

El LHC

La máquina que NO va a destruir el mundo

Jürgen Engelfried

Instituto de Física
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
México

Ciencia en el Bar
San Luis Potosí, 5 de Noviembre 2008

Outline

- 1 Introducción a Partículas Elementales, Aceleradores
- 2 El LHC y los Experimentos
- 3 Posibles Escenarios Catastróficos

Las Partículas Elementales (siglo XIX)

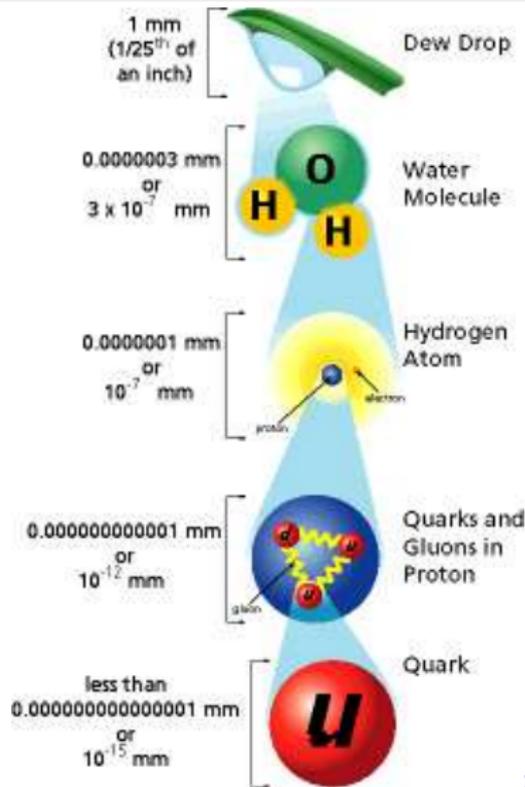
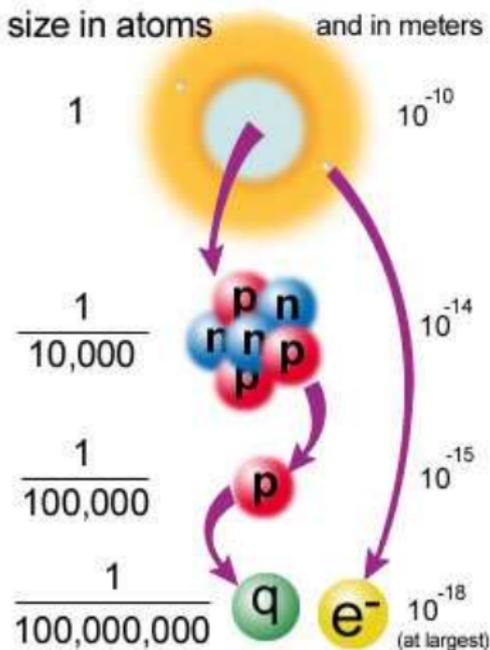
Table 4.1. Revised 2008 by C.G. Wohl (LBNL), D.E. Groom (LBNL), and E. Bergren. Atomic weights of stable elements are adapted from the Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights, "Atomic Weights of the Elements 2007," <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/AtW/>. The atomic number (top left) is the number of protons in the nucleus. The atomic mass (bottom) of a stable element is weighted by isotopic abundances in the Earth's surface. If the element has no stable isotope, the atomic mass (in parentheses) of the most stable isotope currently known is given. In this case the mass is from <http://www.nndc.bnl.gov/ndc/mastable/Ame2003/mass.mas03> and the longest-lived isotope is from www.nndc.bnl.gov/ensdf/za_form.jsp. The exceptions are Th, Pa, and U, which do have characteristic terrestrial compositions. Atomic masses are relative to the mass of ^{12}C , defined to be exactly 12 unified atomic mass units (u) (approx. g/mole). Relative isotopic abundances often vary considerably, both in natural and commercial samples; this is reflected in the number of significant figures given. As of early 2008 element 112 has not been assigned a name, and there are no confirmed elements with $Z > 112$.

I IA																												18 VIIIA											
1 Hydrogen 1.00794		2 IIA																13 IIIA		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA		2 Helium 4.002602											
PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS																		5 Boron 10.811		6 Carbon 12.0107		7 Nitrogen 14.0067		8 Oxygen 15.9994		9 Fluorine 18.9984032		10 Neon 20.1797											
3 Li 6.941		4 Be 9.012182		11 Na 22.98976928		12 Mg 24.3050		3 IIIB		4 IVB		5 VB		6 VIB		7 VIIB		8 VIII		9 VIII		10		11 IIB		12 IIB		13 Aluminum 26.9815386		14 Silicon 28.0855		15 Phosph. 30.973762		16 Sulfur 32.065		17 Chlorine 35.453		18 Argon 39.948	
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Scandium 44.955912	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938045	26 Fe 55.845	27 Co 58.933195	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.92160	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798	37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.96	43 Tc (97.90722)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.293				
55 Cs 132.9054519	56 Ba 137.327	57-71 Lanthanides	72 Hf 178.49	73 Ta 180.94788	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.084	79 Au 196.966569	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98040	84 Po (208.98243)	85 At (209.98715)	86 Rn (222.01758)	87 Fr (223.01974)	88 Ra (226.02541)	89-103 Actinides	104 Rf (261.108)	105 Db (268.102)	106 Sg (271.103)	107 Bh (270.103)	108 Hs (269.103)	109 Mt (276.103)	110 Ds (281.103)	111 Rg (280.103)	112										
Lanthanide series		57 La 138.90547	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.242	61 Pm (144.91275)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92535	66 Dy 162.500	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.054	71 Lu 174.9668																							
Actinide series		89 Ac (227.02775)	90 Th 232.03806	91 Pa 231.03588	92 U 238.02891	93 Np (237.04817)	94 Pu (244.06420)	95 Am (243.06138)	96 Cm (247.07035)	97 Bk (247.07031)	98 Cf (251.07959)	99 Es (252.0830)	100 Fm (257.09510)	101 Md (258.09843)	102 No (259.1010)	103 Lr (262.110)																							

4. PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

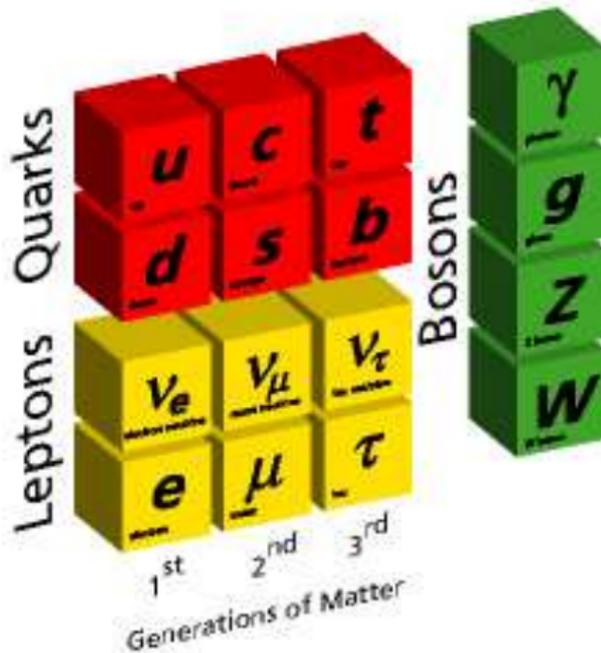
4. Periodic table of the elements

Las Partículas Elementales Hoy



Las Partículas Elementales Hoy (Cont.)

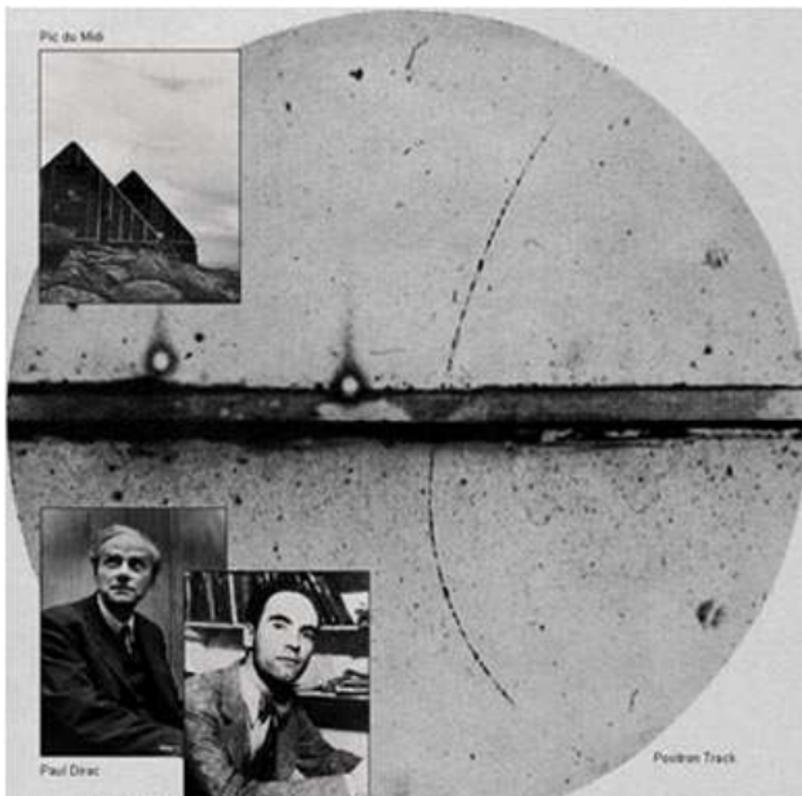
Elementary Particles



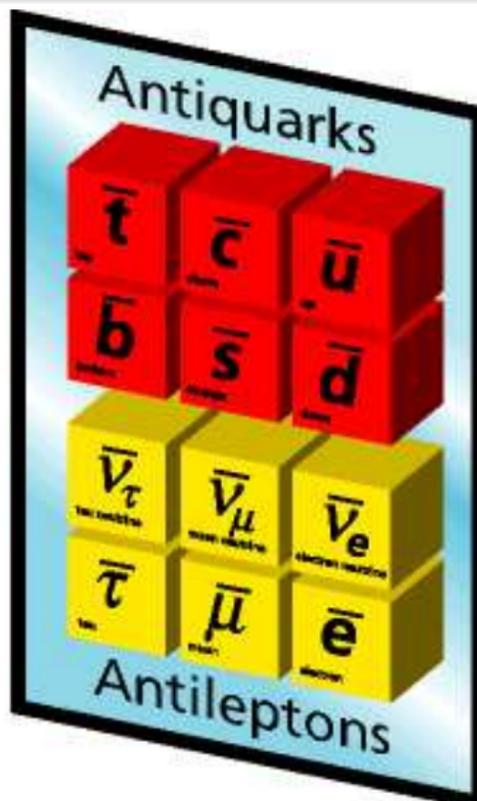
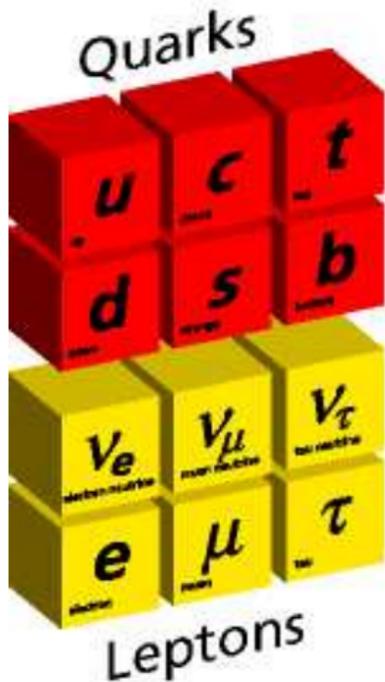
Las Partículas Elementales Hoy (Cont.)

- 6 Quarks y 6 Leptones son “elementales” ($< 10^{-18}$ m)
- Masas de los quarks: $2 \text{ MeV}/c^2 - 174 \text{ GeV}/c^2$
- Masa del electrón: $0.511 \text{ MeV}/c^2$
- Masas de los neutrinos: Casi 0.
- Primera Generación (u, d, e) forman la materia “normal”
 - Protón: uud , Neutrón: udd
- Baryones: Compuesto de 3 quarks (como protón)
Mesones: Compuesto de 1 quark, 1 antiquark
- **No sabemos por que hay exactamente 3 generaciones**
- **Las masas son parametros libres en la teoría**

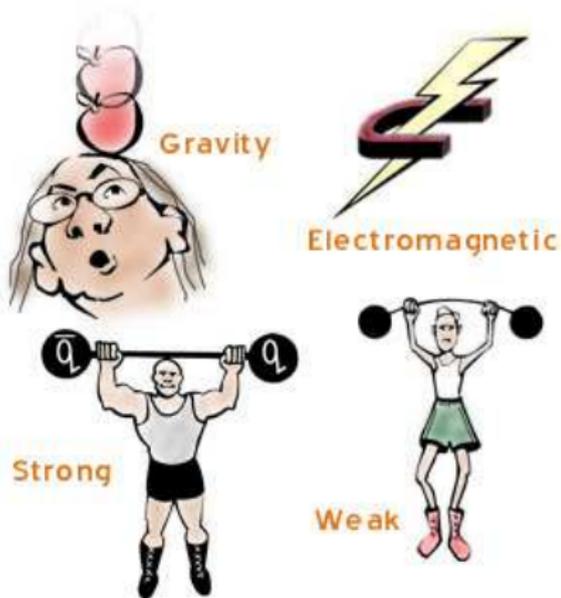
Anti-Partículas



Anti-Partículas



Interacciones (Fuerzas)



- 4 Interacciones Básicas
- Débil y Electromagnética son unificadas
- ≥ 100 GeV: Débil más fuerte que EM
- Cada Interacción tiene sus mediadores
 - EM: Fotón γ , Masa 0
 - Fuerte: Gluón, Masa 0
 - Débil: Z^0 , W^+ , W^- , Masas 80,90 GeV
- No hay teoría cuantizada para Gravitación

Problemas en la Unificación de Fuerzas

- En cada unificación entran bosones de norma (mediadores) sin masa
- Unificación EM-Débil (en los 1960's): Sólo hay un mediador sin masa – el fotón.
- Posible (y más sencilla) solución: Hay un campo escalar por todo el universo con un valor de expectación no-cero en el origen que acopla a las partículas y les da una “masa”
 - Rompimiento de la Simetría (potencial de sombrero)
 - Mecanismo de “Higgs”

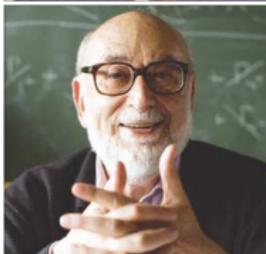
Rompimiento de la Simetría, Higgs



Yoichiro Nambu
Premio Nobel 2008



Robert Brout



François Englert



Peter Higgs

Interacción Débil

- Otras Interacciones conservan todos los Números Cuánticos
- 1956: Interacción Débil viola \mathcal{P} (y \mathcal{C})
- 1964: Interacción Débil viola \mathcal{CP}
- ~ 2000 : Interacción Débil viola \mathcal{T}
- Teoría: Se debe conservar \mathcal{CPT}

Interacción Débil (Cont.)

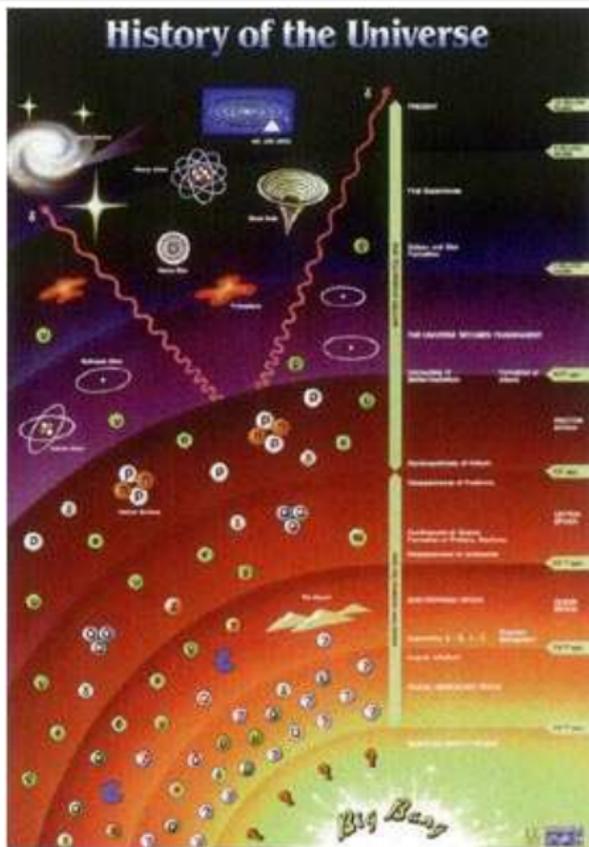
- Desintegración de quarks pesados a quarks más ligeros:
Sólo via Interacción Débil (mediador es un W^\pm)
(no hay FCNC)
- Probabilidades dependen de una matriz que describe la rotación de los eigen-estados de la masa (y fuerte) a la interacción débil:
Matriz Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (Premio Nobel 2008)
- Matriz tiene elementos complejos que describen la violación de CP ...
- ... pero sólo explica una parte de la Asimetría Materia–AntiMateria del universo



Cabibbo (con otros famosos)



Makoto Kobayashi
Toshihide Maskawa
Premios Nobel 2008



Resumen de Partículas

- 6 quark, 6 leptones, con Spin 1/2
- Mediadores de las Interacciones con Spin 1
 - γ , gluón sin masa
 - W^\pm, Z^0 : “Muy pesados” (Mecanismo de Higgs)
- No hay teoría fundamental para calcular las masas de las partículas elementales
- Interacción Débil: Viola de Conservación de \mathcal{P} , \mathcal{C} , \mathcal{CP} y \mathcal{T} .
- Interacción Débil: Matriz de Rotación CKM para los quarks (y otra para los neutrinos)

Posibles Descubrimientos “Convencionales” del LHC

- Partícula de Higgs
- Super-Simetría (SUSY)
 - Quiere solucionar el “problema” de por que las partículas elementales son fermiones y los mediadores son bosones
 - Introduce una pareja con el otro spin
 - Trivialmente tienen masa igual, pero la simetría está rota.
 - Problema: Muchos Parámetros adicionales
 - Lo Bueno: El LSP (lightest supersymmetric particle) candidato para la materia oscura
- ¿ Sub-Estructura de los quarks y leptones ?
 - ¿ Los quarks tienen $1/3$ y $2/3$ de la carga del electrón?
 - ¿ 3 Generaciones?
- Extra Dimensiones (Kalutza-Klein)

Por que Aceleradores?

2 razones principales

- Einstein 1905: $E = mc^2$
Más Energía \Rightarrow Producción de partículas más pesadas
- Einstein 1905, deBroglie 1923: Dualismo Onda \Leftrightarrow Partícula

$$E_\gamma = h\nu$$

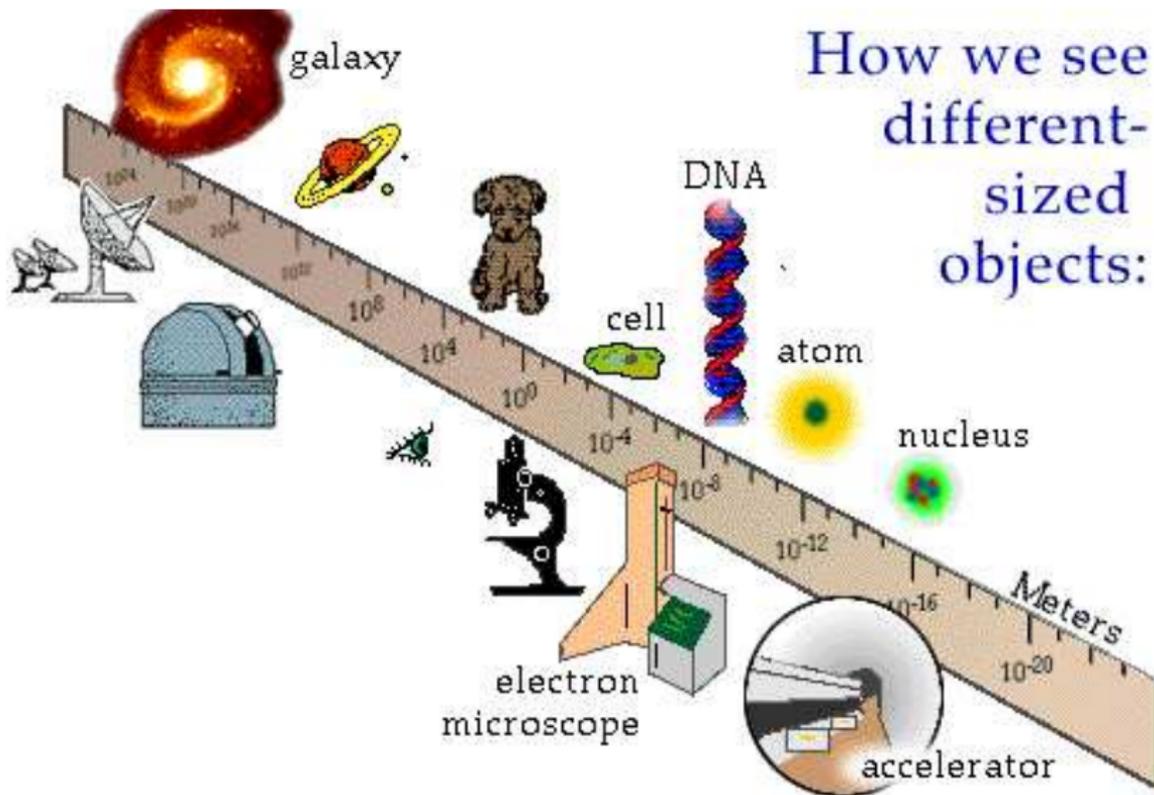
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Resolver un objeto: longitud de onda menor que el tamaño

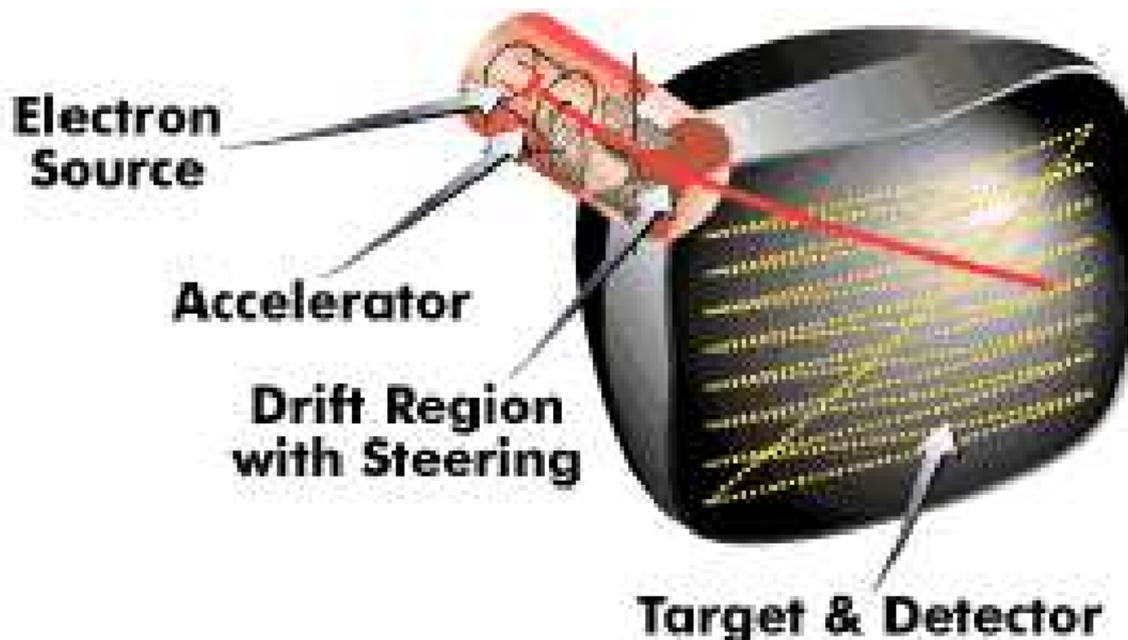
Ejemplo: Microscopio de luz visible: $> 0.5 \mu\text{m}$

Para algo más pequeño: Microscopio de Electrones

How we see different- sized objects:



El acelerador más frecuente



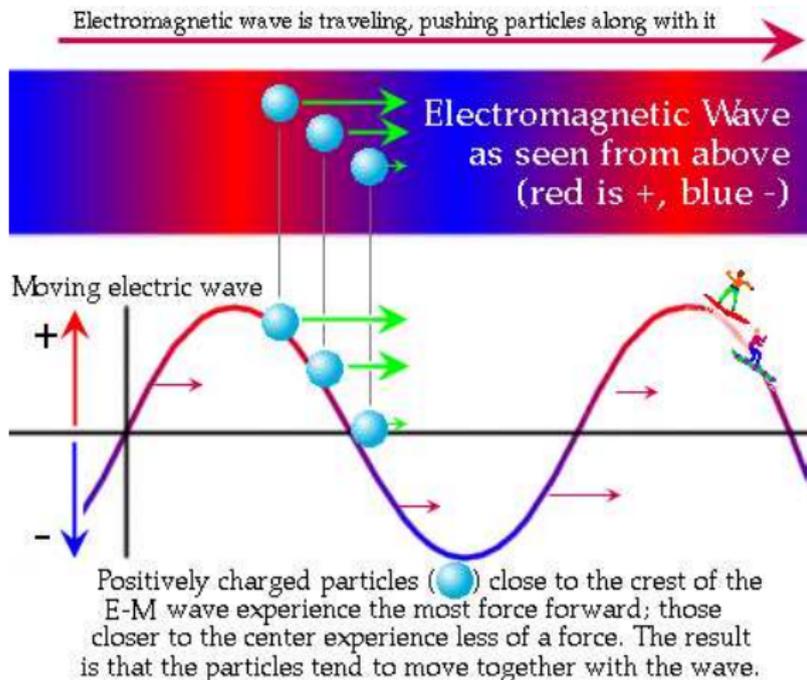
Voltaje de aceleración: 15 kV (15,000 V) DC

Muchas teles...



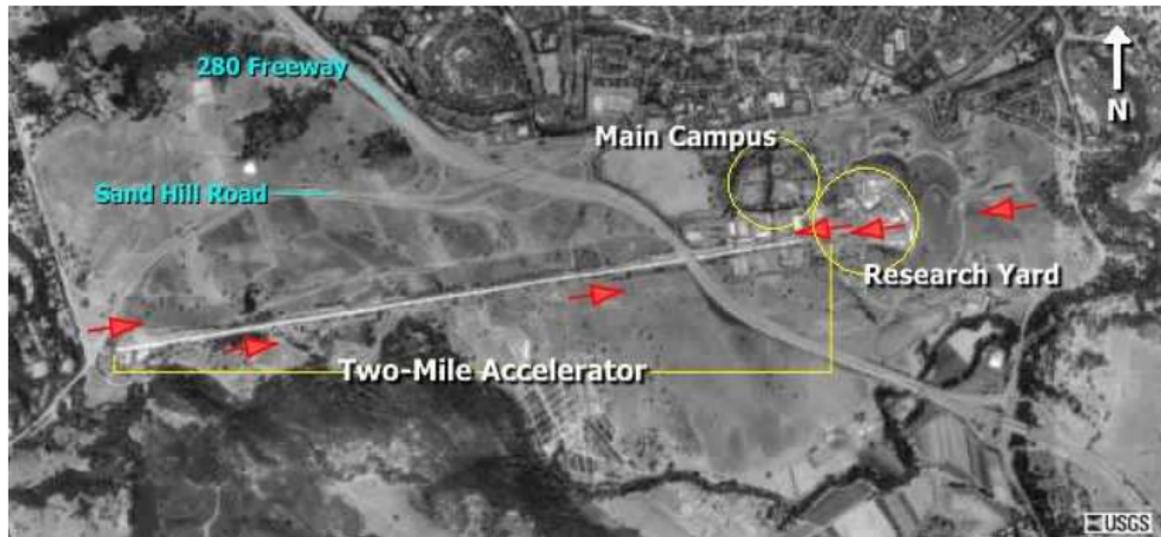
Voltaje: 800 MeV (800,000,000 V) AC

Aceleración con AC



Partículas se agrupan automáticamente en paquetes

Acelerador Lineal en Stanford



3 km de longitud, electrones (y positrones) hasta 50 GeV

Acelerar a Energías más altas

- Máximo Gradiente de Aceleración (AC): $\sim 10 \text{ MeV/metro}$
- Re-usar la misma etapa de aceleración varias veces:
⇒ Campo Magnético para que las partículas den vuelta.
- Partículas más rápidas (relativistas) son más pesadas
Radio fijo: Se sube el campo magnético en sincronización con el aumento de energía
- Para protones: Para radio dado (tunel) la máxima energía es dada por el campo magnético máximo posible
 - Electro-Imanes convencionales: 2.5 Tesla.
 - Superconductivos: 9.5 Tesla (LHC)

Acelerar a más altas Energías (Cont.)

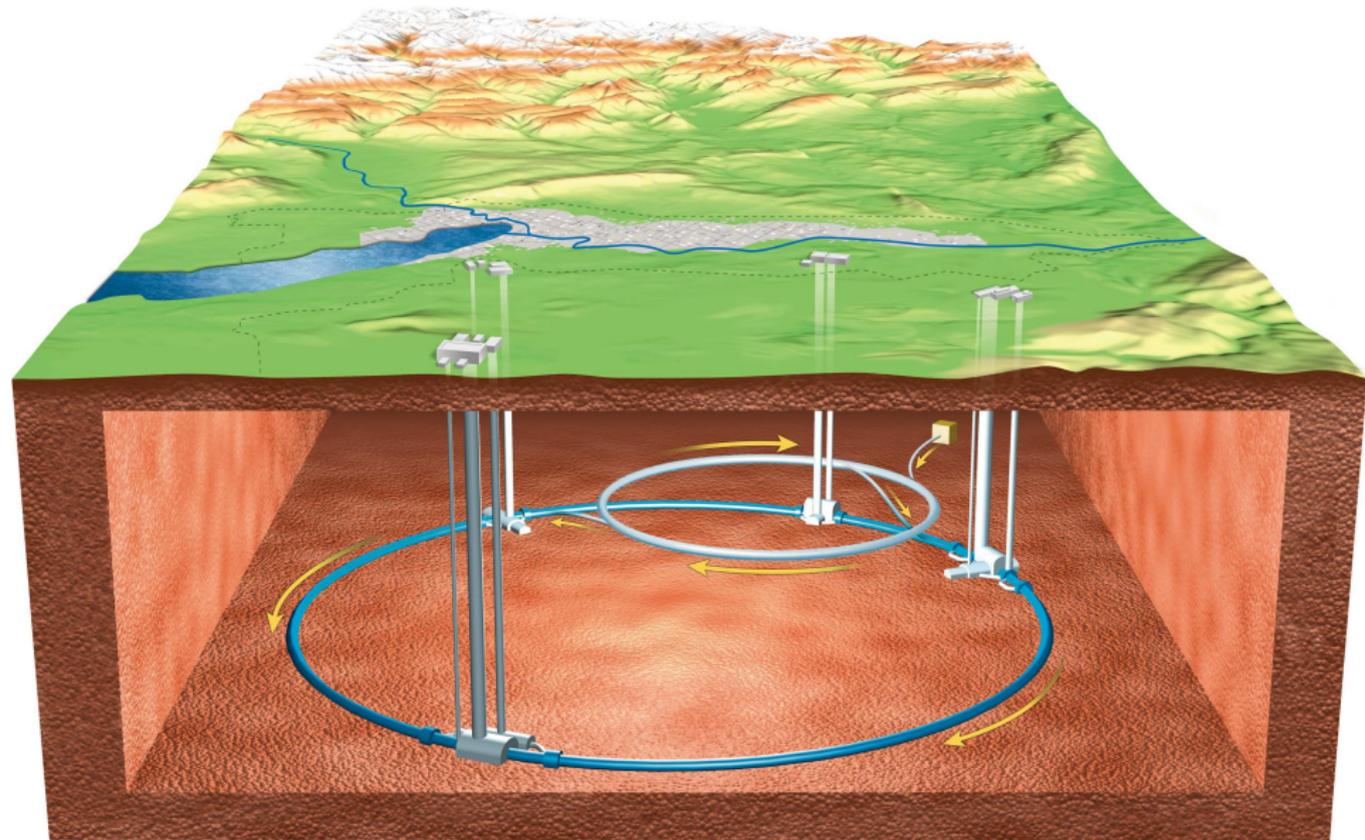
- Para Electrones: Hacen “Radiación Sincrotrón” (Bremsstrahlung):
 - Malo para la Física de Partículas (ejemplo LEP: 100 GeV de energía, radiación 1 GeV en cada vuelta)
 - Muy bueno para otras aplicaciones:
Fuente de Luz Sincrotrón

LEP fue el último acelerador de electrones circular

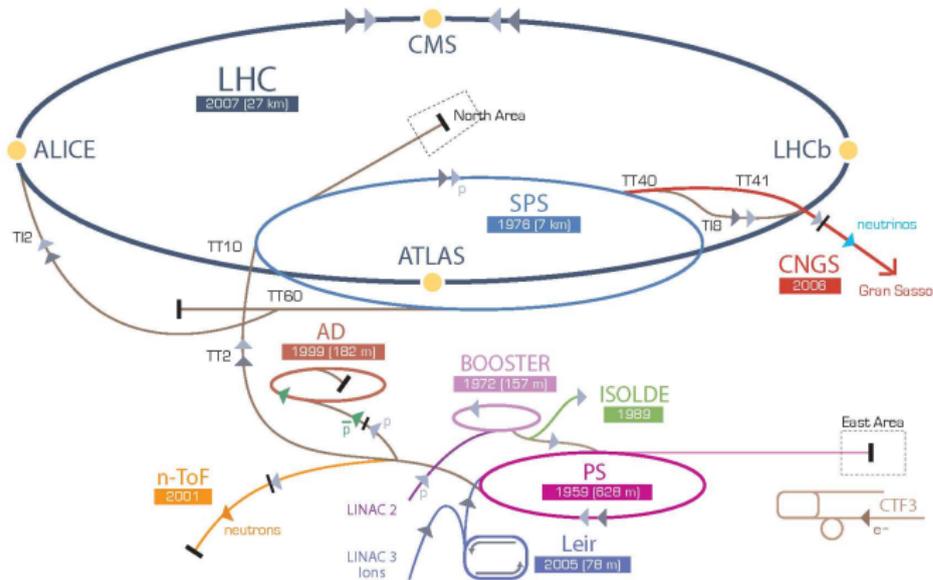
- Interacciones de Electrones tienen ambiente más limpio y más controlable que colisiones de protones (realmente colisiones entre quark y/o gluones)
- Protones pueden ser acelerados a energías más altas, pero son compuestos.

El Large Hadron Collider (LHC)





CERN Accelerator Complex



▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} (antiproton) ↔ proton/antiproton conversion ▶ neutrinos ▶ electron

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

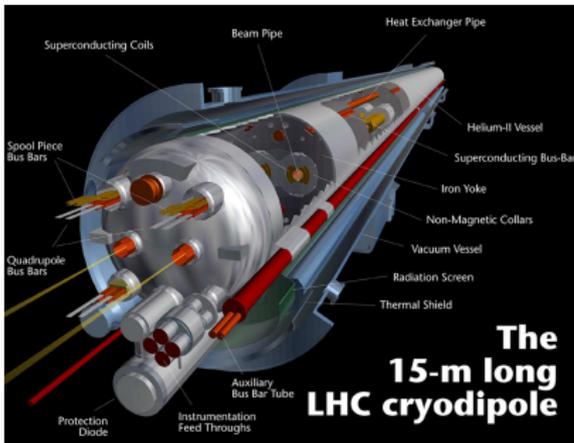
AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

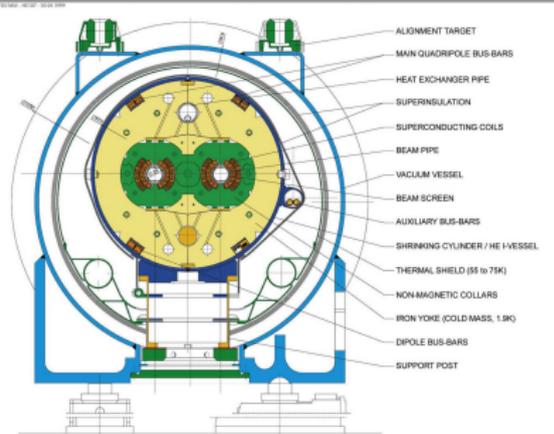
En el Tunel del LHC



Los Dipolos



LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION



El LHC

- Tunel con 26,659 m de circunferencia
- 9,300 Imanes (1,232 dipolos)
- Pre-Enfriado a 80 Kelvin (-193°C) con 10,080 ton de Nitrógeno Líquido
- Enfriado a 1.9 Kelvin (-271.3°C) con 60 ton de Helio líquido
- Campo Magnético en los Dipolos: 9 Tesla
- Presión en los tubos: 10^{-13} atm
- Acelera 2 haces de protones a 7 TeV (7,000,000,000,000 V)
- Paquetes de Protones dan 11,245 vueltas por segundo
- Acelera también iones pesados (plomo)

El LHC (Cont.)

- Primeros Diseños en los 1980's
- Tiempo de Construcción: ~ 10 años (sin tunel)
- Costo: Aprox 10,000 millones de Francos Suizos
- Colisiones cada 19 nsec
- Acumulación de datos: ~ 1 PByte per día per experimento.
- Computing "Grid": Computo distribuido en todo el mundo (antes: información distribuida en todo el mundo: WWW)

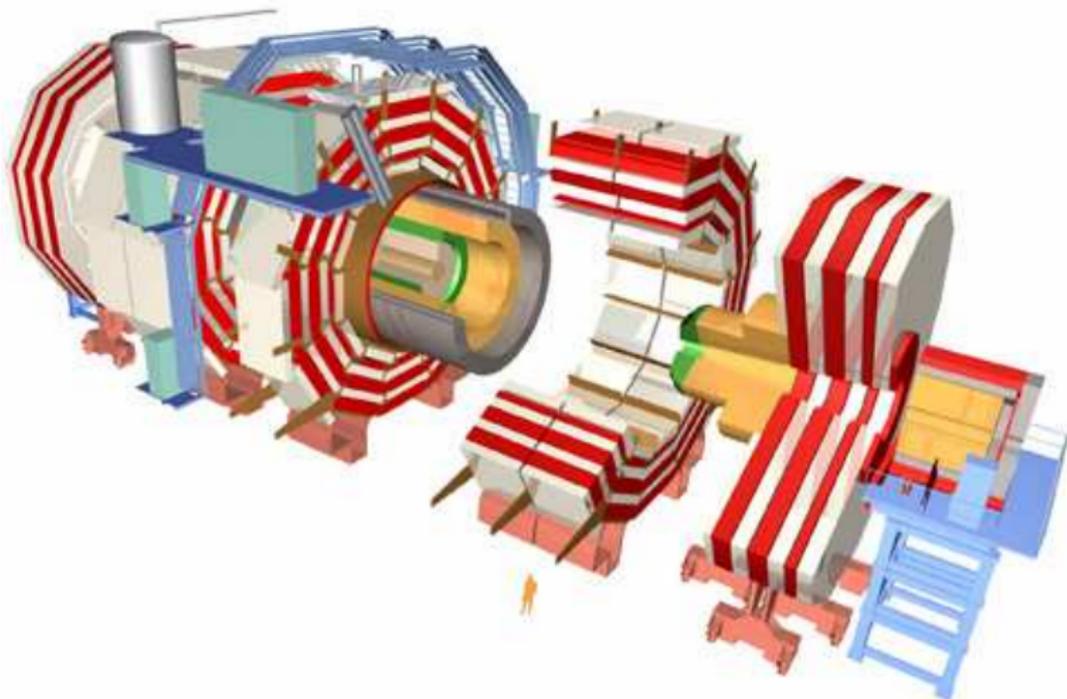
Los Experimentos

- 4 experimentos grandes (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb)
- participan ~ 2000 Físicos en cada uno
- Costo: 200-500 millones de dolares
- millones de sensores con sus elementos electrónicos
- 2 experimentos mas chicos (TOTEM, LHCf)

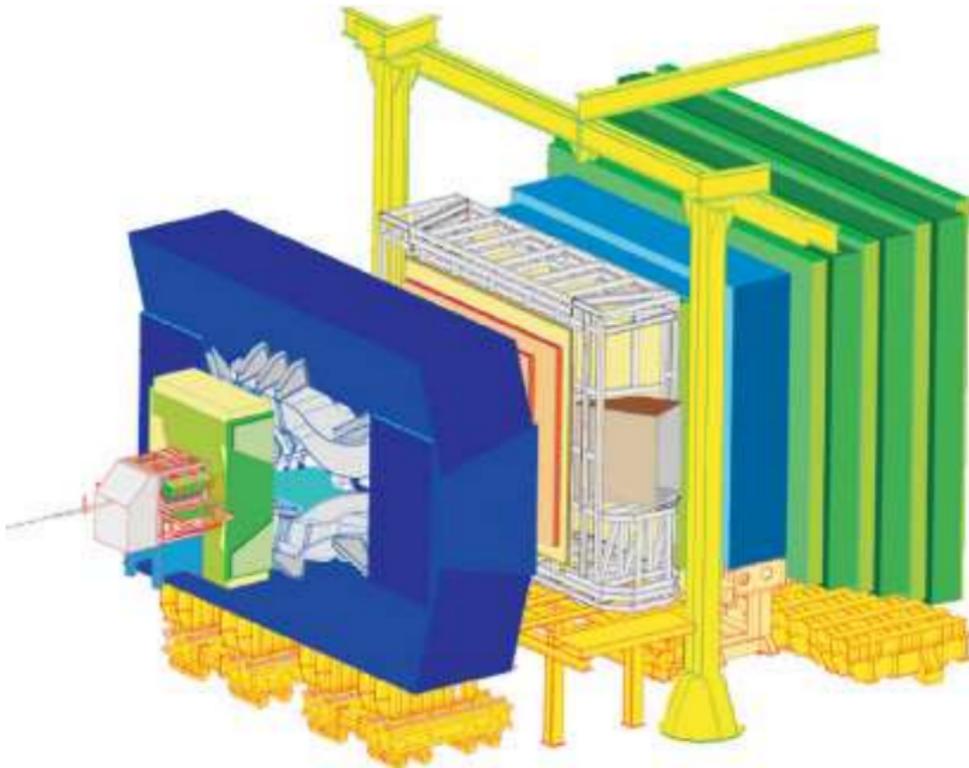
- ATLAS, CMS: Propósito general, para Higgs, SUSY, otros
- ALICE: Para colisiones de iones pesados
- LHCb: Estudios de la matriz CKM

- CMS, ALICE: Participación mexicana

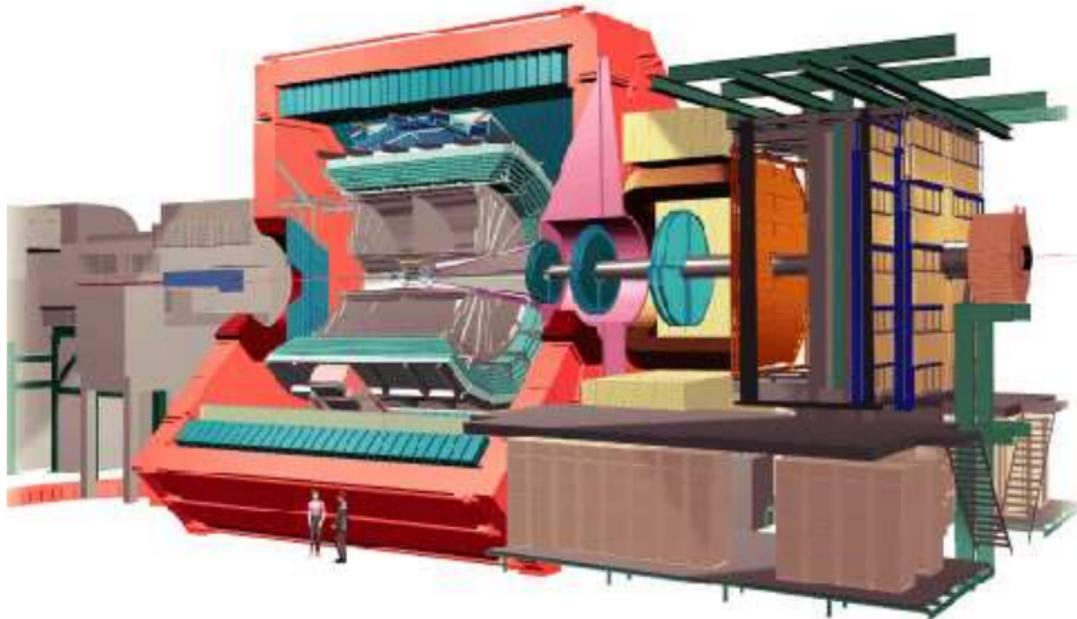
CMS



LHCb



ALICE



Colaboración ATLAS



¿Que va a pasar?

- **NADA EXCEPCIONAL**
- Colisiones normales, sólo con más alta energía
- Hay una teoría que predice que se pueden crear
Mini – Black Holes
- Y si: Se evaporan muy rápido (Radiación de Hawking)
- Hay otra teoría que predice que los mini black holes no se evaporan
¿Esto es posible? ¿Esto es factible? ¡NO!

No va a pasar nada excepcional

- Hay Rayos Cósmicos. Desde siempre.
- Energías observadas: Hasta 10^{20} eV
- Hay colisiones como en el LHC PERMANENTEMENTE, desde hace miles de millones de años
- Energía de colisiones más alta que en el LHC
- Número de colisiones corresponde a cientos de años de LHC
- No sólo con la tierra; con todo!
- ¡¡¡Y TODAVIA EXISTIMOS!!!

No va a pasar nada excepcional

- “Review of the safety of LHC collisions”
John Ellis et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **35** 115004 (2008)
- “Astrophysical implications of hypothetical stable TeV-scale black holes”
B. Giddings, M.L. Mangano, Phys. Rev. D **78**, 035009 (2008)
- investigaron Black Holes, Strangelets, Vacuum Bubbles, Magnetic Monopoles

“To think that LHC particle collisions at high energies can lead to dangerous black holes is rubbish. Such rumors were spread by unqualified people seeking sensation or publicity.”

Academician Vitaly Ginzburg, Nobel Laureate in Physics,
Lebedev Institute, Moscow, and Russian Academy of Sciences

“The operation of the LHC is safe, not only in the old sense of that word, but in the more general sense that our most qualified scientists have thoroughly considered and analyzed the risks involved in the operation of the LHC. [Any concerns] are merely hypothetical and speculative, and contradicted by much evidence and scientific analysis.”

Prof. Sheldon Glashow, Nobel Laureate in Physics, Boston University

Prof. Frank Wilczek, Nobel Laureate in Physics,
Massachusetts Institute of Technology

Prof. Richard Wilson, Mallinckrodt Professor of Physics, Harvard University

“The world will not come to an end when the LHC turns on. The LHC is absolutely safe. ... Collisions releasing greater energy occur millions of times a day in the earth’s atmosphere and nothing terrible happens.”

Steven Hawking, Lucasian Professor of Mathematics, Cambridge University

Resumen – Lo que Yo creo que va a encontrar el LHC

- Va a encontrar “Algo”...
- ... pero no vamos a tener una idea de que es...
- Higgs: La masa más probable del modelo sencillo ya fue excluida por LEP
- SUSY: Muchos Parámetros, difícil comprobar un modelo específico.
- Necesidad de experimentos pequeños de alta precisión para entender que va a ver el LHC
- ¡ El LHC NO va a destruir el mundo ¡