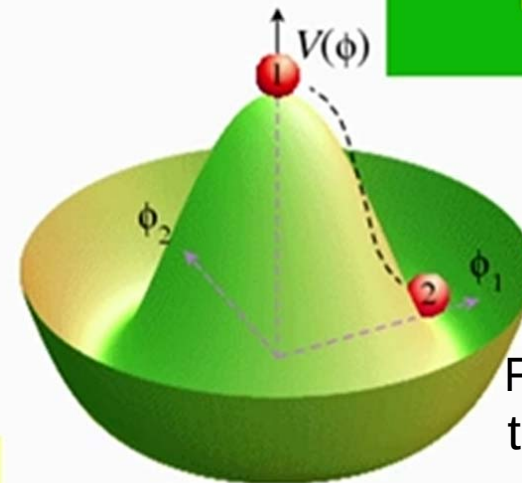
Higgs = radial
Tests the theory
“Higgs”

Hipótesis del Bosón de Higgs (~1966)

- Partícula asociada a la “excitación” del campo escalar del mecanismo de masa



Phys Rev 145,
1156 (1966)



“Vibration of the medium”
by quantum uncertainty

From Frank Close
talk at CERN

Su masa no queda predicha por la teoría, pero hay indicaciones indirectas por su interacción con las demás partículas

¿CÓMO ENCONTRARLO?

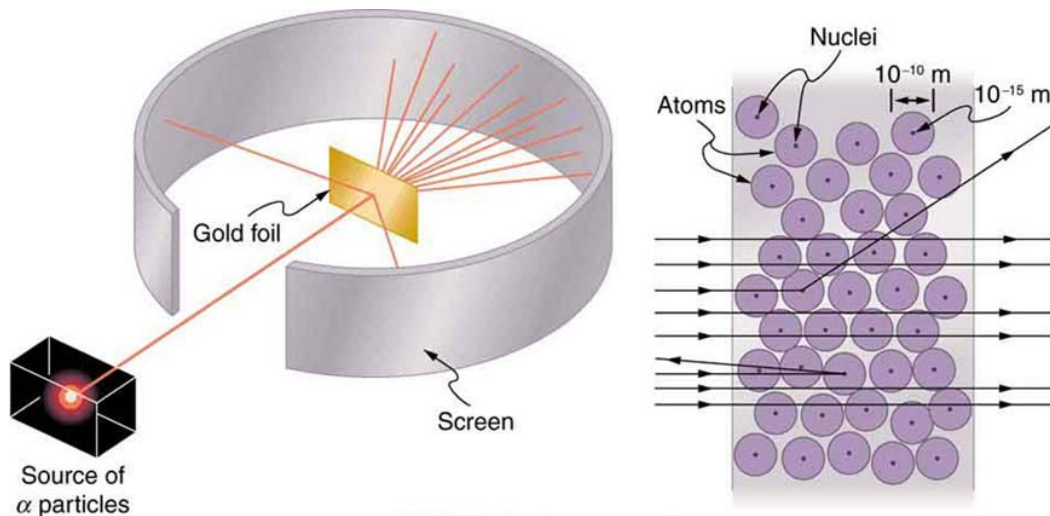
Science

❖ El método científico no ha cambiado:

❖ Confrontación Experimento - Modelos Teóricos

❖ ¿Cuánto han cambiado los experimentos?

❖ Experimento “clásico” de Geiger-Marsden, interpretado por Rutherford:



[669]

LXXIX. *The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom.* By Professor E. RUTHERFORD, F.R.S., University of Manchester*.

§ 1. IT is well known that the α and β particles suffer deflexions from their rectilinear paths by encounters with atoms of matter. This scattering is far more marked for the β than for the α particle on account of the much smaller momentum and energy of the former particle. There seems to be no doubt that such swiftly moving particles pass through the atoms in their path, and that the deflexions observed are due to the strong electric field traversed within the atomic system. It has generally been supposed that the scattering of a pencil of α or β rays in passing through a thin plate of matter is the result of a

Global Science, Ciencia Colaborativa

- ❁ **Global Science:** caracterizada por el desarrollo a gran escala de instalaciones e instrumentación, con el apoyo de los gobiernos o de agencias internacionales, la investigación se lleva a cabo en equipos de **científicos y técnicos**.
- ❁ El CERN es uno de los mejores ejemplos:
 - ❑ Fundado en 1954, para estudiar la física de partículas fundamentales
 - ❑ Cuenta actualmente con 20 estados miembros, científicos de más de 100 países
 - ❑ Desarrollo de experimentos:
 - ACELERADORES
 - DETECTORES / INSTRUMENTACIÓN
 - COMPUTACIÓN
- ❁ **¿Para estos experimentos sólo se trabaja en el CERN? NO!**
 - ❑ **COLABORACIÓN INTERNACIONAL ENTRE LABORATORIOS/CENTROS DE INVESTIGACIÓN/INDUSTRIALES DE TODO EL MUNDO**

Un entorno Global Science: CMS/LHC/CERN

❖ **CERN: Laboratorio Europeo de Física de Partículas**

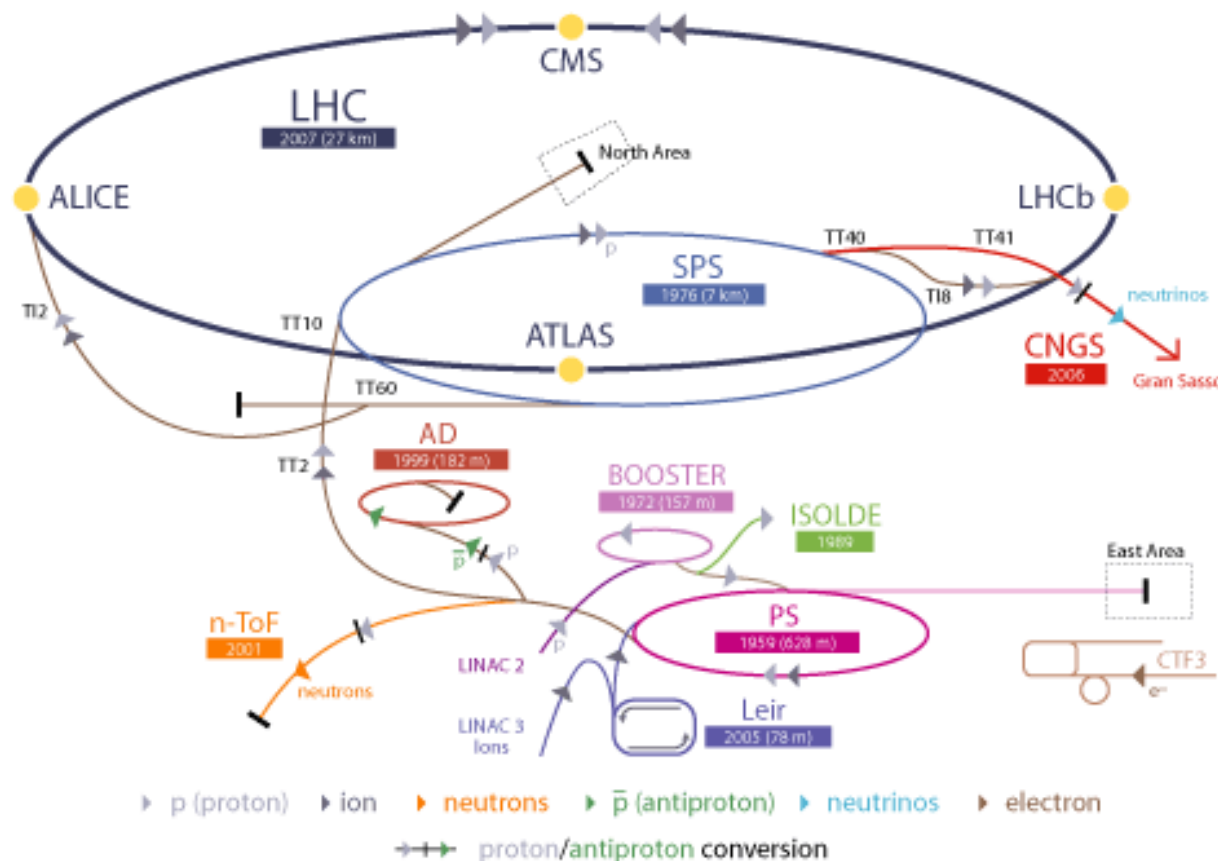
(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

Visitemos el CERN <http://outreach.web.cern.ch/outreach/visites/index.html>
o virtualmente...



Un entorno Global Science: CMS/LHC/CERN

CERN Accelerator Complex



LHC: Gran Colisionador de Hadrones
p-p @ 8 TeV

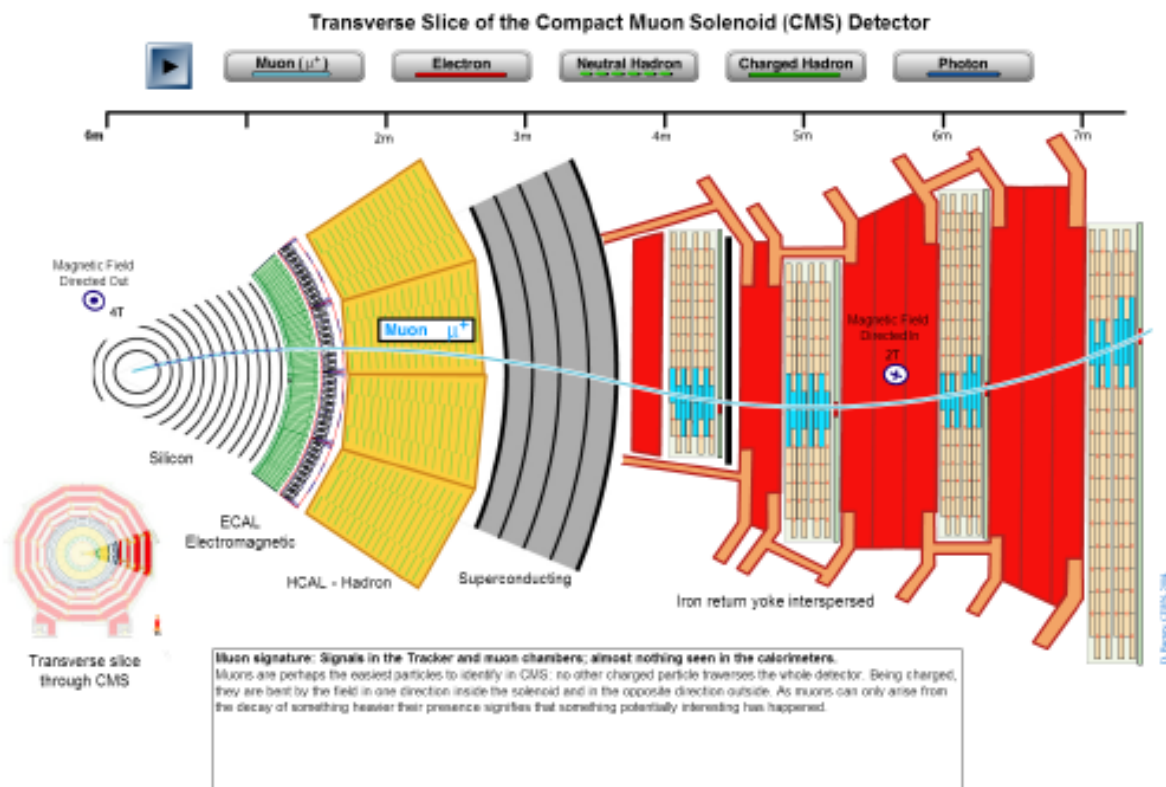
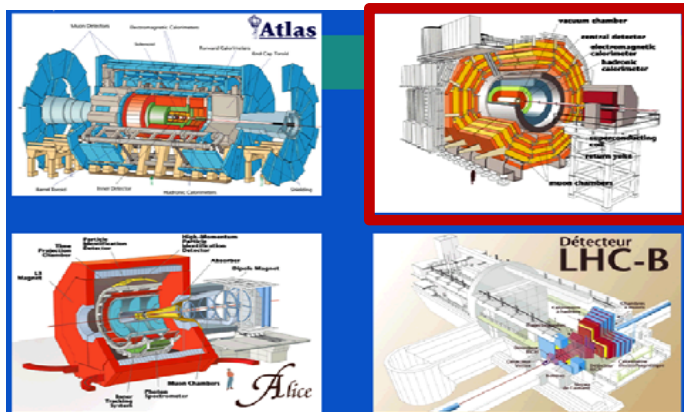
ANIMACION

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron
AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility
CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

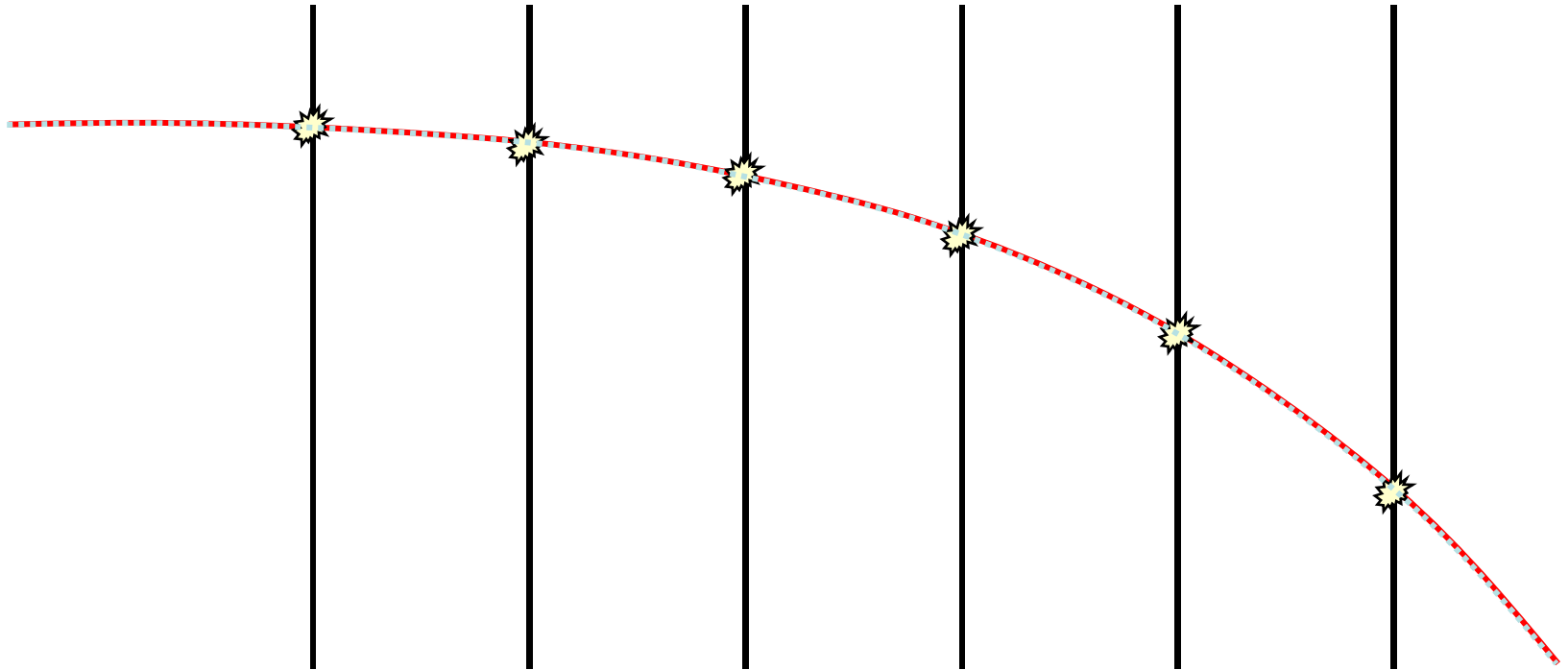
Un entorno Global Science: **CMS**/LHC/CERN

🌀 CMS: Compact Muon Solenoid

El detector más preciso instalado en LHC!



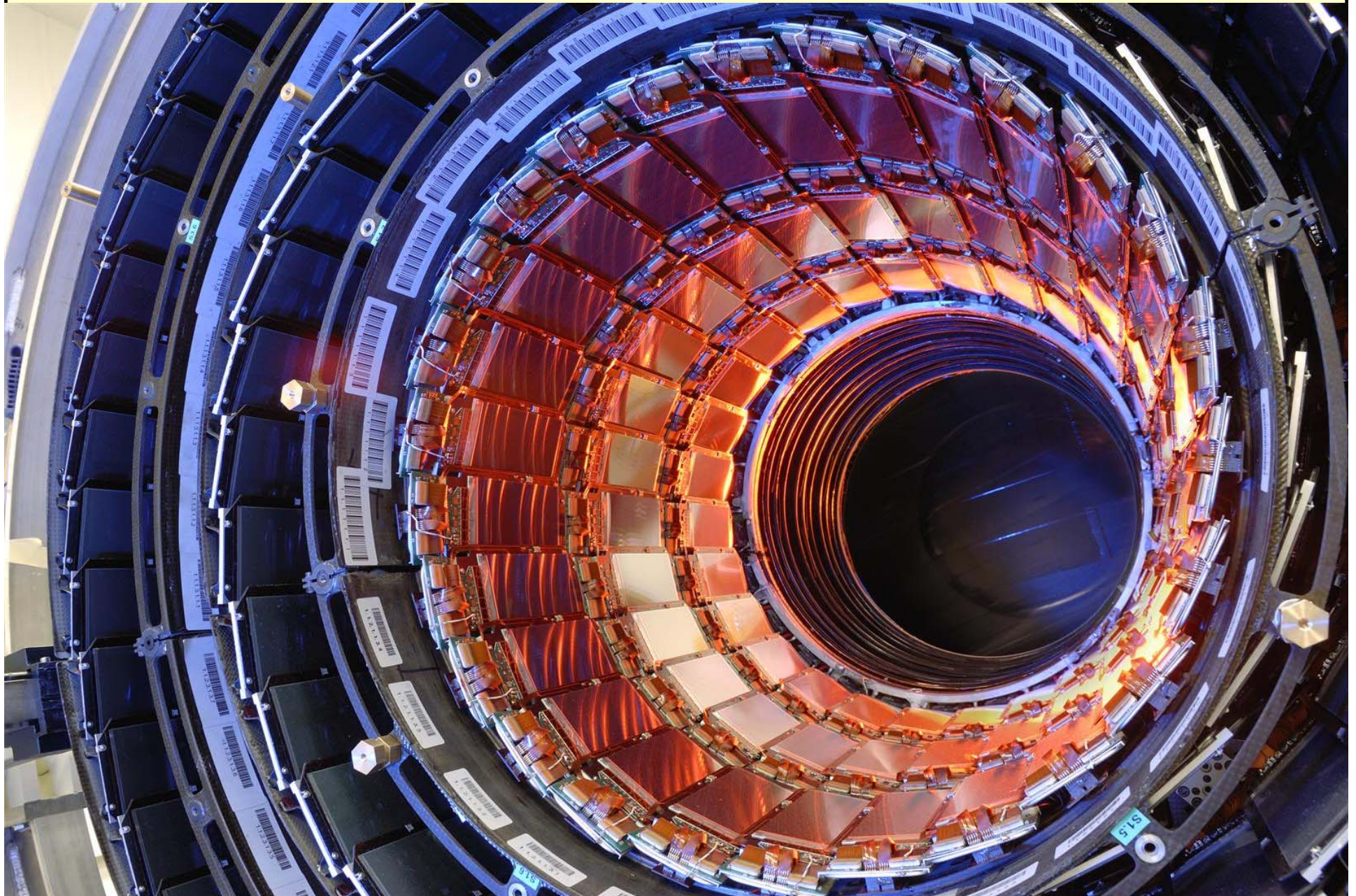
Un entorno Global Science: CMS/LHC/CERN



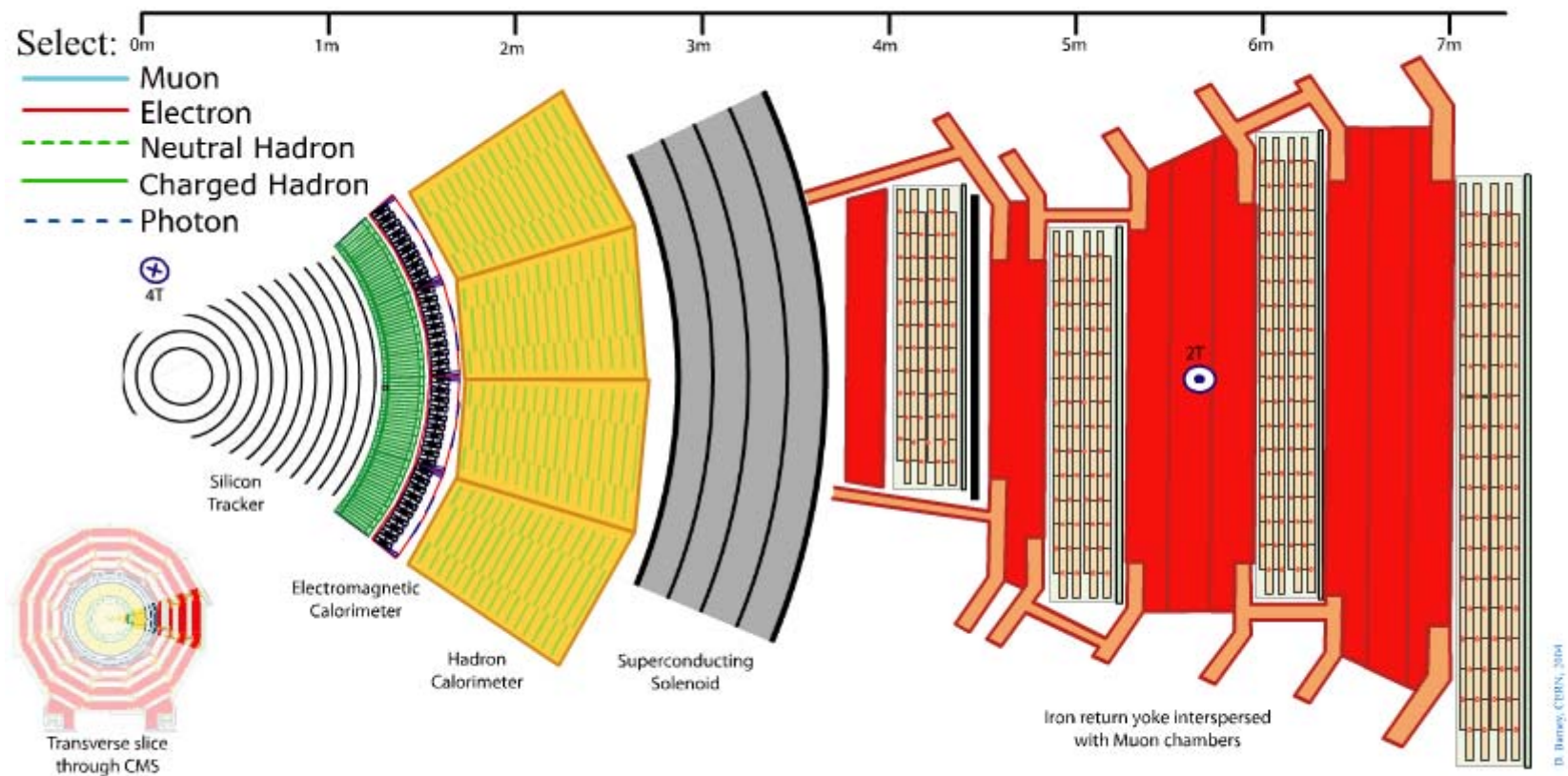
Medimos el paso de las partículas cargadas a través de capas de silicio

(Siguiendo imágenes: Presentación D.Barney, CERN)

Un entorno Global Science: CMS/LHC/CERN



Un entorno Global Science: *CMS*/LHC/CERN



Una extraordinaria maquina muy compleja...

CMS DETECTOR

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

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS

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

SUPERCONDUCTING SOLENOID

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

MUON CHAMBERS

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

PRESHOWER

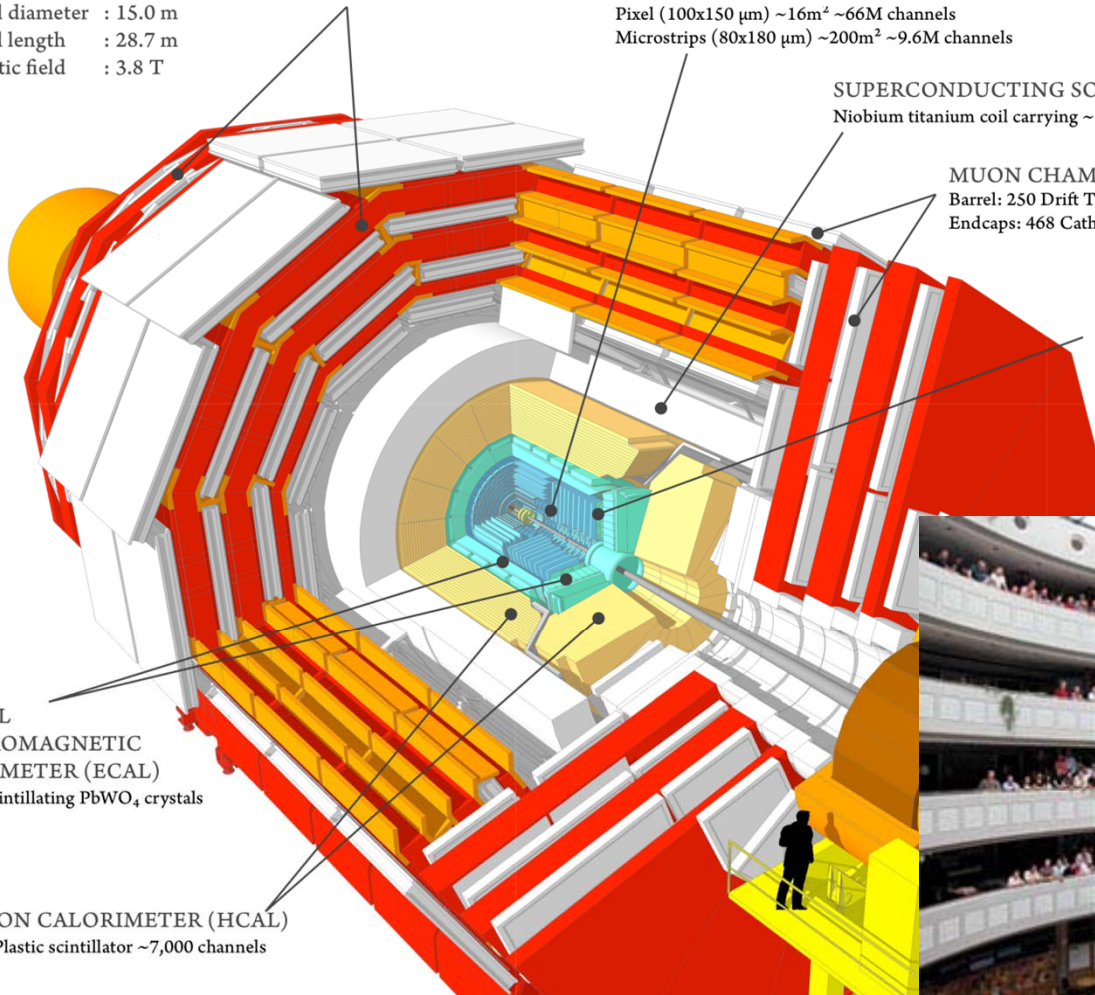
Silicon strips $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$ channels

FORWARD CALORIMETER

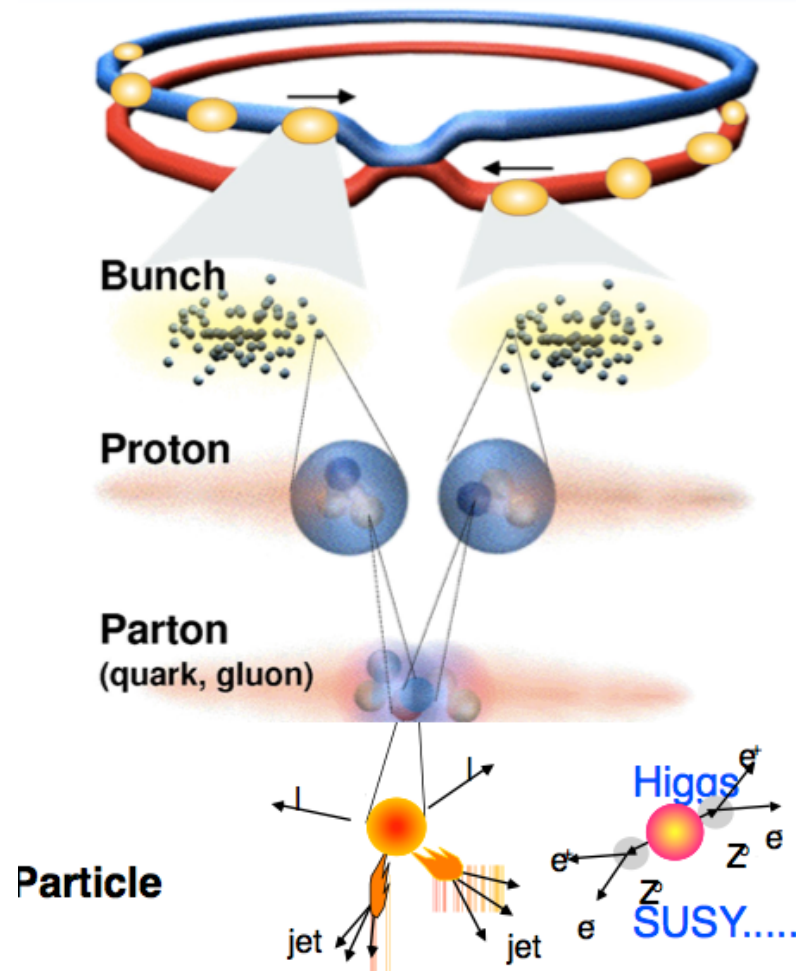
Steel + Quartz fibres $\sim 2,000$ Channels

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

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



Una extraordinaria maquina muy compleja...



Proton - Proton	2808 bunch/beam
Protons/bunch	10^{11}
Beam energy	7 TeV (7×10^{12} eV)
Luminosity	$10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Crossing rate	40 MHz
----------------------	--------

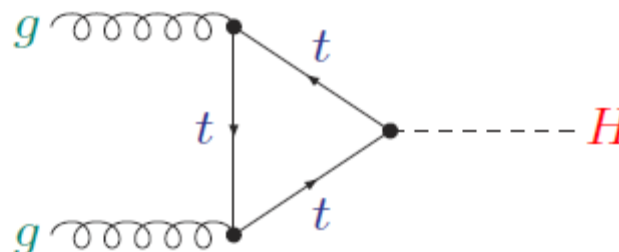
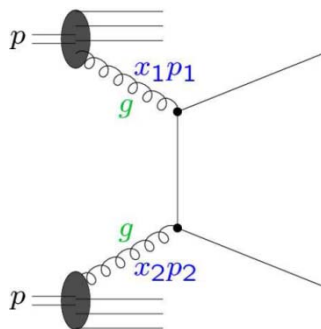
Collision rate $\approx$	10^7 - 10^9
--	-----------------

New physics rate $\approx$	.00001 Hz
--	-----------

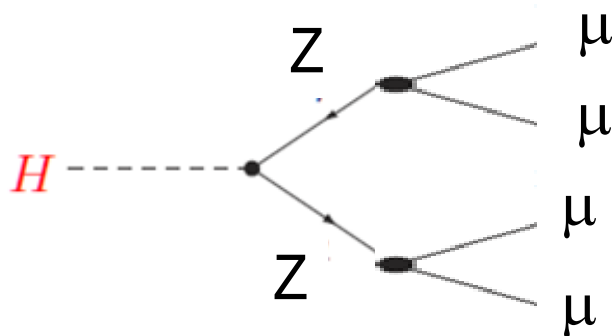
Event selection:
1 in 10,000,000,000,000

¿Cómo se produce el bosón de Higgs en las colisiones p - p en LHC?

El mecanismo principal de producción es la “fusión de gluones”

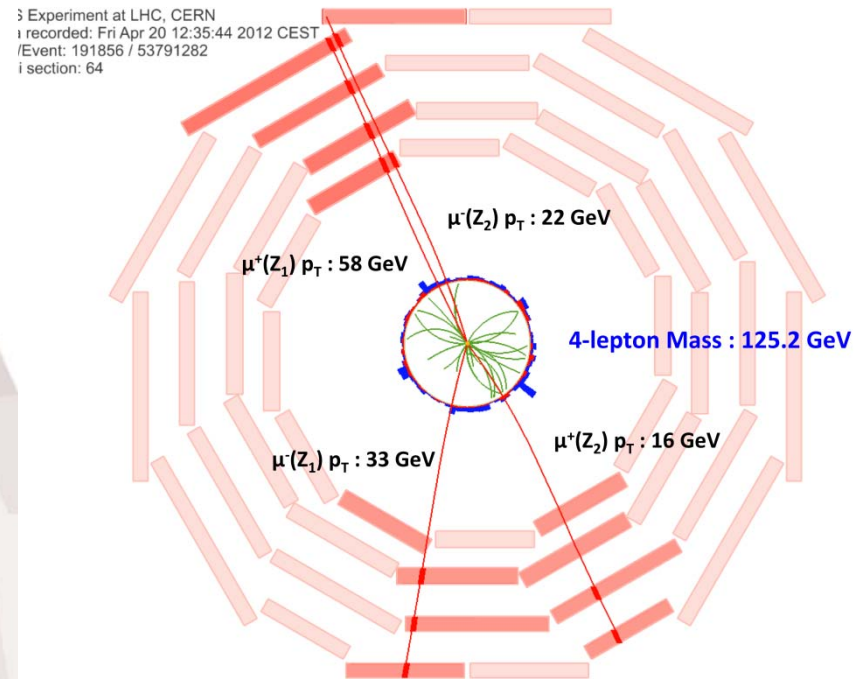
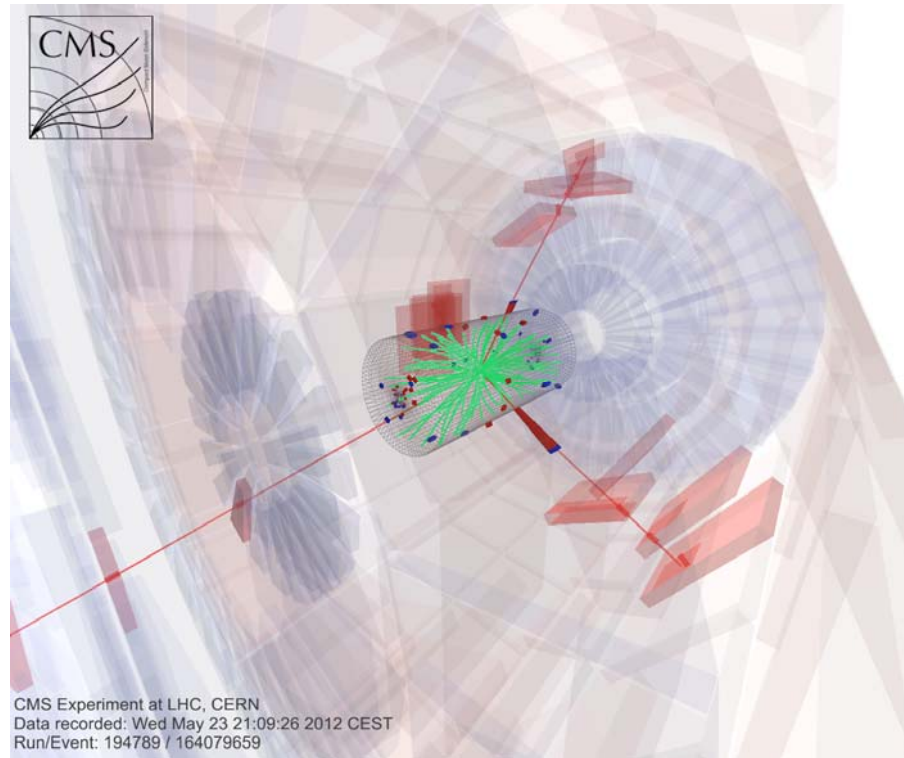


El bosón se desintegra inmediatamente, solo vemos sus “restos”, p.ej.:



Conociendo la “cinemática” de los muones (es decir, su energía y dirección) es “fácil” calcular la masa que tenía el bosón de Higgs que se desintegra, pero... **hay “ruido”**

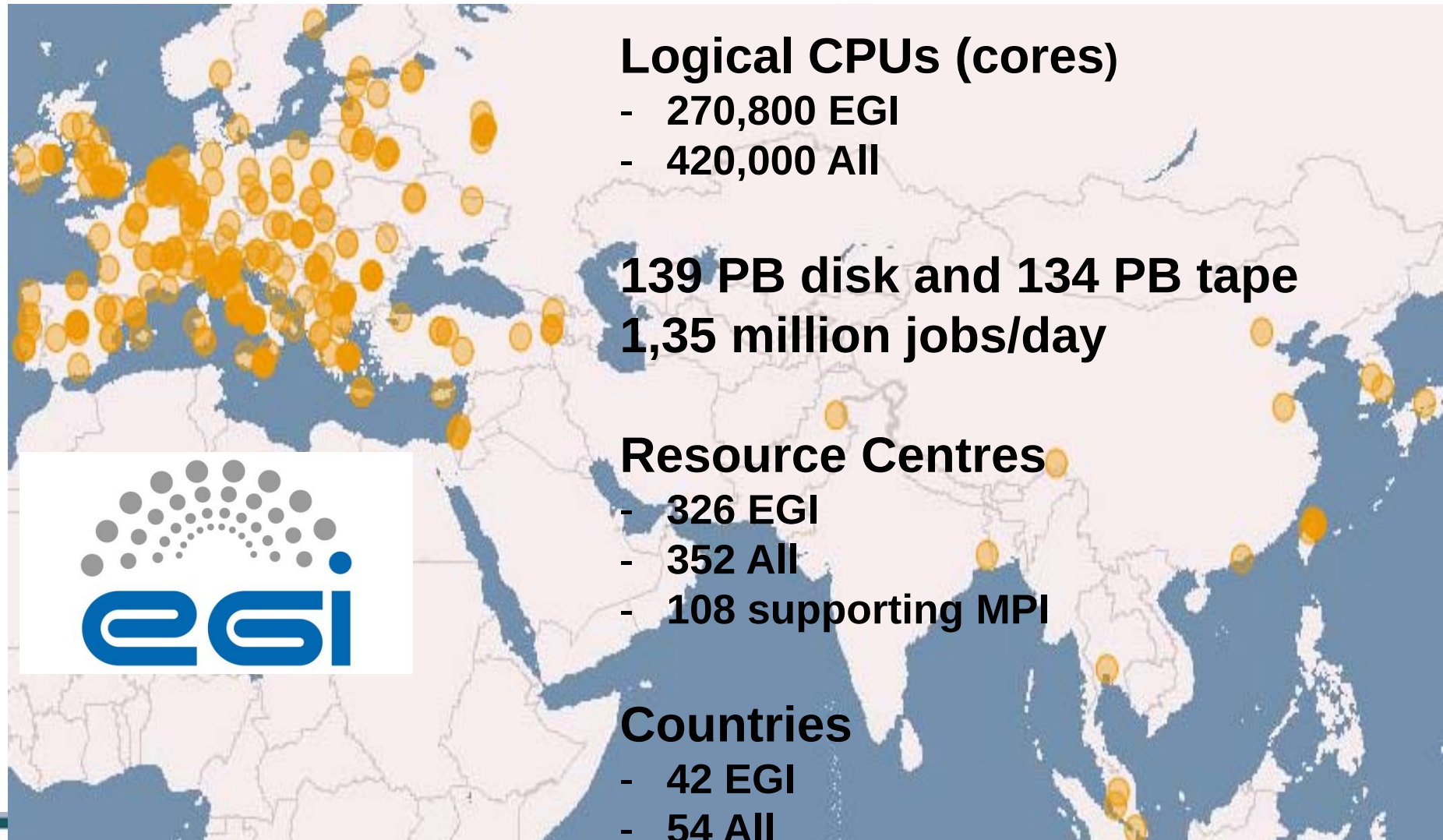
¿Cómo encontrar el bosón de Higgs?



- ¿Cómo seleccionar 1 colisión de entre 10 millones? !!!
- SIMULACIÓN DE LA SEÑAL Y EL FONDO
 - APLICAR REDES NEURONALES PARA SELECCIONAR LA SEÑAL

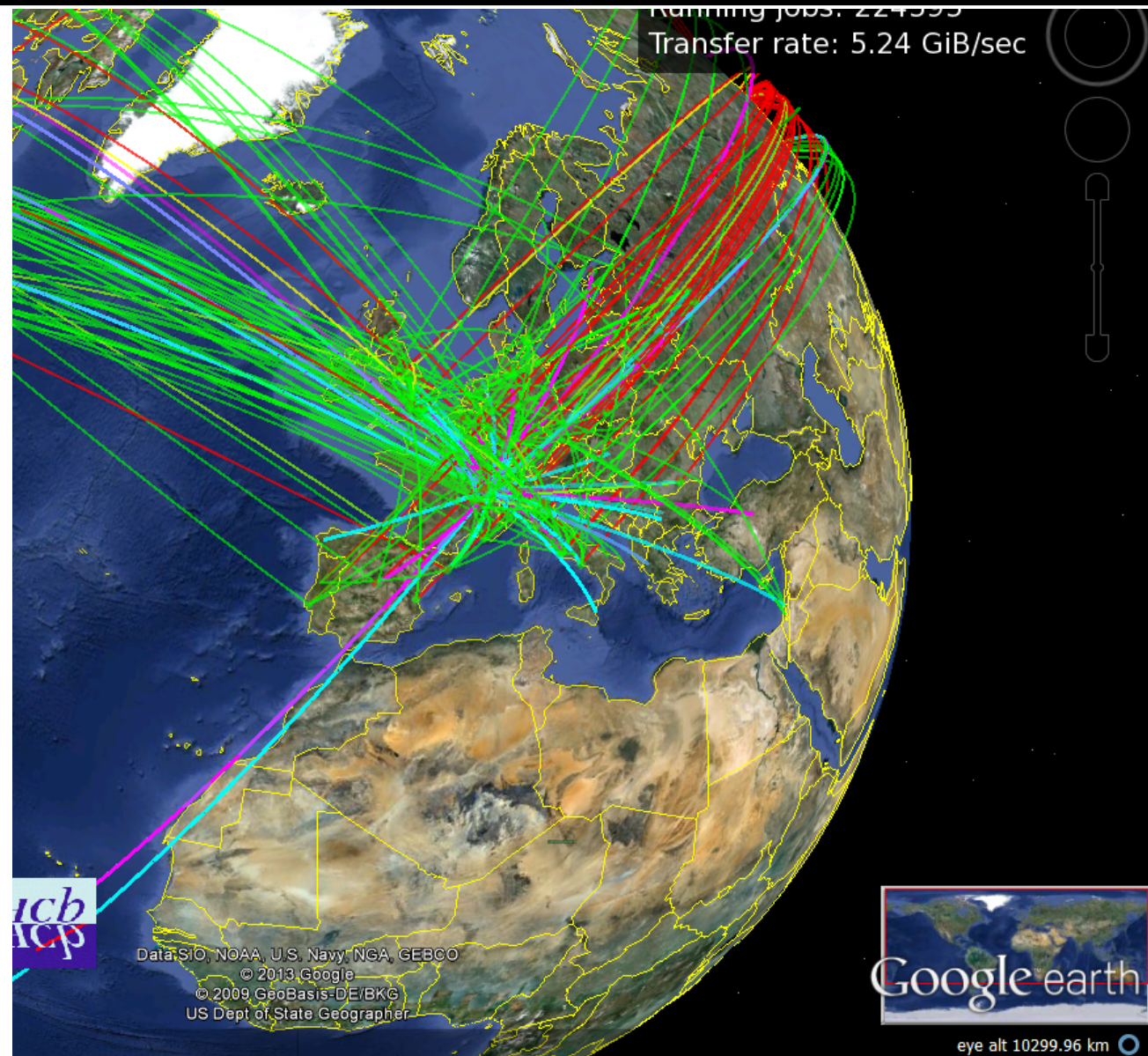
European Grid Infrastructure

(2012)



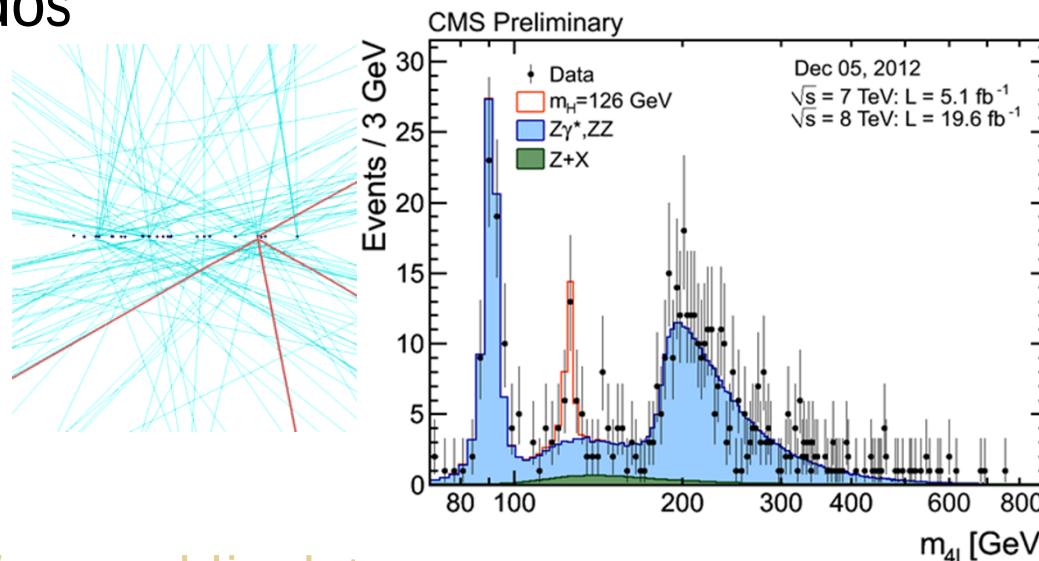
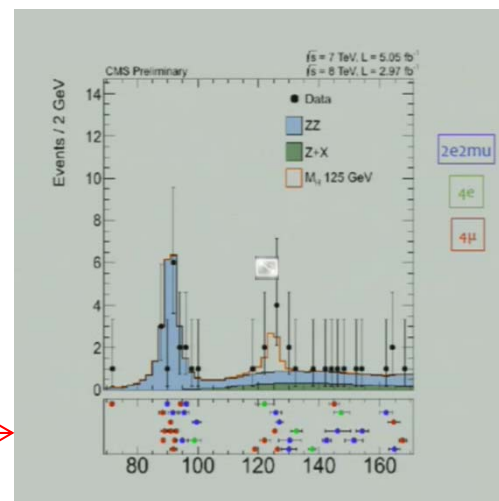
Grid en operación

- ✦ <http://wlcg.web.cern.ch/wlcg-google-earth-dashboard>
- ✦ <http://rtm.hep.ph.ic.ac.uk/webstart.php>



Cómo se cierra el ciclo

- Simulación de colisiones
- Toma de datos y procesamiento
- Decisión del análisis
- Contraste con la simulación
 - UNBLINDING! →
- Aprobación de los resultados
- Escritura final del artículo
 - REVISIÓN
- Presentación/**Publicación**
 - OPEN ACCESS



Acceso a datos públicos

<http://cms.web.cern.ch/content/cms-public-data>

Hablemos de cómo continuar aprendiendo

☉ ¿Cómo hemos aprendido hasta ahora?

⊞ Método científico

- MODELO/HIPOTESIS - EXPERIMENTO/TEST

⊞ Avance tecnología

- EXPERIMENTOS CADA VEZ MÁS COMPLEJOS
- **SIMULACIÓN REALISTA**

☉ ¿Hay algún area a la que no se aplique este método?

⊞ Desde los quarks hasta el Universo,

desde las proteínas hasta el cerebro (?),

- NO HAY “FRONTERAS” DE DISCONTINUIDAD (?)
 - Podremos algun dia simular nuestro propio desarrollo?

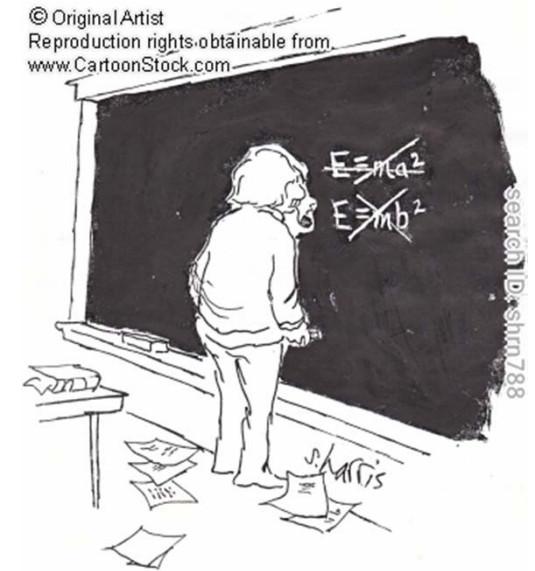
⊞ “SHOCK” de la transición de siglo:

- BASES BIOLÓGICAS DE LA CONCIENCIA

Hablemos de cómo continuar aprendiendo

❁ ¿Cuál es el límite del cerebro humano?

- ❁ Una evolución de cientos de miles de años, es equivalente a una demográfica (de miles de millones)?
- ❁ Einstein desarrolló la Relatividad Especial (1905) y luego la Relatividad General (1915), comprobada experimentalmente en 1919
- ❁ En paralelo, muchos físicos muy brillantes desarrollaron la física cuántica, la teoría cuántica de campos, y el modelo estándar de partículas, con la guía de los resultados experimentales
- ❁ ¿Seremos capaces de desarrollar algún día una nueva teoría que suponga un salto en nuestra comprensión (aunque no sea la ToE = Theory of Everything)?
- ❁ ¿Será la teoría de strings esta teoría? Un increíble esfuerzo teórico de los últimos 30 años realizado por una comunidad de primera línea



Hablemos de cómo continuar aprendiendo

- ✪ ¿Cómo surgen nuevos modelos en Ciencia Colaborativa?
 - ✪ “A Philosophical Experiment: An Empirical Study of Knowledge Production at the LHC” (A.Borrelli, Wuppertal University)
- ✪ *¿Se puede mejorar la conexión entre cerebros?*
 - ✪ No lo sé...
- ✪ Sabemos conectar los ordenadores, si los supercomputadores llegan a competir con el cerebro, podríamos dar un salto en nuestro conocimiento?
 - ✪ No entendemos cómo funciona nuestro cerebro
 - Proyecto HUMAN BRAIN
 - ✪ No sabemos (AUN) modelar el conocimiento para generar nuevo conocimiento
 - ✪ Los computadores SI escalan en RENDIMIENTO
 - ✪ ¿podríamos entender lo que descubrieran los computadores?

Entonces, ¿ahora qué?

Una imagen personal de la evolución de los componentes del Modelo Estándar en los últimos 30 años:

✚ **1983, SppS, CERN**

- ✚ Descubrimiento de los bosones pesados: Z, W

✚ **1989, LEP**

- ✚ Límite de 3 generaciones de neutrinos
- ✚ Acuerdo perfecto de medidas de precisión del bosón Z con el SM

✚ **1995, FERMILAB**

- ✚ Descubrimiento del quark top, masa 175 GeV

✚ **2000, Final de LEP (límite masa del bosón de Higgs: >114 GeV)**

✚ **LA PREGUNTA (AL FINAL DEL AÑO 2000): ¿qué veremos en LHC?**

- ✚ No encontramos el bosón de Higgs
- ✚ Descubrimos el bosón de Higgs y tiene <130 GeV
- ✚ Descubrimos el bosón de Higgs y tiene >130 GeV

Entonces, ¿ahora, qué?

Algunos “problemas” del Modelo Estándar

- ✚ ¿POR QUÉ TRES GENERACIONES DE PARTICULAS ELEMENTALES?
- ✚ ¿POR QUE SUS MASAS SON TAN DIFERENTES?
- ✚ AJUSTES FINOS
- ✚ ¿DONDE ESTA LA MATERIA OSCURA?
- ✚ ¿Y LA ENERGÍA OSCURA?

Entonces, ¿ahora, qué?

“Realmente”, ¿qué sabemos/entendemos?

- ✚ **CONCEPTO DE PARTÍCULA**

- ✚ Ligado al concepto de “campo”
- ✚ Antipartículas

- ✚ **MASA**

- ✚ **SPIN**

- ✚ **CARGA**

- ✚ **SIMETRÍAS**

- ✚ Carga, Paridad, Tiempo, CPT

- ✚ **ESTRUCTURA ESPACIO-TIEMPO**

- ✚ ¿El espacio-tiempo es discreto?
- ✚ ¿Cuántas dimensiones hay? *¿Somos Hormigas o Gigantes?*
- ✚ **¿Qué es el tiempo?**
- ✚ **¿Que es el vacío?**

Entonces, ¿ahora, qué?

Realmente, ¿que sabemos/entendemos de la masa?

- ☉ **La masa es una magnitud invariante relativista**

- ☒ Solo las partículas con masa nula pueden viajar a la velocidad de la luz en el vacío **(que otras partículas, aparte del fotón, tienen masa nula?)**
- ☒ Las demás partículas tienen una velocidad (propagación información) inferior
- ☒ **La masa de un protón no es la suma de la masa de los quarks y gluones que lo componen, sino que depende de su energía de “enlace”**

- ☉ **El campo de Higgs proporciona masa a las partículas**

- ☒ Minute Physics

- ☉ **¿ Pero qué define los valores de los acoplamientos, es decir, de las masas ? ¿Por qué son tan diferentes?**

Entonces, ¿ahora, qué?

Realmente, ¿que sabemos/entendemos del spin?

- ✪ **El spin de una partícula es una característica muy importante:**
 - ✦ Las partículas con spin entero (0,1,2...) son bosones
 - ✦ Las partículas con spin semientero (1/2, 3/2...) son fermiones
- ✪ **El spin se justifica en la teoría cuantica relativista**
- ✪ **Entendemos el principio de exclusión de Pauli, la conexión spín-estadística y la conservación CPT**
- ✪ **SUPERSIMETRIA (SUSY):**
 - ✦ partículas y s-partículas (bosones $\leftrightarrow$ fermiones)
 - ✦ Méritos:
 - Solucionan “ajuste fino” en los cálculos
 - Convergencia de las fuerzas
 - Candidatos Materia Oscura
 - **Predicción concreta: hay un bosón de Higgs con masa <130 GeV**

Entonces, ¿ahora, qué?

- ❖ ¿Qué impacto ha tenido el descubrimiento?
 - ❑ ~300 artículos publicados hacen ya referencia al descubrimiento
 - ❑ Todo tipo de modelos de extensión del SM
 - ❑ Proponiendo “soluciones” a posibles “discrepancias” con el SM
- ❖ Los datos tomados desde Julio a Diciembre “confirman” que la partícula observada tiene las características esperadas del bosón de Higgs
 - ❑ ACOPLAMIENTOS / MODOS DE DESINTEGRACIÓN
 - ❑ CINEMÁTICA DE LA DESINTEGRACIÓN: SPIN (0) y PARIDAD

Entonces, ¿ahora, qué?

Contact: cms-pag-conveners-higgs@cern.ch

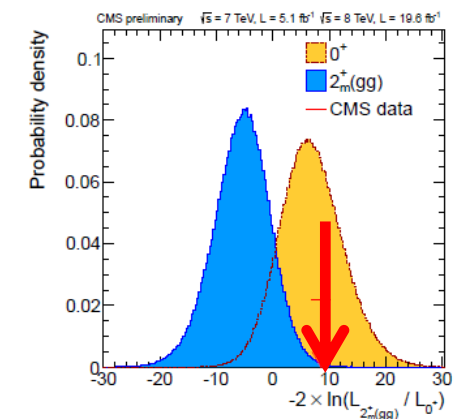
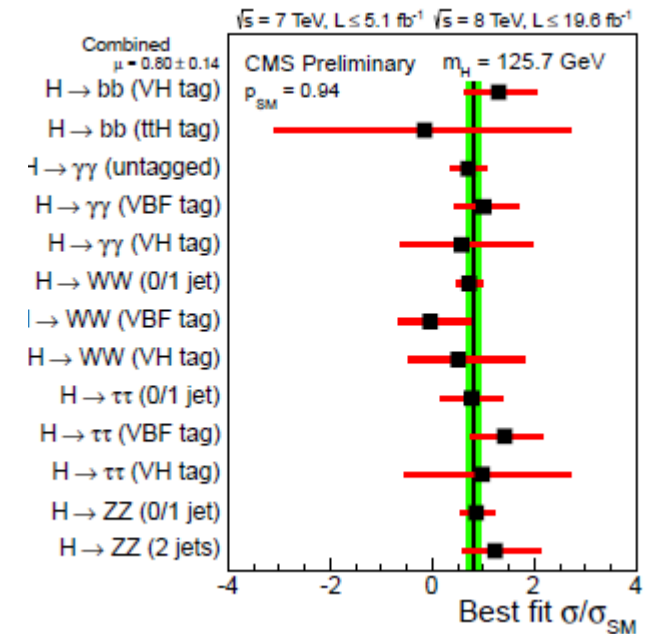
2013/04/17

Measurements of the properties of the new boson with a mass near 125 GeV

The CMS Collaboration

Abstract

Measurements of the properties of the recently discovered boson with a mass near 125 GeV are presented. The results are based on data samples corresponding to integrated luminosities of up to 5.1 fb^{-1} at 7 TeV and up to 19.6 fb^{-1} at 8 TeV in proton proton collisions at the LHC. Five decay modes are studied: $\gamma\gamma$, ZZ , WW , $\tau\tau$, and bb . The mass of the new boson is measured to be $125.7 \pm 0.3 \text{ (stat.)} \pm 0.3 \text{ (syst.) GeV}$. The event yields obtained by the different analyses targeting specific decay modes and production mechanisms are consistent with those expected for the standard model (SM) Higgs boson. The best-fit signal strength for all channels combined, expressed in units of the SM Higgs boson cross section, is 0.80 ± 0.14 at the measured mass. The consistency of the couplings of the observed boson with those predicted for the SM Higgs boson is tested in various ways, and no significant deviations are found.



Entonces, ¿ahora, qué?

necesitamos

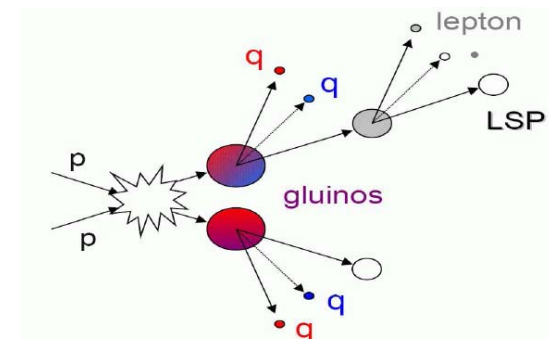
❖ Pero nosotros ~~podemos~~ seguir aprendiendo:

❖ Estamos ahora mismo en el LONG SHUTDOWN 1

❖ **2015: LHC @ 13 TEV**

❖ Es posible que:

- Aparezca SUSY
 - Producción de partículas supersimétricas
 - Candidatos de materia oscura
 - Efectos indirectos
- Encontremos efectos de dimensiones extra
- Surja algo completamente nuevo !



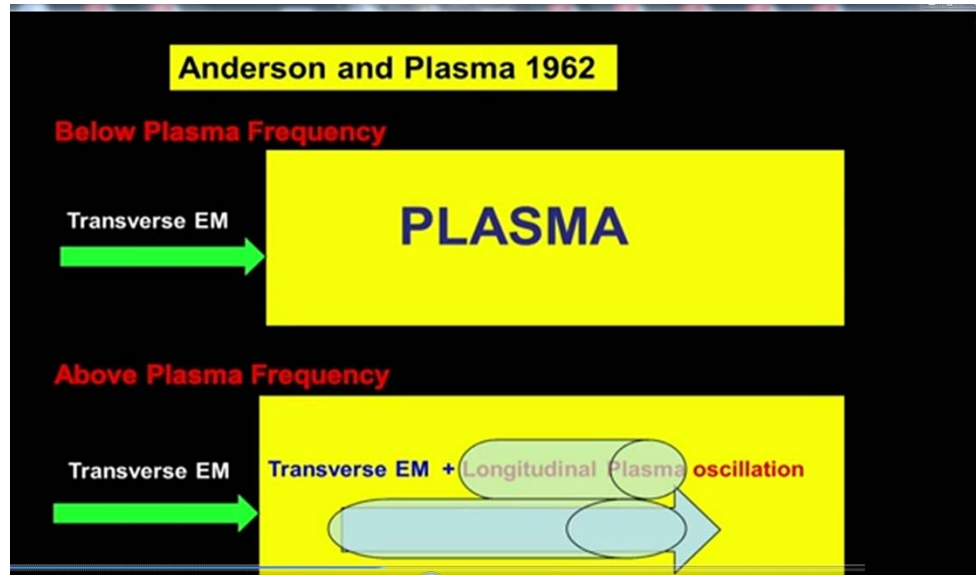
¡Espero que nos volvamos a ver, MUCHAS GRACIAS!

Explicación del Bosón de Higgs para la prensa

- 🌀 Rueda de prensa del descubrimiento (min. 10)

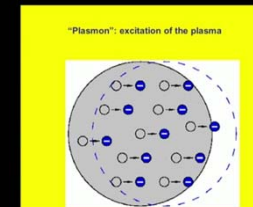
Extras: que es el bosón de Higgs

⊕ Bosón de Higgs y Plasmones (Frank Close talk)



The vacuum is not nothing

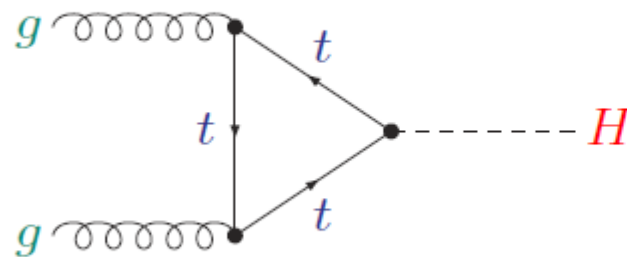
Its filled with “electroweak plasma”



Excite this “electroweak plasma”
Plasmon => Higgson

Producción y desintegración del bosón de Higgs

Gluon-Fusion:



WBF:

