

Los retos de la Física Fundamental en el siglo XXI

Luis Ibáñez



UAM-CSIC, Madrid

Semana de la Ciencia
Residencia de Estudiantes
16 Noviembre 2013

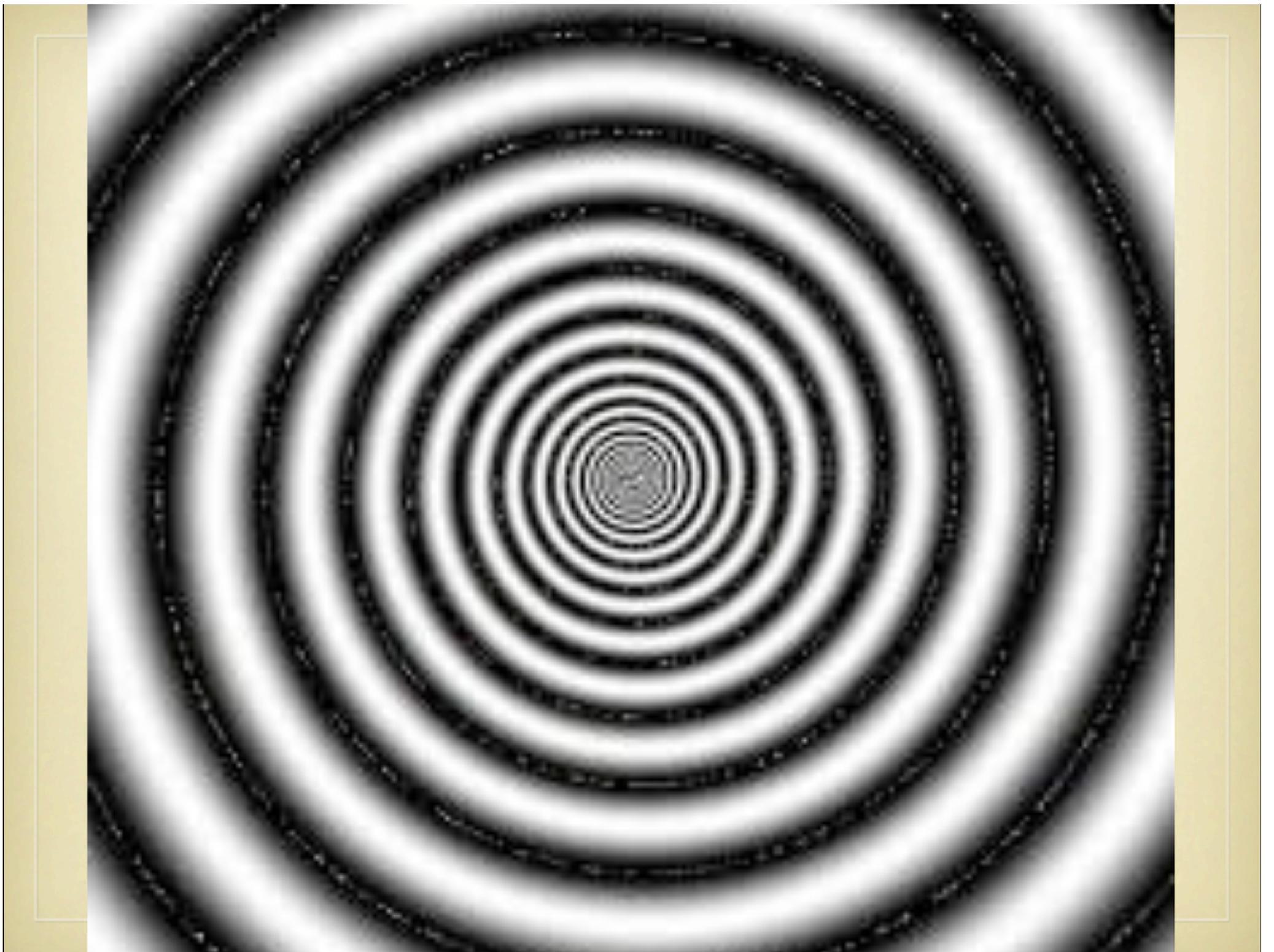


erc
European
Research
Council

SPLE Advanced Grant

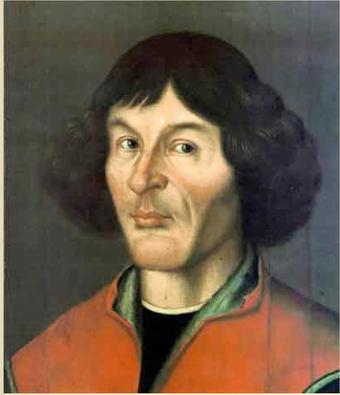
The image features a central visual effect of concentric circles in black and white, creating a tunnel-like perspective that draws the eye towards the center. This effect is framed by a gold-colored border with a thin white inner line. The text is overlaid on this background.

Retrocedamos en el
tiempo...



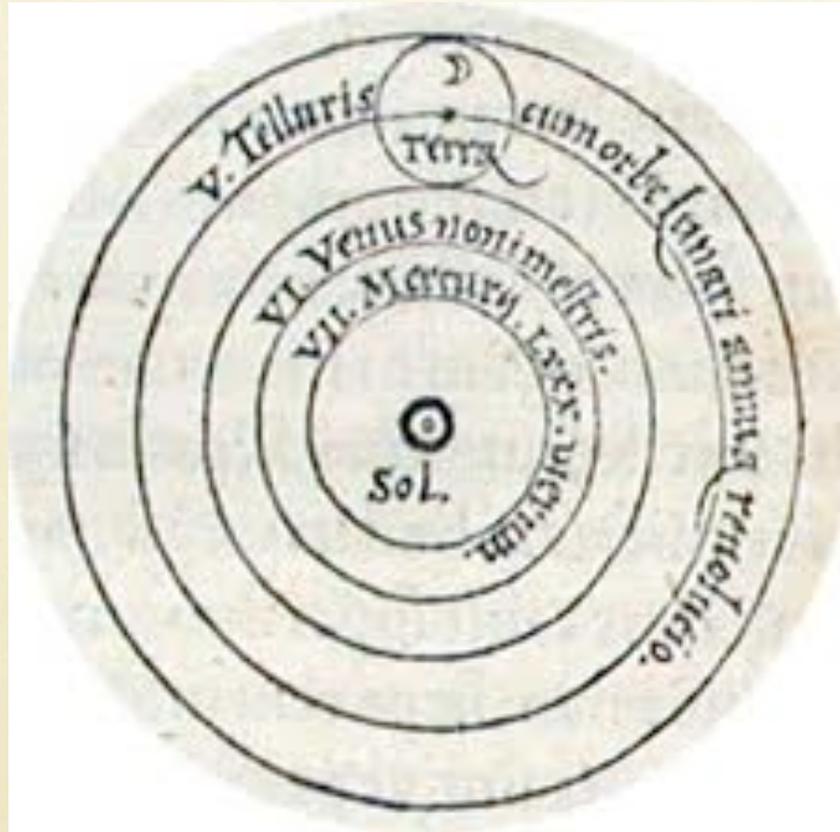
S. XVI

¡El hombre deja de ser el centro del universo!



Copérnico
1543

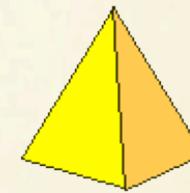
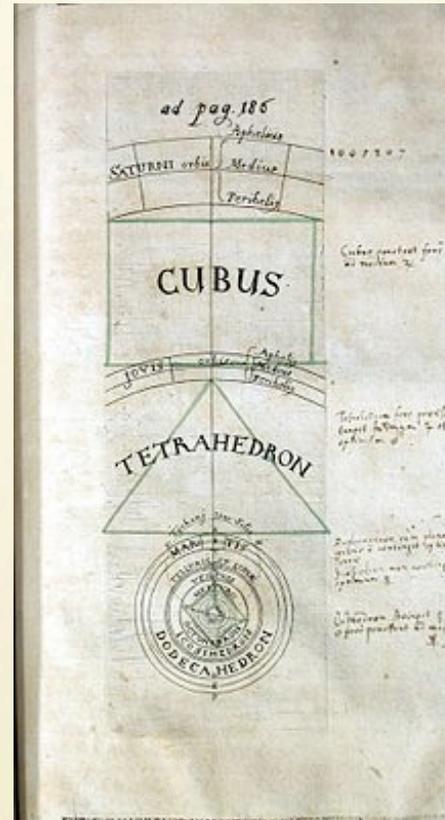
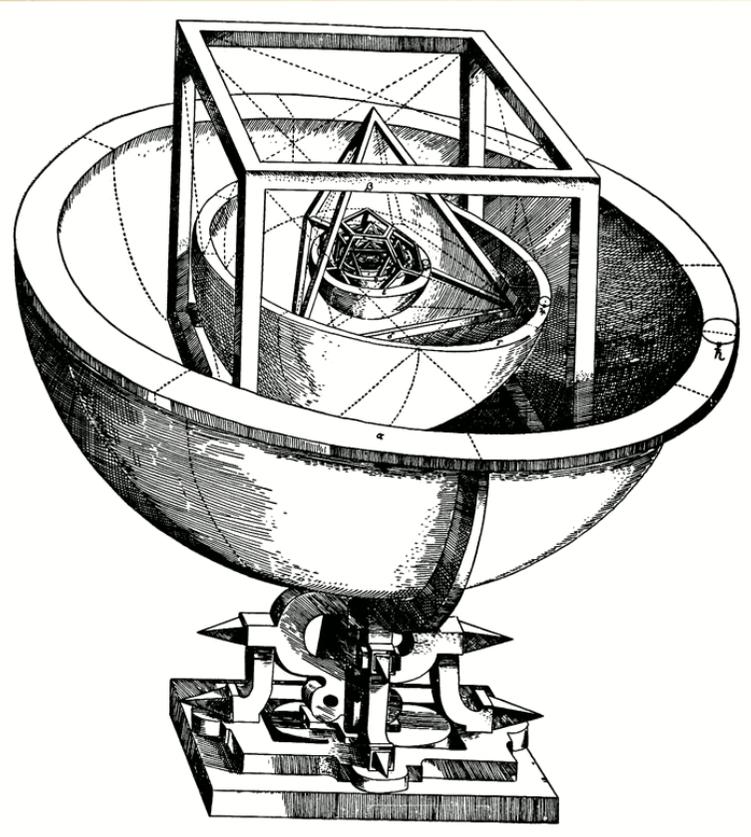
Revolución Copernicana:



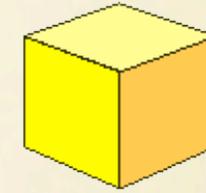
Kepler
1609

leyes del movimiento de los planetas

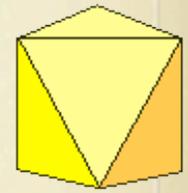
Kepler asoció erróneamente los 5 planetas
entonces conocidos a los 5 polihedros regulares



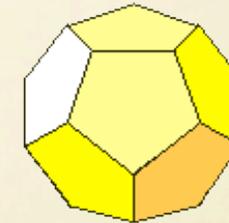
Tetraedro



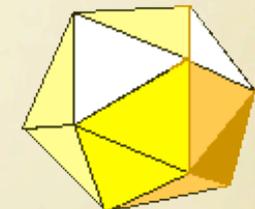
Cubo



Octaedro



Dodecaedro



Icosaedro

Hoy sabemos que el número y movimiento de los planetas
no es mas que un accidente geográfico

Error: dar significado fundamental a hechos accidentales

La Física moderna empieza en el siglo XVII:



Galileo Galilei

1604

Matematización de la Física

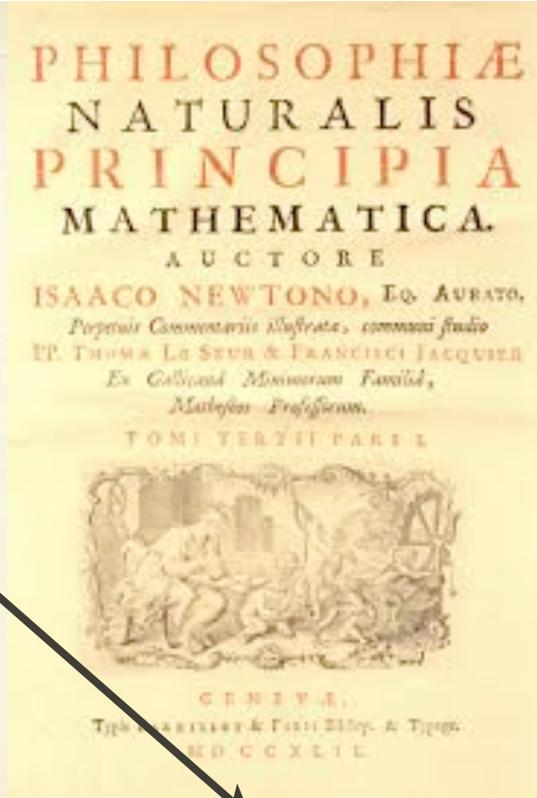
Método científico



Optica



Isaac Newton

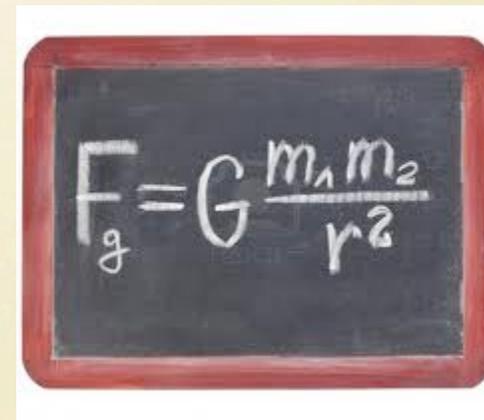


1687



Leyes del movimiento

Fuerzas a distancia



Gravitación Universal

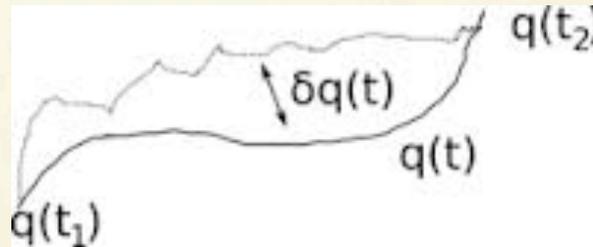
¡Primera unificación!

Reformulación en el siglo XIX.....



Lagrange

Principio de Mínima Acción:



$$\text{Acción} = S = \int L dt$$

Lagrangiano



Hamilton

1834

Reproduce leyes de Newton y



Coulomb



Ampere



Faraday

Noción de 'campo de fuerzas'

$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$$

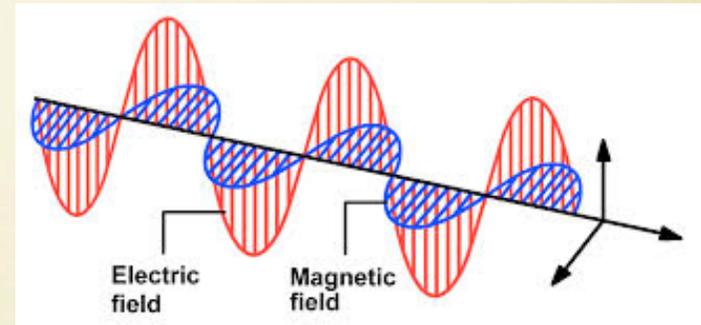
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



J.C. Maxwell

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned}$$

1865

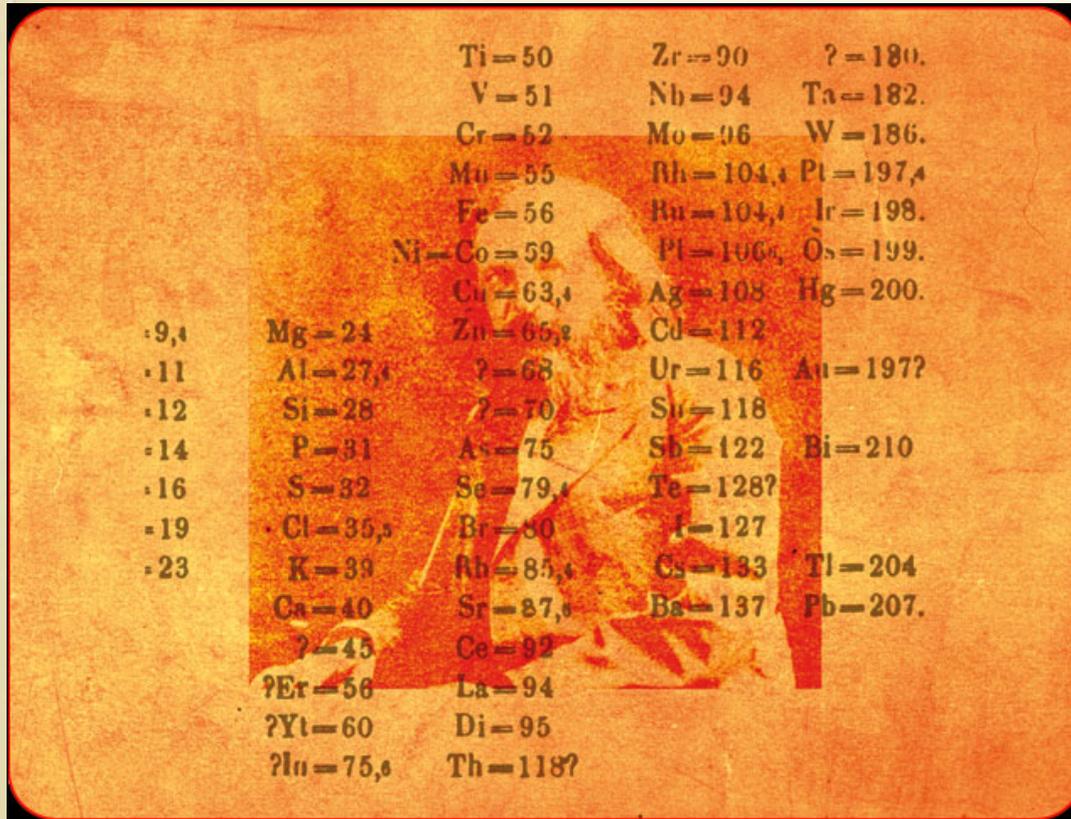


Luz = Radiación electromagnética

Electricidad, Magnetismo y luz unificados:

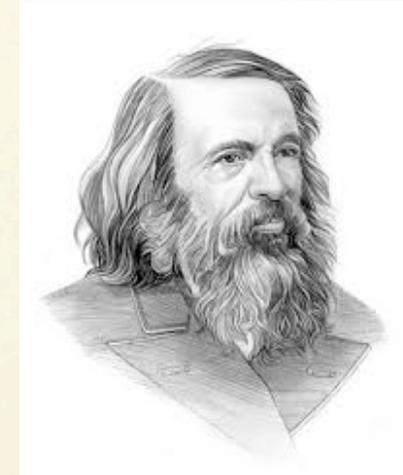
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

A finales del siglo XIX se creía conocer el universo con bastante precisión salvo *pequeños detalles*:



		Ti=50	Zr=90	?=180.
		V=51	Nb=94	Ta=182.
		Cr=52	Mo=96	W=186.
		Mn=55	Rh=104.4	Pt=197.4
		Fe=56	Ru=104.4	Ir=198.
		Ni=Co=59	Pd=106.6	Os=199.
		Cu=63.4	Ag=108	Hg=200.
·9.4	Mg=24	Zn=65.2	Cd=112	
·11	Al=27.4	?=68	Ur=116	Au=197?
·12	Si=28	?=70	Sn=118	
·14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
·16	S=32	Se=79.4	Te=128?	
·19	Cl=35.5	Br=80	I=127	
·23	K=39	Rb=85.4	Cs=133	Tl=204
	Ca=40	Sr=87.6	Ba=137	Pb=207.
	?=45	Ce=92		
	?Er=56	La=94		
	?Yt=60	Di=95		
	?Lu=75.6	Th=118?		

Tabla de los elementos químicos



1869

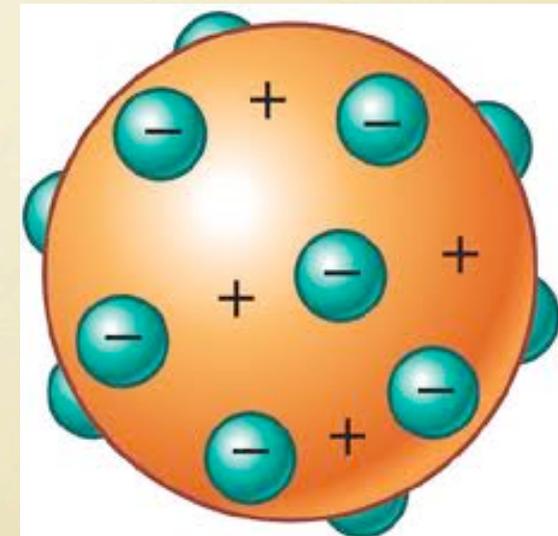
Mendeleiev



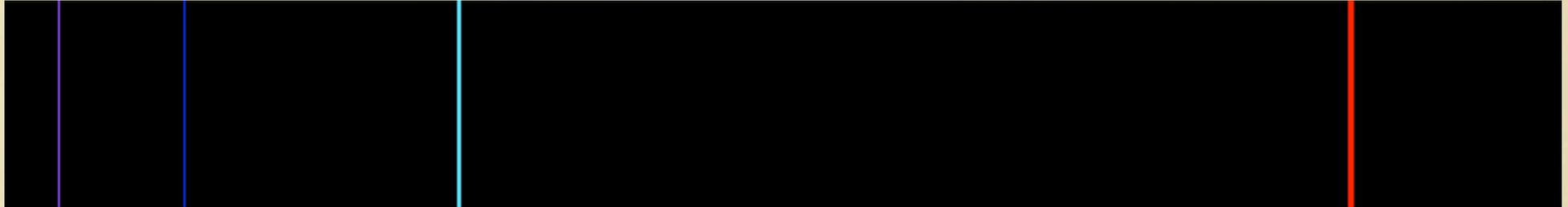
Modelo atómico
de Thomson

1904

No explica esa estructura



La curiosa estructura de los “espectros” de absorción y emisión de luz.....



La existencia de fenomenos radiactivos....



Roentgen, Curie

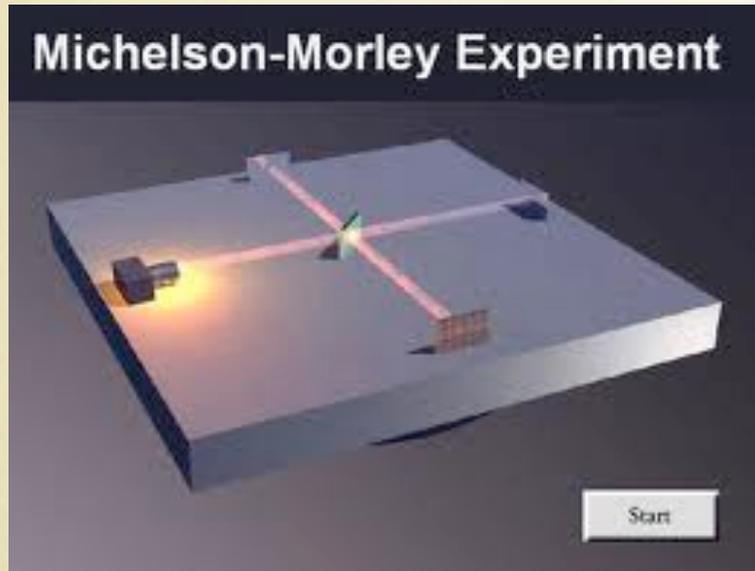


1900

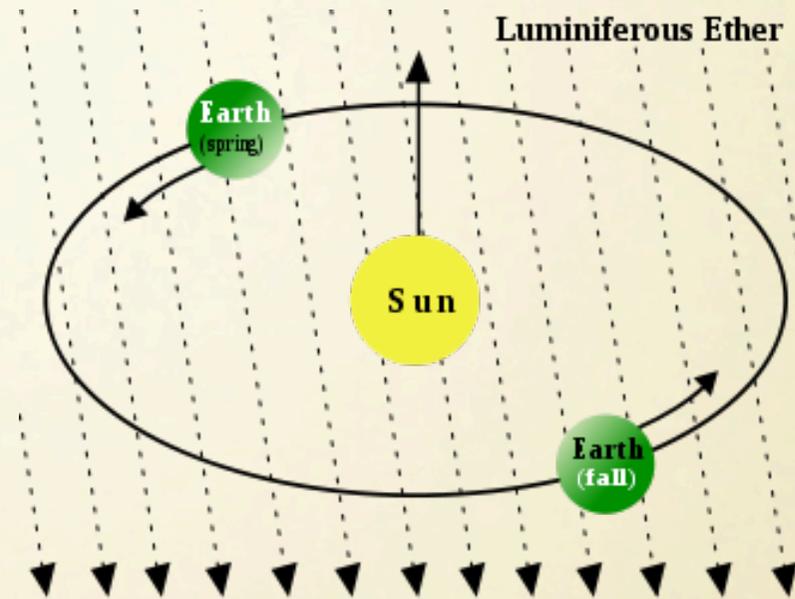
Planck

La radiación del ‘cuerpo negro’..

La constancia de la velocidad de la luz en sistemas en movimiento...



1887

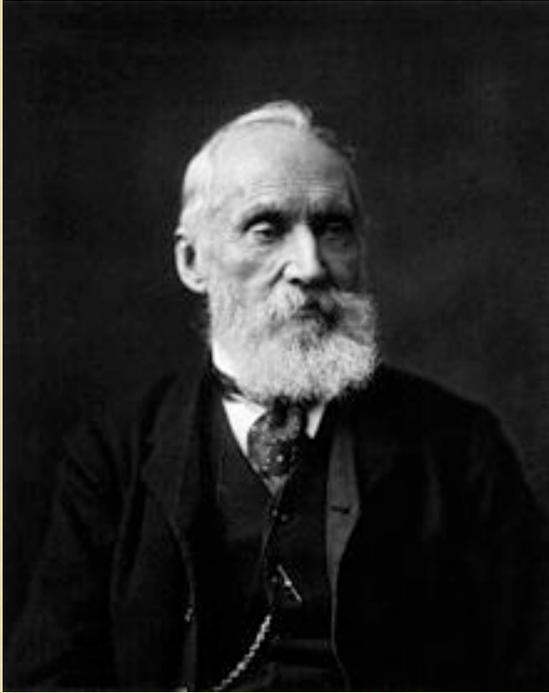


Otro error: Escepticismo respecto a la astrofísica:

de los planetas(estrellas) nunca sabremos nada desu estructura quimica o mineralogica. . . .



Course de la Philosophie positive, A. Comte, 1835



Otro error más:

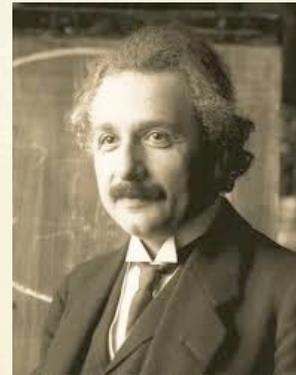
‘No hay nada nuevo que descubrir en Física en estos momentos. Lo único que nos queda es hacer medidas más y más precisas’

Lord Kelvin, 1900

Los pequeños ‘detalles’
que no cuadraban llevaron
a la **revolución de la Física**
en el siglo **XX**

Los dos pilares de la Física del siglo XX:

1) Teoría de la Relatividad



1905

2) Mecánica Cuántica

1913-1928



Bohr



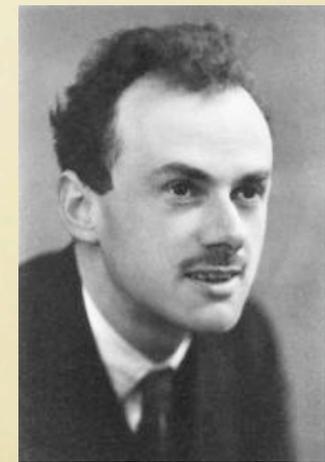
Schrodinger



Heisenberg

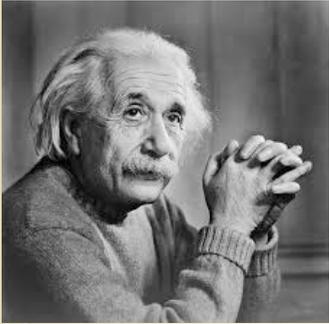


Pauli



Dirac

1) Teoría Especial de la Relatividad



$$c = \text{constante} = 299.792 \text{ Km/s}$$

1905 velocidad de la luz en el vacío independiente de la velocidad del emisor

★ $c =$ máxima velocidad de propagación de las interacciones

★ la masa es una forma de energía

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} \simeq mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 \dots$$

masa = energía¹⁵ empaquetada



Einstein con
Blas Cabrera
en el centro de Madrid
(1935)



..y con Mme Curie

2) Mecánica Cuántica

Acción múltiple
entero de $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{Js}$

★ Toda magnitud con unidades de acción está cuantizada:

$$(mv) \cdot x, E \cdot t, \vec{r} \times m\vec{v} = (\text{entero})h$$



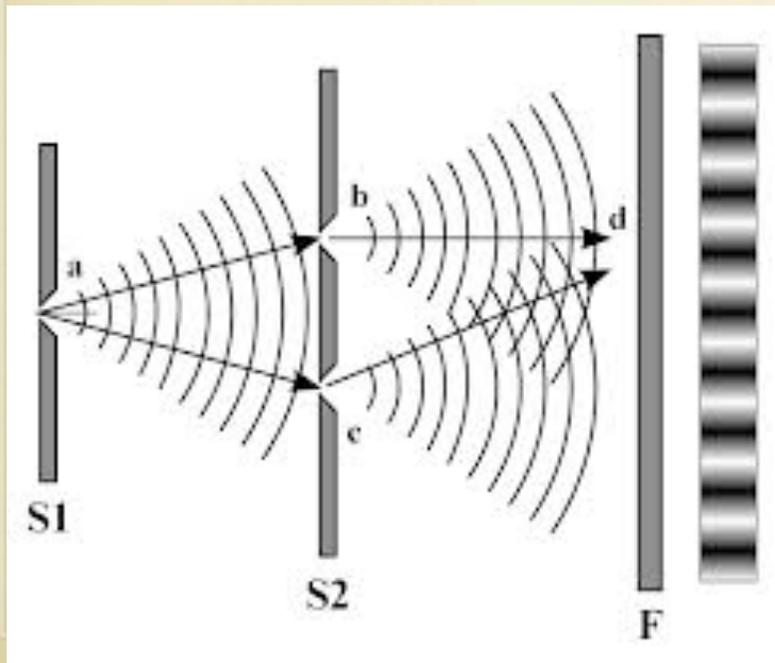
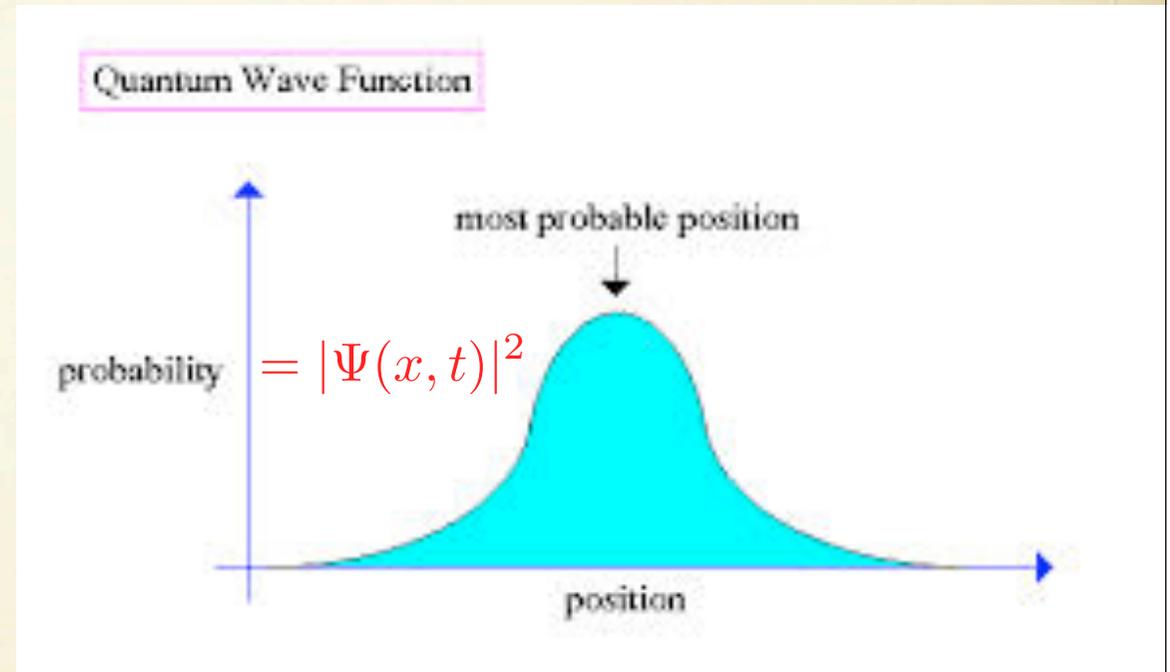
$$\Delta x \simeq \frac{h}{\Delta(mv)}$$

Imprecisión intrínseca en
la medida de la posición

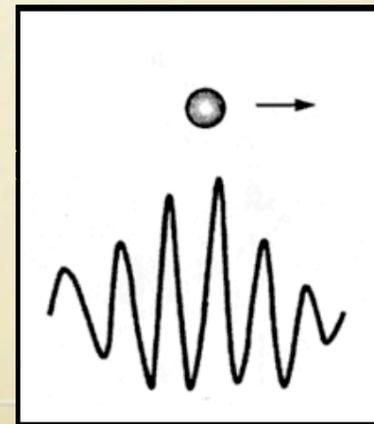
En el mundo (sub)atómico no tiene sentido hablar de trayectoria de una partícula

$$X(t) \longrightarrow \Psi(x, t)$$

Función de onda



Las partículas se comportan como ondas y viceversa:



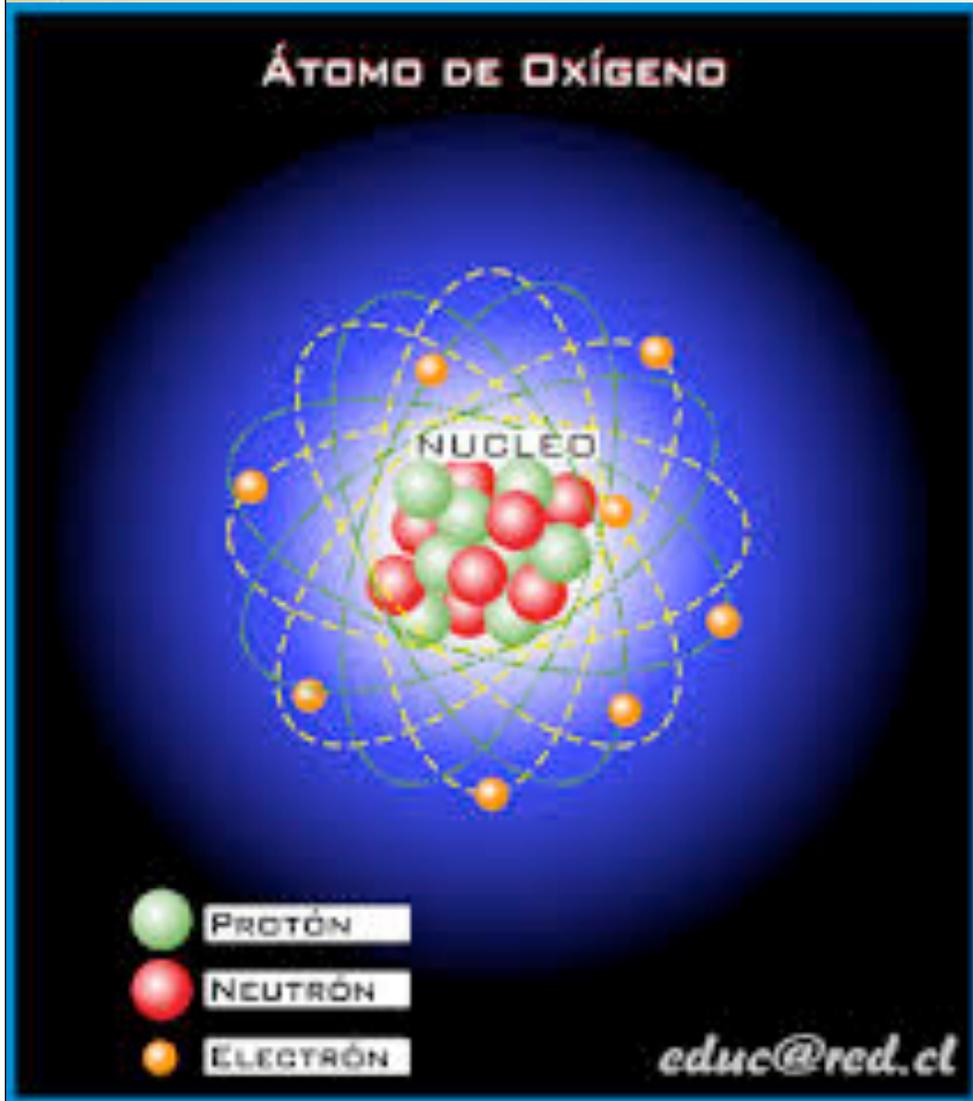
La M.C. permite entender la estructura de los elementos químicos....

Tabla periódica de los elementos

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

Alcalinos	Alcalinotérreos	Lantánidos	Actínidos	Metales de transición
Metales del bloque p	Metaloides	No metales	Halógenos	Gases nobles

.....y las moléculas, cristales toda la materia usual



Nucleo: **protones** (carga positiva) y **neutrones** (neutros)

(ligados por la Interacción “Fuerte”)

Corteza: **electrones** (carga negativa)

(Solo existen unos 100 tipos de átomos estables, pues la repulsión entre protones rompería los nucleos)

SIGLO XX

DISTANCIAS SUBATÓMICAS

MECÁNICA CUÁNTICA

PARTÍCULAS ELEMENTALES

TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS

RELATIVIDAD ESPECIAL

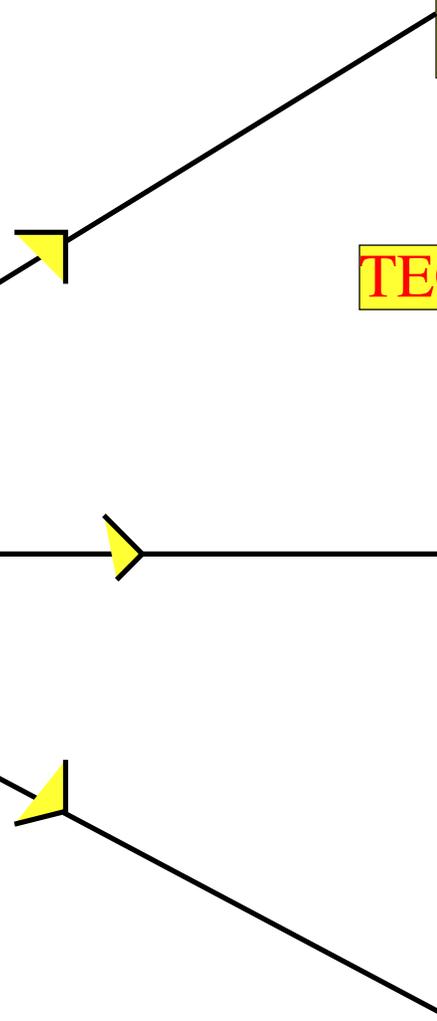
VELOCIDADES MUY GRANDES
(DEL ORDEN DE LA DE LA LUZ)

RELATIVIDAD GENERAL

ASTROS Y COSMOLOGÍA

SIGLO XIX

FÍSICA CLÁSICA



Mecánica Cuántica + Relatividad:

'Teoría Cuántica de Campos'

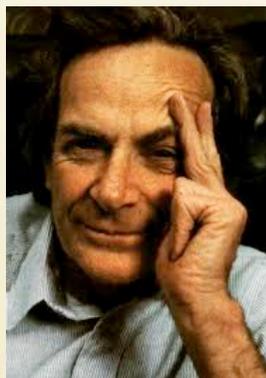
1928-1950



Pauli



Dirac



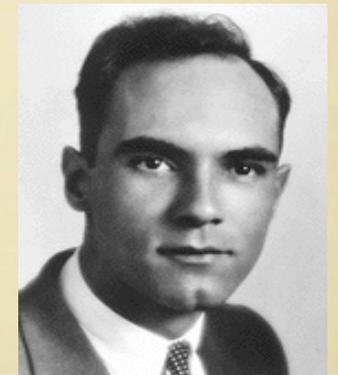
Feynman

★ Por cada tipo partícula fundamental debe de existir una antipartícula, igual pero con cargas opuestas

★
$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

1928

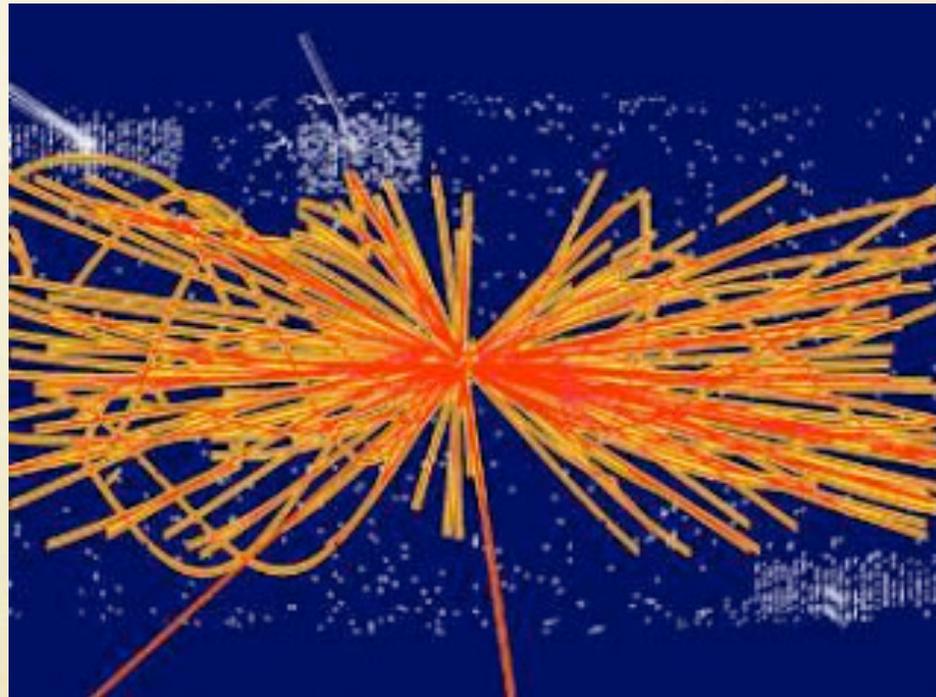
positrón 1932



Anderson

- ★ En una interacción relativista y cuántica el número de partículas no se conserva
- ★ La masa se puede convertir en energía y viceversa (p.e. reactores/bombas nucleares)

Choque p+p
en el LHC
(CERN):



$p + p \rightarrow \text{muchas partículas}$

Ejemplo de cálculo en Teoría de Campos



C



Mecanica Clásica N.R.



Mecanica Cuántica N.R.



Mecanica C. Relativista



Teoria Cuántica de Campos

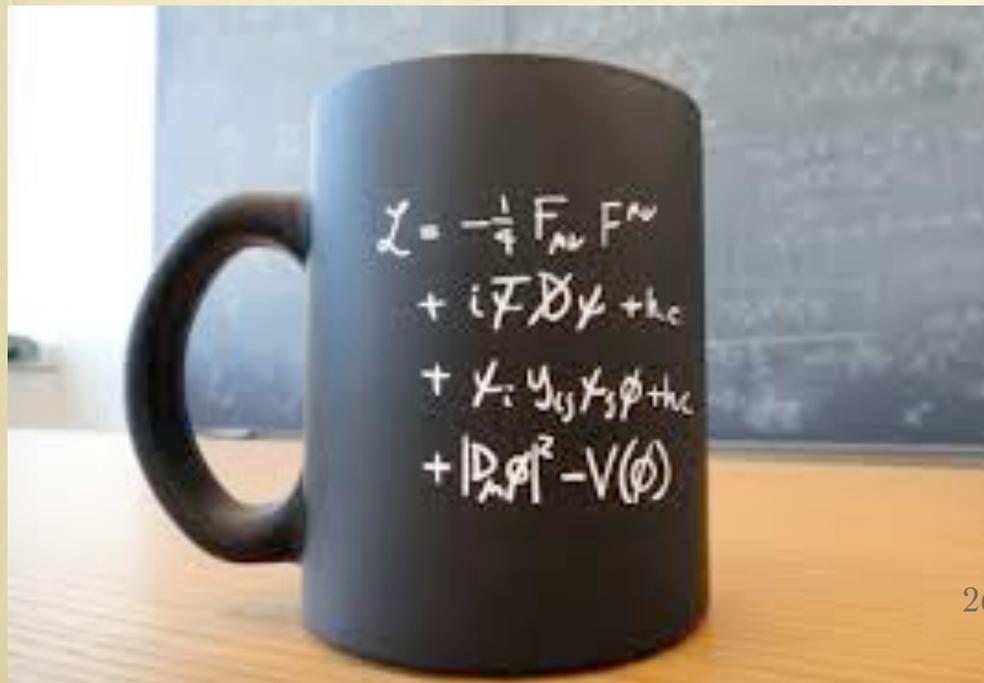
\hbar

De la T.C. de C. se obtienen las otras como limites...

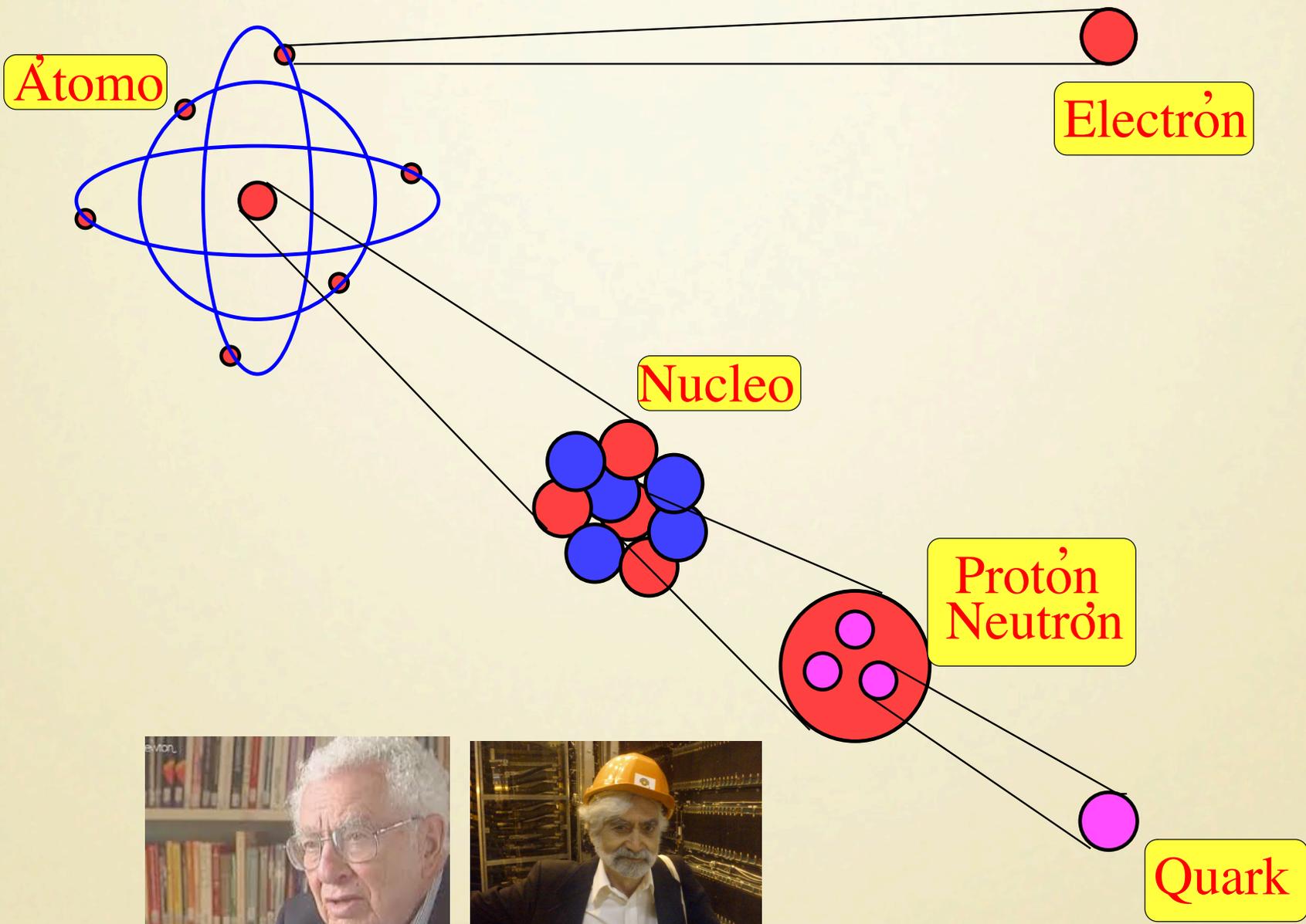
1950-1975

EL Modelo Estándar de La Física de Partículas

Es la Teoría Cuántica de Campos que describe 3 de las 4 interacciones fundamentales de la Naturaleza



(El Lagrangiano del
Modelo Estándar en
una taza del CERN...)



Gel-mann



Zweig

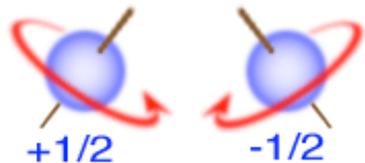
27

Quark

1964

	QUARKS	LEPTONES
MATERIA USUAL	 u_p	 e
	 d_{own}	 ν_e
MATERIA EXISTENTE	 c_{harm}	 μ
	 s_{trange}	 ν_μ
A ALTAS ENERGIAS	 t_{op}	 τ
	 b_{ottom}	 ν_t

BOSONES INTERMEDIARIOS
Fuerza Nuclear  Gluón
Fuerza Débil  W, Z
Electromagnética  Fotón

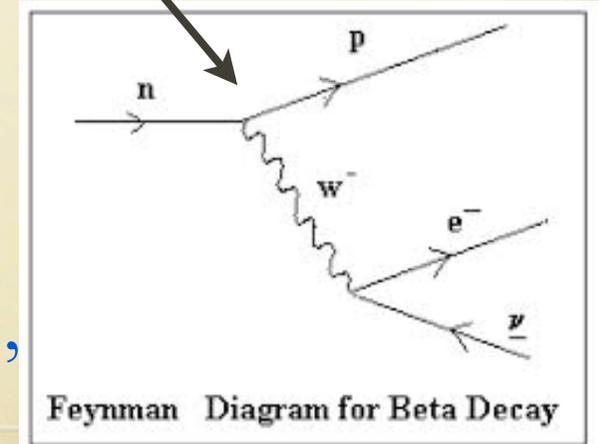
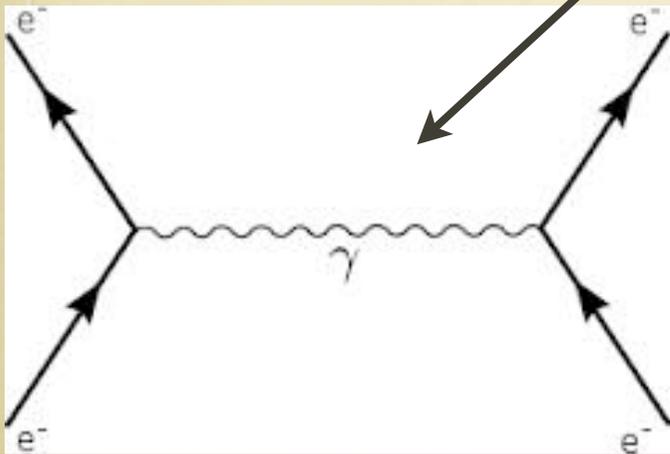


Fermiones
'Spin' = 1/2

Bosones
'Spin' = 1

LAS 4 INTERACCIONES FUNDAMENTALES

Tipo de Fuerza	Intensidad	Partícula Mediadora	Importante en :
Nuclear Fuerte	~ 1	Gluón	Nucleo atómico
Electromagnética	$\sim \frac{1}{1000}$	Fotón	Corteza atómica
Débil	$\sim \frac{1}{100000}$	Z^0, W^+, W^- <i>(estos 3 tienen masa)</i>	Radiactividad Beta
(Gravitación)	$\sim 10^{-38}$	Gravitón	(Astros)



'BOSONES INTERMEDIARIOS'

El origen de la masa de las partículas elementales

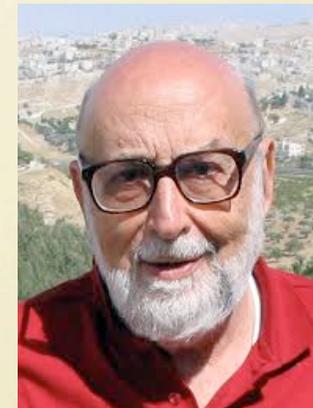
El MS predice la existencia de una nueva partícula:

El Bosón de Higgs

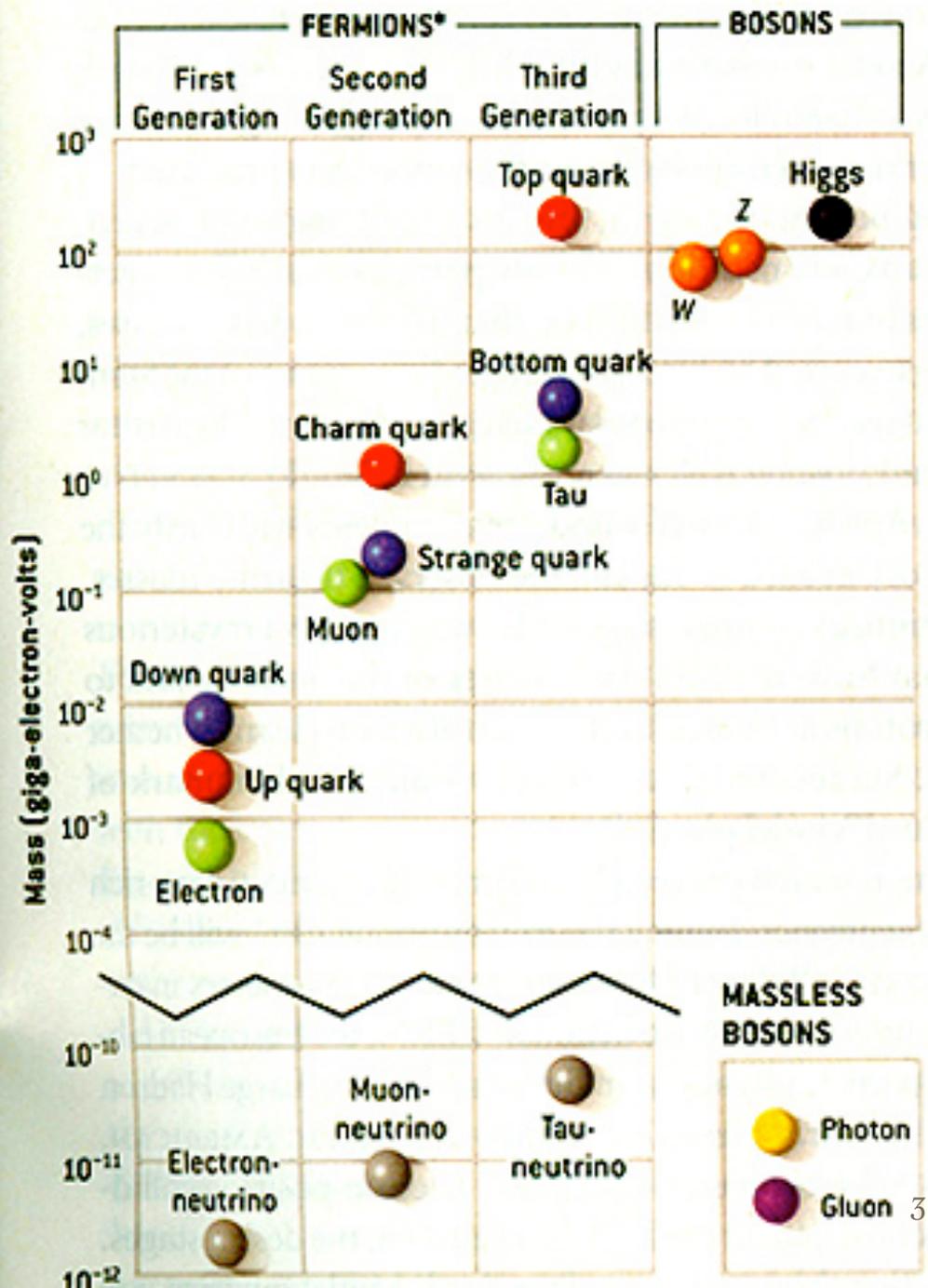
1964



Higgs



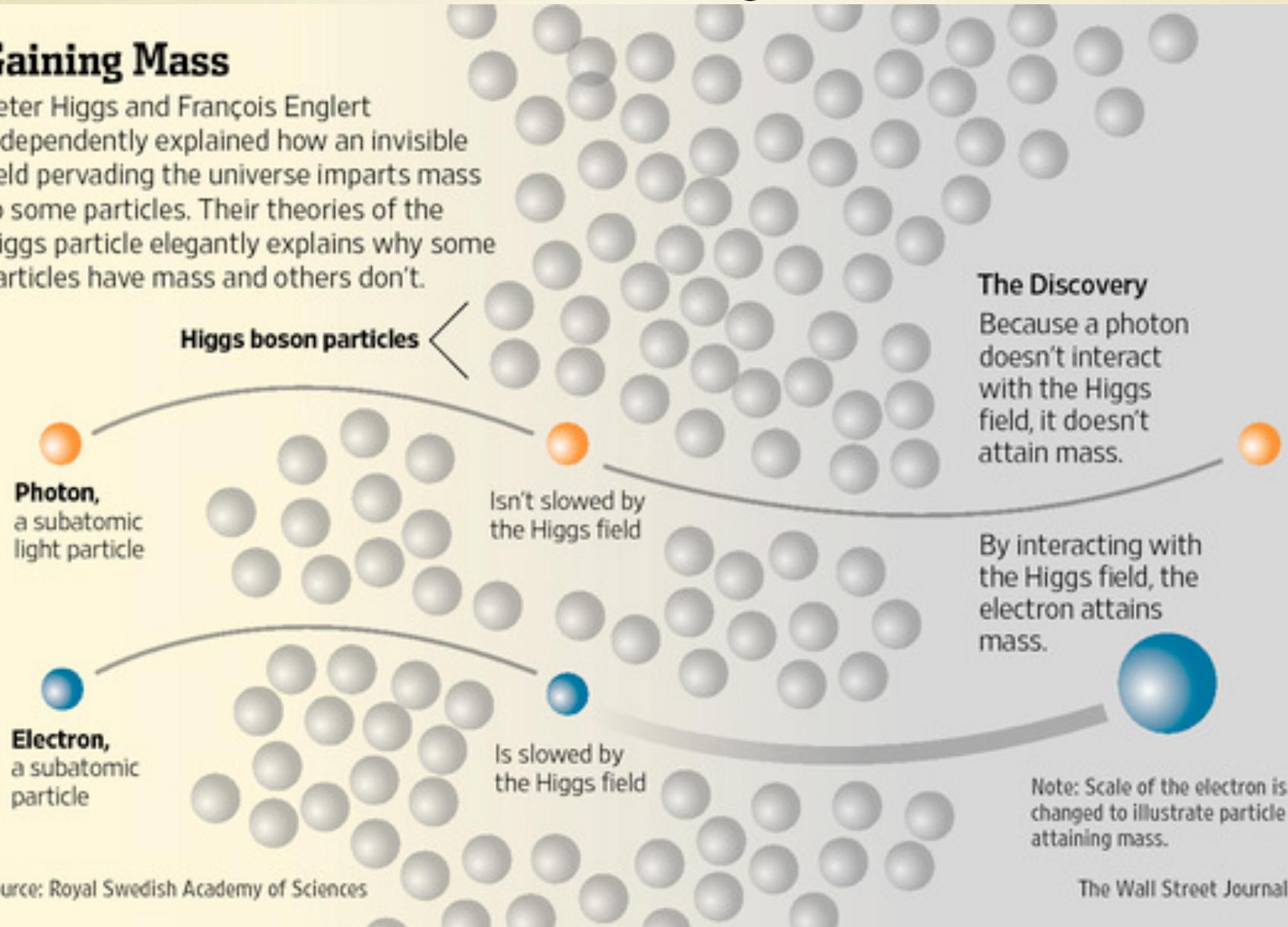
Englert



Brout

Gaining Mass

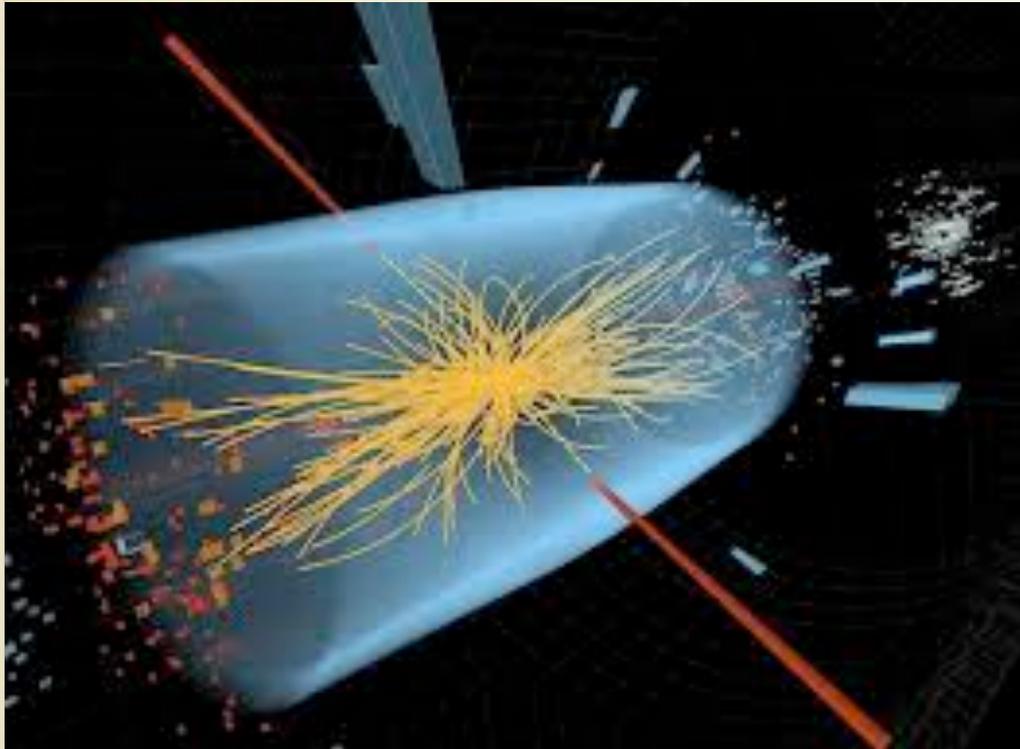
Peter Higgs and François Englert independently explained how an invisible field pervading the universe imparts mass to some particles. Their theories of the Higgs particle elegantly explains why some particles have mass and others don't.



El campo de Higgs llena el espacio y
‘frena’ a las partículas dandoles masa³¹

T. Cuántica de Campos: los campos tienen partículas asociadas: el **BOSON DE HIGGS**

Hubo que esperar casi 50 años pero el **4 de Julio de 2012**:

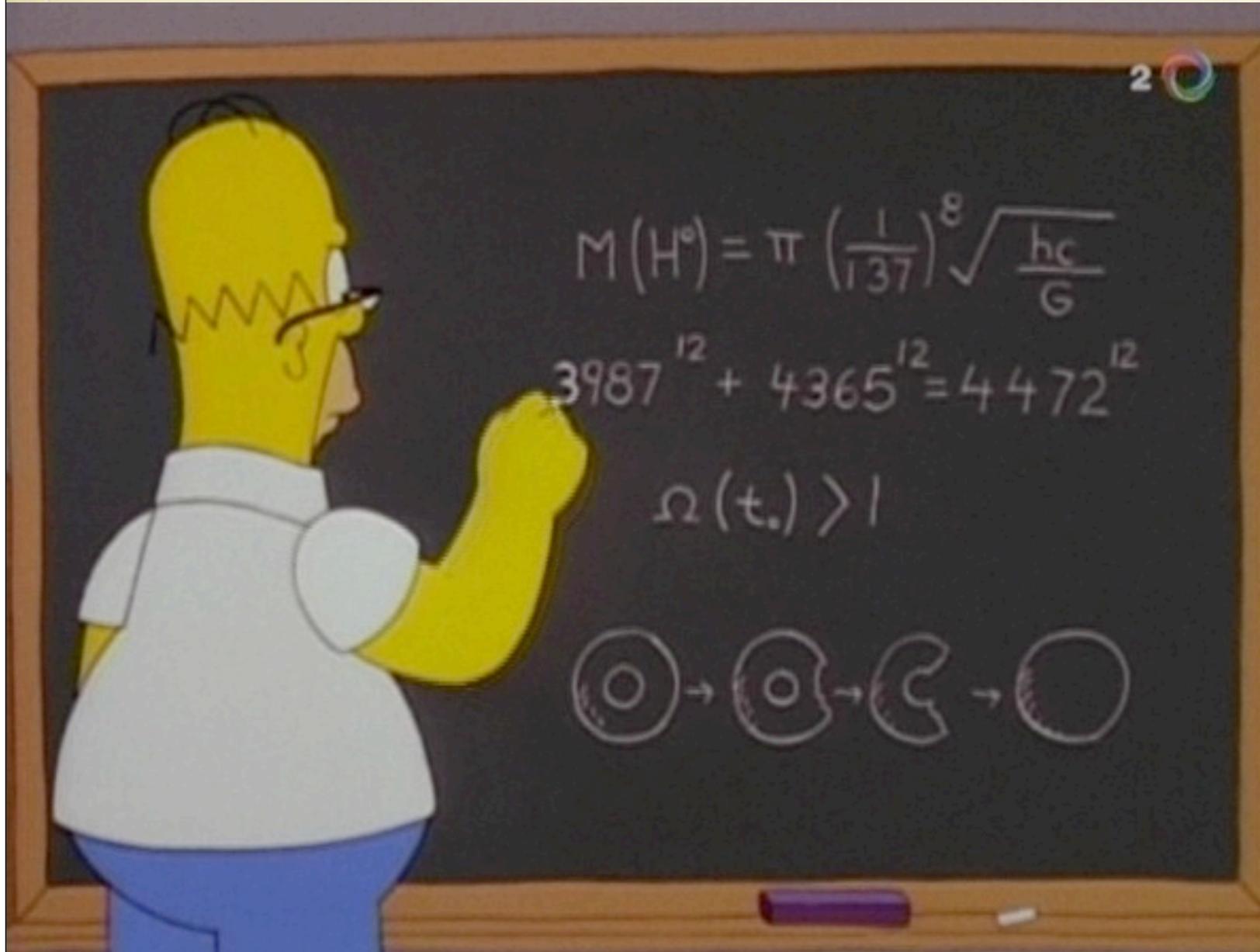


Experimentos
ATLAS y CMS del (CERN)

$$p + p \longrightarrow Higgs(\gamma\gamma) + X \quad M_{Higgs} = 126 \text{ GeV}$$

Un gran éxito de la Física³² Teórica (y experimental!)

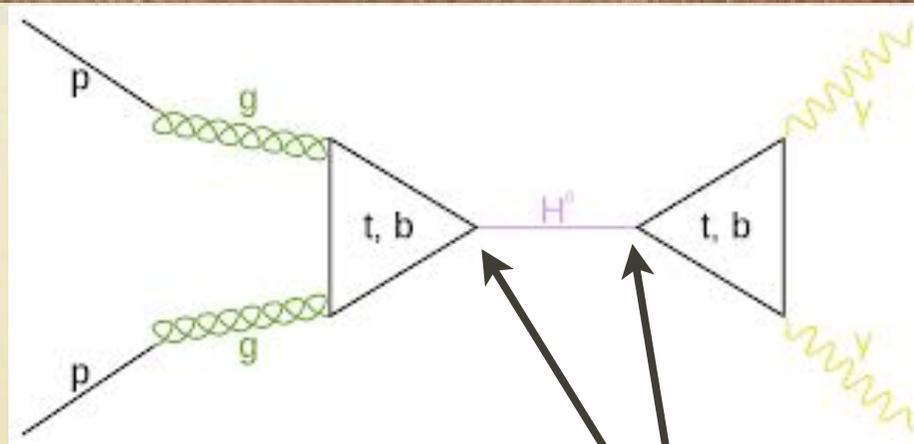
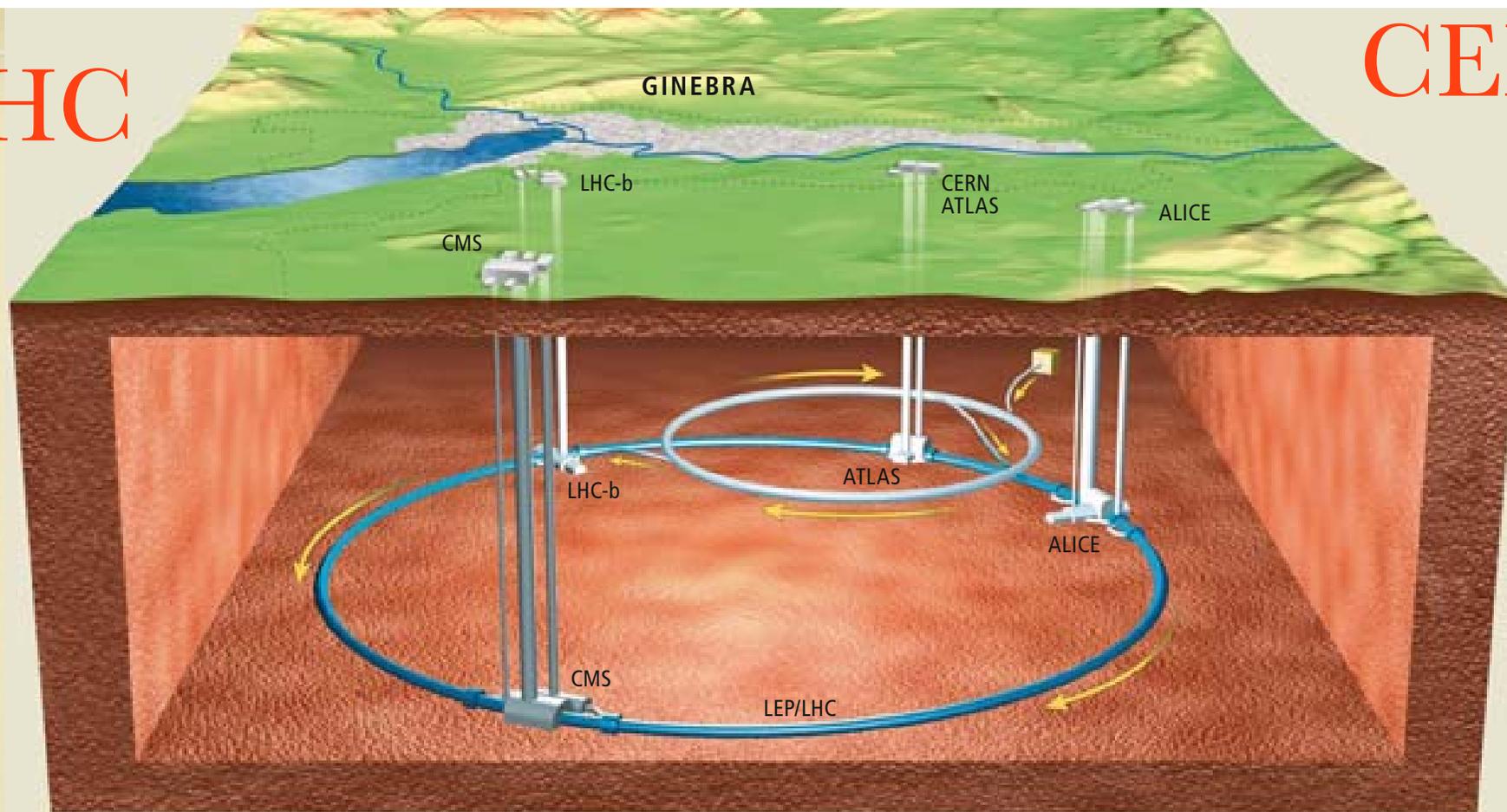
La predicción de Homer Simpson resultó incorrecta...



= 303 GeV

LHC

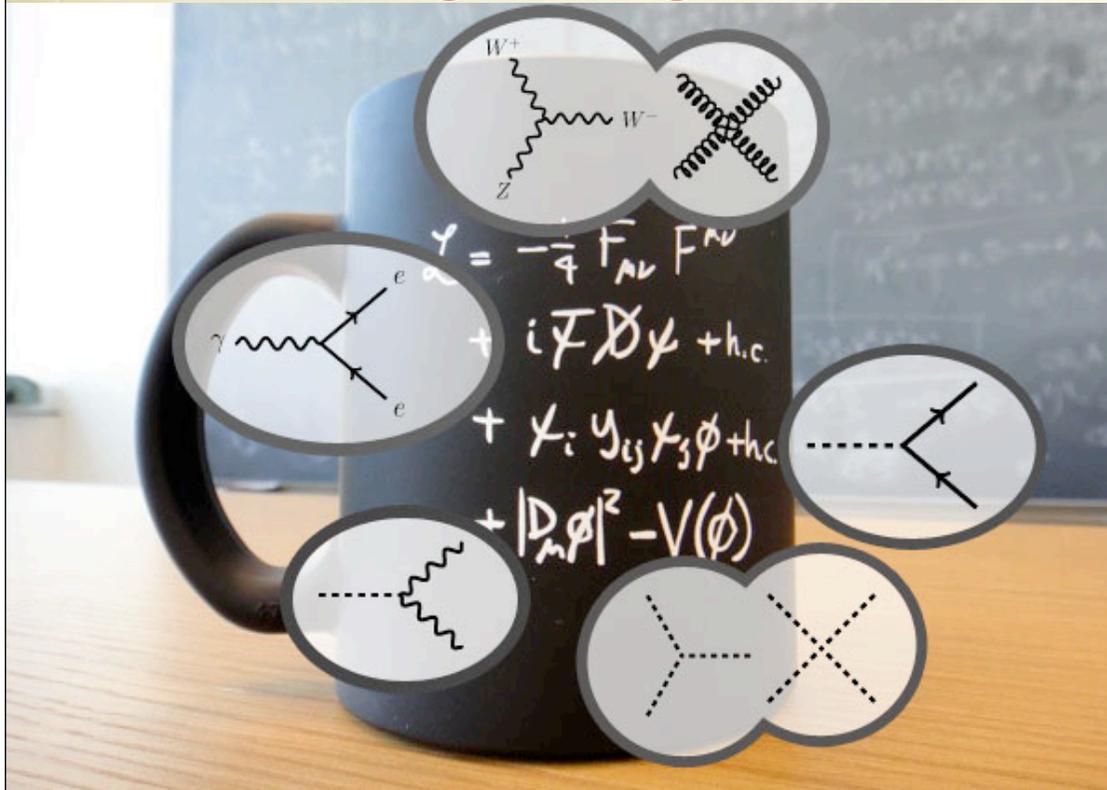
CERN



!Nuevas interacciones fundamentales!

Interacciones de Yukawa

El Lagrangiano del Modelo Standard



Algunos de sus artifices
en el IFT, Madrid,
Dic. 2011



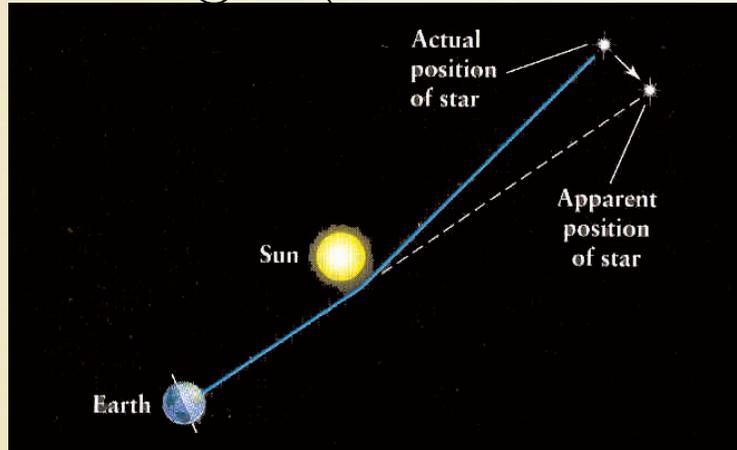
Veltman, Glashow, Gross

Y la Gravitación?

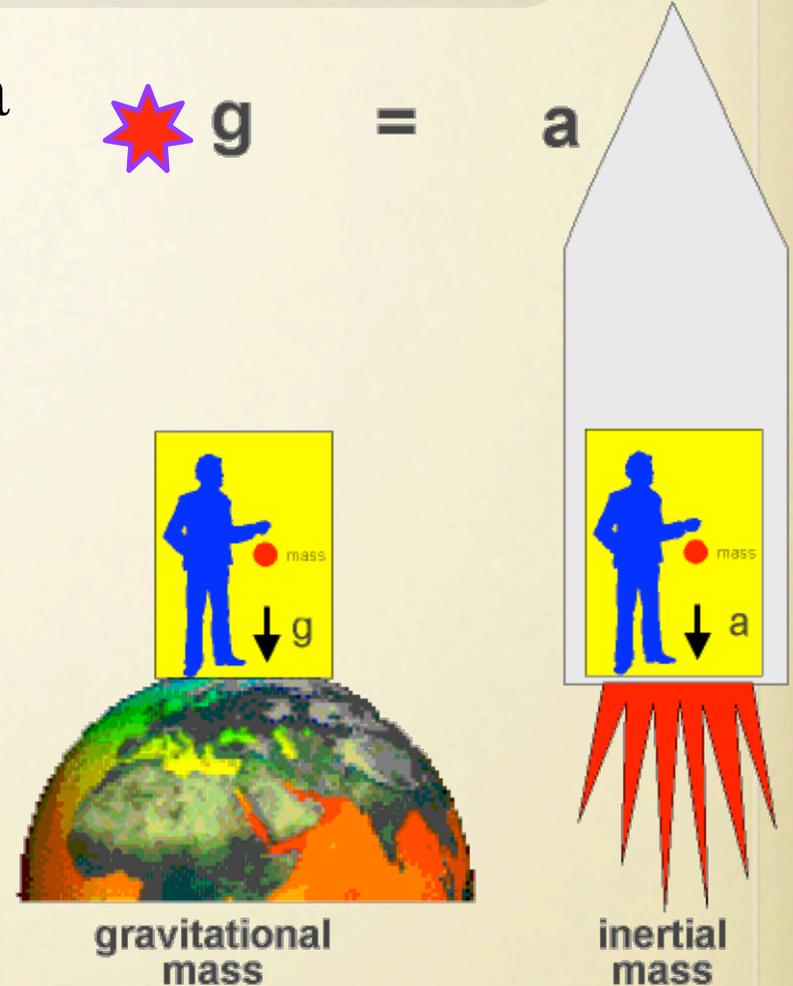
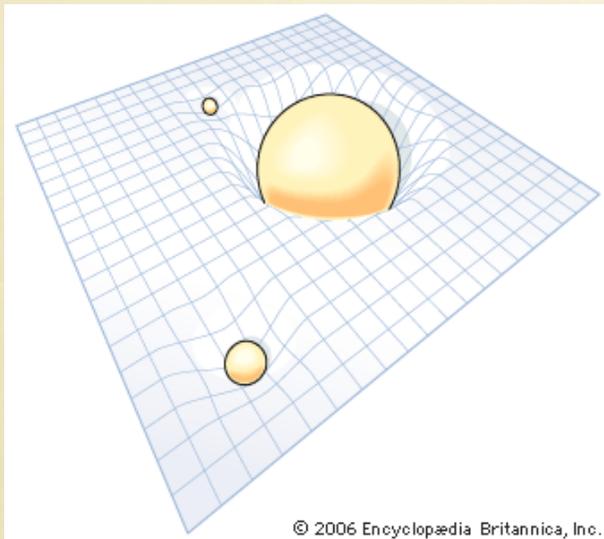
Juan García-Bellido os lo ha
contado maravillosamente!

Teoría Relativista de la Gravitación de Einstein 1915

★ La energía (no solo la masa) gravita

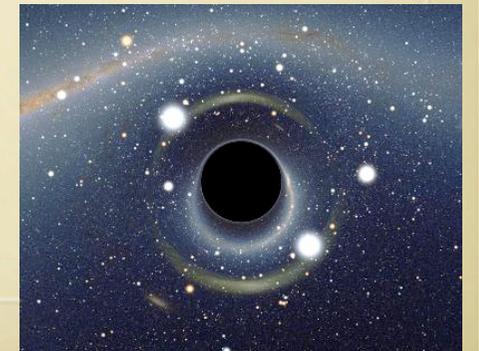


$$\star g = a$$

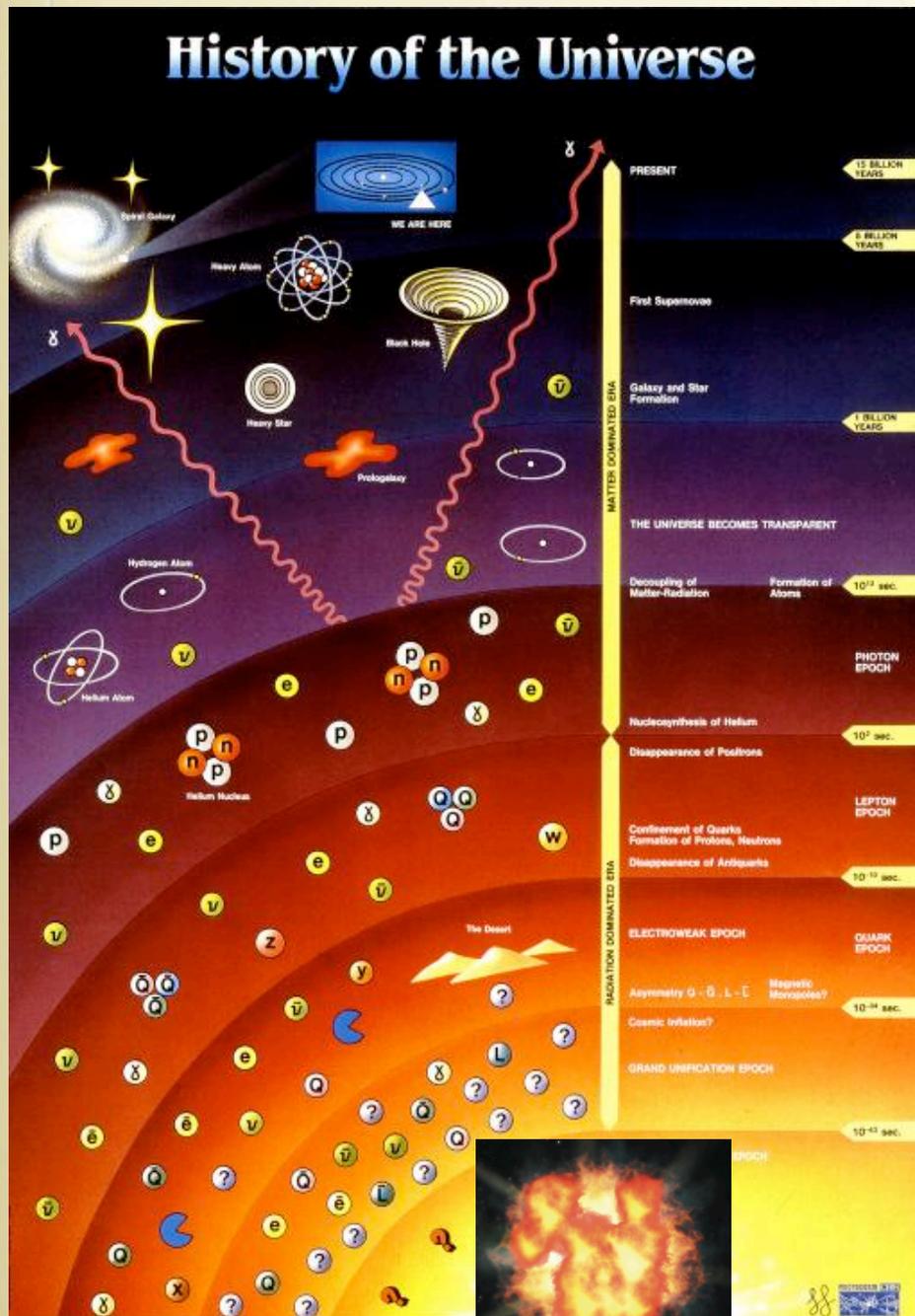


★ La energía 'curva' el espacio alrededor

★ Agujeros negros



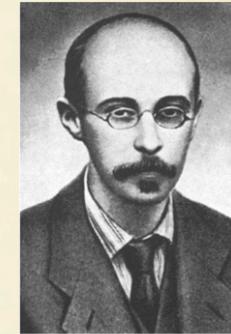
Aplicada al Universo como un todo: COSMOLOGÍA



Hubble,
1929



Lemaître,
1927



Friedman

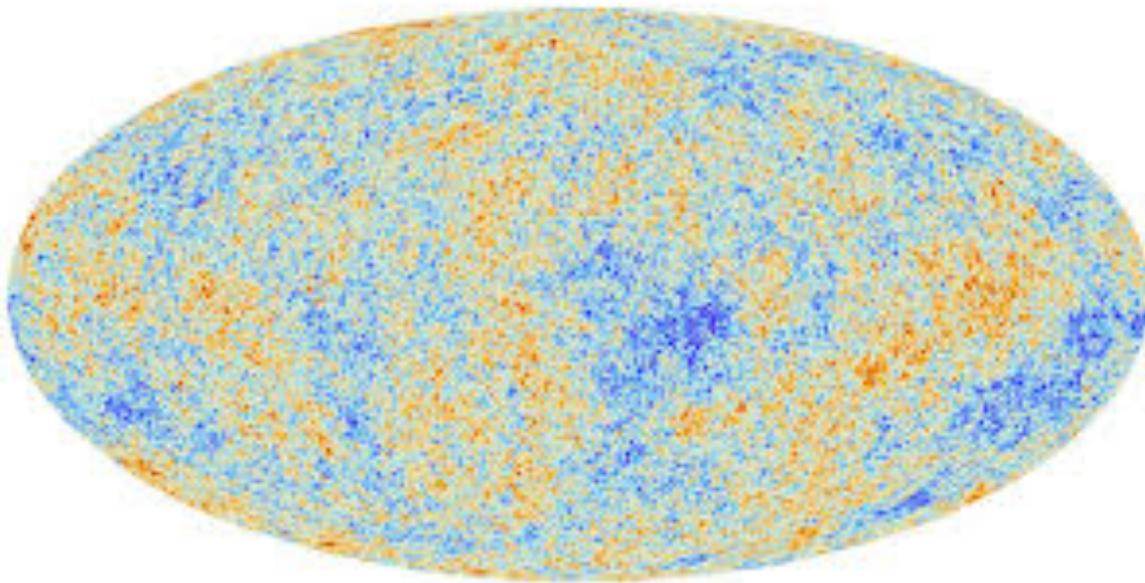
Universo en expansión

desde hace $13,82 \times 10^9$ años

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{Kc^2}{a^2}$$

a = tamaño del universo

ρ = densidad materia/radiacion
 K = curvatura



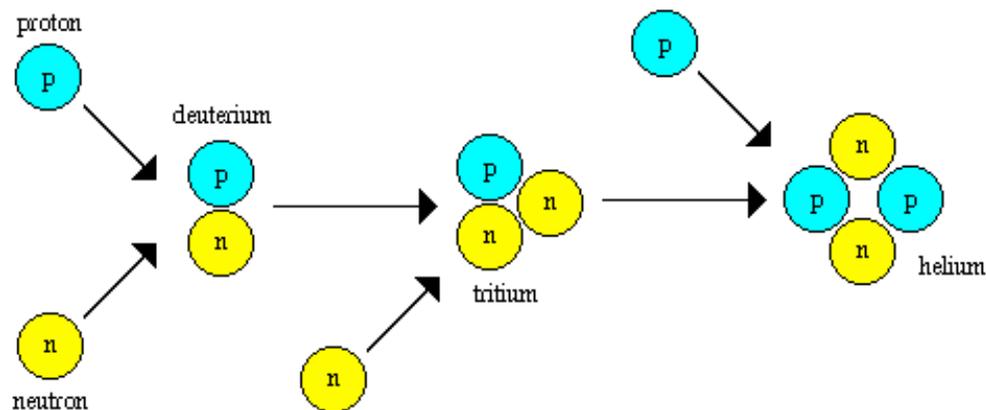
Fondo Cósmico de Microondas

Inhomogeneidades predichas por **inflación**

Text

Nucleosynthesis

as the Universe cools, protons and neutrons can fuse to form heavier atomic nuclei



39

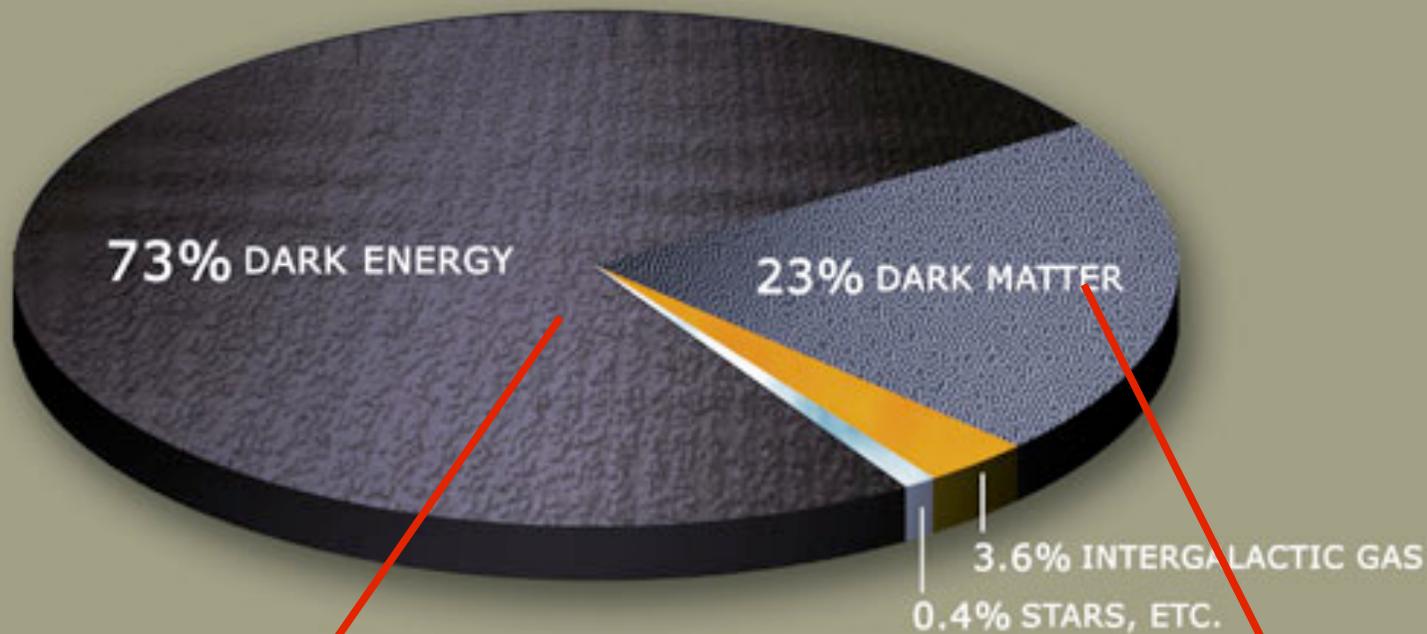
Nucleosíntesis primordial

1948



Gamow

Abundancias elementos químicos en el Universo



$\Lambda = \text{constante cosmologica?}$

En T.C.C. : $\Lambda = \text{energía del vacío}$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho + \Lambda}{3} - \frac{Kc^2}{a^2}$$

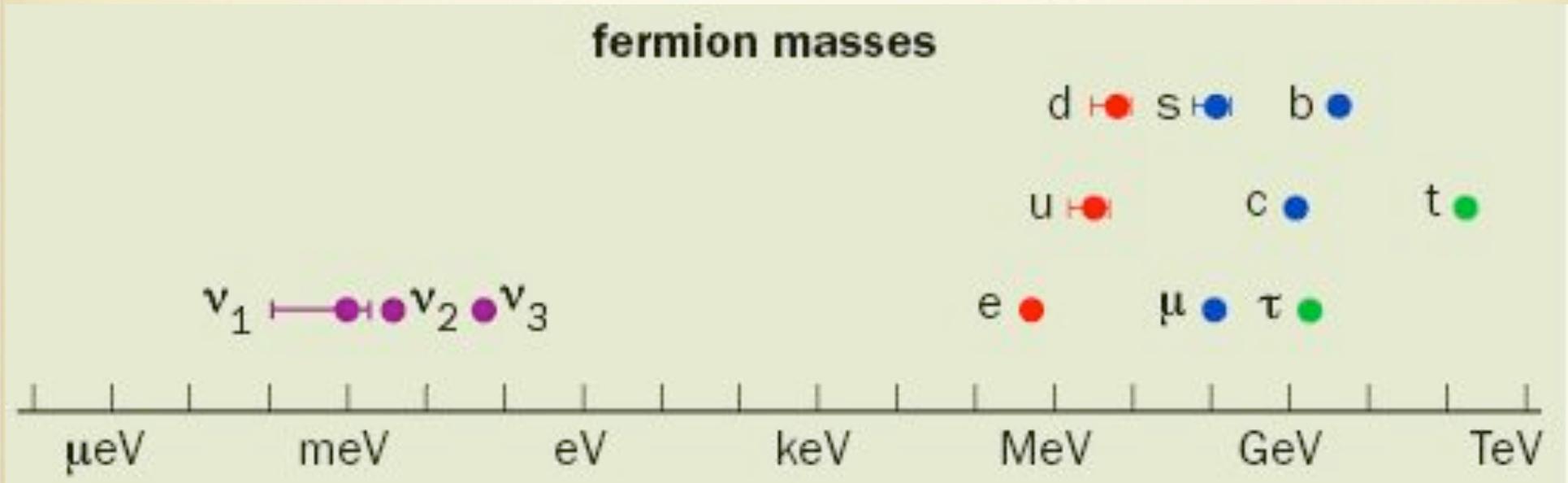
Nuevo tipo de materia que interactúa muy débilmente

★ **Materia oscura**
De qué está compuesta?

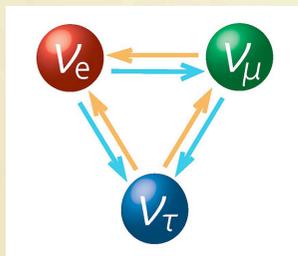
★ **¿Qué es la energía oscura?**

Los retos del siglo XXI....

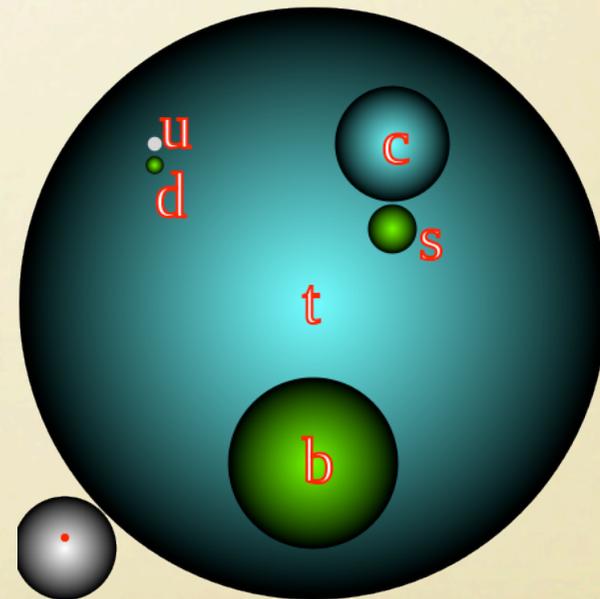
★ Por qué las masas de quarks y leptones son las que son?



Neutrinos



Oscilan entre si..



Tipo de Fuerza	Intensidad	Partícula Mediadora	Importante en :
Nuclear Fuerte	~ 1	Gluón	Nucleo atómico
Electromagnética	$\sim \frac{1}{1000}$	Fotón	Corteza atómica
Débil	$\sim \frac{1}{100000}$	Z^0, W^+, W^-	Radiactividad Beta
Gravitación	$\sim 10^{-38}$	Gravitón	Astros

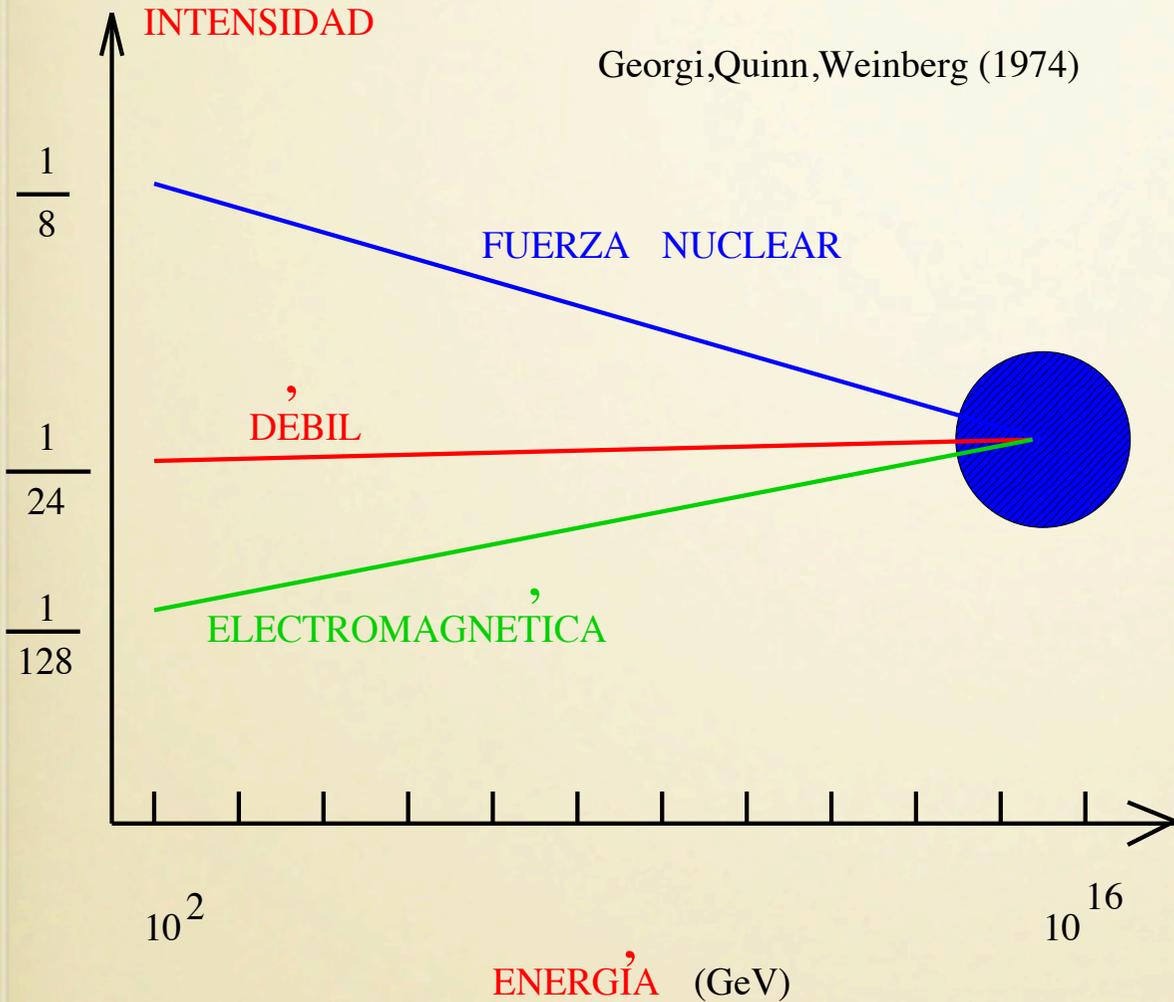


Por qué hay 4 interacciones fundamentales?

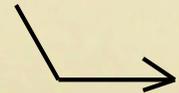


Por qué tienen intensidades tan diferentes?

T.C. de Campos: intensidad depende de la energía a la que se mide



Sugiere una unificación a energías enormes
 $M_X = 10^{16} GeV$



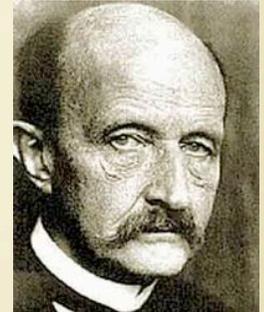
ZONA ACCESIBLE A ACELERADORES



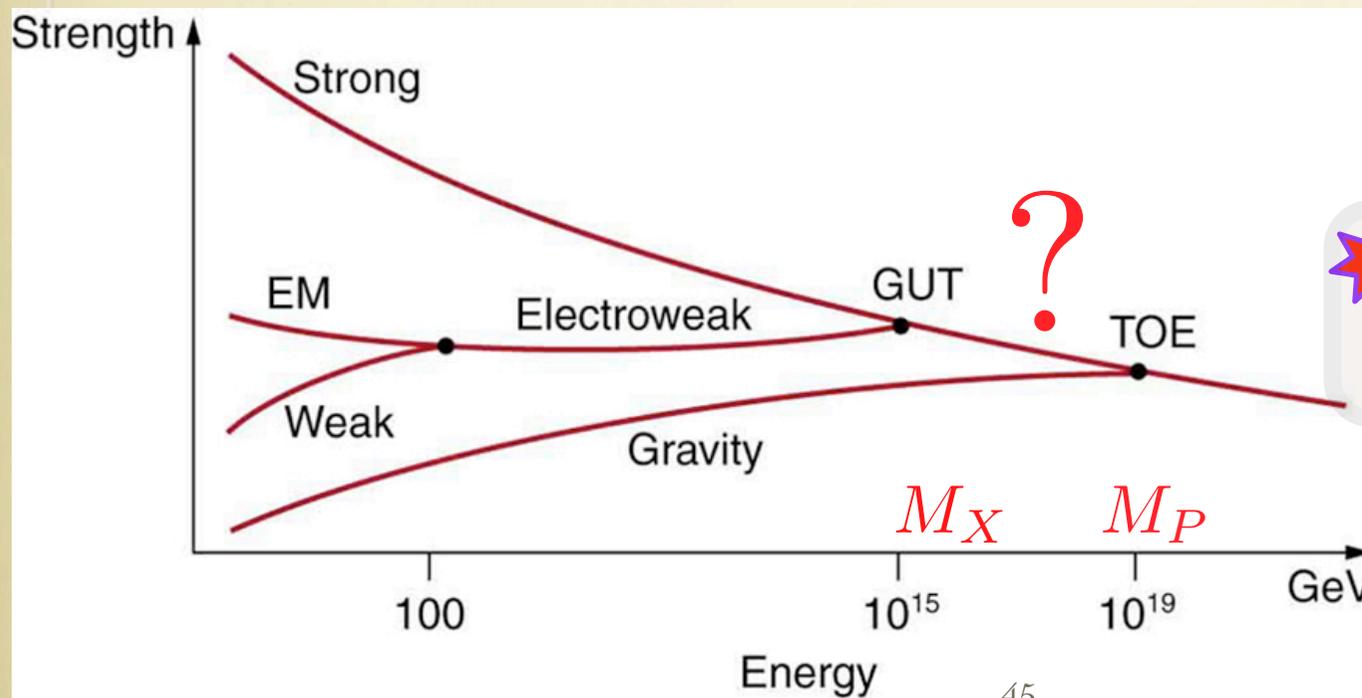
Que unificación?

Esta gran escala de unificación $M_X = 10^{16} GeV$ está cercana a la escala de energías donde los efectos cuánticos gravitacionales se hacen tan fuertes como los de las otras 3 :

$$M_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{8\pi G_N}} = 4.3 \times 10^{18} GeV$$

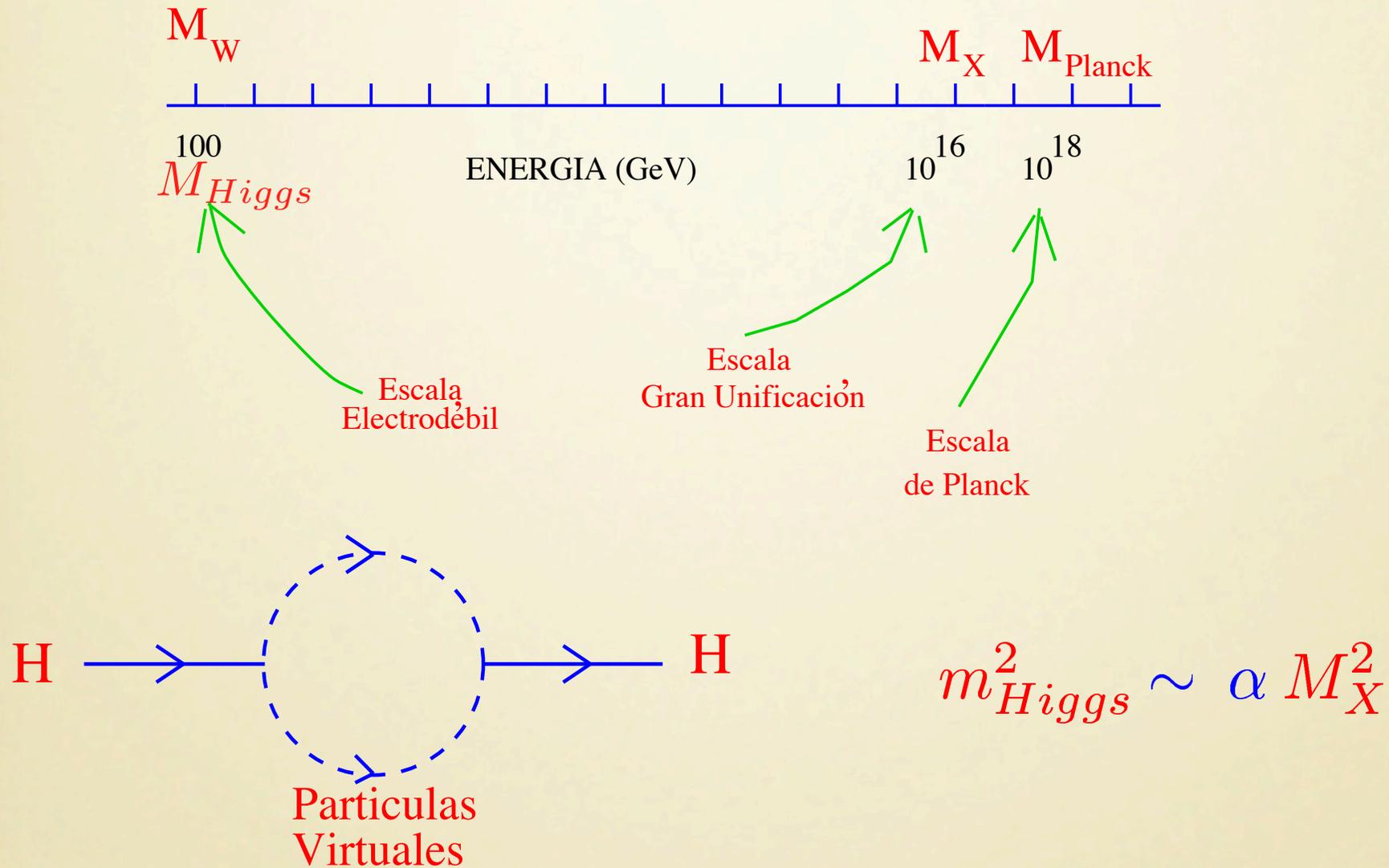


‘Escala de Planck’



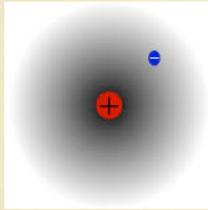
★ Unificación de las 4 interacciones?

El problema de la estabilidad del Higgs

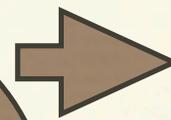
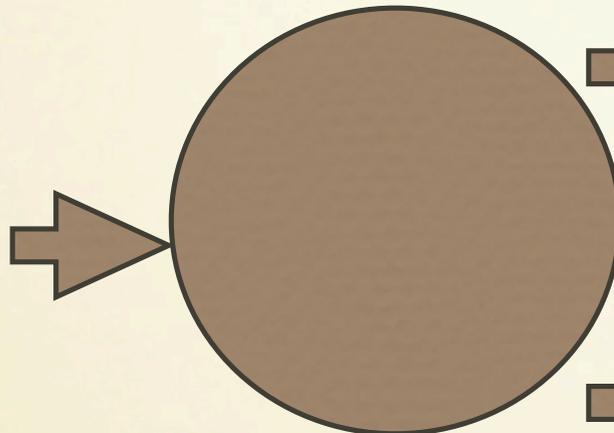


En Física normalmente no hay 'ajustes finos'

Ejemplo: Radio del átomo de Hidrógeno

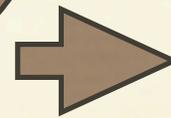


e , m_e , \hbar



$$\text{Radio} \simeq \frac{\hbar^2}{m_e e^2}$$

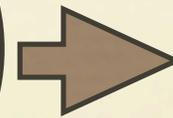
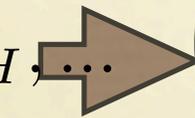
Estimación magnitud



$$\text{Radio} = \frac{3}{2} \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 5 \times 10^{-9} \text{cm}$$

Cálculo completo en M.C.

M_X , M_P , M_H , ...



$$M_{Higgs} \simeq M_X \simeq 10^{16} \text{GeV}$$

Experimentalmente : 126 GeV

★ Mismo problema con la c.c.: $\Lambda \simeq 10^{76} (\text{GeV})^4$ ($10^{-36} (\text{GeV})^4$)

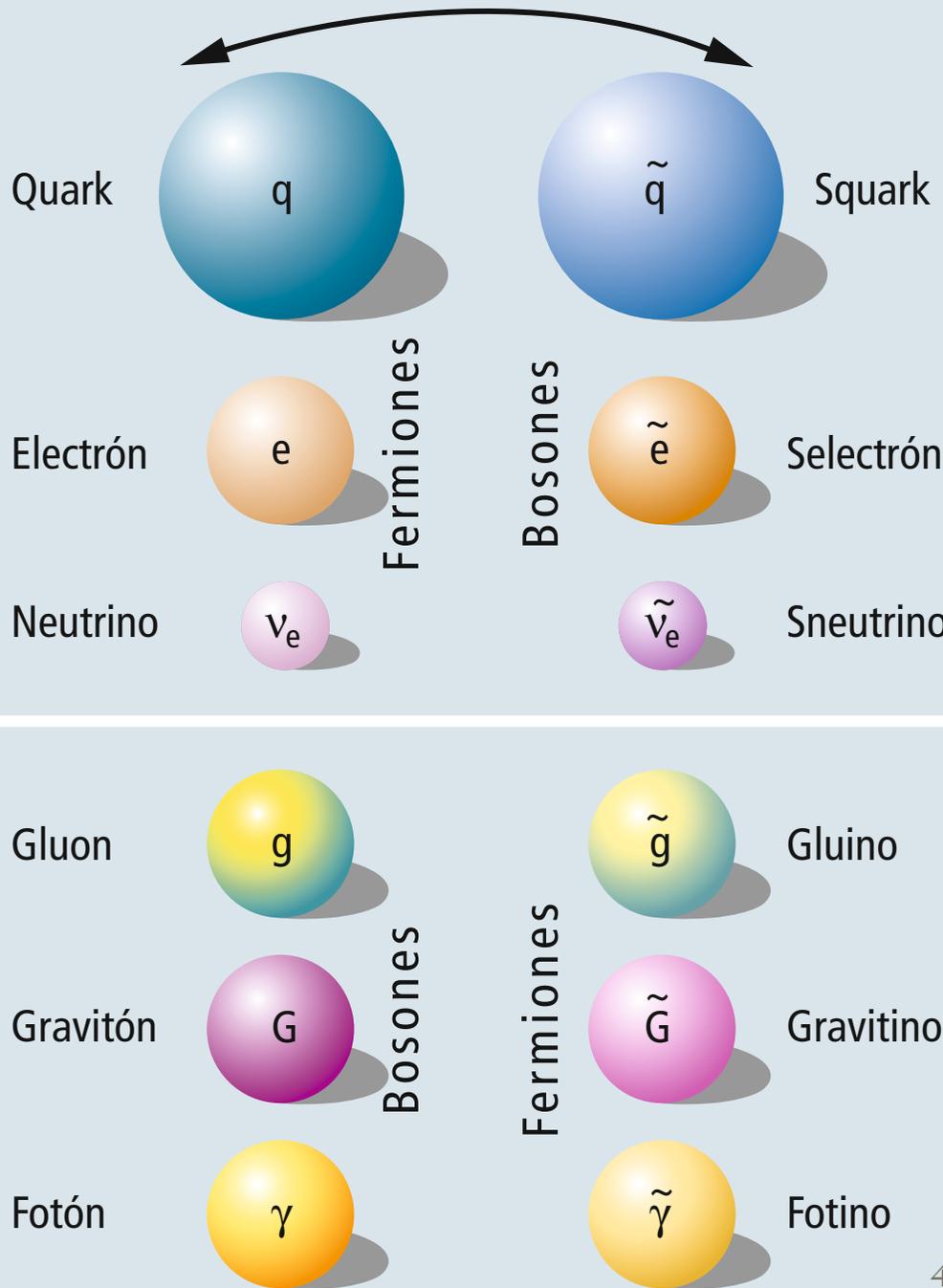
★ Hay algo que no entendemos: problema de 'Naturalidad'

EL ROTO

... DE LO QUE SE DEDUCE QUE ES MATEMÁTICAMENTE IMPOSIBLE QUE ESTÉ PASANDO LO QUE ESTÁ PASANDO



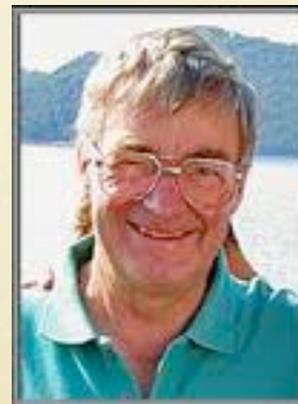
Supersimetría



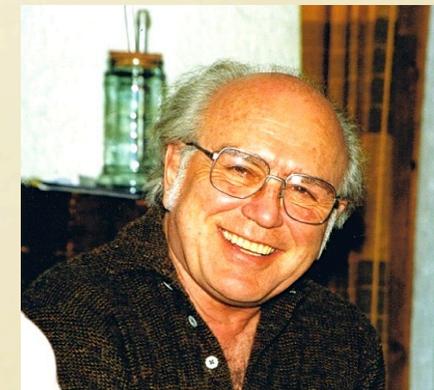
Una elegante solución: SUPERSIMETRÍA

(para el Higgs, no para la c.c.)

Para cada tipo de partícula
debe existir una
‘compañera supersimétrica’

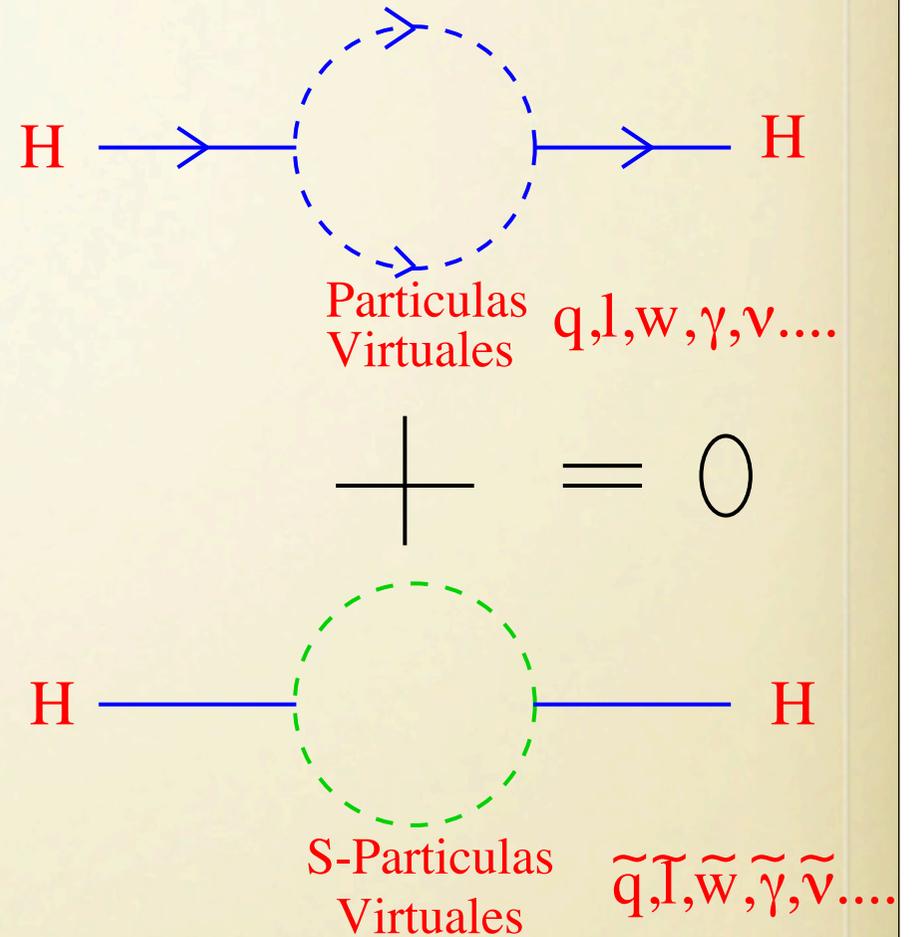


Wess



Zumino

<i>quark</i> q	\longleftrightarrow	<i>s - quark</i> \tilde{q}	$s = 0$
<i>lepton</i> l	\longleftrightarrow	<i>s - lepton</i> \tilde{l}	$s = 0$
<i>neutrino</i> ν	\longleftrightarrow	<i>s - neutrino</i> $\tilde{\nu}$	$s = 0$
<i>fotón</i> γ	\longleftrightarrow	<i>fotino</i> $\tilde{\gamma}$	$s = 1/2$
<i>Bosón</i> W	\longleftrightarrow	<i>wino</i> \tilde{W}	$s = 1/2$
<i>gluón</i> g	\longleftrightarrow	<i>gluino</i> \tilde{g}	$s = 1/2$
<i>Higgs</i> H	\longleftrightarrow	<i>Higgsino</i> \tilde{H}	$s = 1/2$

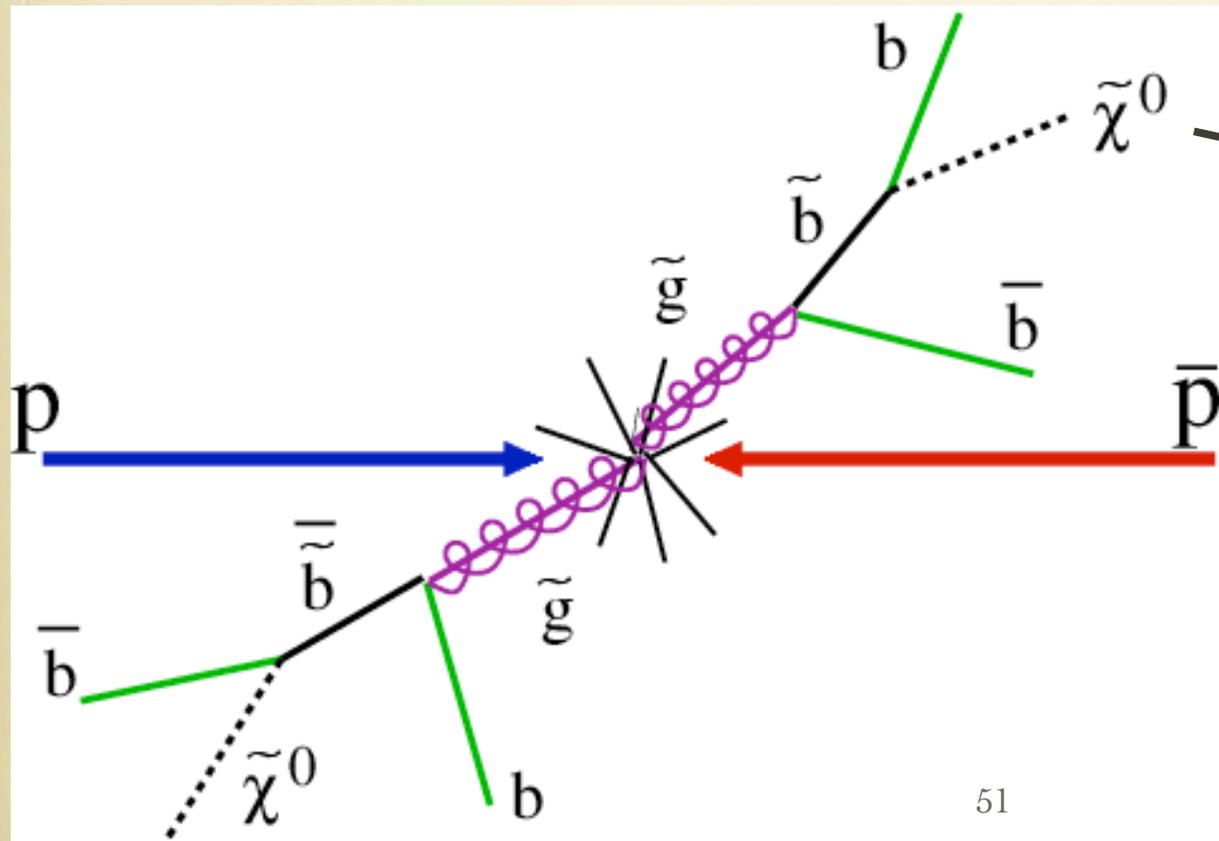


Las nuevas partículas
'SUSY' estabilizan al Higgs

Particulas SUSY mas ligeras, los **neutralinos**, son estables

★ **Candidatos naturales para constituir la materia oscura**

★ Squarks, gluinos, etc.., son muy masivos..
pero debiera ser posible **detectarlos en el
acelerador LHC del CERN**



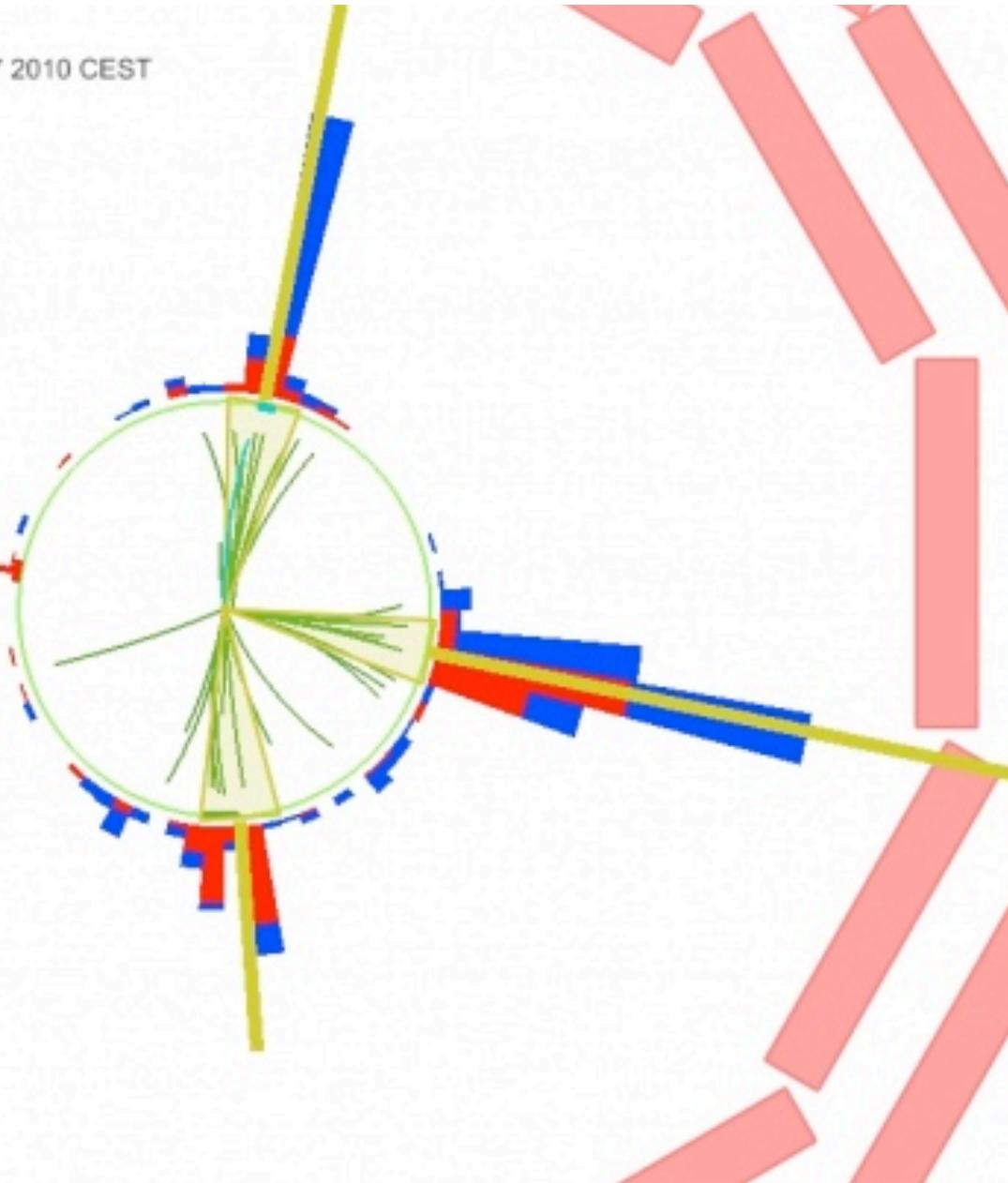
Neutralinos

No dejan trazas
cargadas en los
detectores



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Tue Oct 26 19:50:37 2010 CEST
Run/Event: 149058 / 76943429
Lumi section: 64

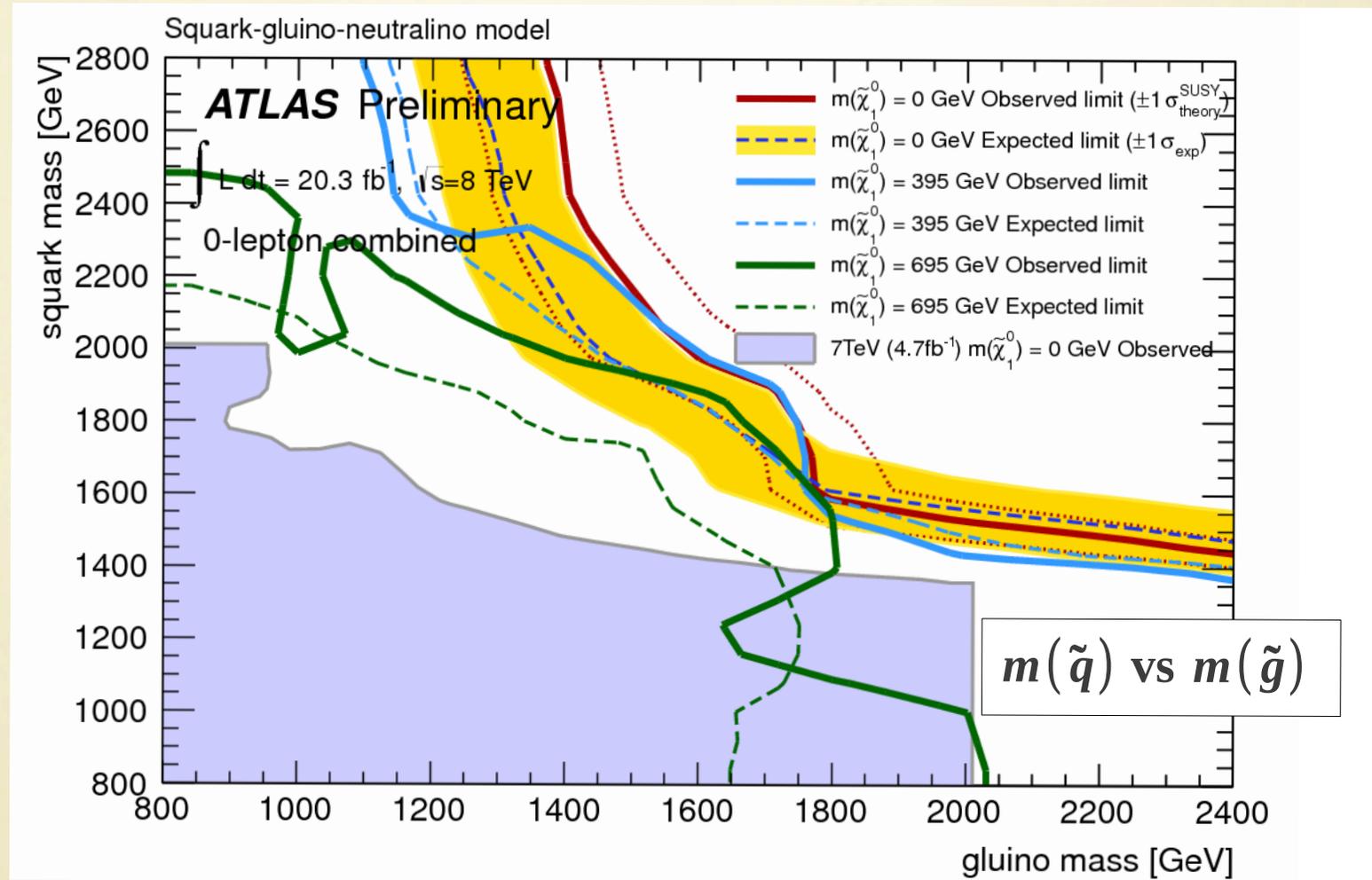
Falta energía
en esta dirección



se detectarían indirectamente

No hay traza de Supersimetría en el LHC hasta el momento...

2013:



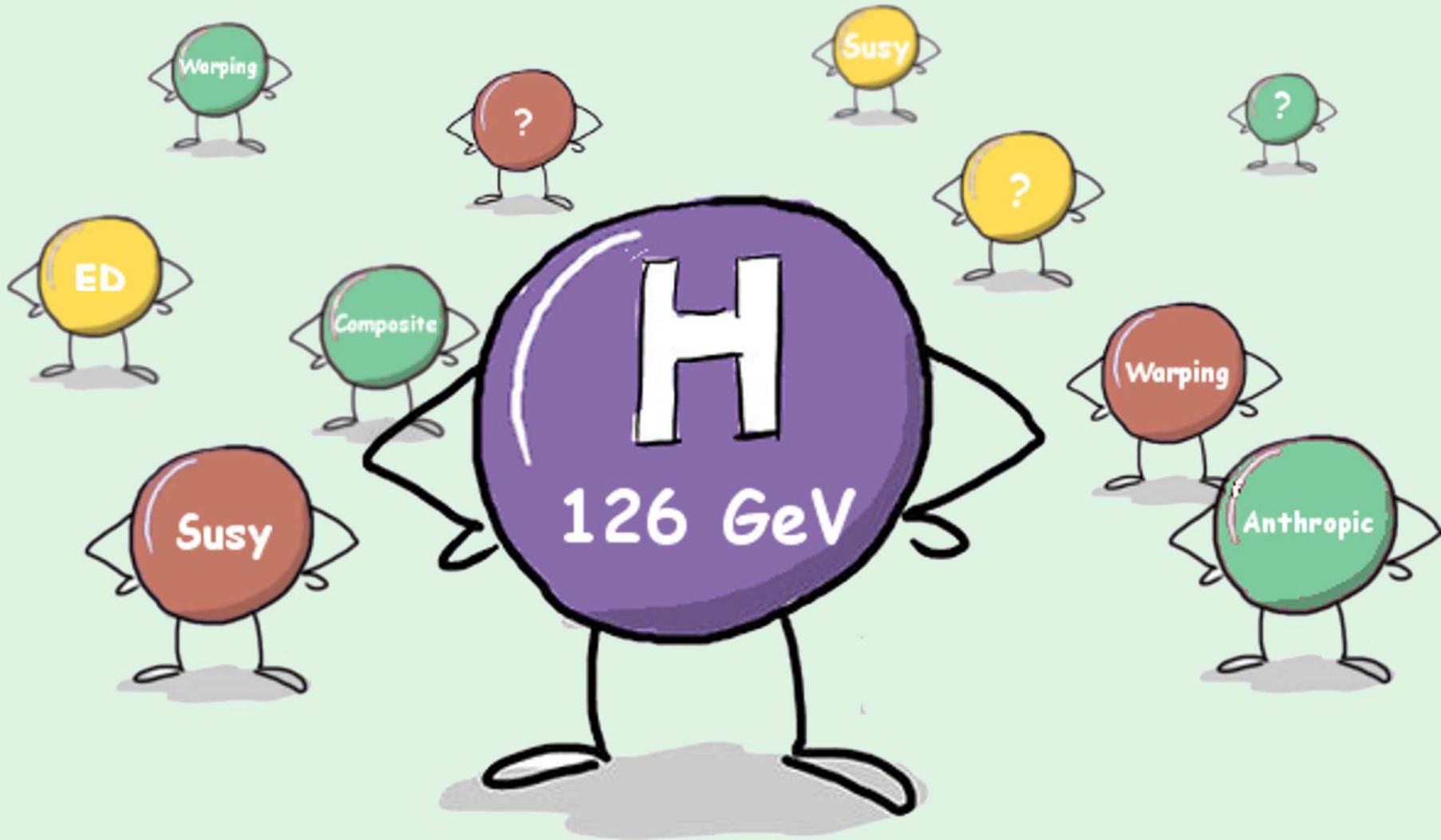
Masas de Squarks y gluinos $> 1700 \text{ GeV}$!



Quizá SUSY no sea la solución
al problema de la naturalidad!!!



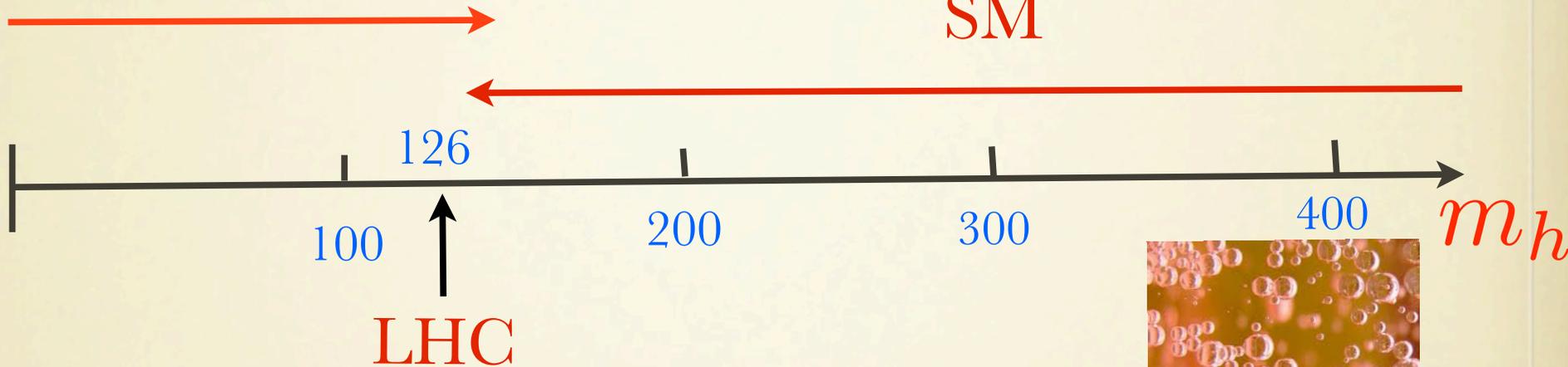
Por qué el Higgs pesa 126 GeV?



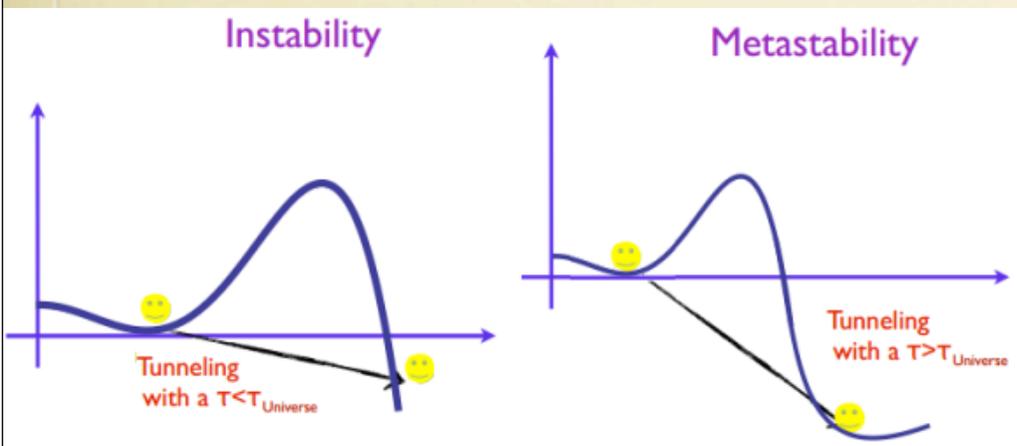
126 es un valor especial....

SM Supersimétrico

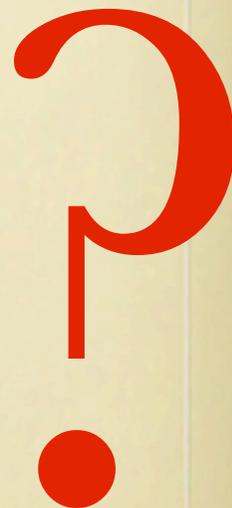
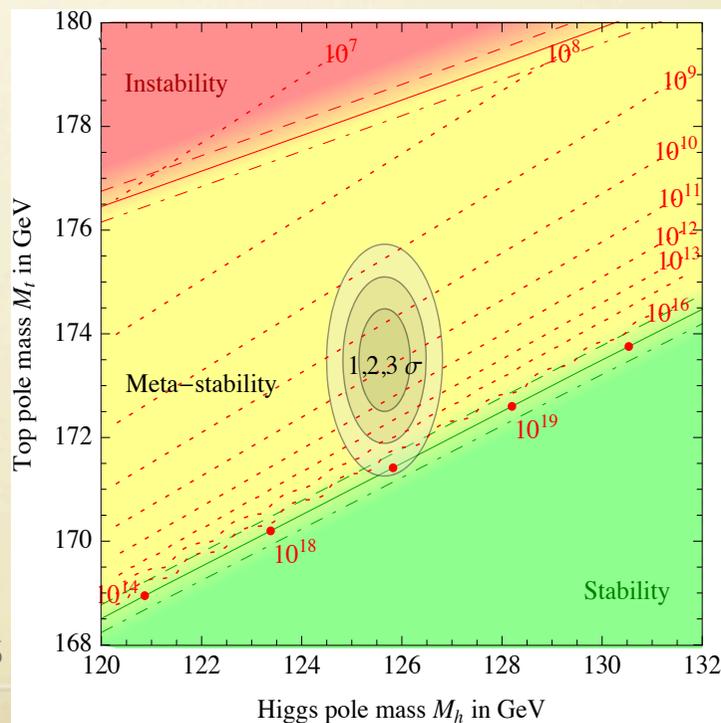
SM



...universo al borde de la catastrofe (lejana en el tiempo...)



55



El reto de la Gravitación Cuántica:



No tenemos todavía una Teoría Cuántica de la Gravitación completa



Aplicando las recetas de la Teoría Cuántica de Campos se llega a **inconsistencias matemáticas**

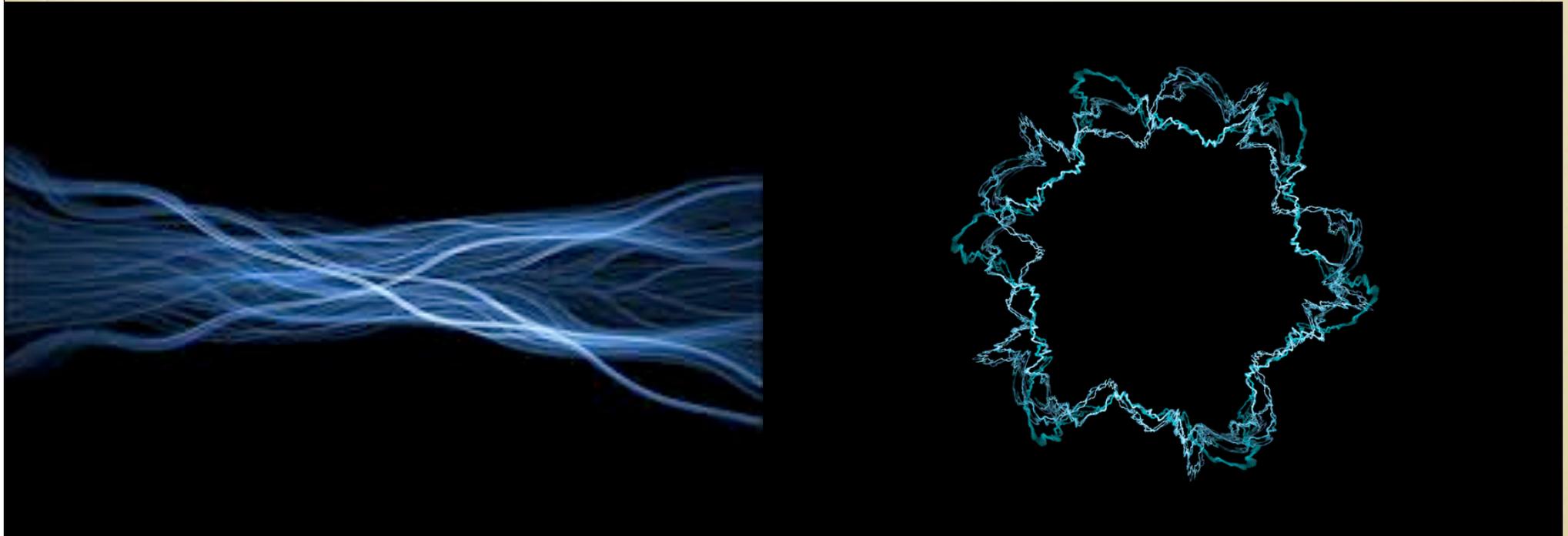


Muchos físicos piensan que hay **que abandonar la idea de que las partículas elementales son puntuales**

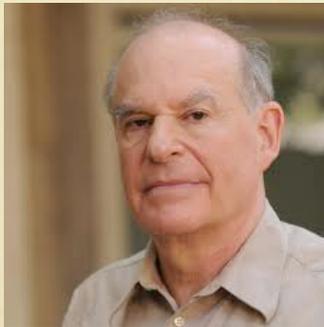
La Teoría de Cuerdas y la unificación de las Interacciones...



1968-1985-1995-1997-....(en construcción)



Veneziano



Schwarz



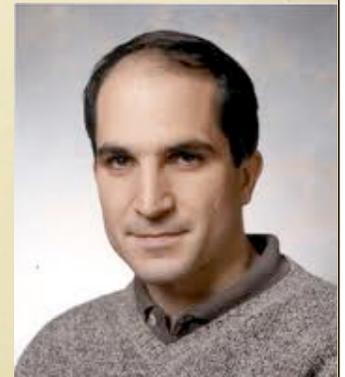
Green



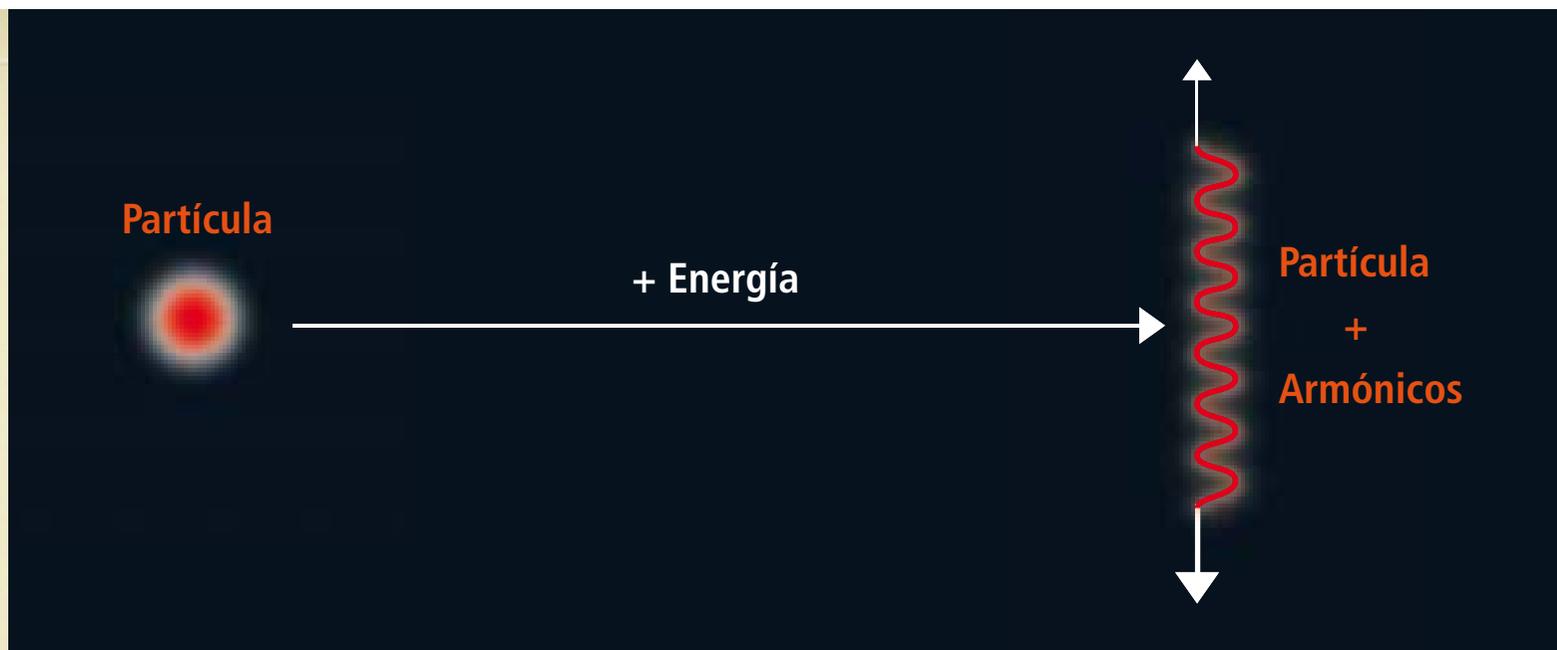
Gross



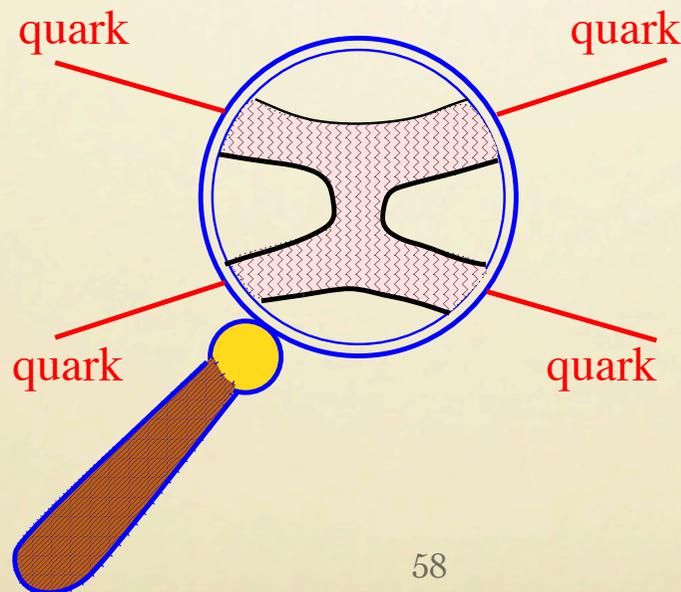
Witten



Maldacena



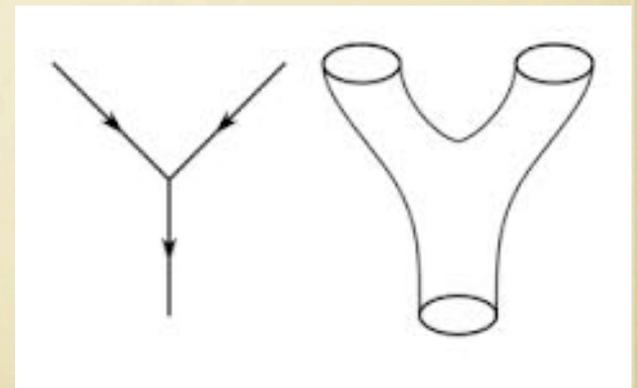
Si suministráramos una enorme cantidad de energía a una partícula elemental revelaríamos su estructura de cuerda





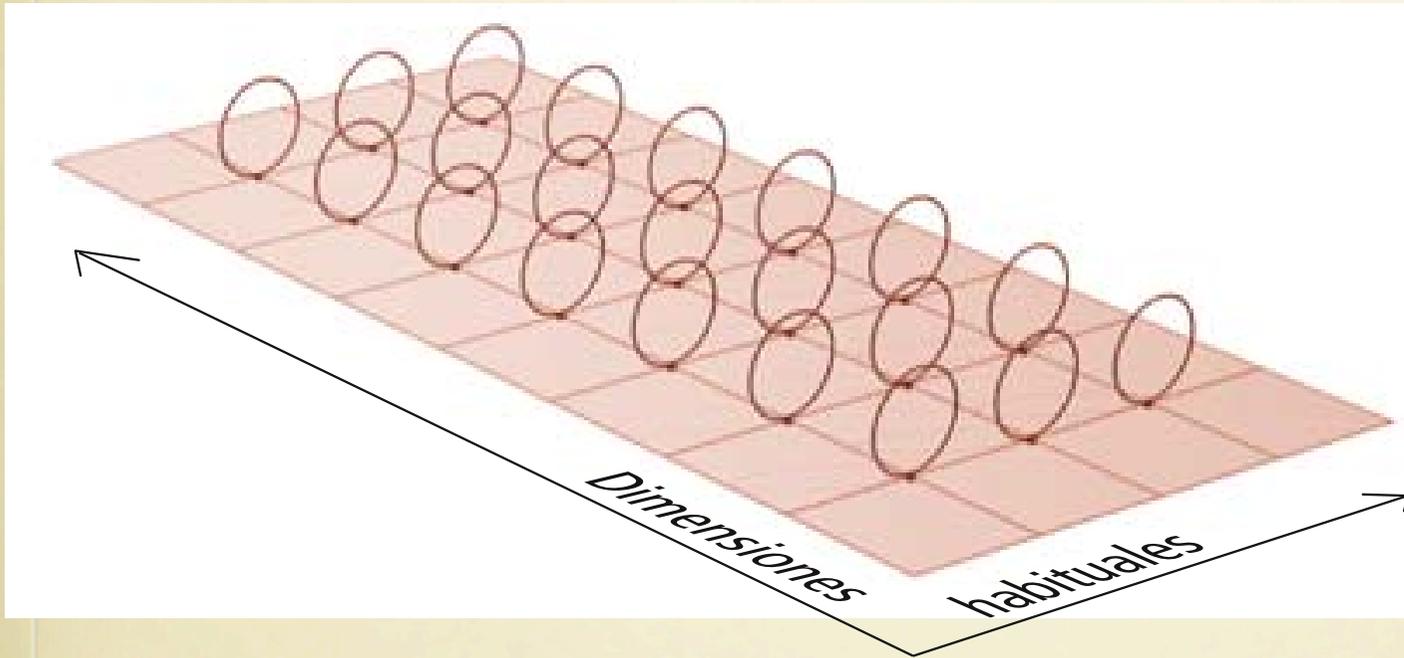
- ★ La Teoría de Cuerdas exige la existencia de la gravitación
- ★ Inconsistencias matemáticas al combinar gravitación+M.C. desaparecen por el caracter no puntual de las interacciones:

★ Todas las interacciones unificadas!



La Teoría de Cuerdas tiene su expresión mas simple en 1+9 dimensiones (en vez de 1+3)

Dimensiones extra: Una vieja idea:

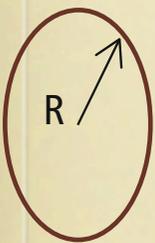


1921-1926



Kaluza

Klein



Quinta dimensión

$R \ll$ Distancias exploradas en aceleradores

Inobservables con las energías habituales....

6 Dimensiones extra



6 dimensiones extra están
'compactificadas'

Puede explicar por qué
hay 3 generaciones de
fermiones

Determina p.e. la estructura
de la masa de leptones y quarks...

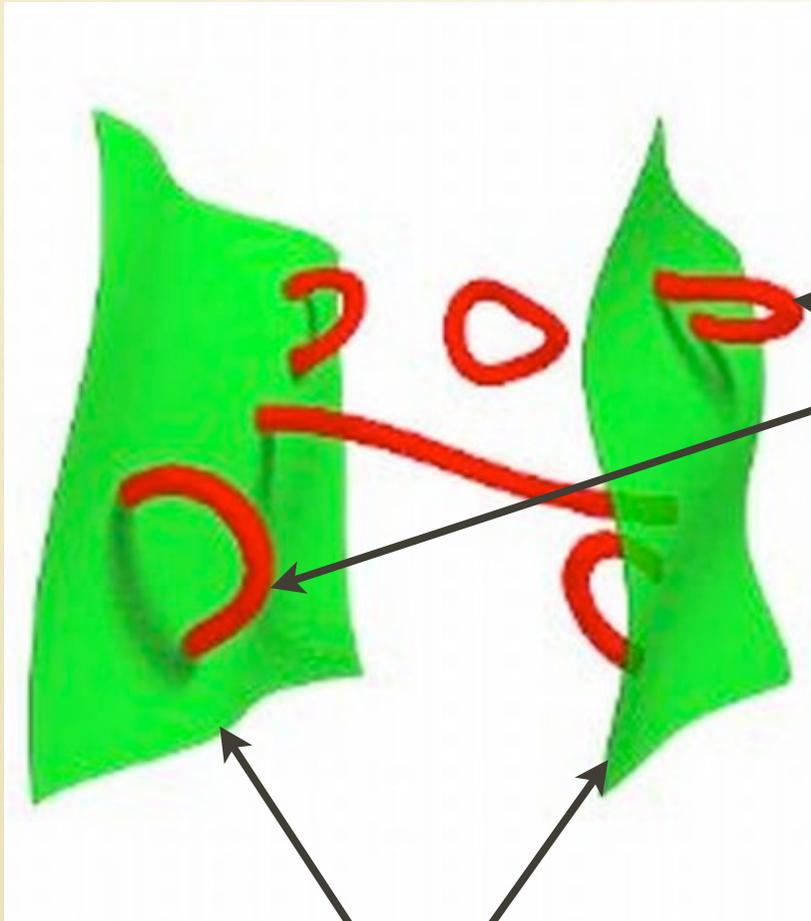
Hay soluciones que dan
lugar a una estructura muy,
similar al MS



La Teoría contiene además nuevos objetos extensos

D-branas

Generalización de las
cuerdas a mas dimensiones:

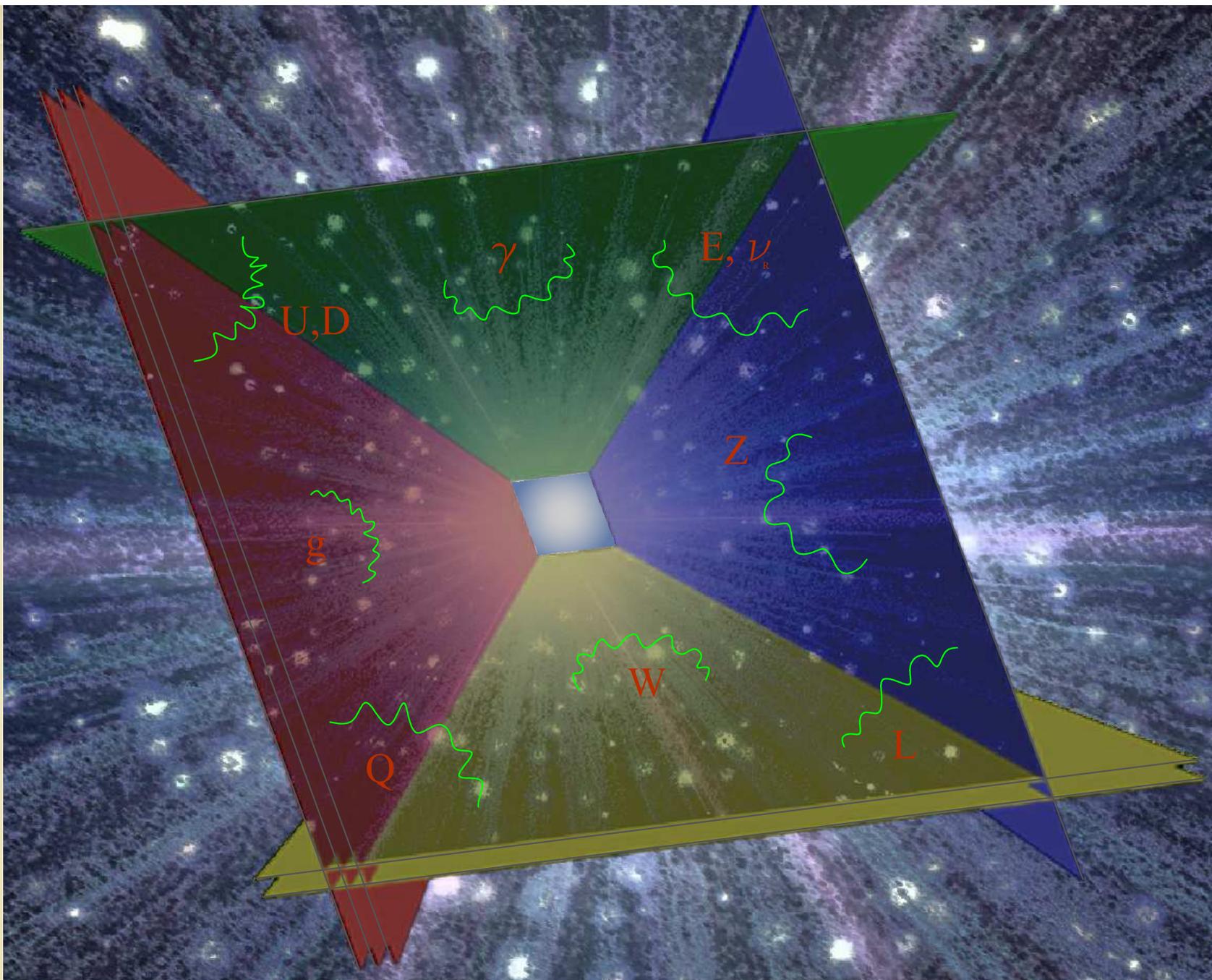


Las cuerdas abiertas
comienzan y terminan
en D-branas 1995



Polchinski

D-branas



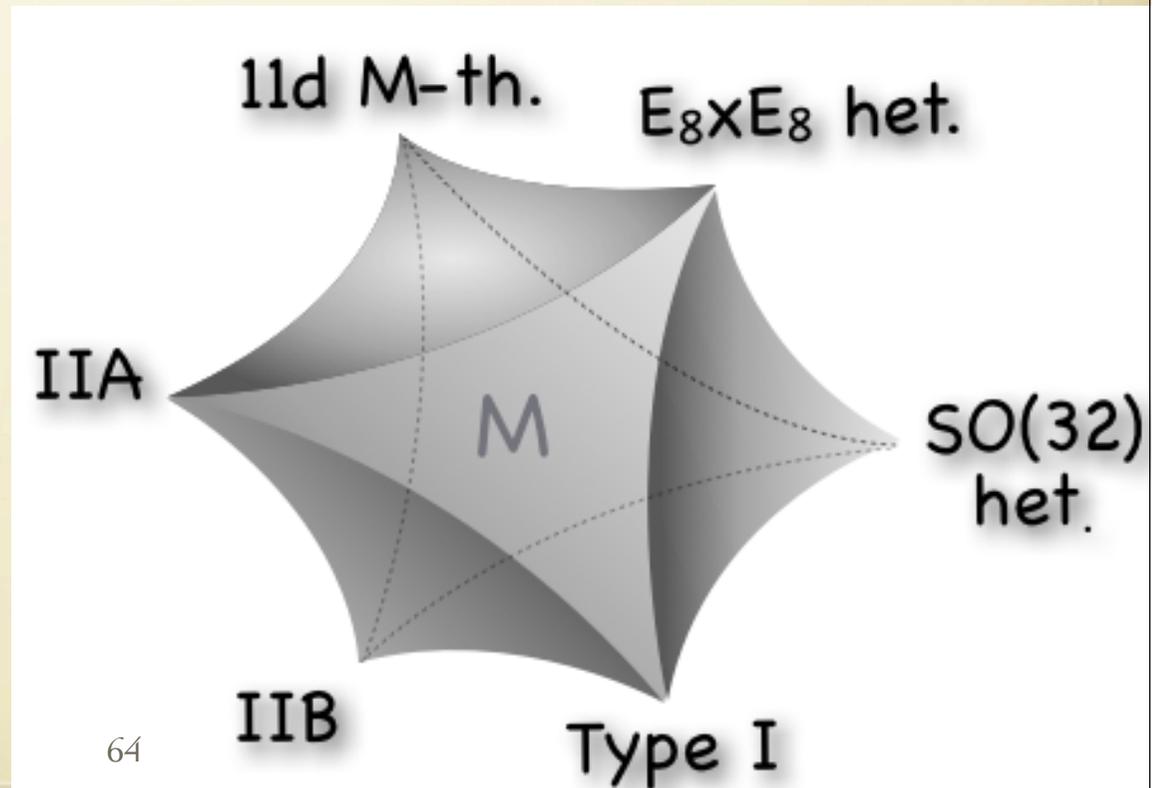
Las partículas del MS vienen de vibraciones de las cuerdas en las intersecciones

Antes de 1995 pensabamos que habia 5 tipos de cuerdas:

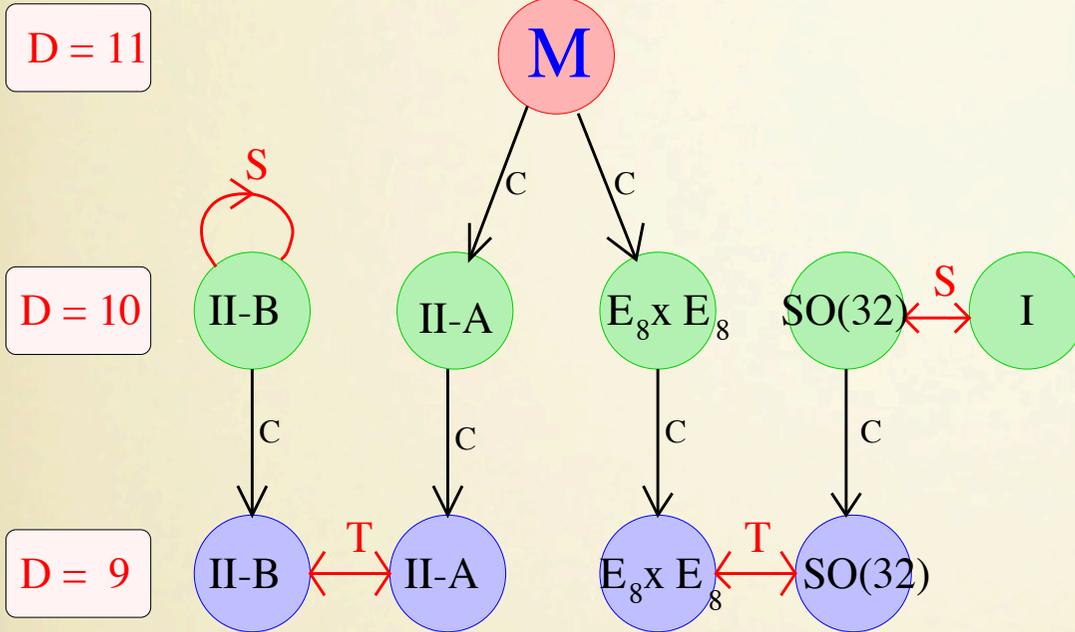
- Tipo I Gliozzi,Scherk,Schwarz (1977)
- Tipo II-A } Green,Schwarz (1984)
- Tipo II-B }
- Heteròtica $E_8 \times E_8$ } Gross,Harvey, (1986)
- Heteròtica $SO(32)$ } Martinec,Rohm

1995 : Están unificadas
en una estructura
matemática única:

Teoría M



Unas sorprendentes simetrías conectan las teorías:



Dualidad-S

Teoría con intensidad g
 =
 Teoría con intensidad $\frac{1}{g}$
 Fuerte = Débil

Dualidad-T

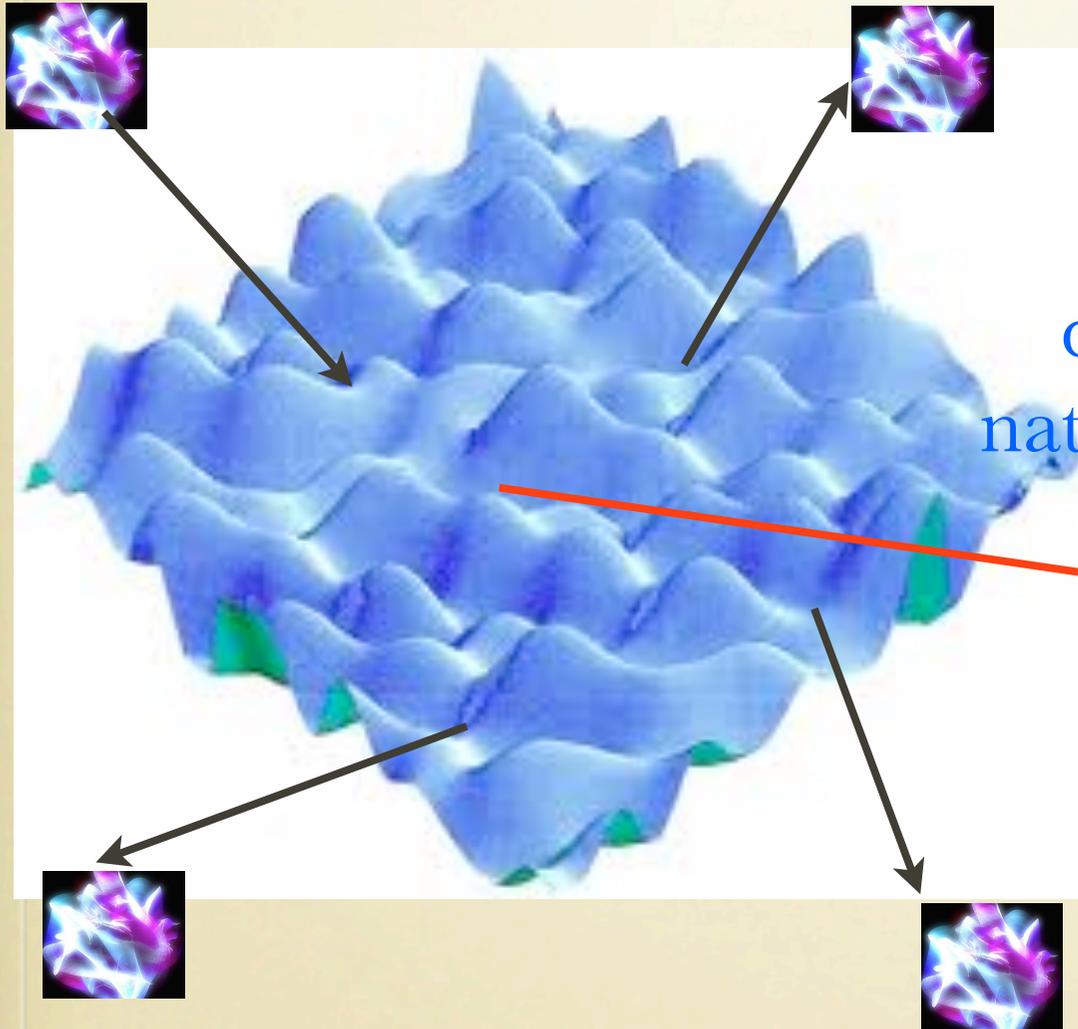
Cuerda con una dimensión extra de radio R

=

Cuerda con una dimensión extra de radio $\frac{1}{R}$

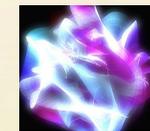
Grande = Pequeño

PROBLEMA: existe un número enorme de soluciones de las ecuaciones de la Teoría M:



10^{500}

soluciones, cada una con diferentes constantes de la naturaleza y tipos de partículas

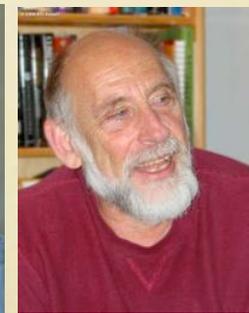


Nosotros

¿Por qué esta solución?

‘Paisaje de la T. de Cuerdas’⁶⁶

2000



Polchinski Susskind Bousso

Es un problema o una bendición?

★ Universo inflacionario: se crean nuevos universos sin cesar



★ Cada universo corresponde a una diferente solución de la T. de Cuerdas

★ Solo podemos vivir en un universo que permita la aparición de la vida

★ Una enorme mayoría de las soluciones de T. Cuerdas son incompatibles con la aparición de la Química (y la vida!)

★ Es bueno que haya 10^{500}

(Para que el hecho improbable de la aparición de la vida sea posible)

¡Nuevo giro Copernicano!

ALGUNAS magnitudes físicas podrían venir determinadas por que valores distintos serían **incompatibles con el universo que observamos:**

★ $\Lambda_{c.c.} = 10^{-120} M_P^4$ (si no, no habría formación de galaxias)



1987

Weinberg

★ $m_u < m_d$ (si no no habría átomos estables)

★ $m_{Higgs} \simeq 10^{-17} M_P$ (átomos inestables)

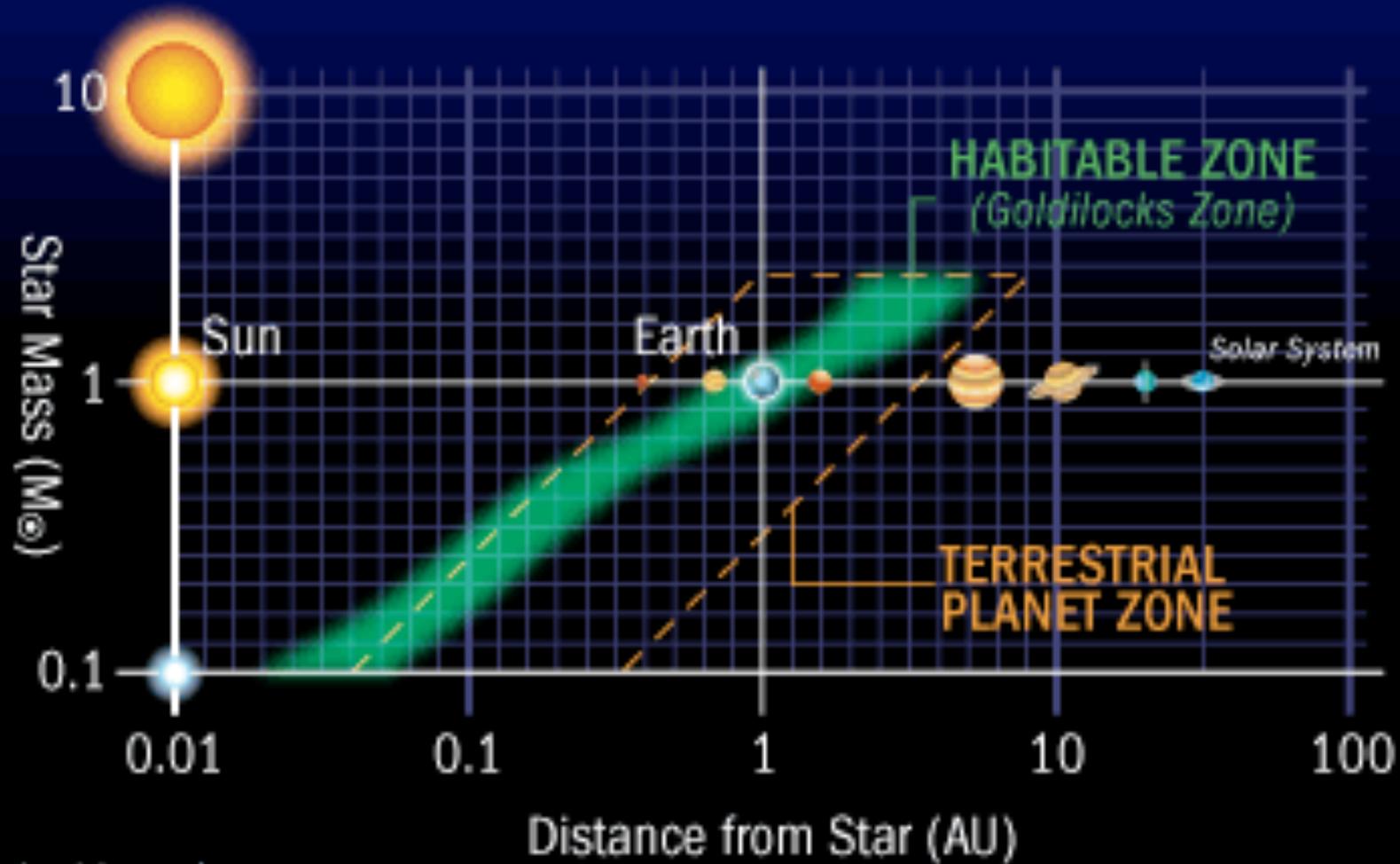
En este caso Supersimetría no sería relevante para la estabilidad del Higgs...

Quizá habrá que renunciar a que todas magnitudes físicas sean predichas por la teoría: **algunas** magnitudes serían ‘Históricas’, no fundamentales: **NO COMETER**

EL ERROR DE KEPLER DE NUEVO

Planetary Habitable Zone*

©2010 HowStuffWorks



La temperatura media de la tierra y la abundancia de agua son requisitos para que estemos aqui...

¿Es la Teoría de cuerdas la Teoría Unificada definitiva?

Probablemente sí, pero nos llevará posiblemente bastante tiempo encontrar una **formulación completa**

En esa formulación completa es posible que el **espacio y tiempo** aparezcan como conceptos ‘**derivados**’, no fundamentales

¿**Se puede verificar** experimentalmente la Teoría de Cuerdas?

¡No hay que volver a repetir el error de Comte!

Los futuros experimentos serán vitales:



LHC:

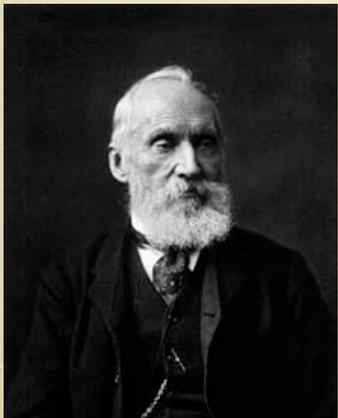
¿Supersimetría?, ¿materia oscura?
¿mas Higgses?, ¿nuevas partículas?

Física de neutrinos, ‘axiones’,
nuevos bosones,...

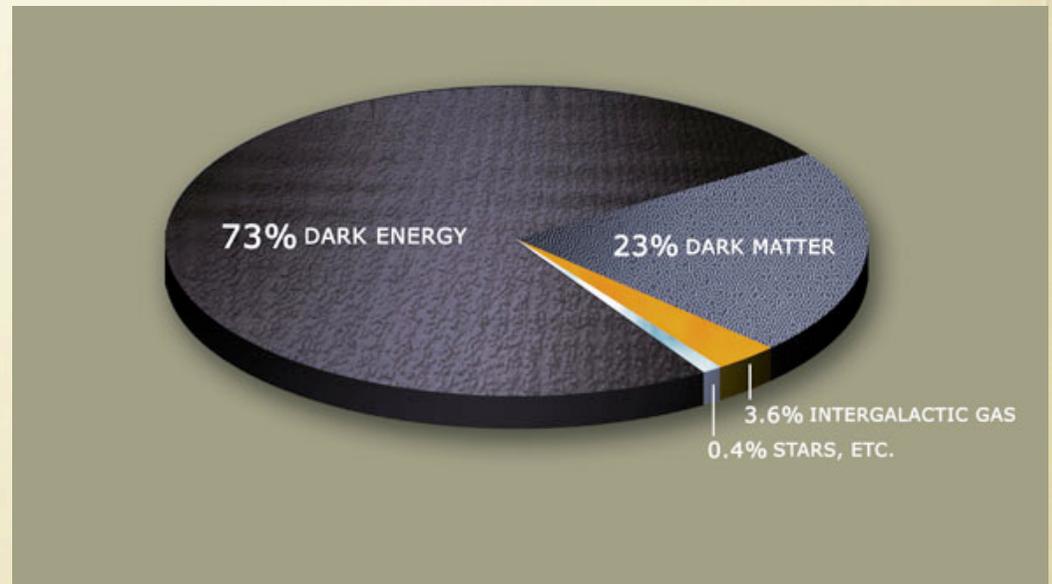
¿Detección directa de
materia oscura?

¿Energía oscura?

¿Ondas gravitacionales?



¿Detalles?



¡No debemos repetir el error de Lord Kelvin!



avancemos en el
tiempo...



Comienzo construcción: 2020

Colisiones: 2030

nature

El señor de los anillos....
...de colisión

LORD OF THE RINGS

Physicists are discussing a proton-colliding machine that would dwarf the energy of its predecessors.

Very Large Hadron Collider (suggested)

100 km

100 TeV*

Large Hadron Collider

27 km

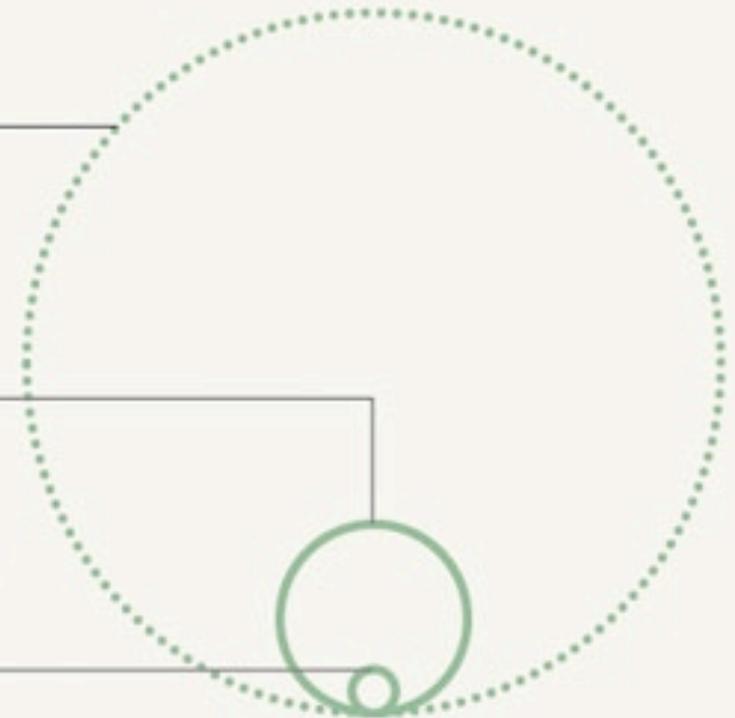
14 TeV

Tevatron (closed)

Circumference: **6.3 km**

Energy: **2 TeV**

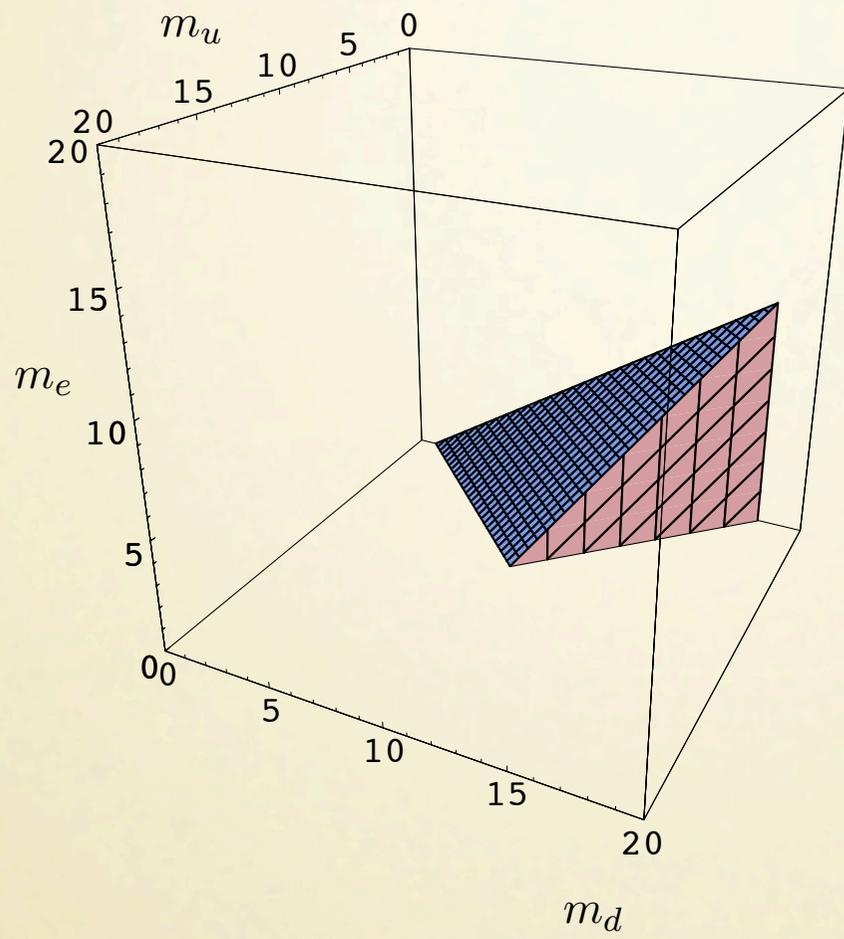
*TeV, teraelectronvolt.



¡Gracias!



Transparencias de reserva.....





....pero eso no va a ocurrir mañana...