

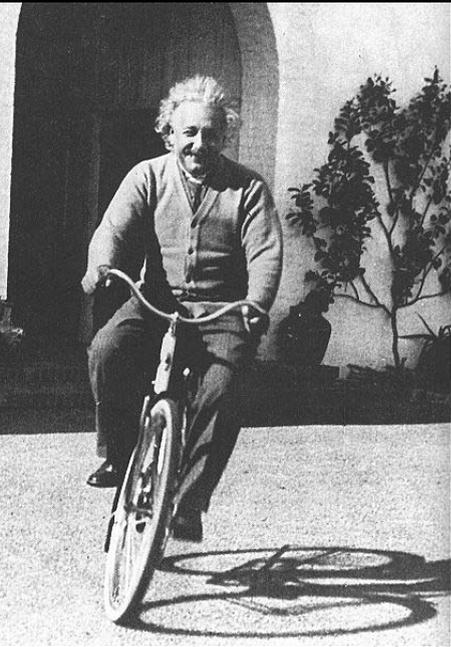
10 años de física del top

(un paseo por el mundo de los quarks)

Semana de la Ciencia

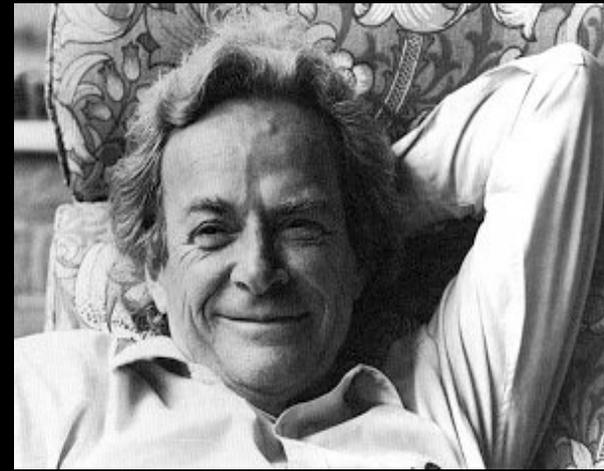
21 de Noviembre 2005 - Santander

Teresa Rodrigo



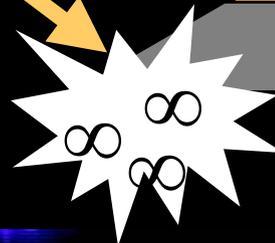
Relatividad General

Cosmología
($\sim 10^{26}$ m)



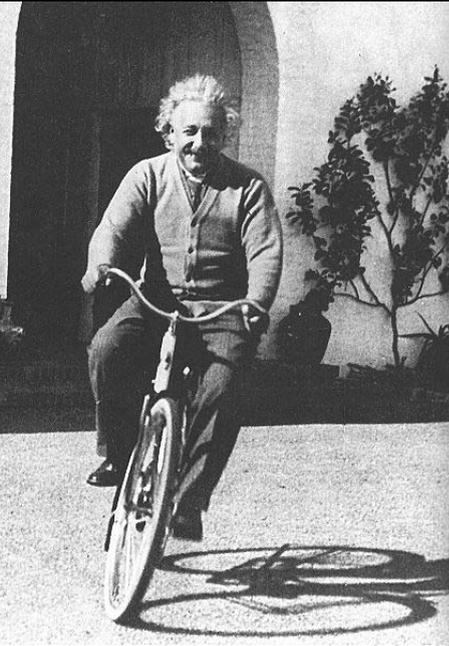
Teoría Cuántica de Campos
(Mecánica Cuántica + Relatividad especial)

Física de Partículas
($\sim 10^{-19}$ m)



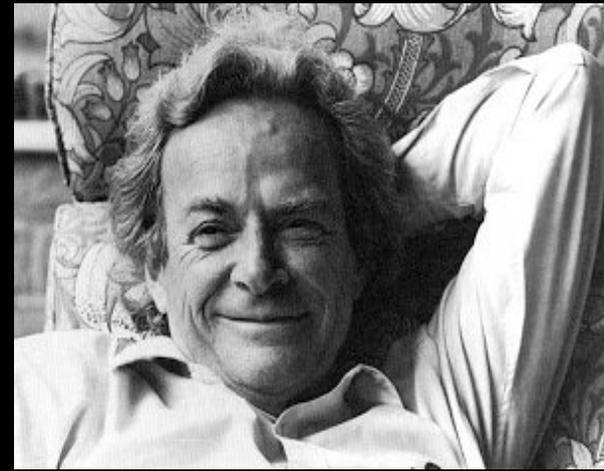
Teoría de Cuerdas





Relatividad General

Cosmología
($\sim 10^{26}$ m)

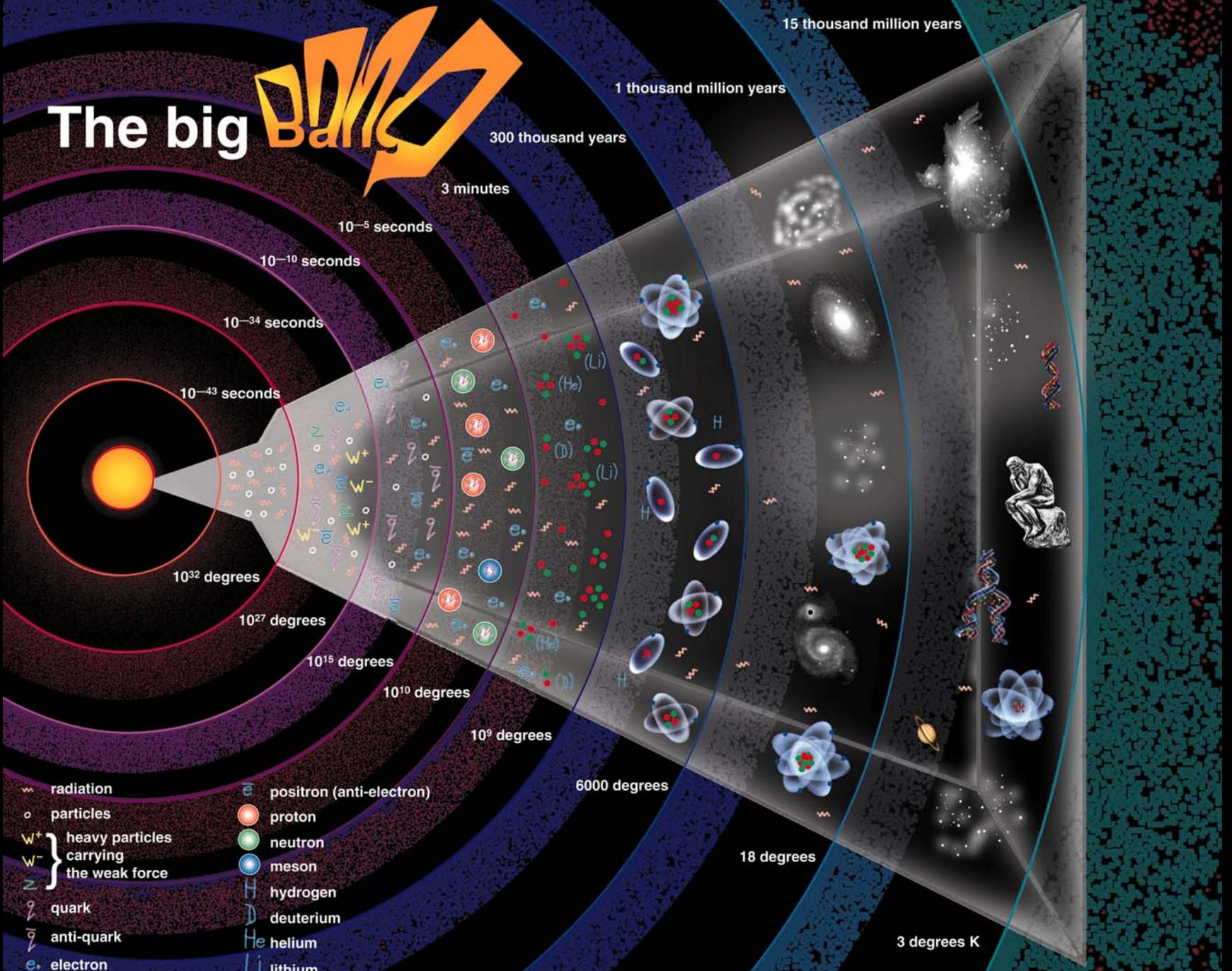


Teoría Cuántica de Campos
(Mecánica Cuántica + Relatividad especial)

Física de Partículas
($\sim 10^{-19}$ m)

Quizás la escala humana no es la mas adecuada
para entender la Naturaleza ...

The big Bang



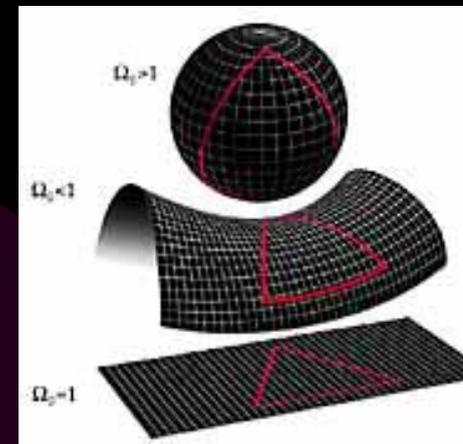
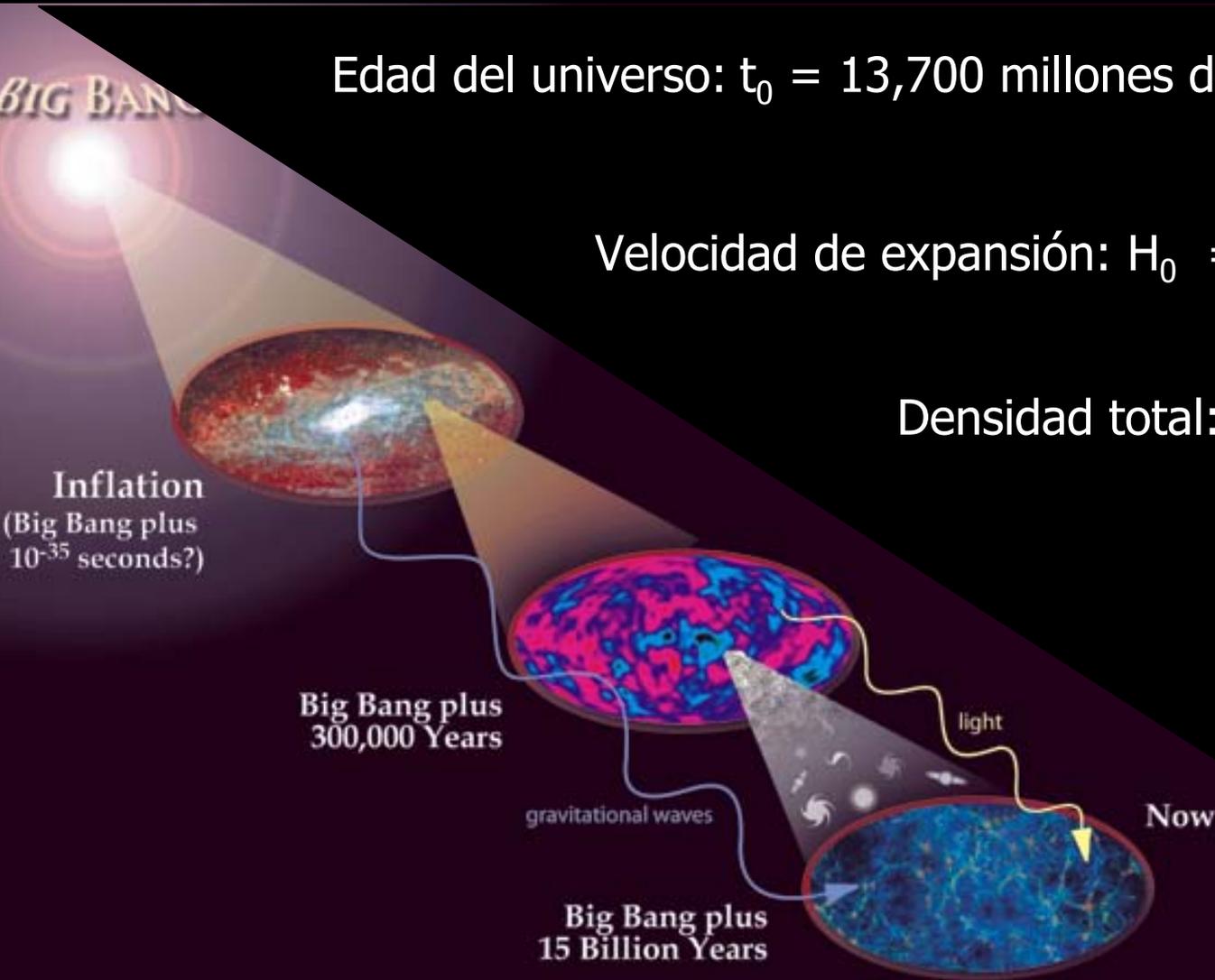
- radiation
- particles
- W^+ } heavy particles carrying the weak force
- W^- }
- Z }
- quark
- anti-quark
- e^- electron
- e^+ positron (anti-electron)
- proton
- neutron
- meson
- H hydrogen
- D deuterium
- He helium
- Li lithium

COSMOLOGÍA

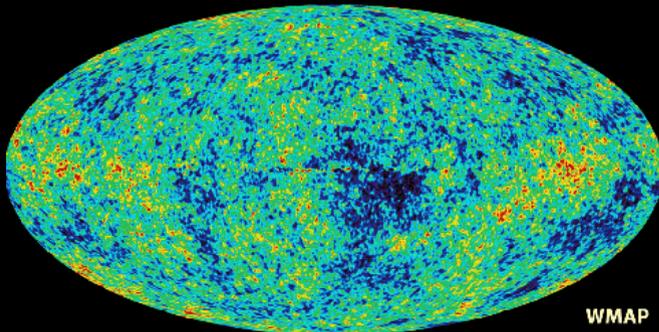
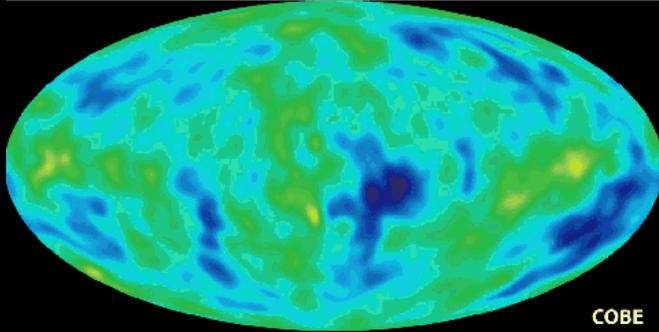
Edad del universo: $t_0 = 13,700$ millones de años (± 200)

Velocidad de expansión: $H_0 = 71_{-3}^{+4}$ km/s/Mpc

Densidad total: $\Omega_0 = 1.02 \pm 0.02$



COSMOLOGÍA



COBE (1992) → WMAP (2003)

$$T_0 = 2.725 \pm 0.002 \text{ K}$$

Distorsiones < 10 partes por millón

Extremadamente isótropo y homogéneo

Gran uniformidad y orden
en sus orígenes

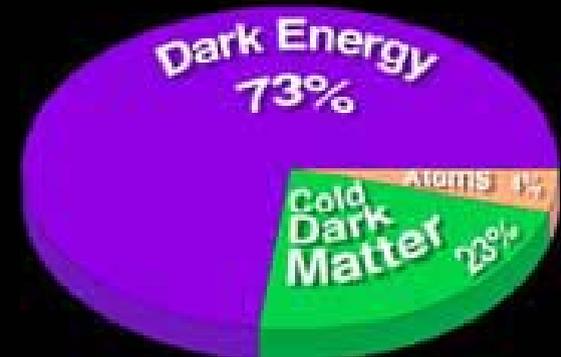
Fondo cósmico de microondas (CMB)

Energía oscura: partículas escalares ??

Materia oscura: partículas súper-simétricas ??

Átomos: protones, neutrones y electrones

(< 1% de fotones y neutrinos)

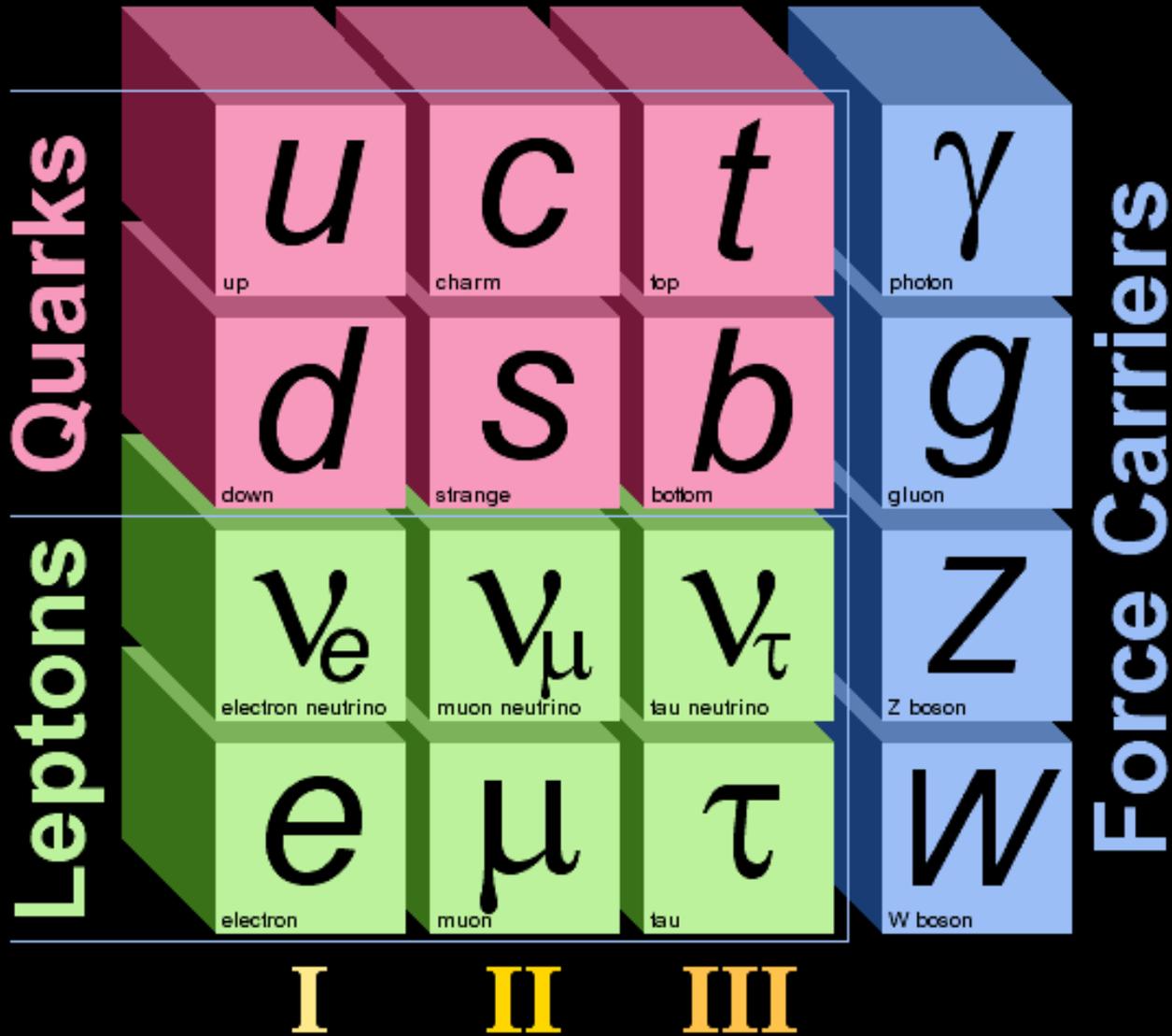


Composición actual del universo

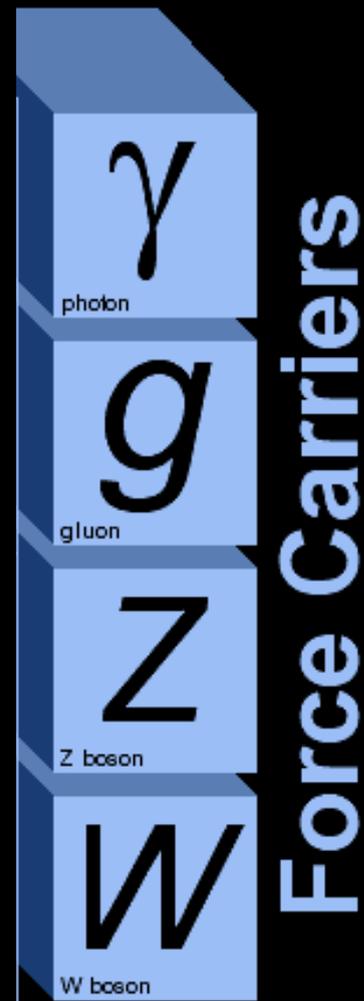
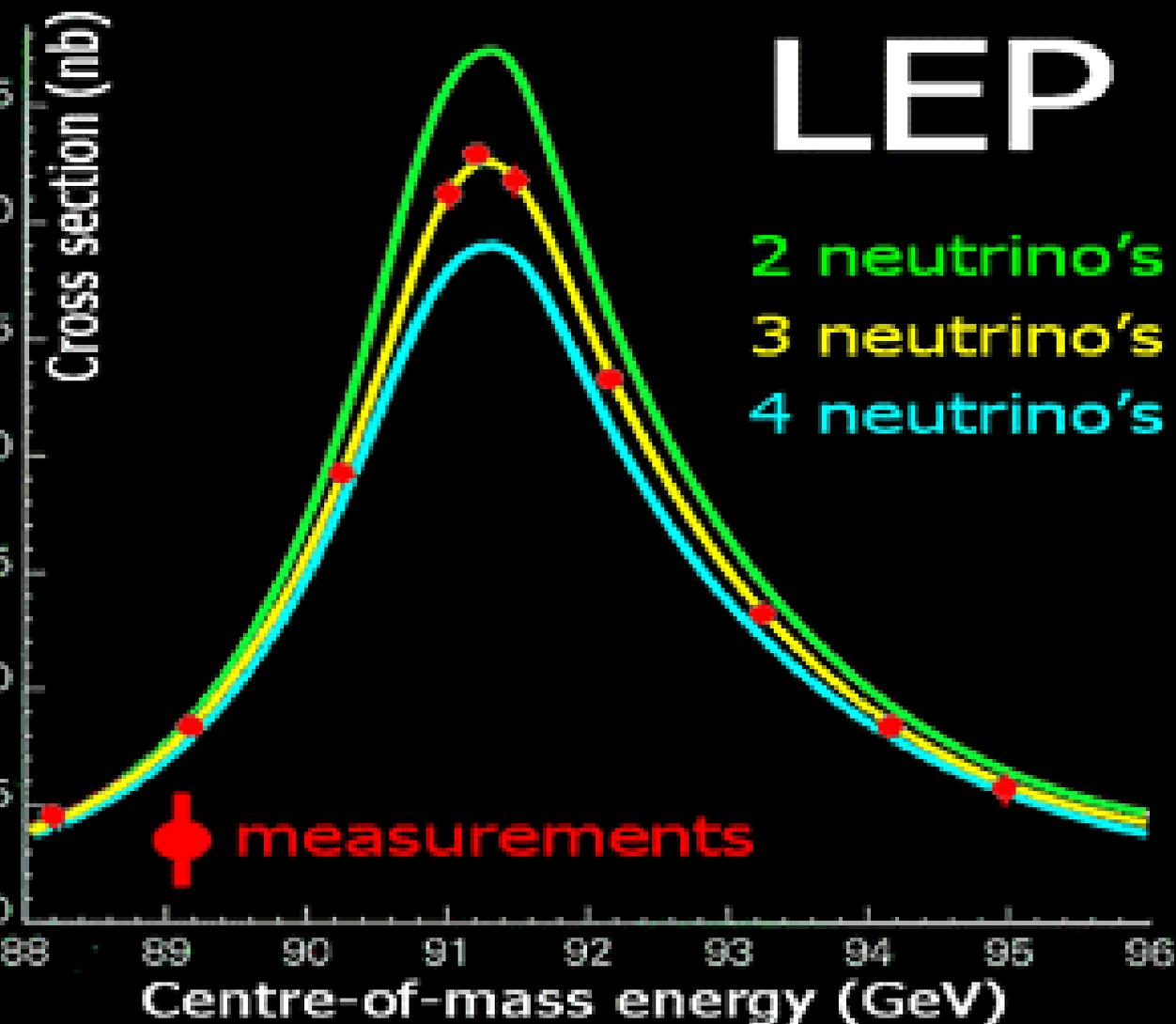
History of the Universe



FÍSICA de PARTÍCULAS



FÍSICA de PARTÍCULAS



Cuatro conceptos

Elementalidad

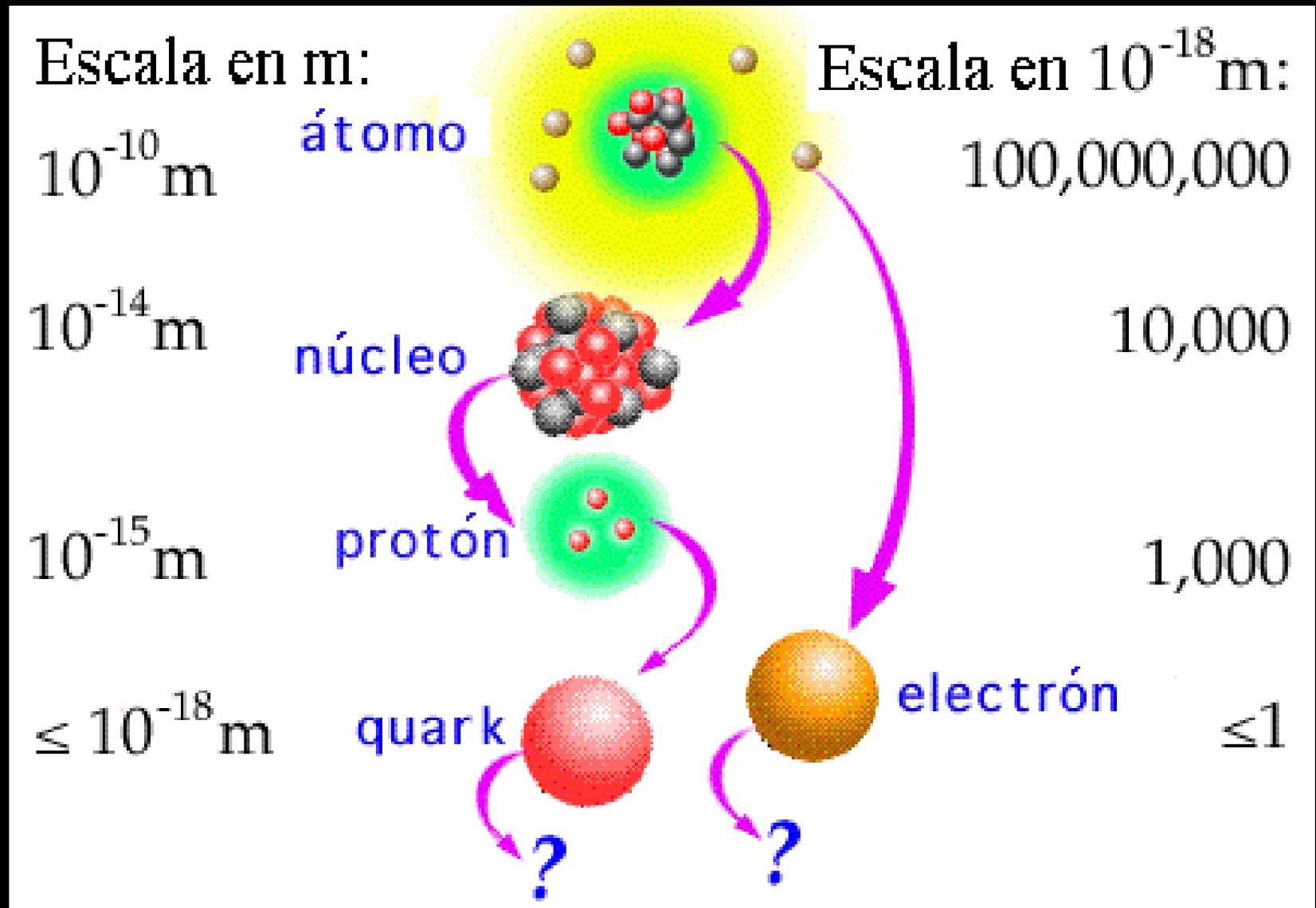
Simetrías

Unidad - Unificación

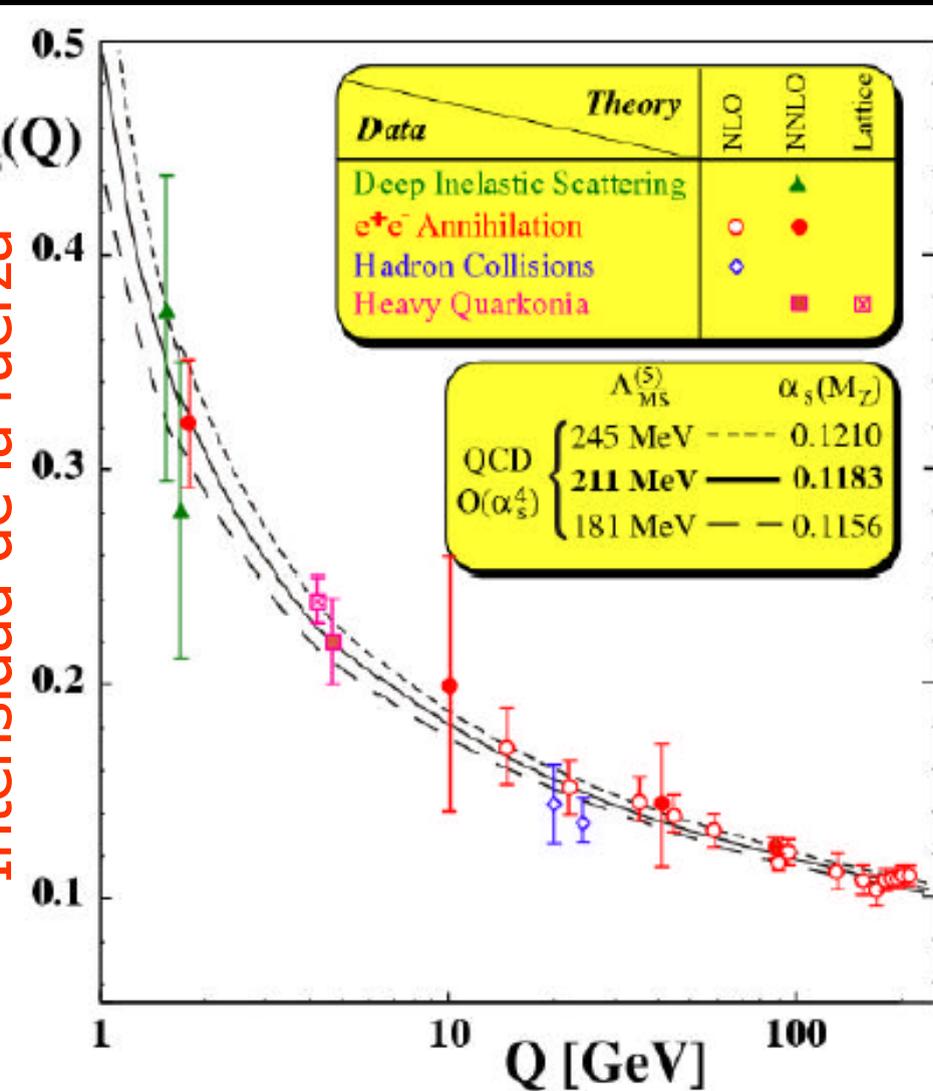
Identidad

Las **simetrías** no son una consecuencia de las leyes de la Naturaleza son la **base** de las leyes de la física

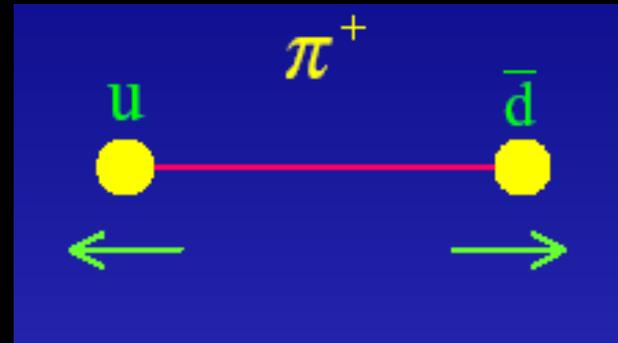
Elementalidad = Sin estructura interna



Fuerza Fuerte : CONFINAMIENTO

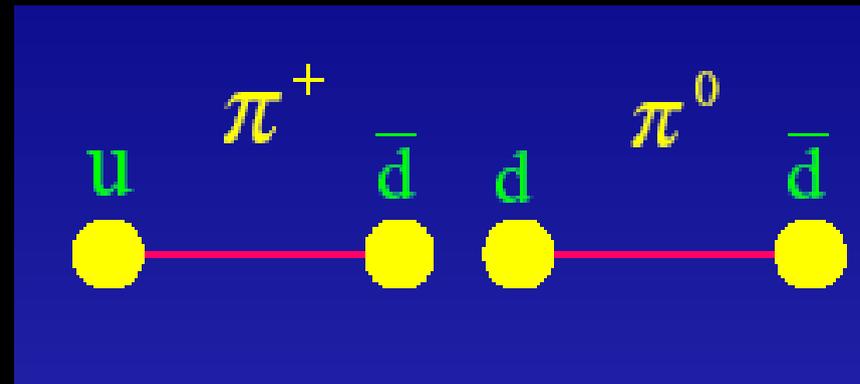


→ Energía
← Distancia

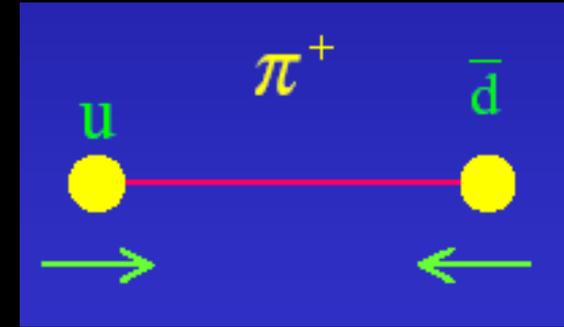
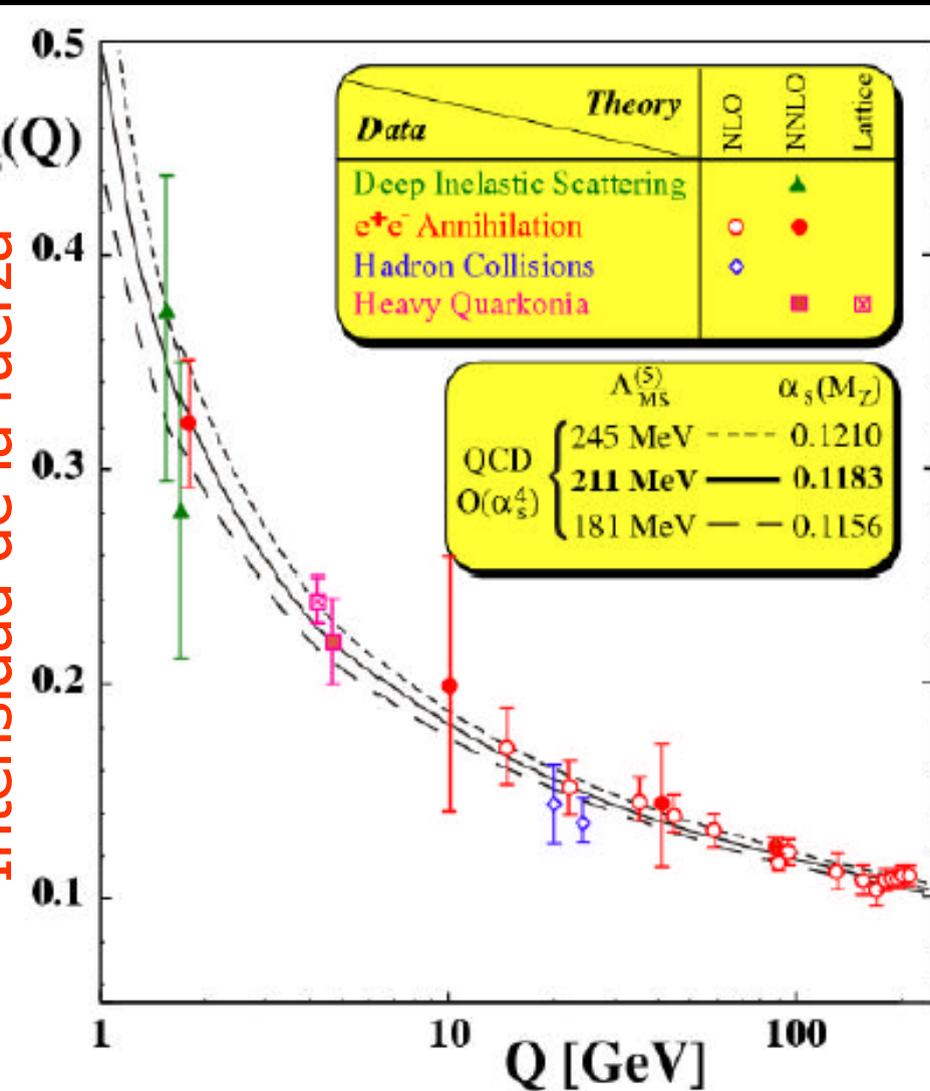


Los quark no se ven

Todas las partículas conocidas son combinaciones (estados ligados) de 2 ó 3 quarks.



Fuerza Fuerte : LIBERTAD ASINTOTICA



A alta energía (muy cortas distancias) los quarks aparecen como partículas libres



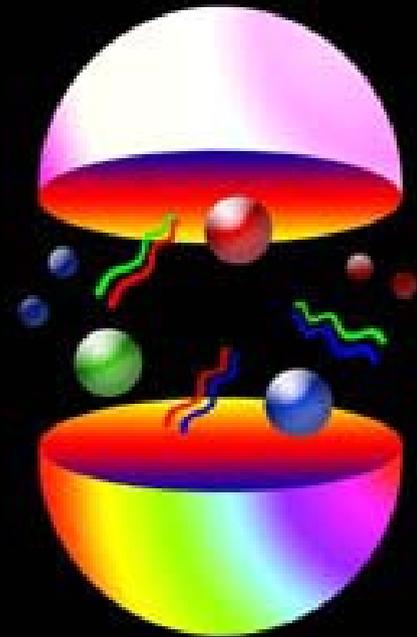
 Energía
 Distancia

Interacción

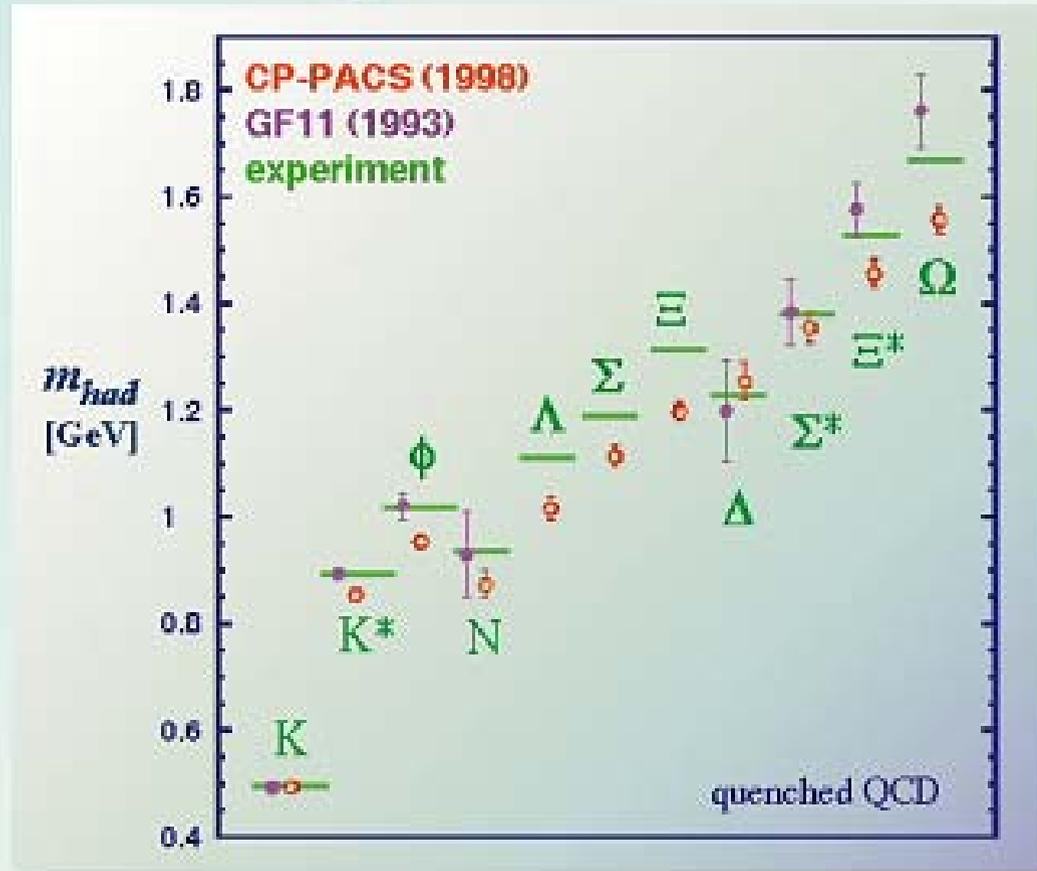
Fuerte



(0 MeV)



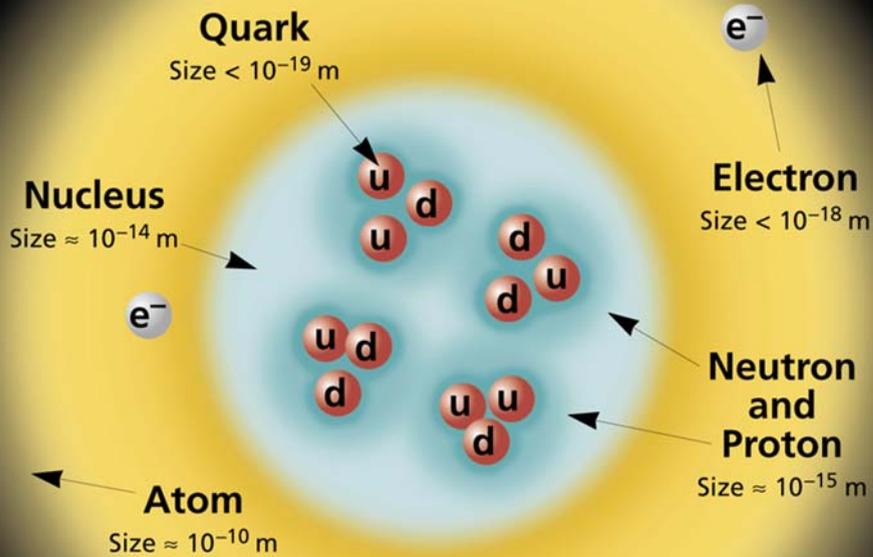
Hadron Mass Spectrum from Quarks and Gluons



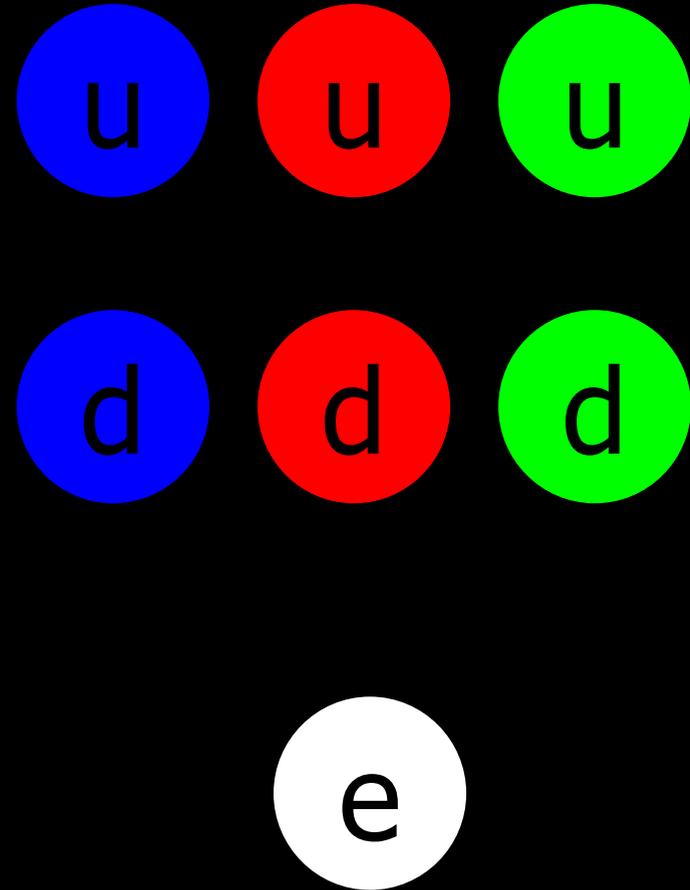
SISTEMA PERIODICO DE ELEMENTOS

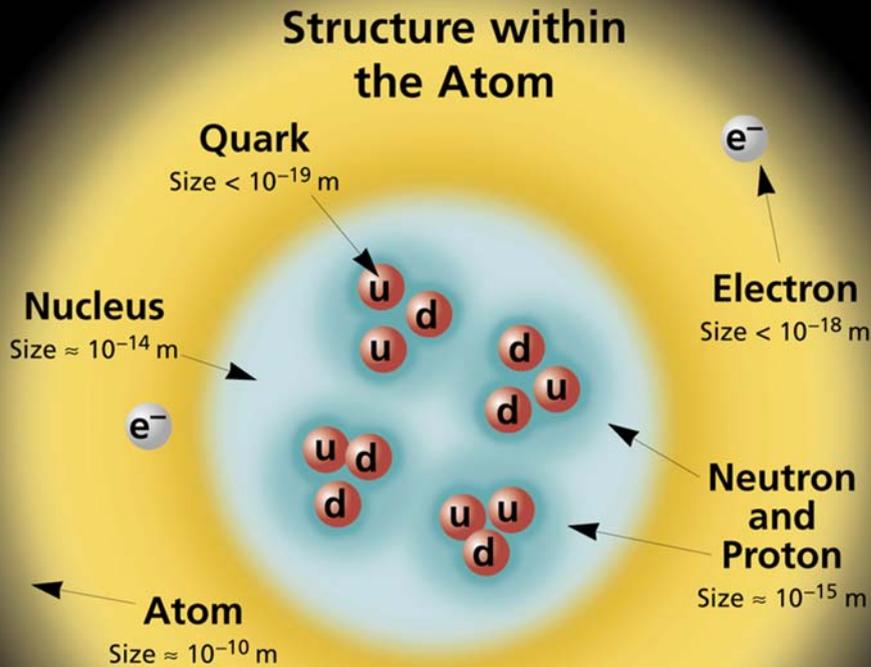
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	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
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt									
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				
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				

Structure within the Atom



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.





If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

electron

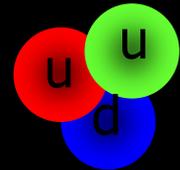
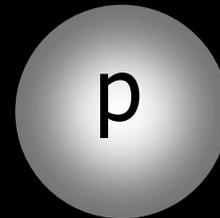
$$m_e = 0.92 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

e

$$q_{\text{electron}} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \equiv -1$$

proton

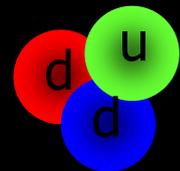
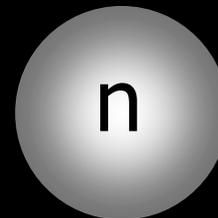
$$m_p = 1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$



$$q_{\text{proton}} = 1 = 2 \times (2/3) - 1 \times (1/3)$$

neutron

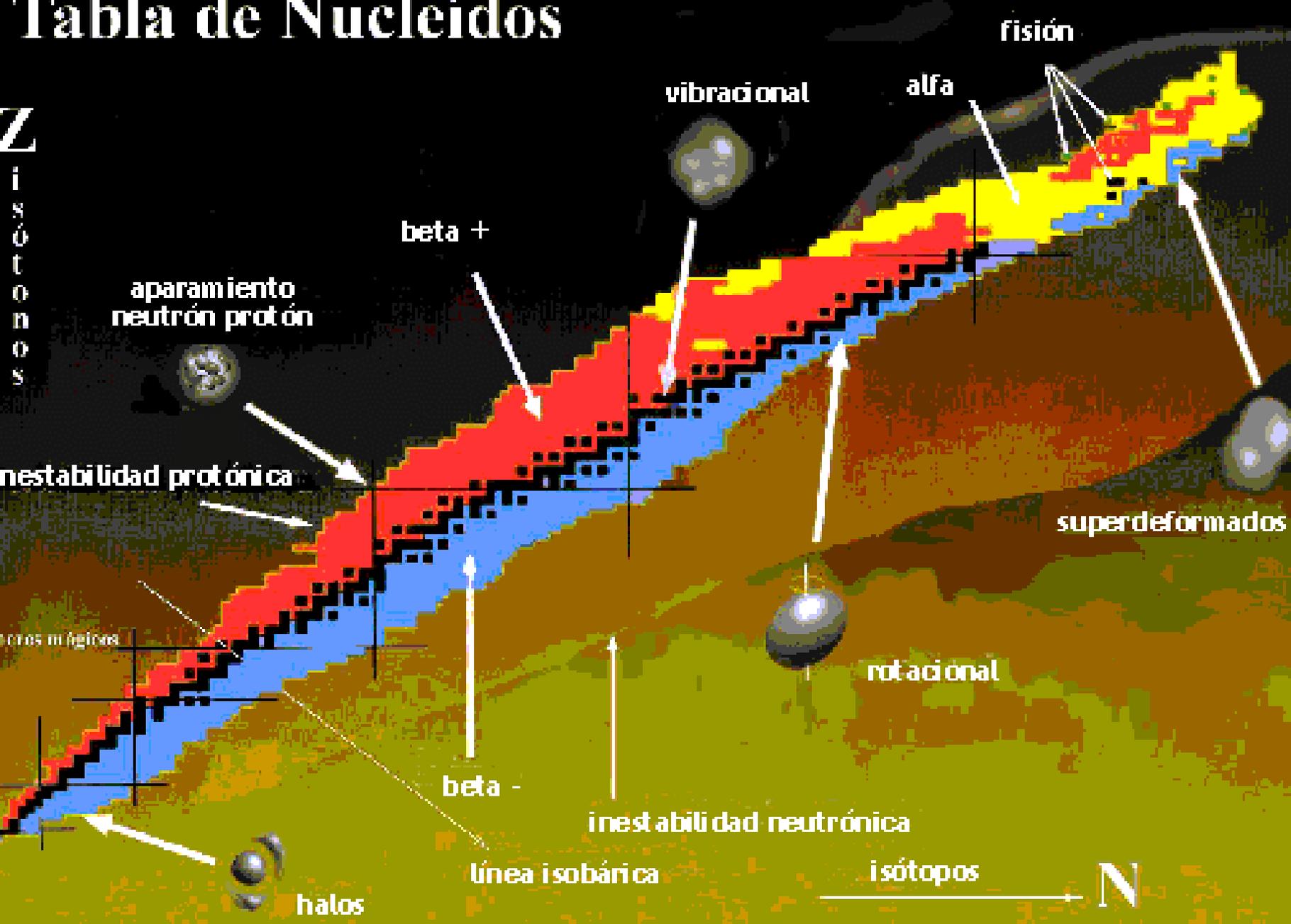
$$m_n = 1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$



$$q_{\text{neutron}} = 0 = 1 \times (2/3) - 2 \times (1/3)$$

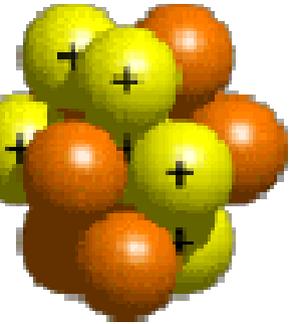
Tabla de Nucleídos

Z
isótopos



Desintegración β^-

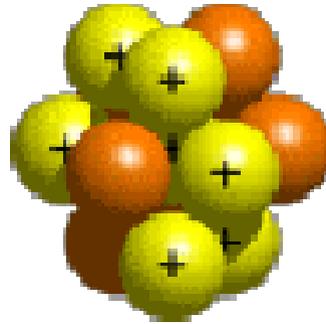
Carbón-14



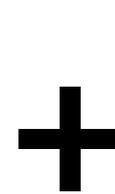
6 protones
8 neutrones



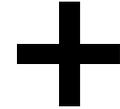
Nitrógeno-14



7 protones
7 neutrones



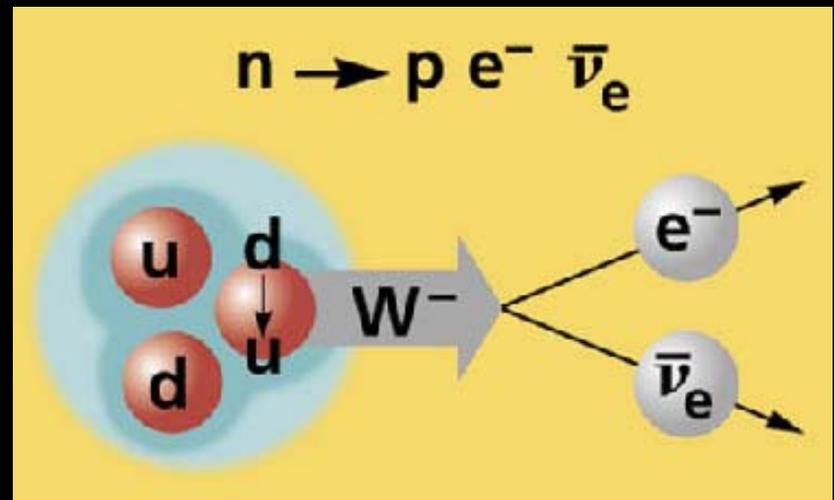
Antineutrino



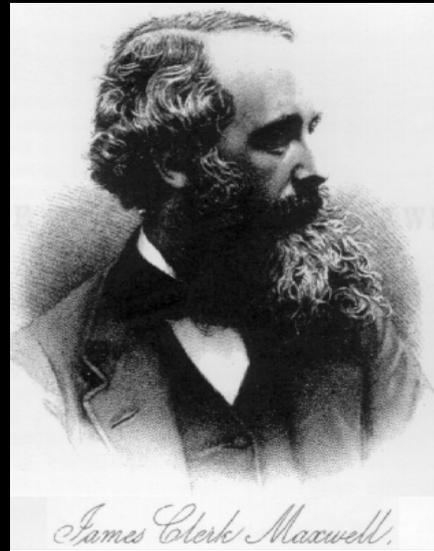
Electrón



A nivel de constituyentes elementales: **Interacción débil**



UNIFICACIÓN ELECTRO-DÉBIL



1860-70: Unificación de las fuerzas eléctrica y magnética

La luz es radiación electromagnética

Versión Cuántica: QED



L. Glasow

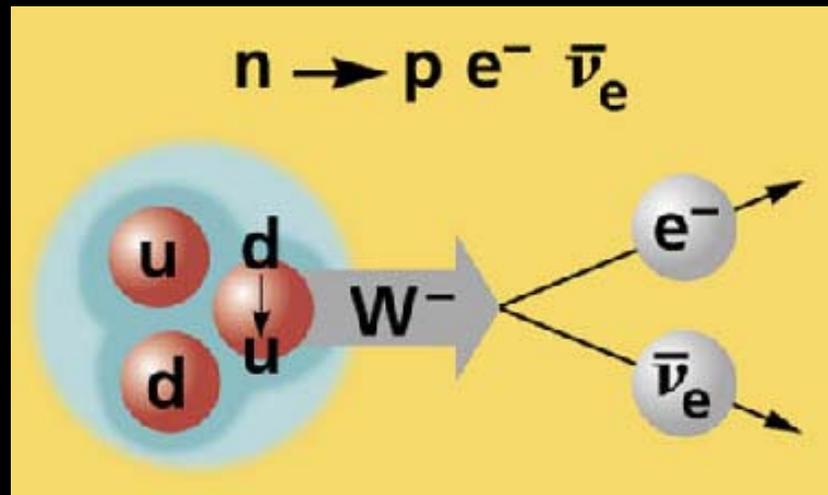
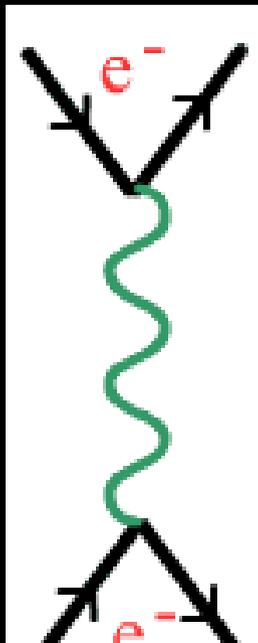


A. Salam

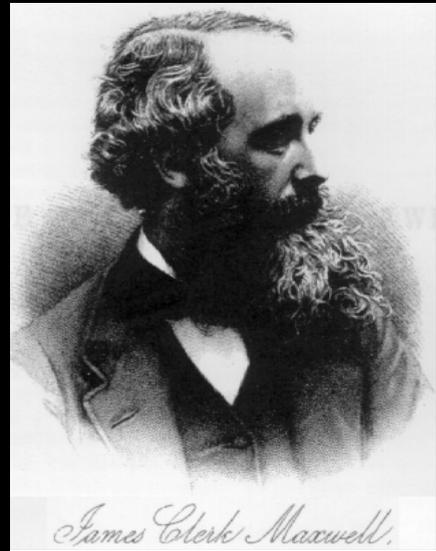


S. Weinberg

'60s: Desarrollo de la teoría de unificación electro-débil



UNIFICACIÓN ELECTRO-DÉBIL



1860-70: Unificación de las fuerzas eléctrica y magnética

La luz es radiación electromagnética

Versión Cuántica: QED



L. Glasow



A. Salam



S. Weinberg

'60s: Desarrollo de la teoría de unificación electro-débil

Interacción electromagnética



Interacción Débil



W⁺

80419 MeV

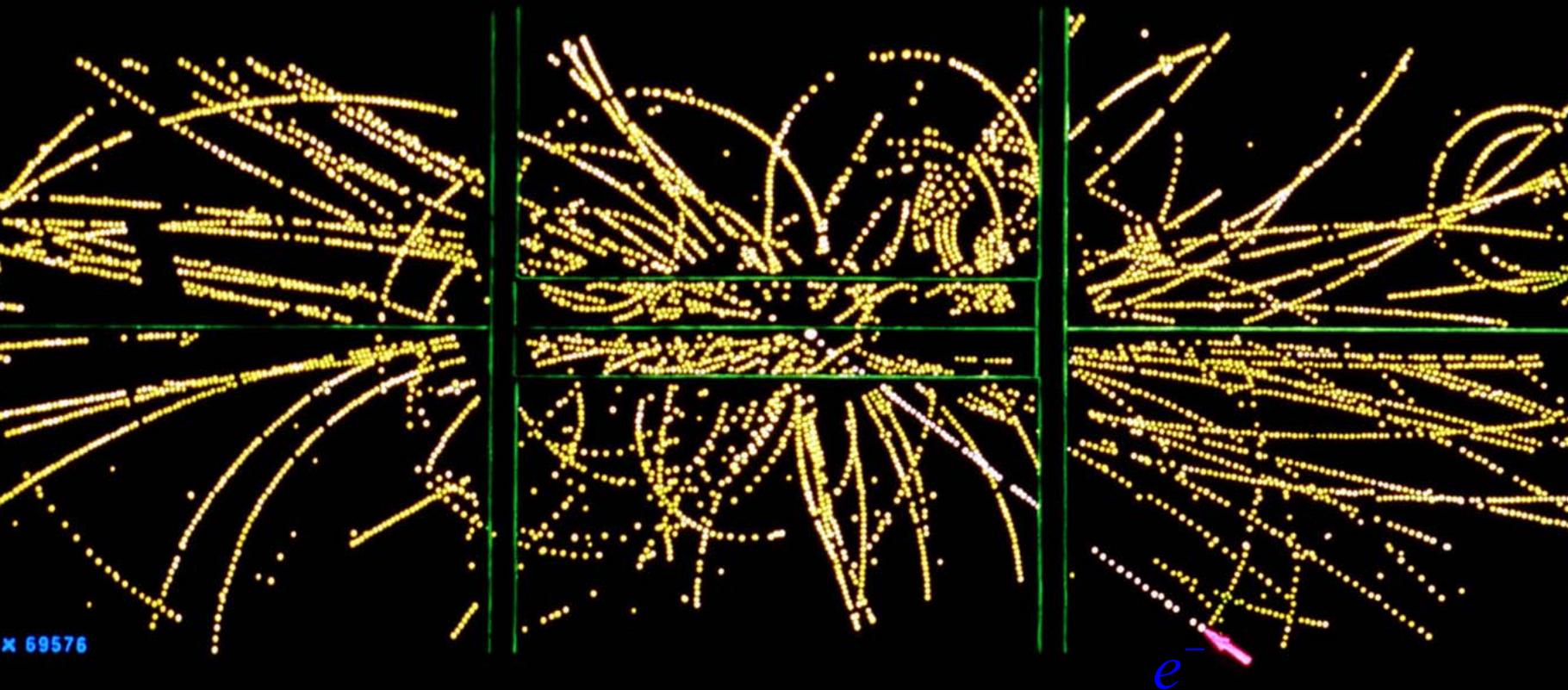
W⁻

80419 MeV

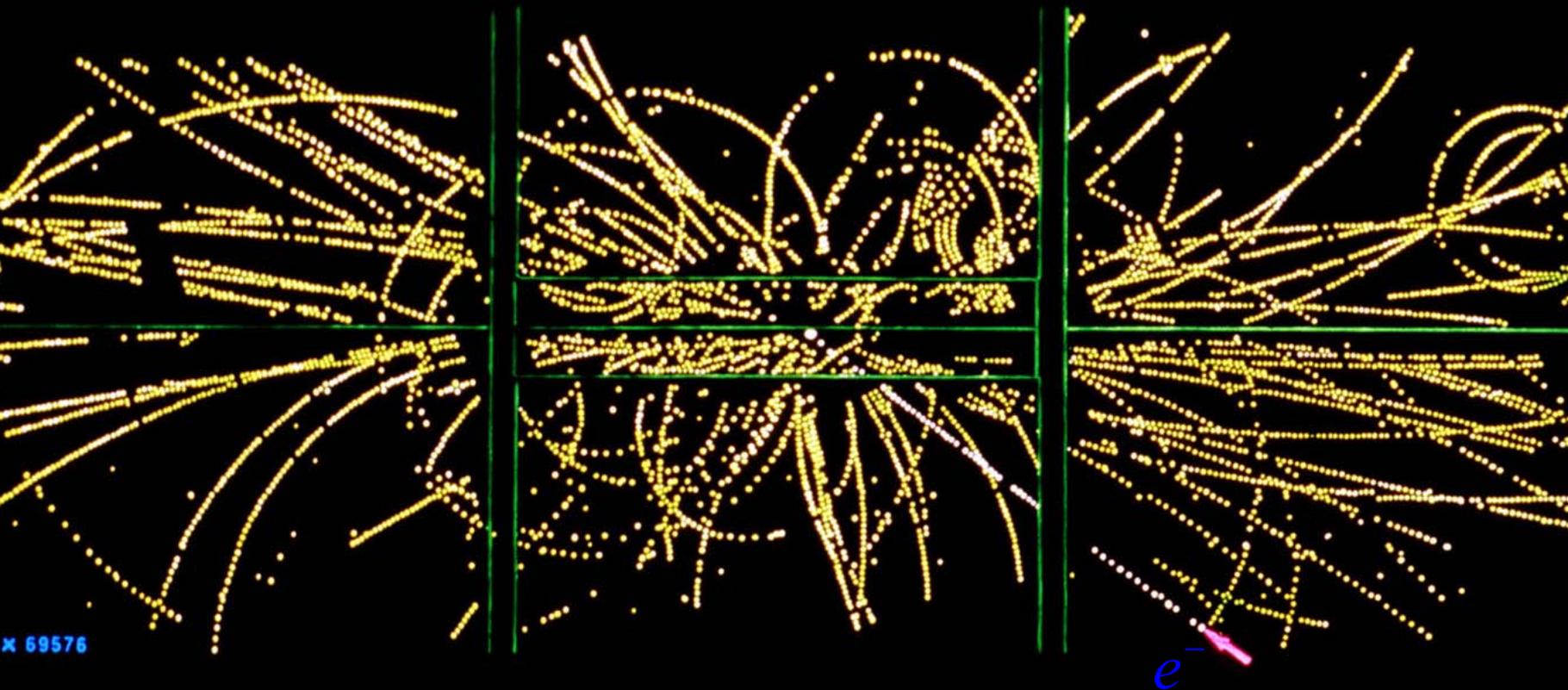
Z⁰

91188 MeV

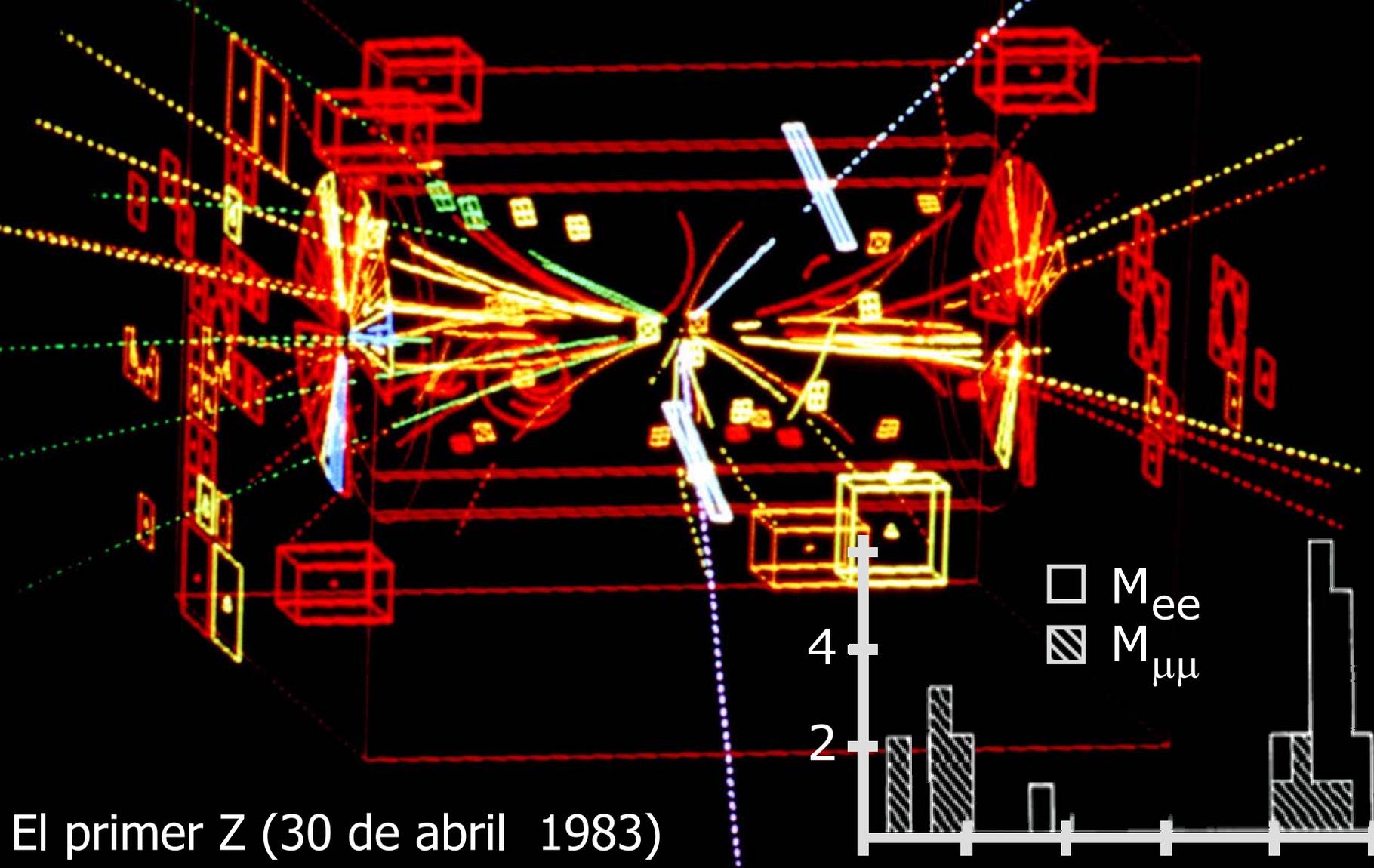
$$p\bar{p} \rightarrow W^- + X \rightarrow W^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$$



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



$$p\bar{p} \rightarrow Z^0 + X \rightarrow Z^0 \rightarrow e^+e^-$$



El primer Z (30 de abril 1983)

SIMETRÍAS EN FÍSICA (de Partículas)

El universo, en las teorías actuales, sufrió en sus momentos iniciales una serie de transiciones de forma que lo que ahora observamos es un remanente de una época inicial mucho más simétrica. Las simetrías están intrínsecamente ligadas a la evolución del Universo.

Cuando examinamos esta evolución, mirando hacia atrás, hacia el origen, en busca de la verdadera naturaleza de los procesos físicos el concepto de simetrías se revela como la "guía" más segura, proporciona respuestas que de otra manera no habríamos imaginado.

SIMETRÍAS EN FÍSICA (de Partículas)

Aplicadas a las leyes de la física el concepto de simetría es más sutil que el que entendemos para un objeto cualquiera. La pregunta es: ¿qué manipulaciones pueden realizarse, en el sistema o en su entorno, que no afecten en absoluto a las leyes que explican el fenómeno que observamos?. La idea central es la invariancia de las leyes que gobiernan las observaciones y no necesariamente de las observaciones mismas.

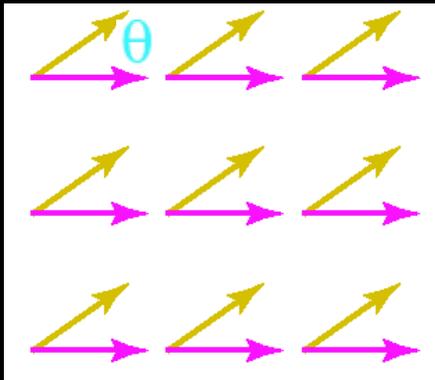
Un ejemplo simple: simetría de translación (ó invariancia traslacional)



SIMETRÍAS EN FÍSICA (de Partículas)

Aplicadas a las leyes de la física el concepto de simetría es más sutil que el que entendemos para un objeto cualquiera. La pregunta es: ¿qué manipulaciones pueden realizarse, en el sistema o en su entorno, que no afecten en absoluto a las leyes que explican el fenómeno que observamos?. La idea central es la invariancia de las leyes que gobiernan las observaciones y no necesariamente de las observaciones mismas.

Simetría Gauge:



Global

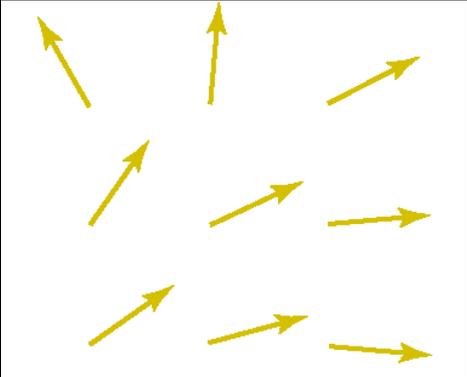
$$\psi(x) \rightarrow e^{i\theta} \psi(x)$$

(Refleja la arbitrariedad en la elección del origen del potencial)

SIMETRÍAS EN FÍSICA (de Partículas)

Aplicadas a las leyes de la física el concepto de simetría es más sutil que el que entendemos para un objeto cualquiera. La pregunta es: ¿qué manipulaciones pueden realizarse, en el sistema o en su entorno, que no afecten en absoluto a las leyes que explican el fenómeno que observamos?. La idea central es la invariancia de las leyes que gobiernan las observaciones y no necesariamente de las observaciones mismas.

Simetría Gauge:


$$\psi(x) \rightarrow e^{i\theta(x)}\psi(x) \quad \text{Un grado de libertad local !}$$

Para restaurar las leyes de la física aparecen los campos gauges (campos de interacción), de **masa 0**.

La arbitrariedad en la elección del potencial se traduce en la libertad de elegir la fase que dependa del punto del espacio

Local

SIMETRÍAS GAUGE Y UNIFICACIÓN

Force Carriers

γ

photon

g

gluon

Z

Z boson

W

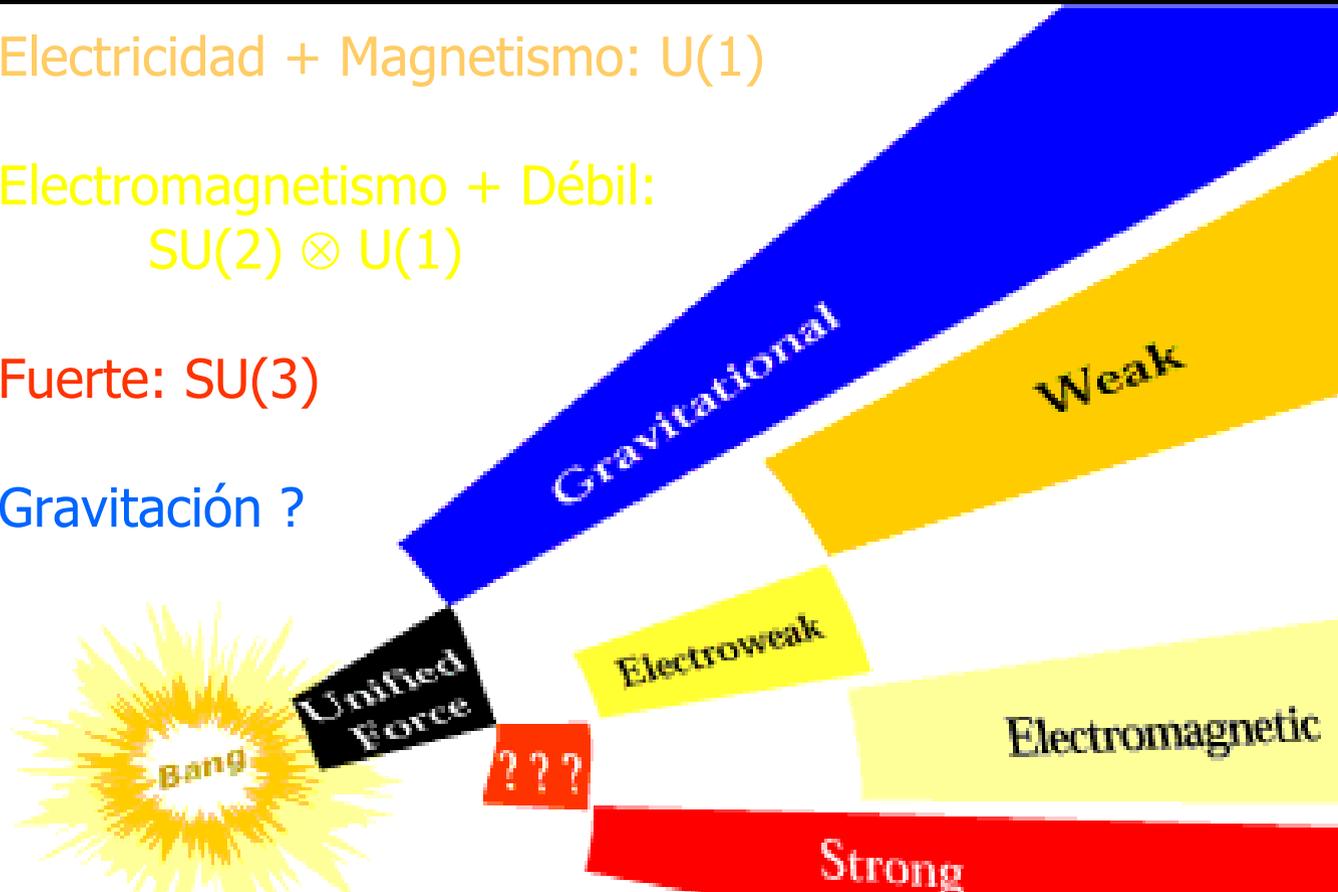
W boson

Electricidad + Magnetismo: $U(1)$

Electromagnetismo + Débil:
 $SU(2) \otimes U(1)$

Fuerte: $SU(3)$

Gravitación ?



SIMETRÍAS GAUGE Y UNIFICACIÓN

Force Carriers

γ

photon

g

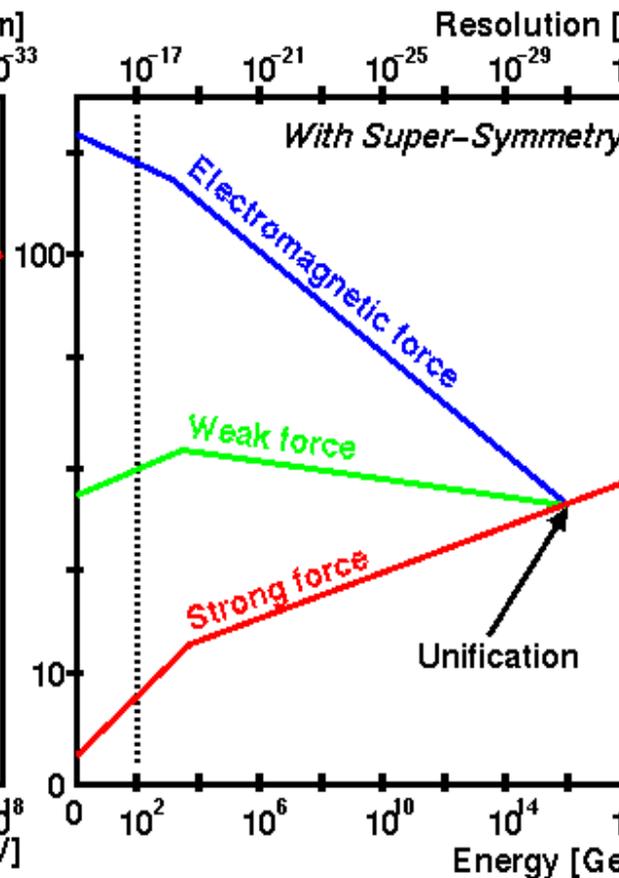
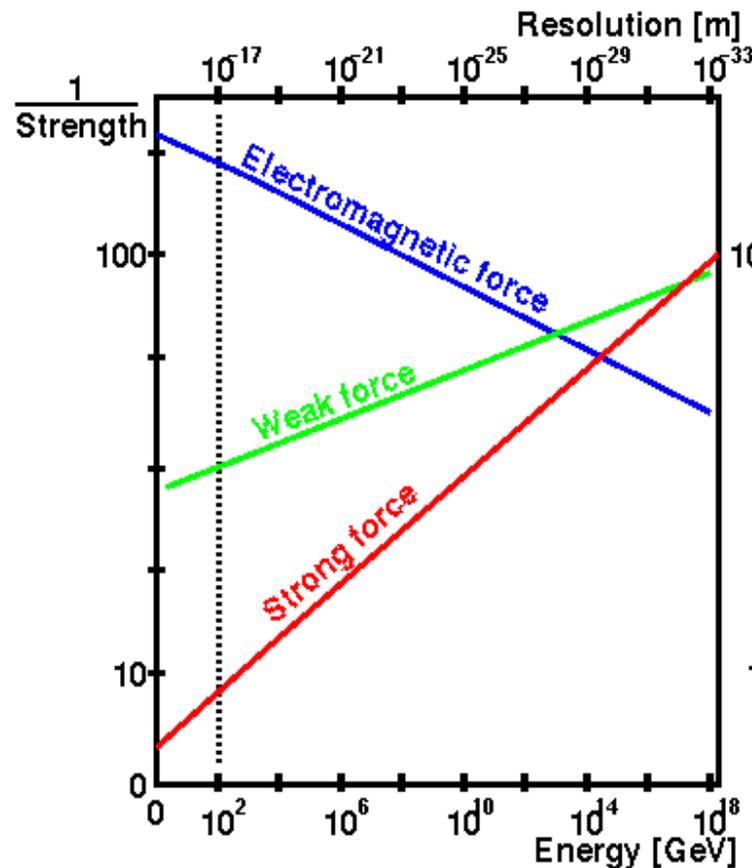
gluon

Z

Z boson

W

W boson



LA FUERZA ELECTRÓ-DEBIL ... HOY

EL ORIGEN DE LA MASA

... A T superiores a los 10^{15} K no solo todas las especies de partículas elementales sino también todos los mediadores de las fuerzas fundamentales (fotón, gluones, W^+ , W^- y Z^0) eran partículas sin masa.

En ausencia de masa, los procesos físicos serían insensibles a cualquier intercambio de fotones y partículas W^\pm ó Z^0 . Es lo que llamamos simetría electro-débil.

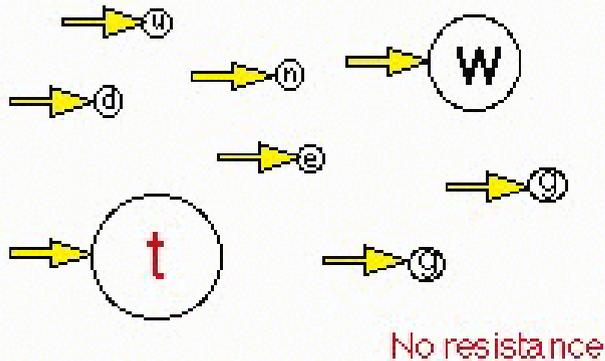
Hoy esta simetría está oculta, las fuerzas electromagnéticas y débiles aparecen como fenómenos diferenciados. Los mediadores de la fuerza débil son partículas con masa, consecuencia directa de la ruptura de simetría.

EL ORIGEN DE LA MASA

La ruptura de esta simetría (en un universo mas frío) se explica por la formación(*) de un "océano de Higgs", un campo escalar que llena el espacio.

Inmediatamente tras el Big Bang

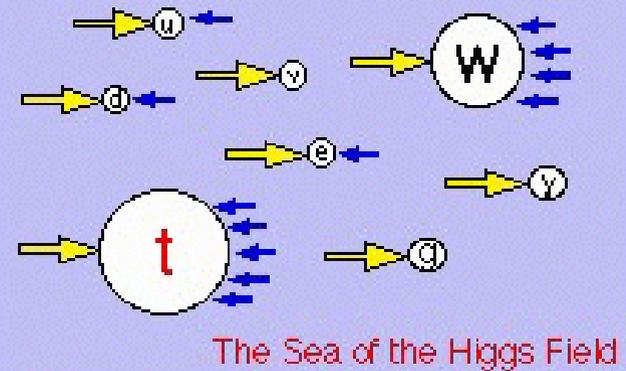
Vacuum



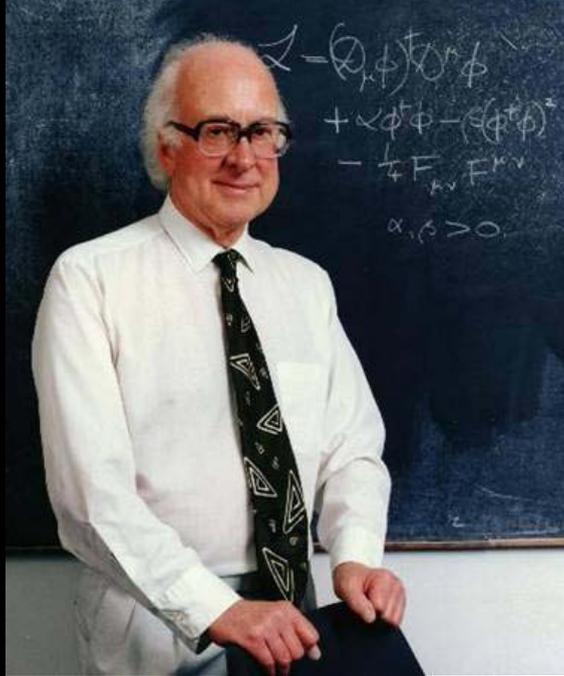
Transición de fase

Tras la condensación... Hoy

Vacuum



(*) Esta formación podría explicarse como una transición de fase con una subsiguiente reducción de la simetría. El mecanismo de ruptura de simetría -Mecanismo de Higgs- es una generalización relativista de la transición de fase Ginzburg-Landau en superconductores.



Prof. Peter Higgs

MY LIFE AS A BOSON - THE STORY OF "THE HIGGS"

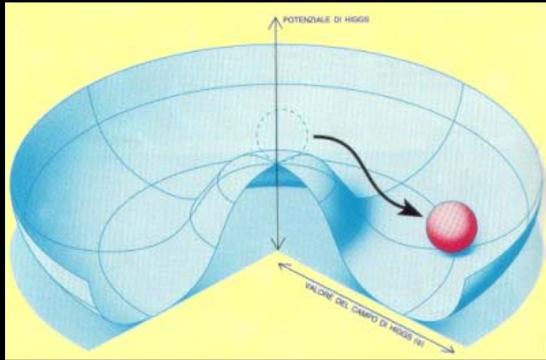
PLAN OF TALK

- 1) 1960-66 FROM { NAMBU
GOLDSTONE
TO { BROUT & ENGLERT
HIGGS
- 2) 1967-71 FROM { WEINBERG
SALAM
TO { VELTMAN
'T HOOFT
- 3) 1972-PRESENT MY LIFE AS A BOSON

1964 ACCIDENTAL BIRTH OF A BOSON

- Th. 16 July Phys. Rev. Letters (22 June), containing Gilbert's paper reaches Edinburgh.
- F. 24 July Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields (P.W.H.) sent to Physics Letters editor at CERN.
ACCEPTED
- F. 31 July Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons (P.W.H.) sent to Physics Letters editor at CERN.
REJECTED
- August Paper revised by adding (inter alia)
"It is worth noting that an essential feature of this type of theory is the prediction of incomplete multiplets of scalar and vector bosons"
- 31 August Revised paper received by Physical Review Letters.
ACCEPTED
- Referee (Nambu) draws to attention of PWH the paper by J. Englert & R. Brout, Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons (received by Phys. Rev. Letters 22 June, published 31 August)

EL ORIGEN DE LA MASA

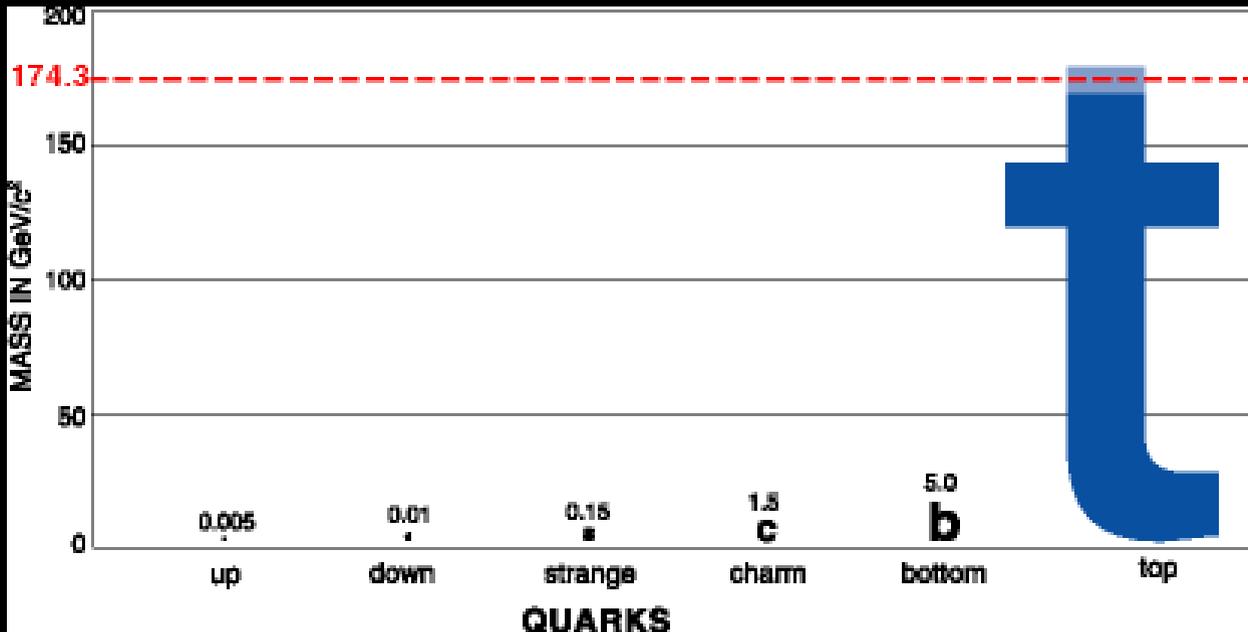


$$m_{quark} = \zeta_{quark} \times \frac{v}{\sqrt{2}} \quad v = 246 \text{ GeV}$$

Escala de EWSB

$$\zeta_{top} \approx 1$$

$$\zeta_{top} \approx 35000 \times \zeta_{up}$$



Chicago



Booster

CDF



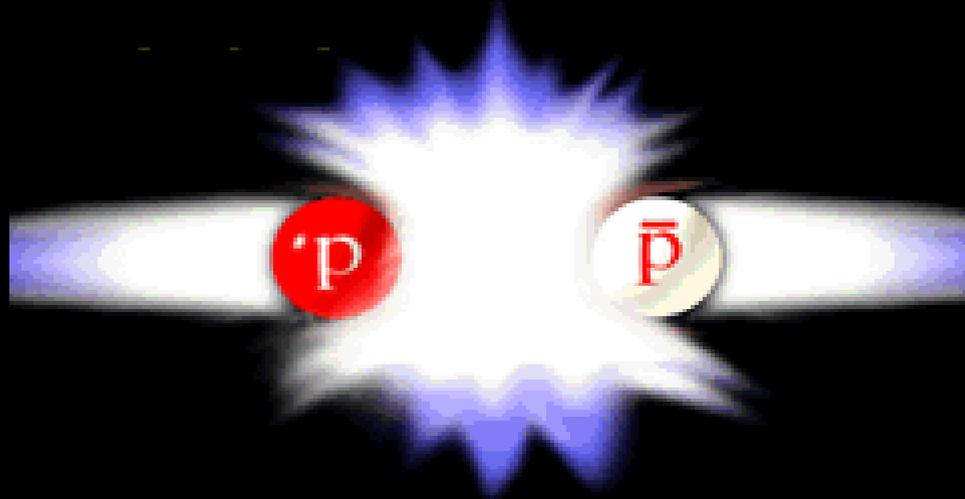
DØ



Tevatron

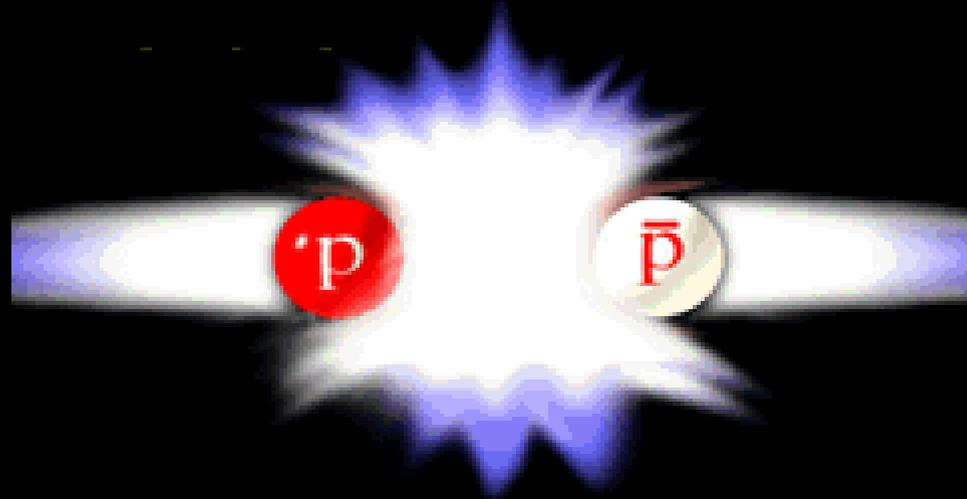
p source

Main Injector & Recycler



Frecuencia de revolución de protones y antiprotones $\approx 45000 \text{ s}^{-1}$

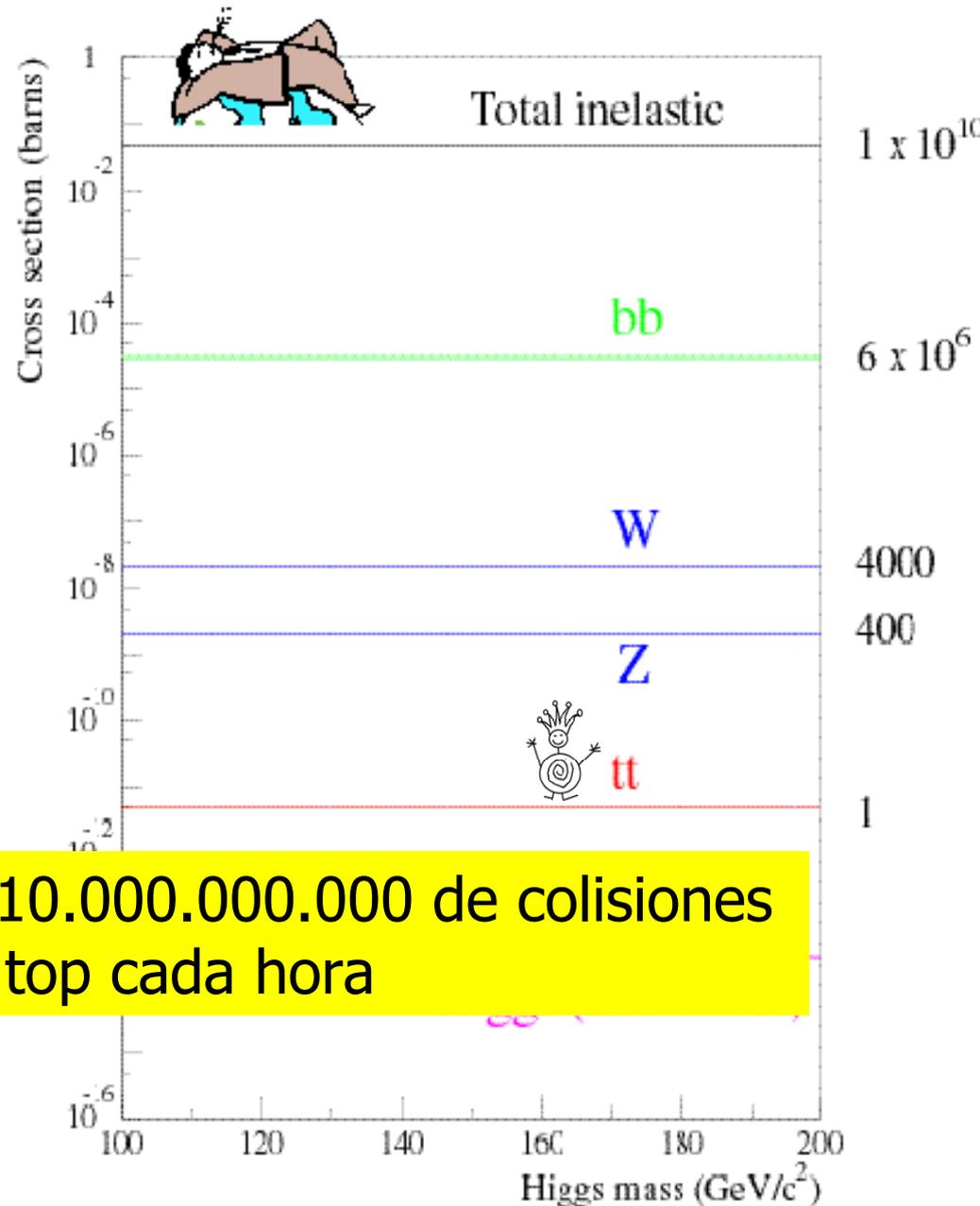
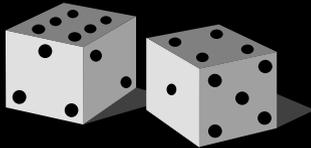
Protones y antiprotones alcanzan una energía de 980 GeV
 $c \approx 10^9 \text{ km/h} \Rightarrow v_p \approx c - 495 \text{ km/h}$



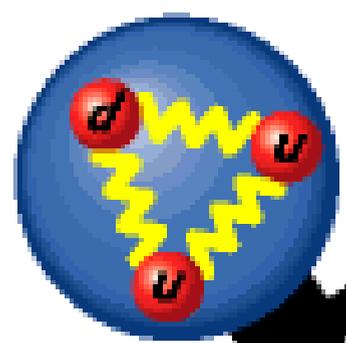
10^7 colisiones por segundo



Probabilidades ...



Proton



u

Intermediate State

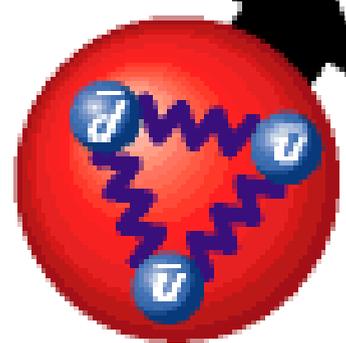
t

Annihilation

Formation

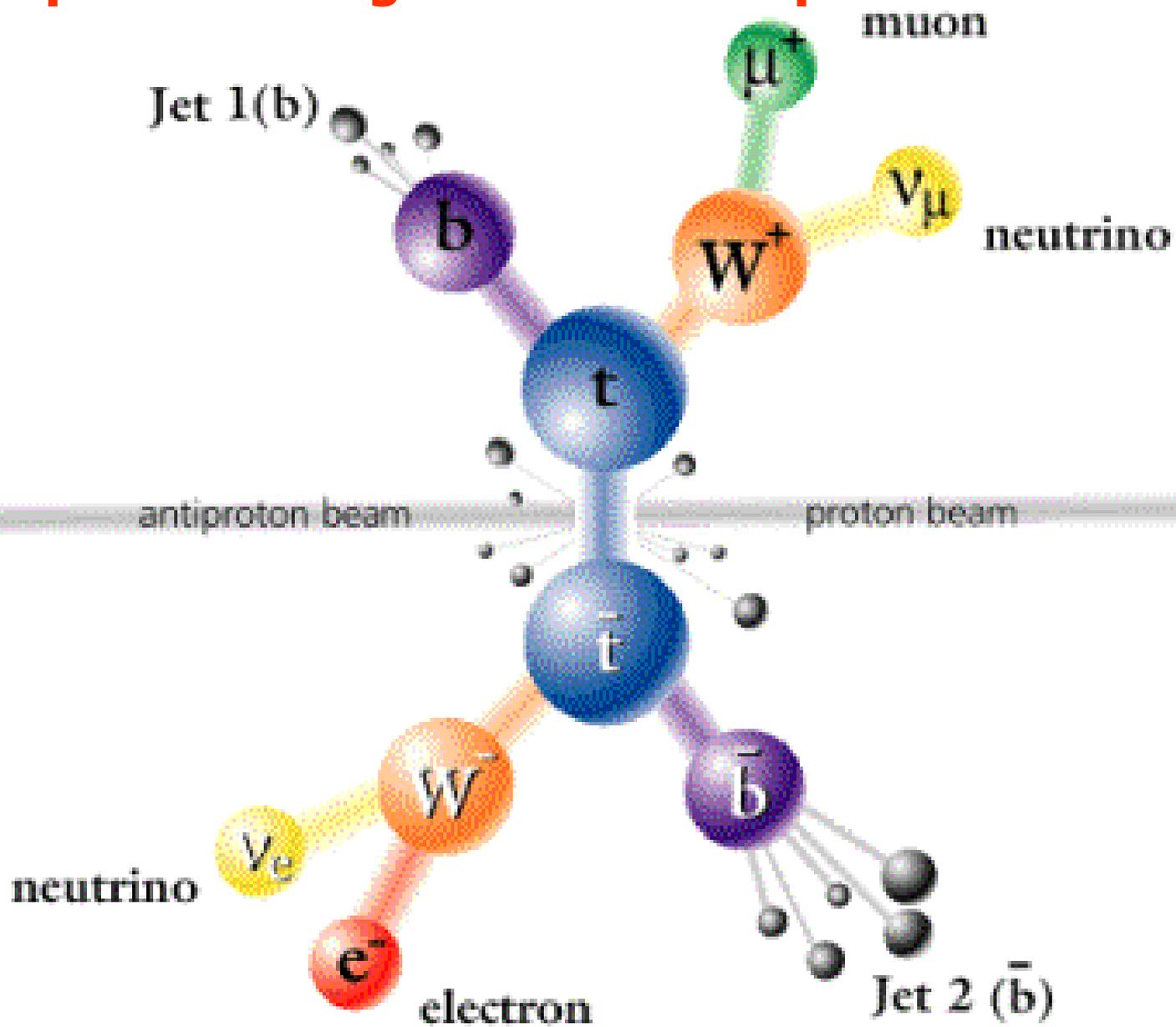
\bar{u}

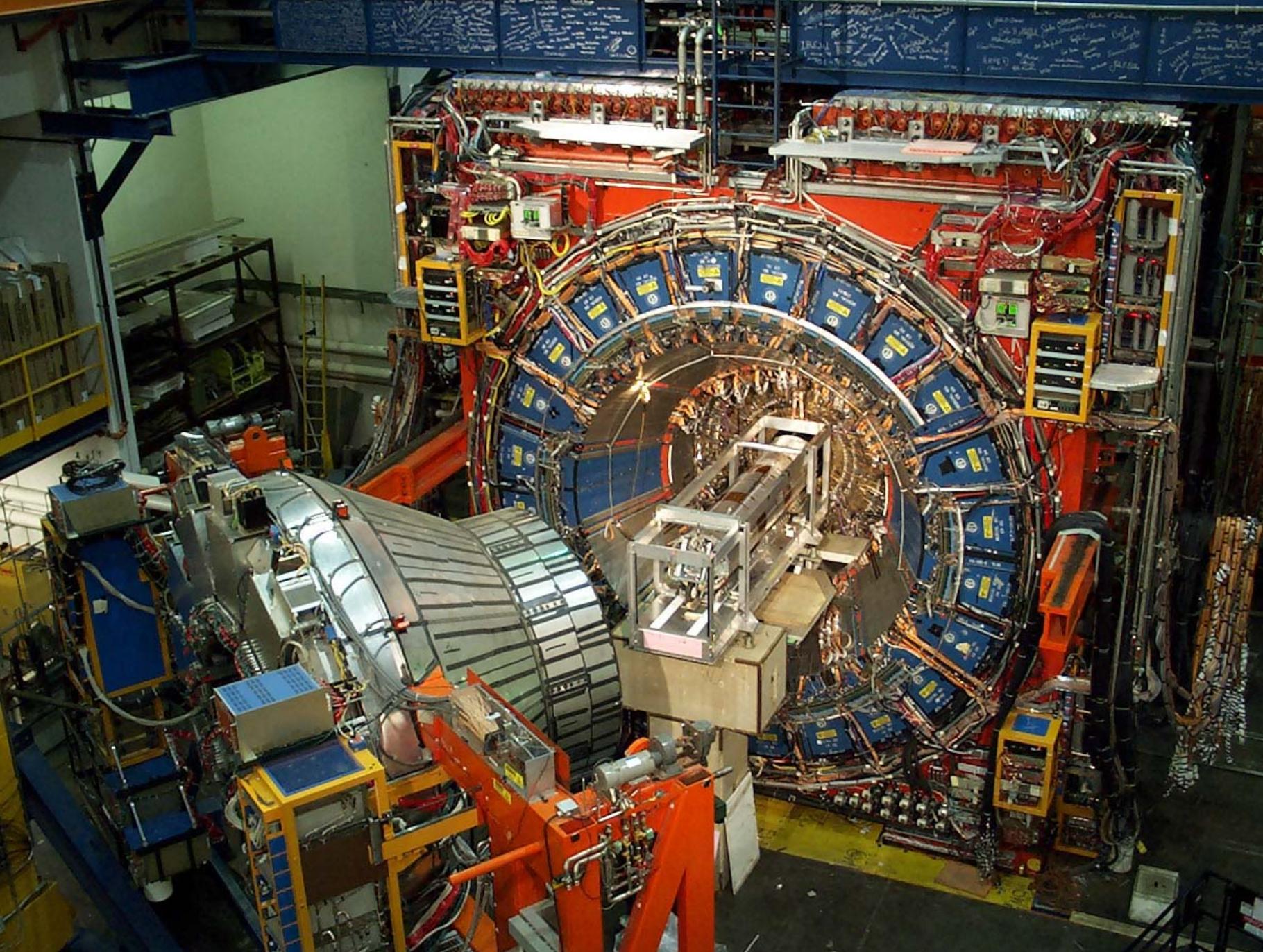
\bar{t}

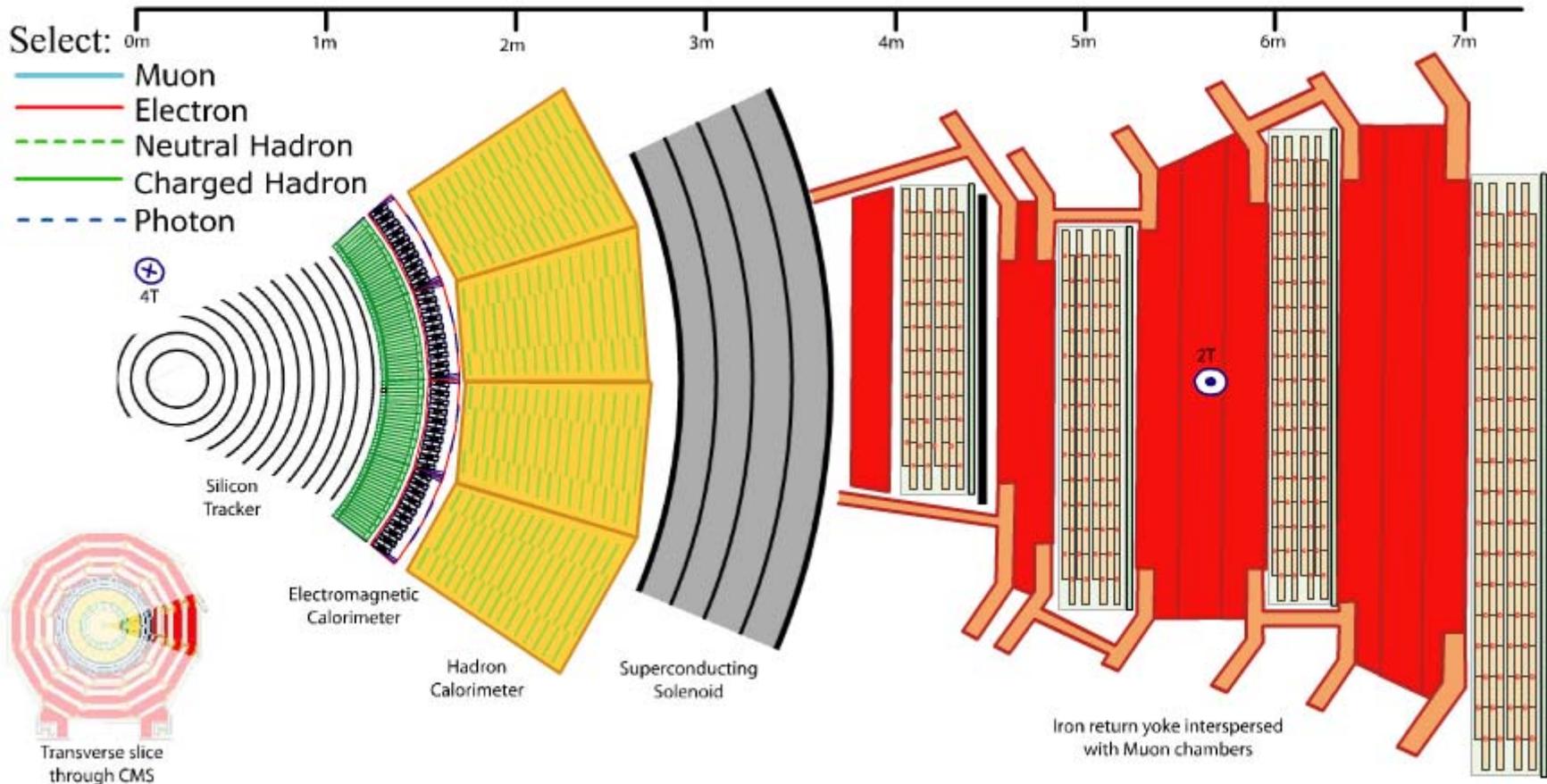


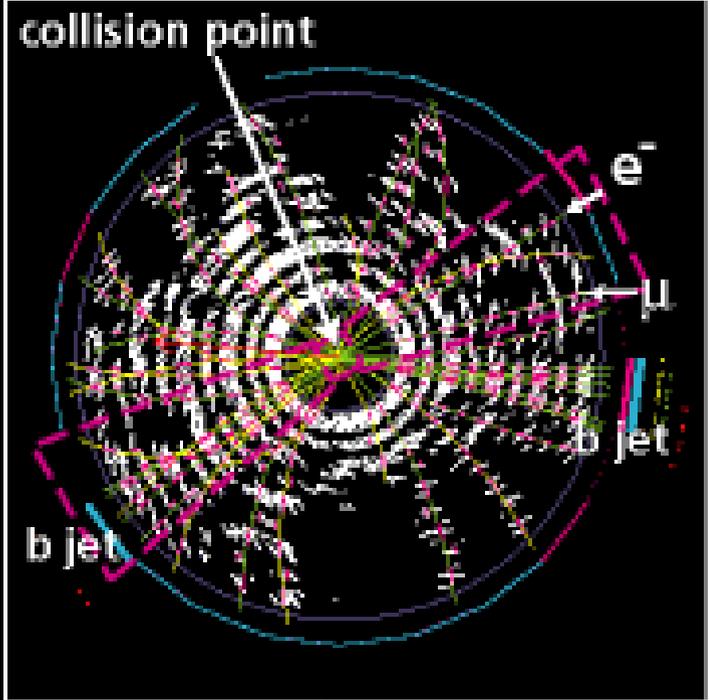
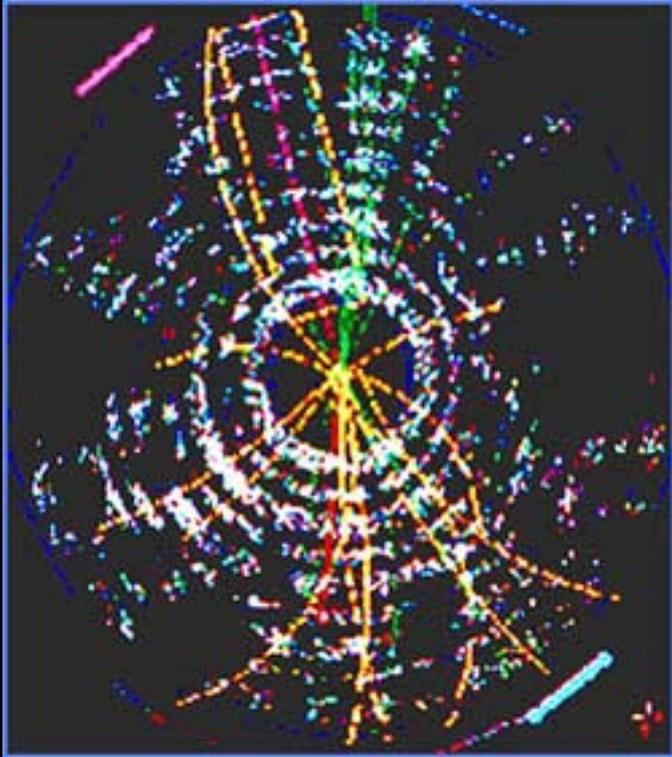
Antiproton

El top se desintegra " en estado puro"









e + 4 jet event

40758_44414

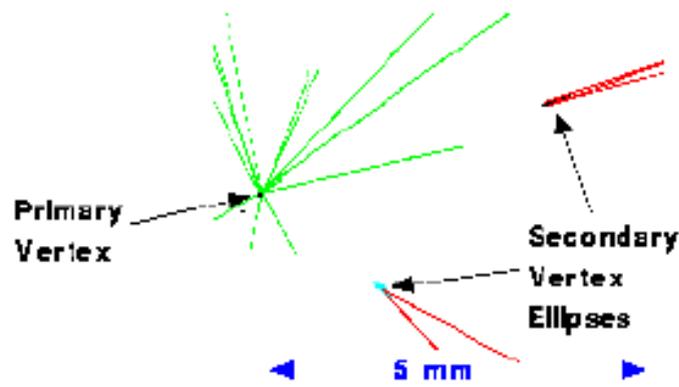
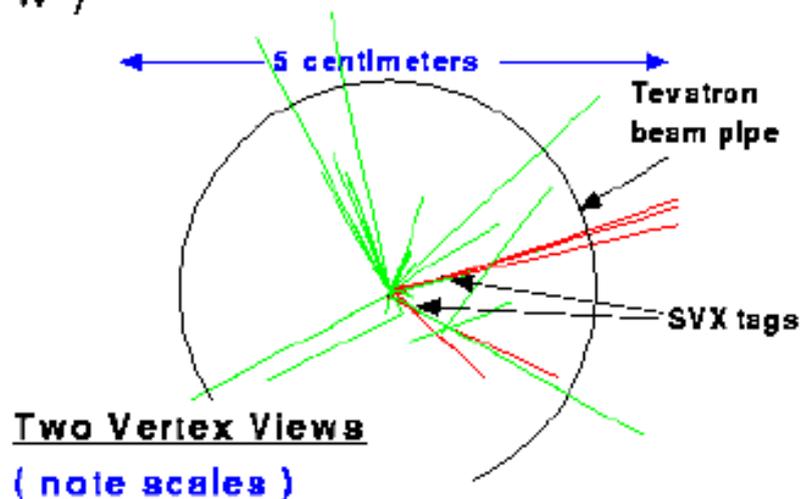
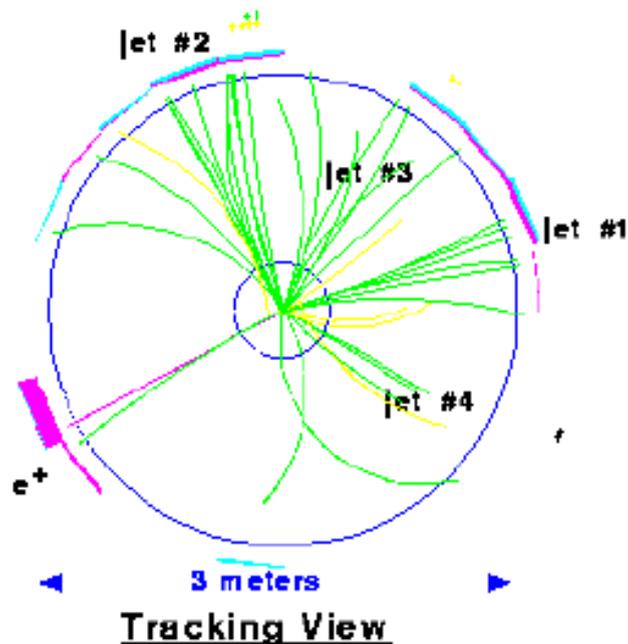
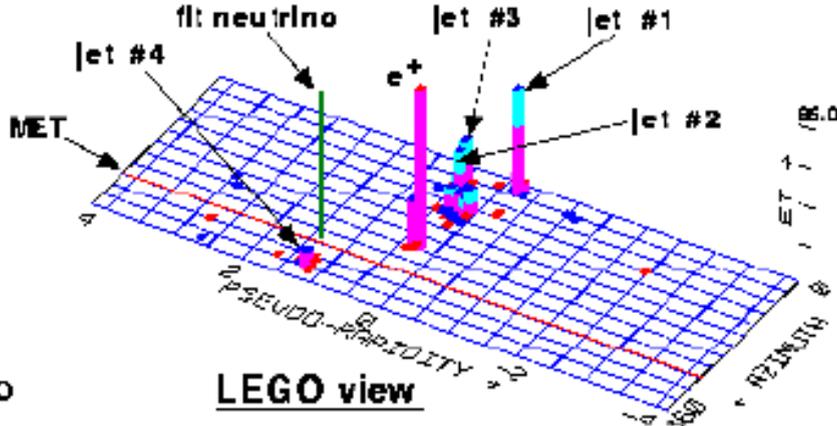
24-September, 1992

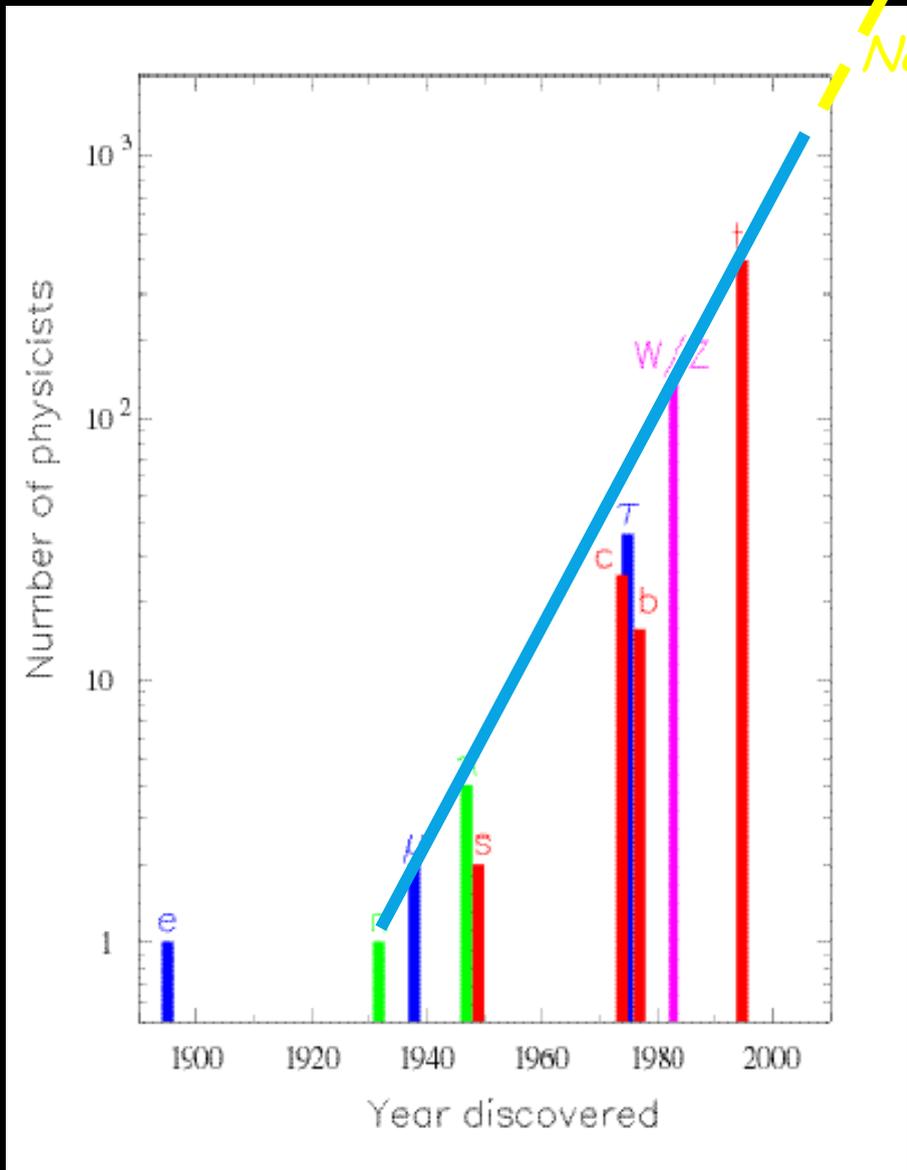
TWO jets tagged by SVX

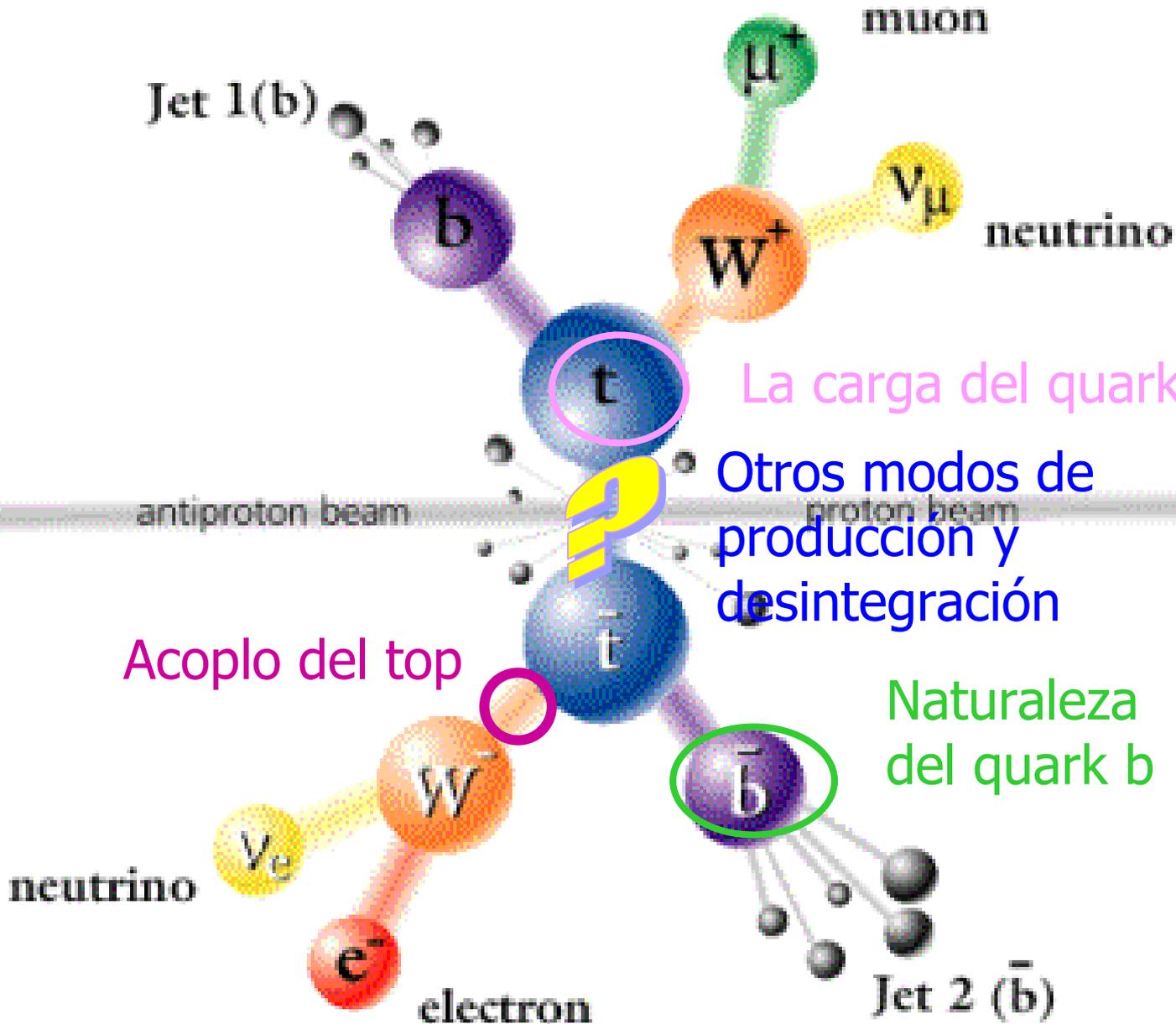
fit top mass is 170 ± 10 GeV

e^+ , Missing E_T , jet #4 from top

jets 1,2,3 from top (2&3 from W)







muon

Jet 1 (b)

b

W^+

ν_μ

neutrino

t

La carga del quark top

Otros modos de producción y desintegración

antiproton beam

proton beam

Acoplo del top

\bar{t}

Naturaleza del quark b

neutrino

ν_e

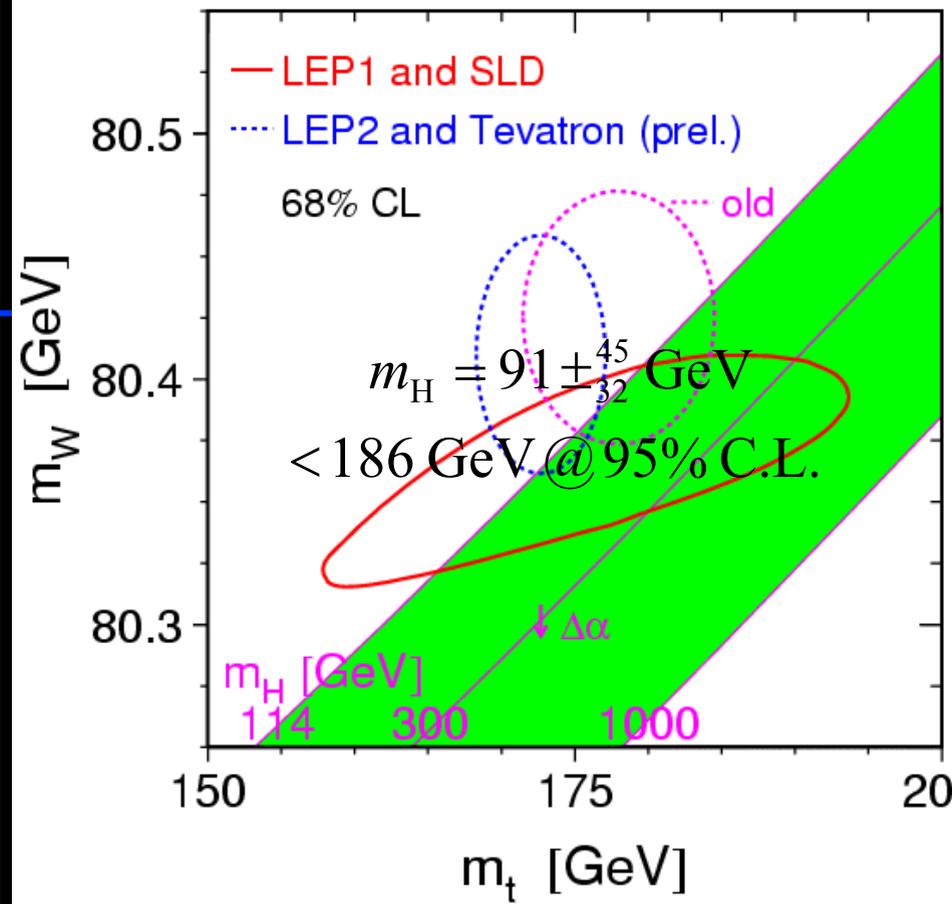
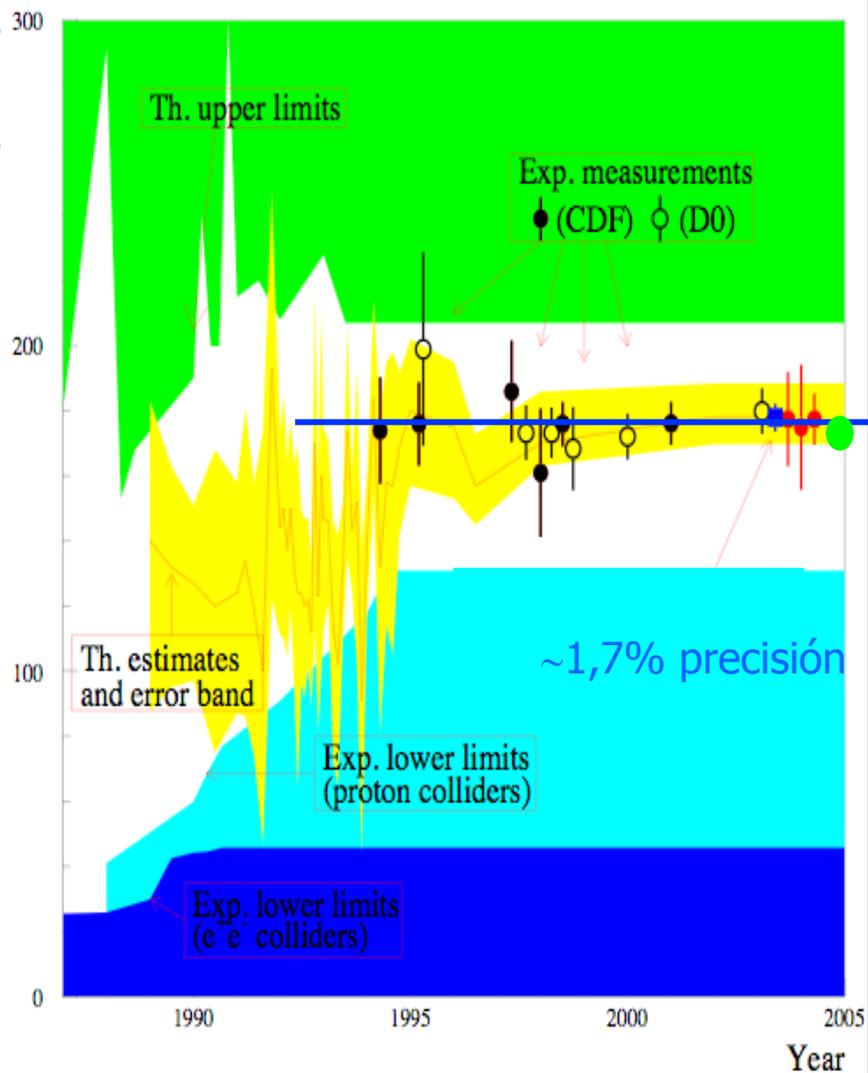
W^-

e^-

electron

\bar{b}

Jet 2 (\bar{b})



Higgs Rd.



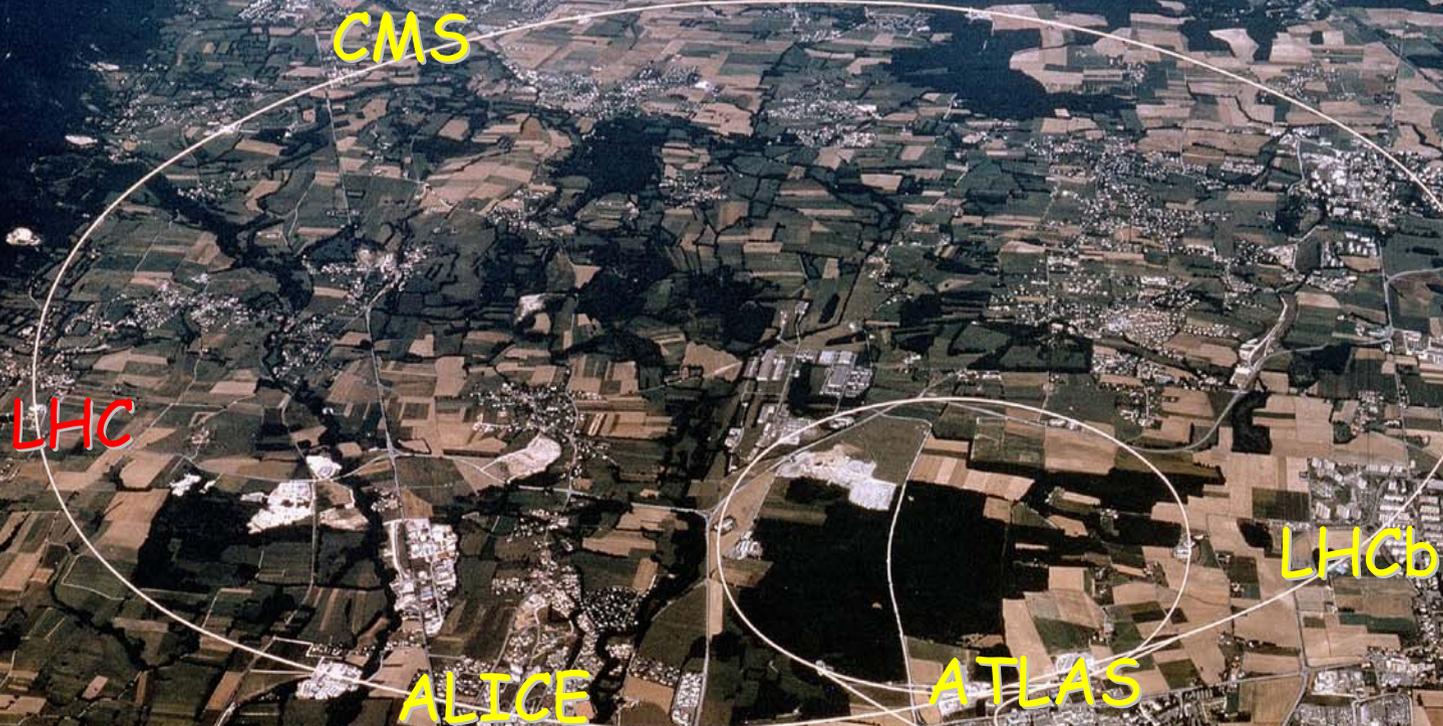
Proton-Proton machine

$E_{\text{cm}} = 14 \text{ TeV} (\sim 7 \times \text{Tevatron})$

Design $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

(initial $L = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \Rightarrow$ 1st year 10 fb^{-1})

Reach $\sim 10 \times \text{Tevatron}$

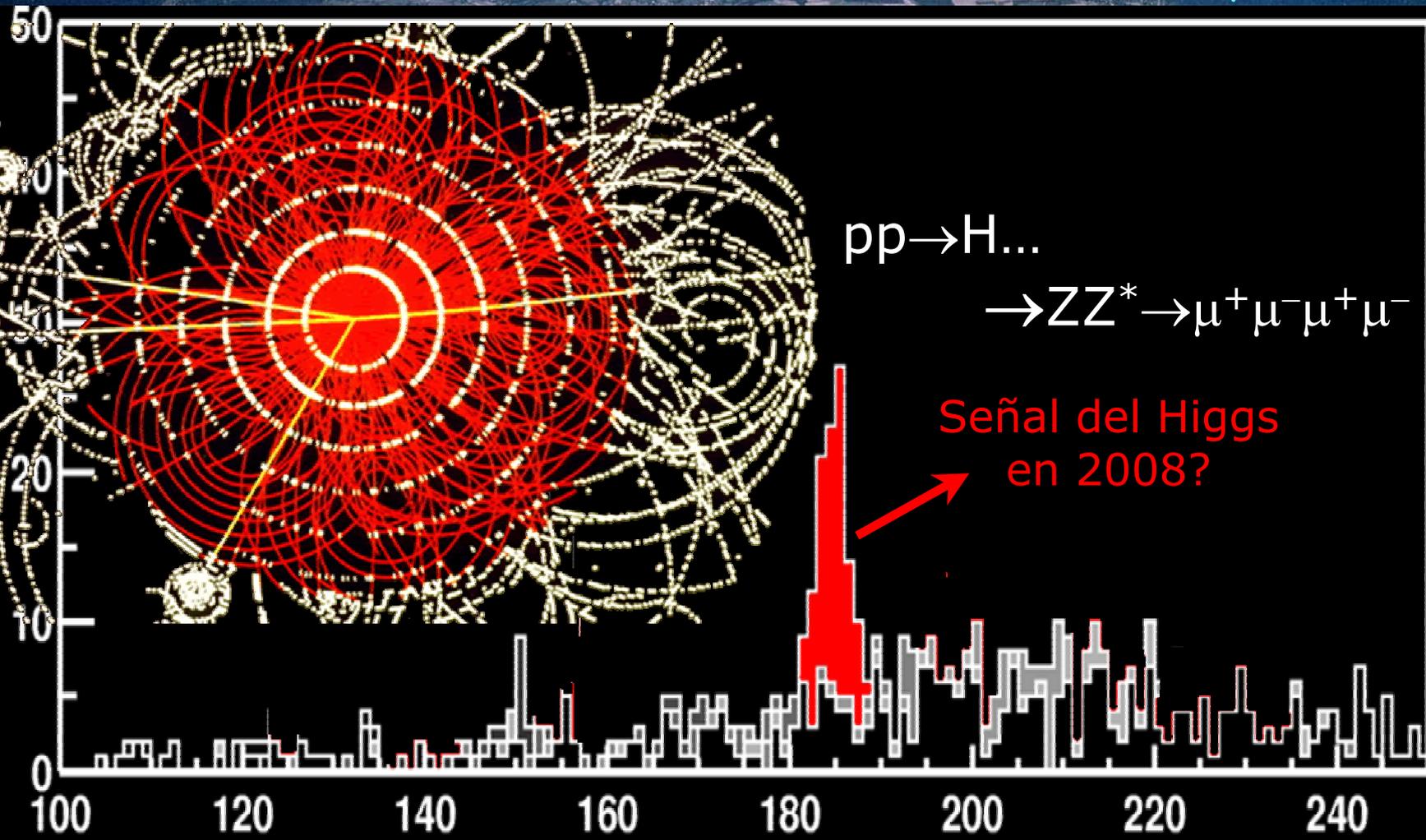


$E_{cm} = 14 \text{ TeV}$ ($\sim 7 \times \text{Tevatron}$)

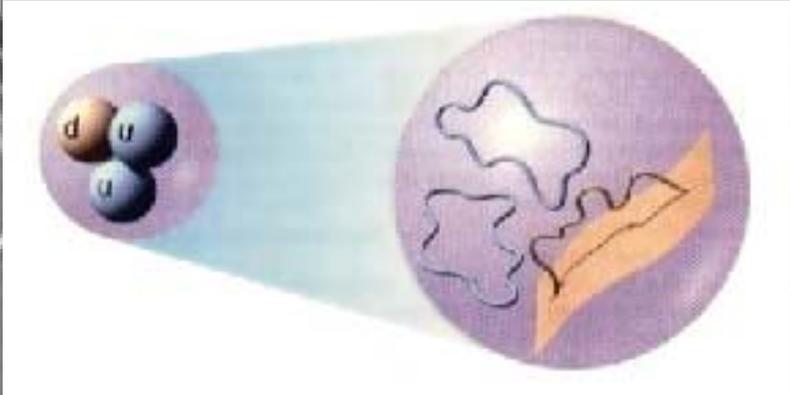
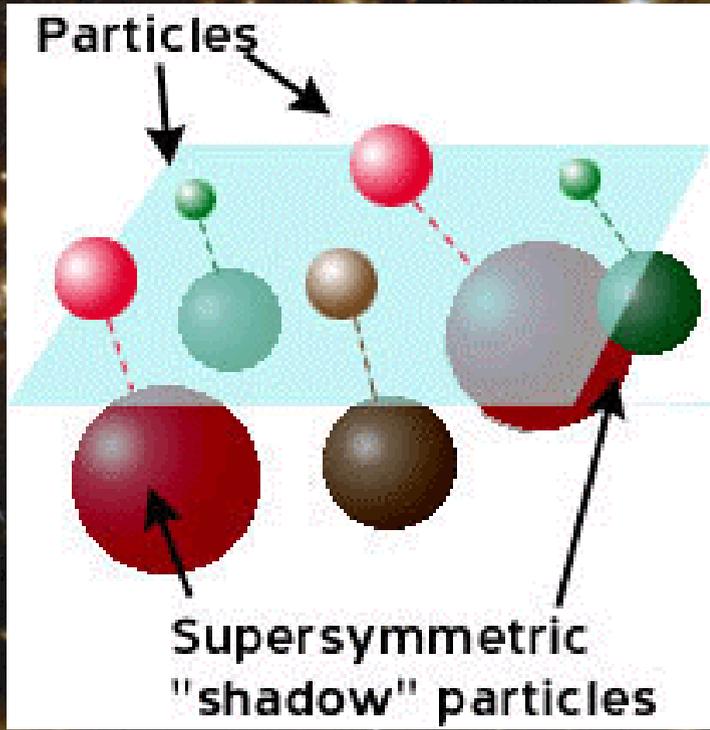
Design $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

(initial $L=10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \Rightarrow 1\text{st year } 10 \text{ fb}^{-1}$)

NUMERO DE SUSESOS



$\mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$ masa invariante (GeV)





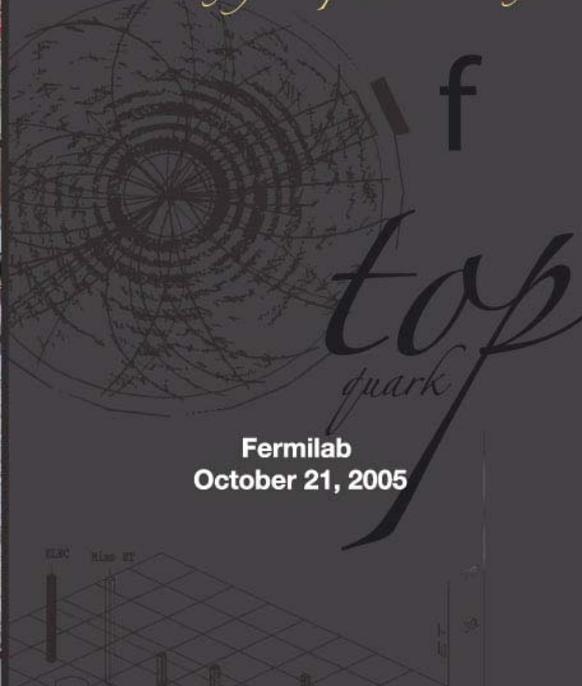
International Particle Accelerator Conference
 2005, 10-15 July, Knoxville, Tennessee, USA
 The International Particle Accelerator Conference (IPAC) is the premier international meeting for particle accelerators and related technologies. It is held every two years and is the largest meeting in the field. The 2005 conference was held in Knoxville, Tennessee, USA, from July 10-15. The conference was organized by the Fermilab and the University of Tennessee. The conference was held in the Grand Ballroom of the Hyatt Regency Hotel in Knoxville, Tennessee, USA. The conference was held in the Grand Ballroom of the Hyatt Regency Hotel in Knoxville, Tennessee, USA. The conference was held in the Grand Ballroom of the Hyatt Regency Hotel in Knoxville, Tennessee, USA.



Evasive Particle Found by Scientists in Illinois
 The Top Quark, which is 173 times heavier than a proton, was discovered by scientists at Fermilab in Illinois. The discovery was announced on September 13, 2005. The scientists used the D0 detector at Fermilab to discover the top quark. The discovery was a major breakthrough in particle physics. The scientists used the D0 detector at Fermilab to discover the top quark. The discovery was a major breakthrough in particle physics. The scientists used the D0 detector at Fermilab to discover the top quark. The discovery was a major breakthrough in particle physics.

TOP TURNS TEN

10th Anniversary of the Top Quark Discovery



**Fermilab
 October 21, 2005**

An afternoon symposium in celebration of the 10th anniversary of the discovery of the Top Quark at Fermilab by the CDF and D0 collaborations. A reception in the Wilson Hall atrium will follow the symposium.

Details at <http://www.fnal.gov/pub/news05/TopTurnsTen.html>

Fermilab National Accelerator Laboratory / Office of Science / U.S. Department of Energy / Managed by Universities Research Association, Inc.



news release
 fermi national accelerator laboratory
 Fermilab News Release 05-087
 October 21, 2005
 10th Anniversary of the Top Quark Discovery

