

# 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

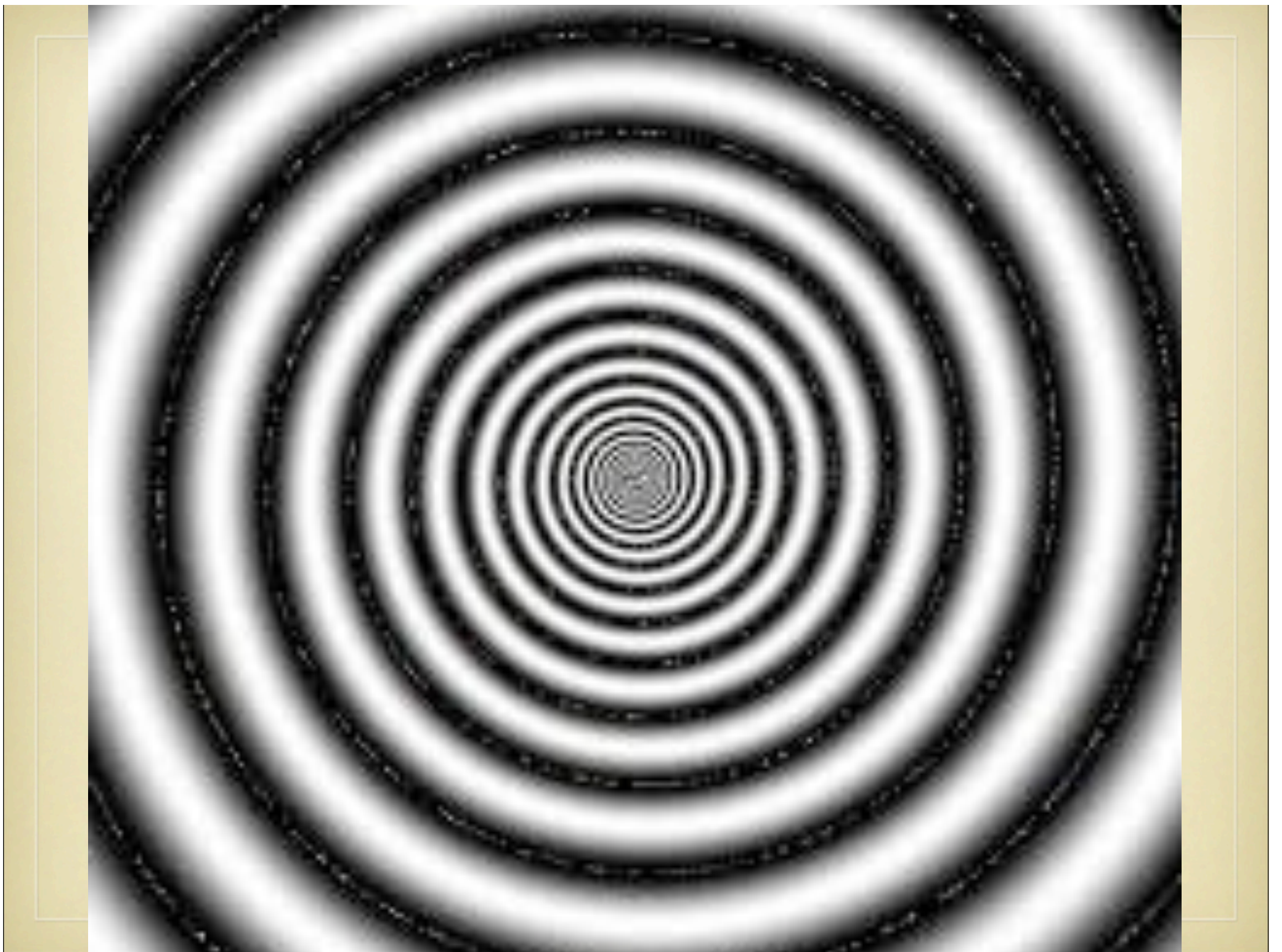


European  
Research  
Council

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 written in a red, cursive font across the middle of the tunnel.

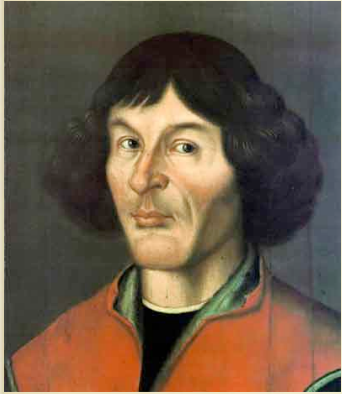
Retrocedamos en el  
tiempo...





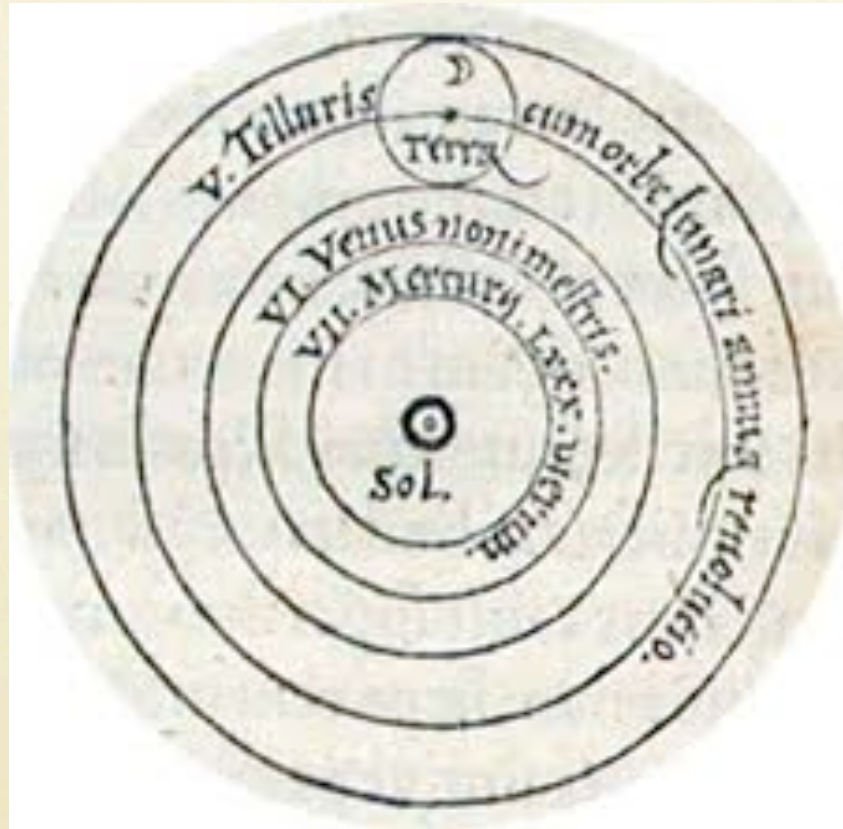
S. XVI

¡El hombre deja de ser el centro del universo!



Copérnico  
1543

Revolución Copernicana:

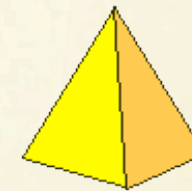
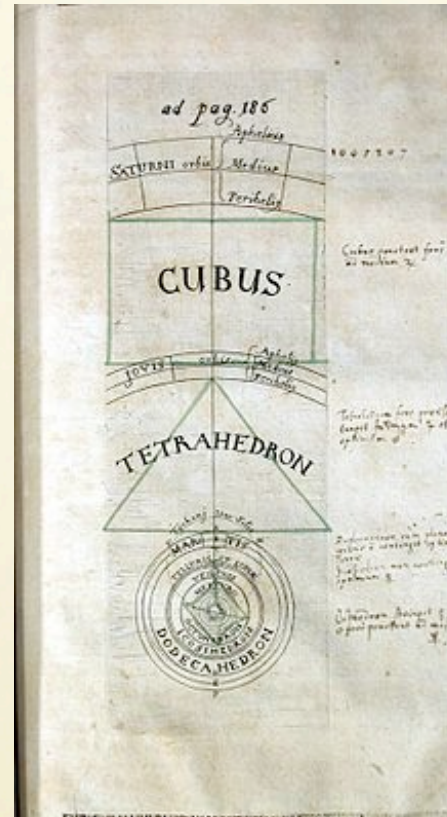
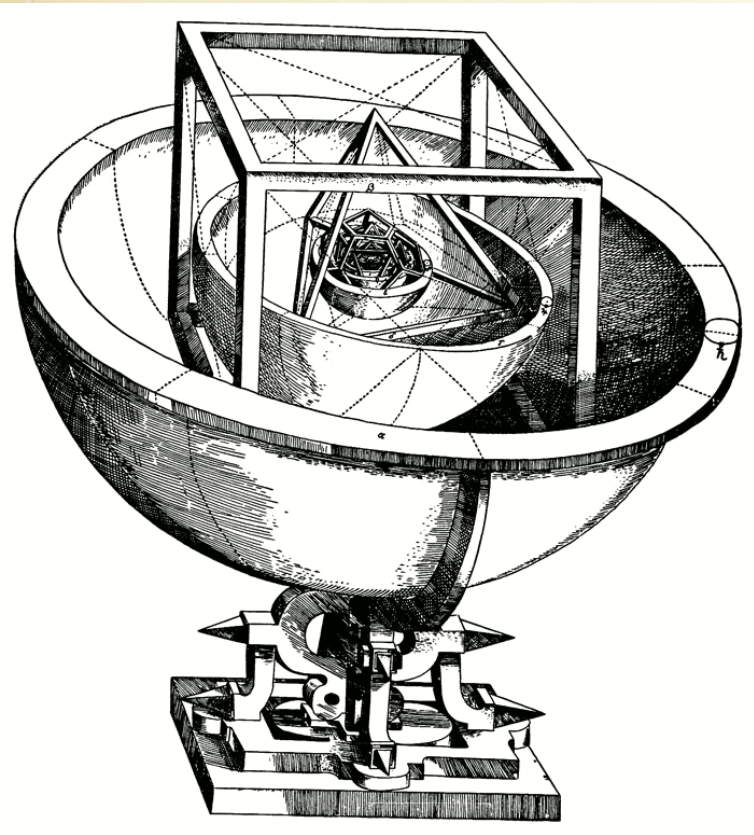


Kepler  
1609

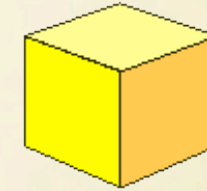
leyes del movimiento de los planetas



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



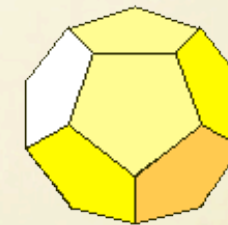
Tetraedro



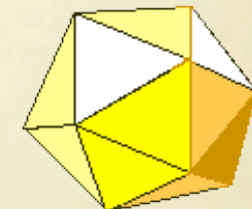
Cubo



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

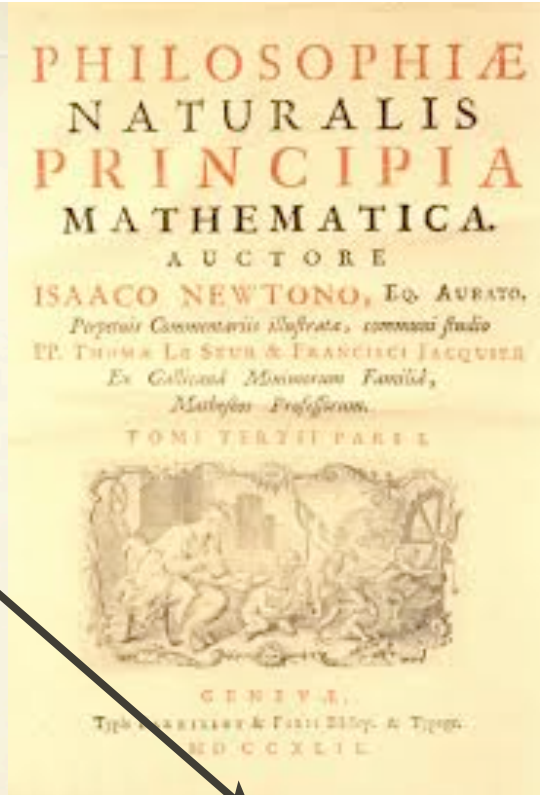




Optica



Isaac Newton

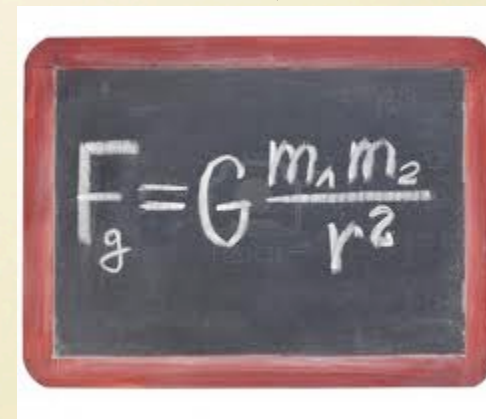


1687



Leyes del movimiento

Fuerzas a distancia



Gravitación Universal

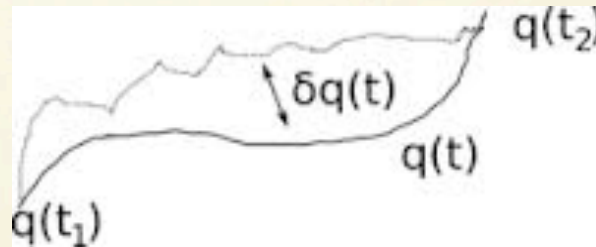
¡Primera unificación!

# 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'

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

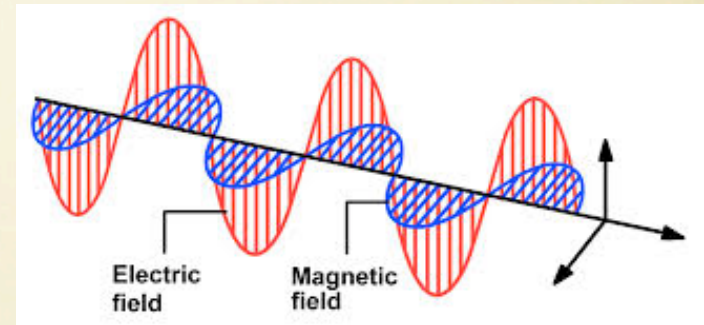
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



J.C. Maxwell

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

1865

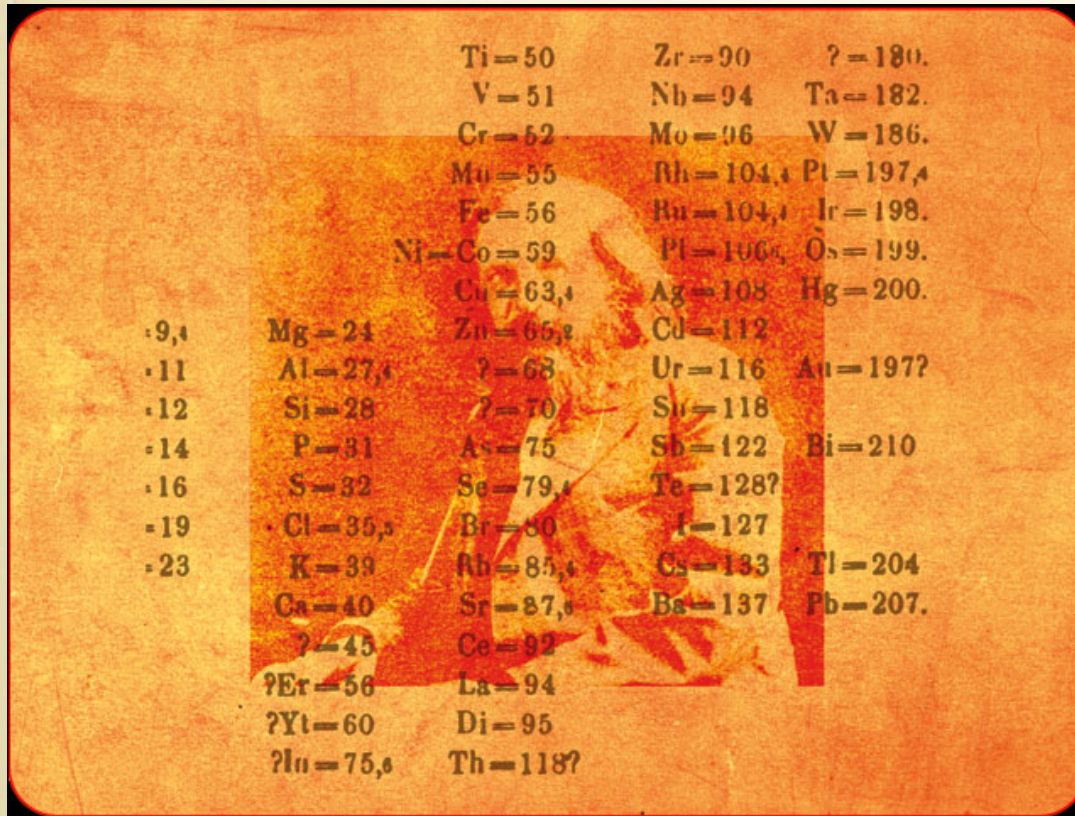


*Luz = Radiación electromagnética*

Electricidad, Magnetismo y luz unificados:

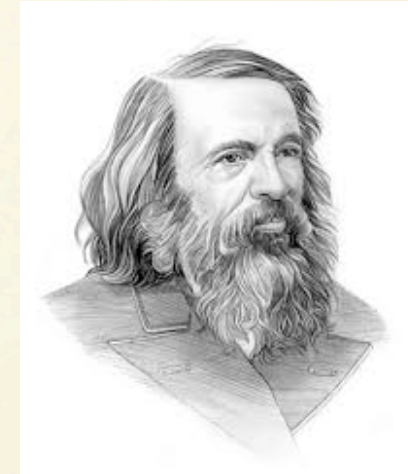
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

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.	Pt=197.
		Fe=56	Ru=104.	Ir=198.
		Ni=Co=59	Pd=106.	Os=199.
		Cu=63.	Ag=108	Hg=200.
·9.	Mg=24	Zn=65.	Cd=112	
·11	Al=27.	?=68	Ur=116	Au=197?
·12	Si=28	?=70	Su=118	
·14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
·16	S=32	Se=79.	Te=128?	
·19	Cl=35.	Br=80	I=127	
·23	K=39	Rb=85.	Cs=133	Tl=204
	Ca=40	Sr=87.	Ba=137	Pb=207.
	?=45	Ce=92		
	?Er=56	La=94		
	?Yt=60	Di=95		
	?Lu=75.	Th=118?		

Tabla de los elementos químicos



1869

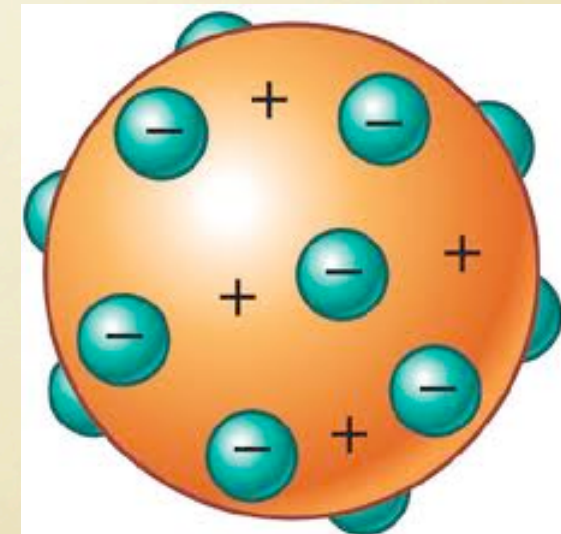
Mendeleiev



Modelo atómico de Thomson

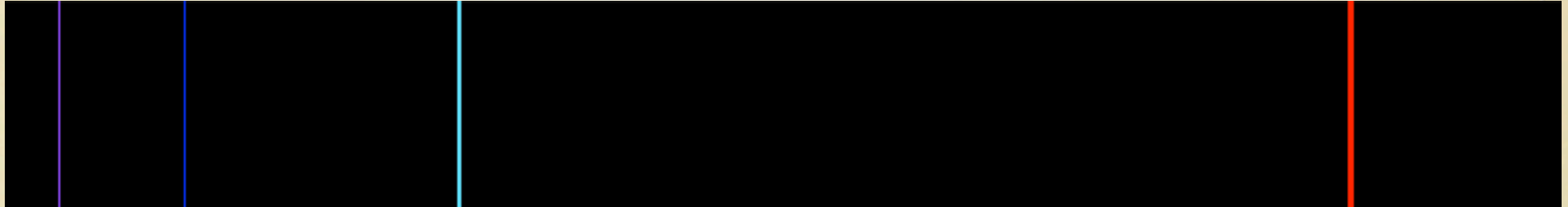
No explica esa estructura

1904





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



## La existencia de fenomenos radiactivos....



Roentgen, Curie

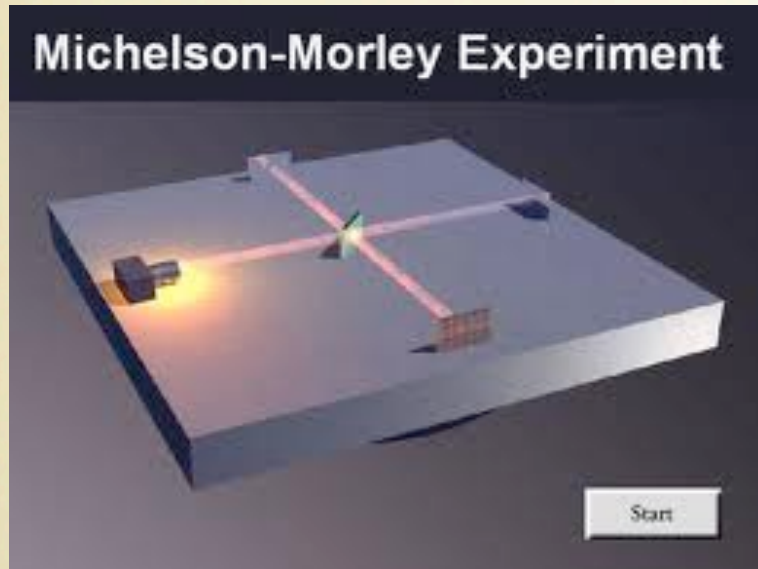


1900

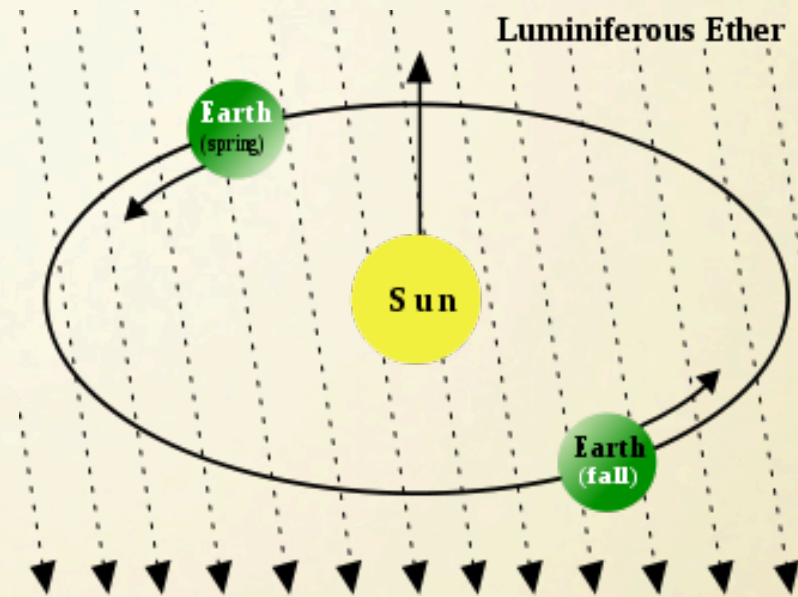
Planck

La radiación del ‘cuerpo negro’..

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



1887



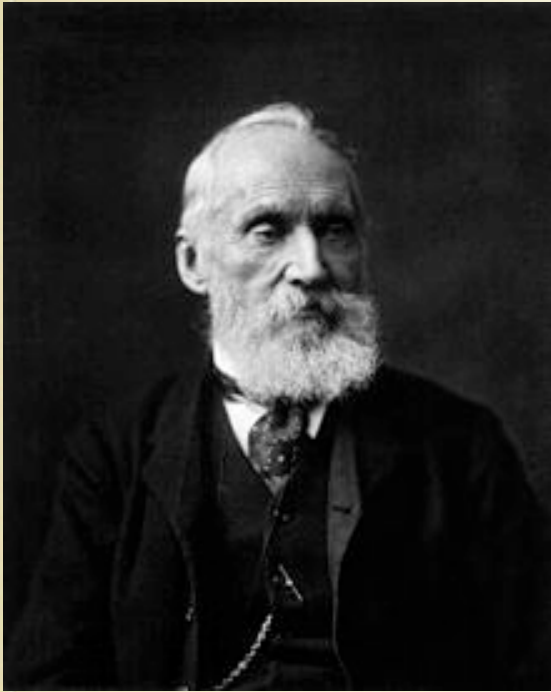
**Otro error:** Escepticismo respecto a la astrofísica:

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



Course de la Philosophie positive, A. Comte, 1835





Otro error más:

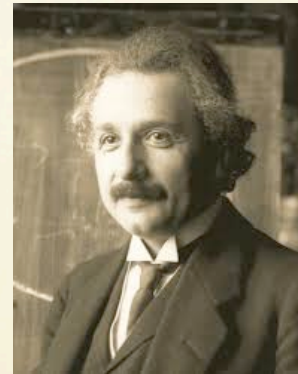
‘No hay nada nuevo que descubrir en Física en estos momentos. Lo único que nos queda es hacer medidas más y más precisas’

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



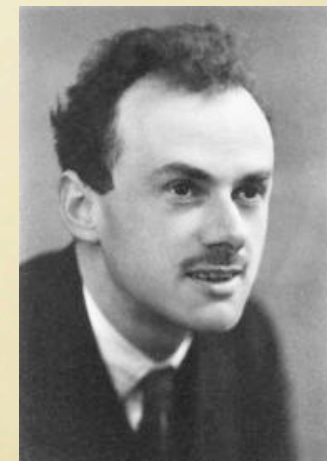
Schrodinger



Heisenberg



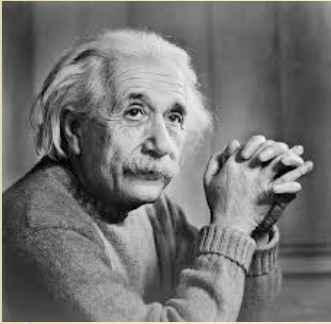
Pauli



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 = energía<sup>15</sup> 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:

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



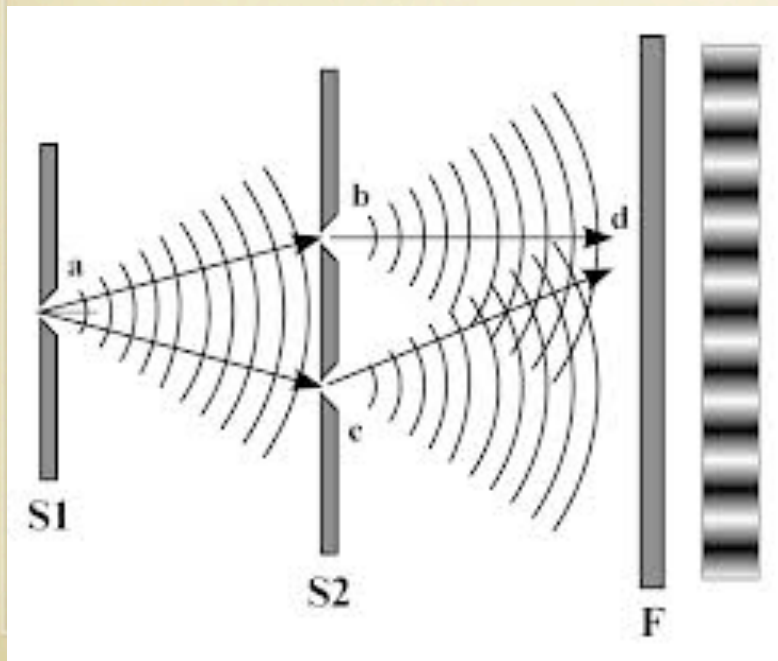
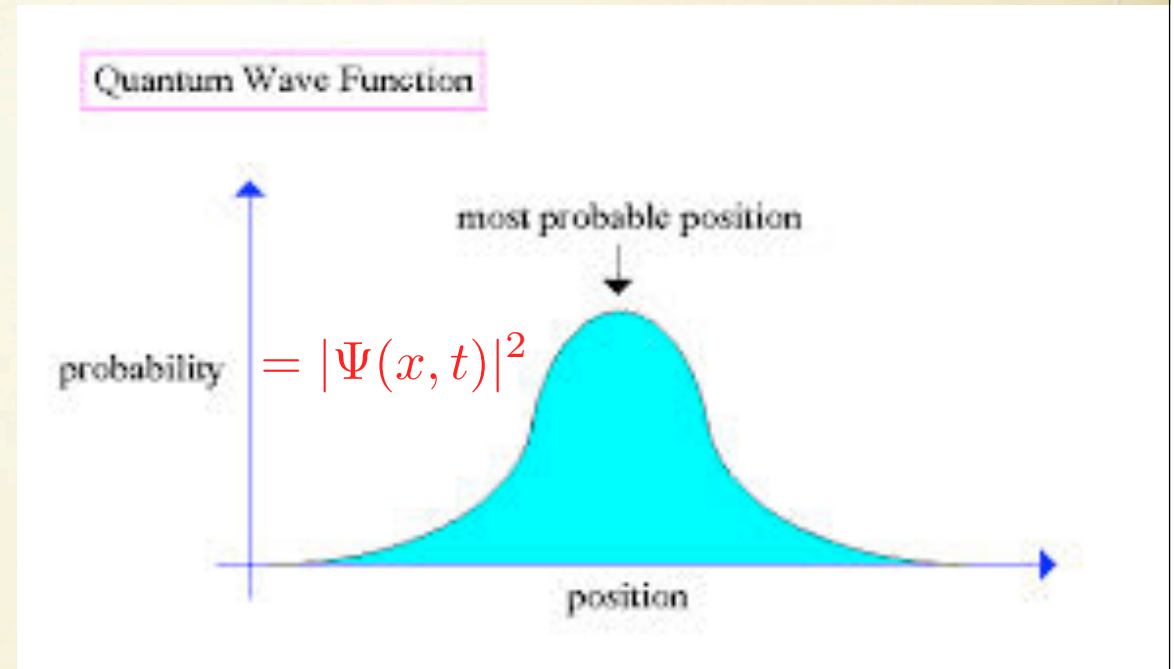
$$\Delta x \simeq \frac{h}{\Delta(mv)}$$

Imprecisión intrínseca en  
la medida de la posición

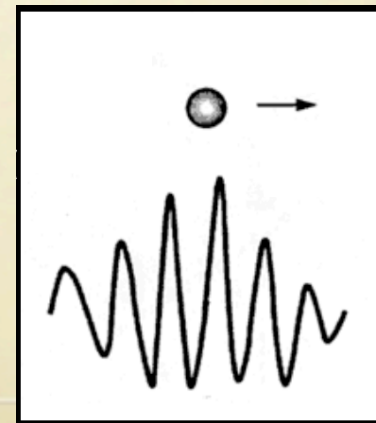
En el mundo (sub)atómico no tiene sentido hablar de trayectoria de una partícula

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

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**

21 **ASTROS Y COSMOLOGÍA**

**SIGLO XIX**

**FÍSICA CLÁSICA**



# Mecánica Cuántica + Relatividad:

## 'Teoría Cuántica de Campos'

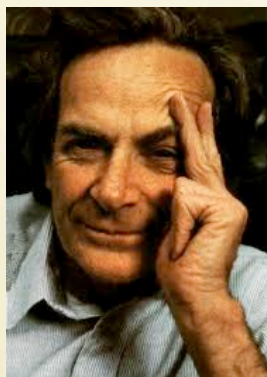
1928-1950



Pauli



Dirac



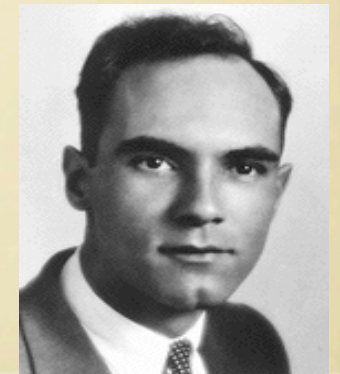
Feynman

★ 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

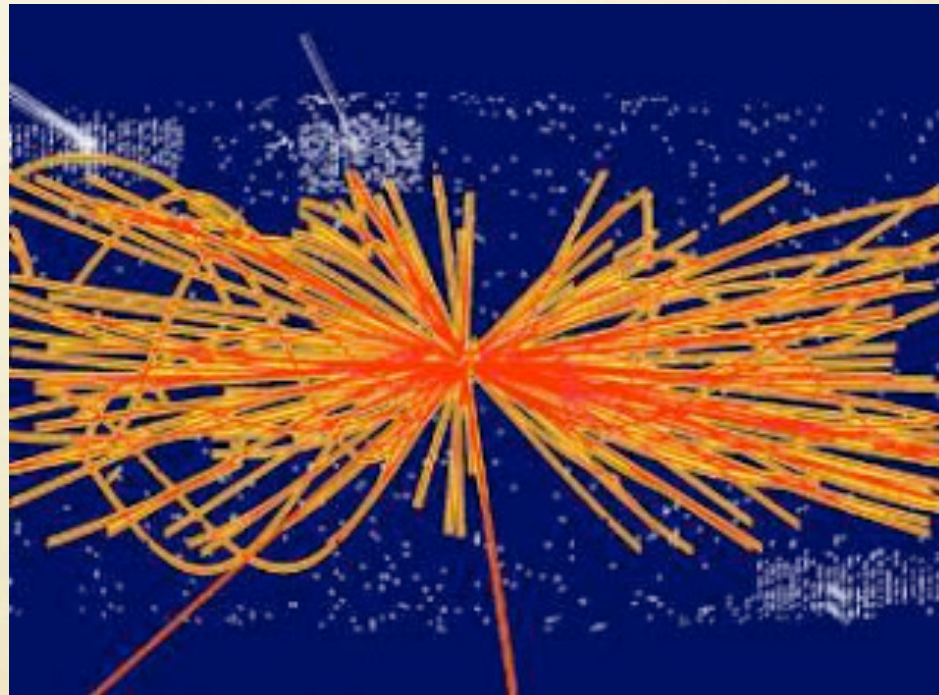


Anderson



- ★ 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

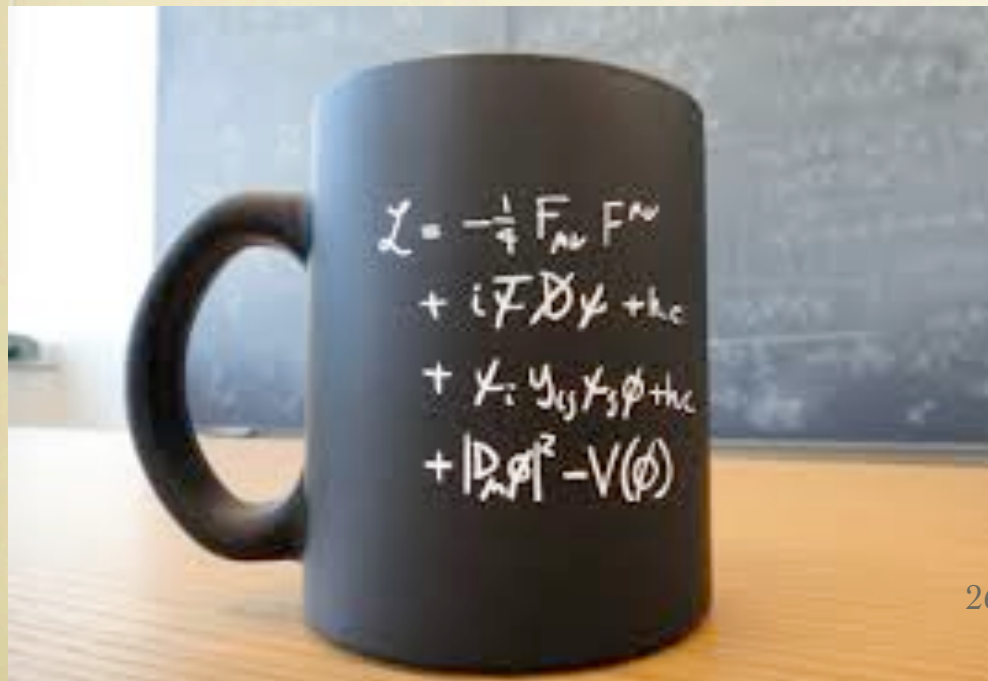
$\hbar$

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

1950-1975

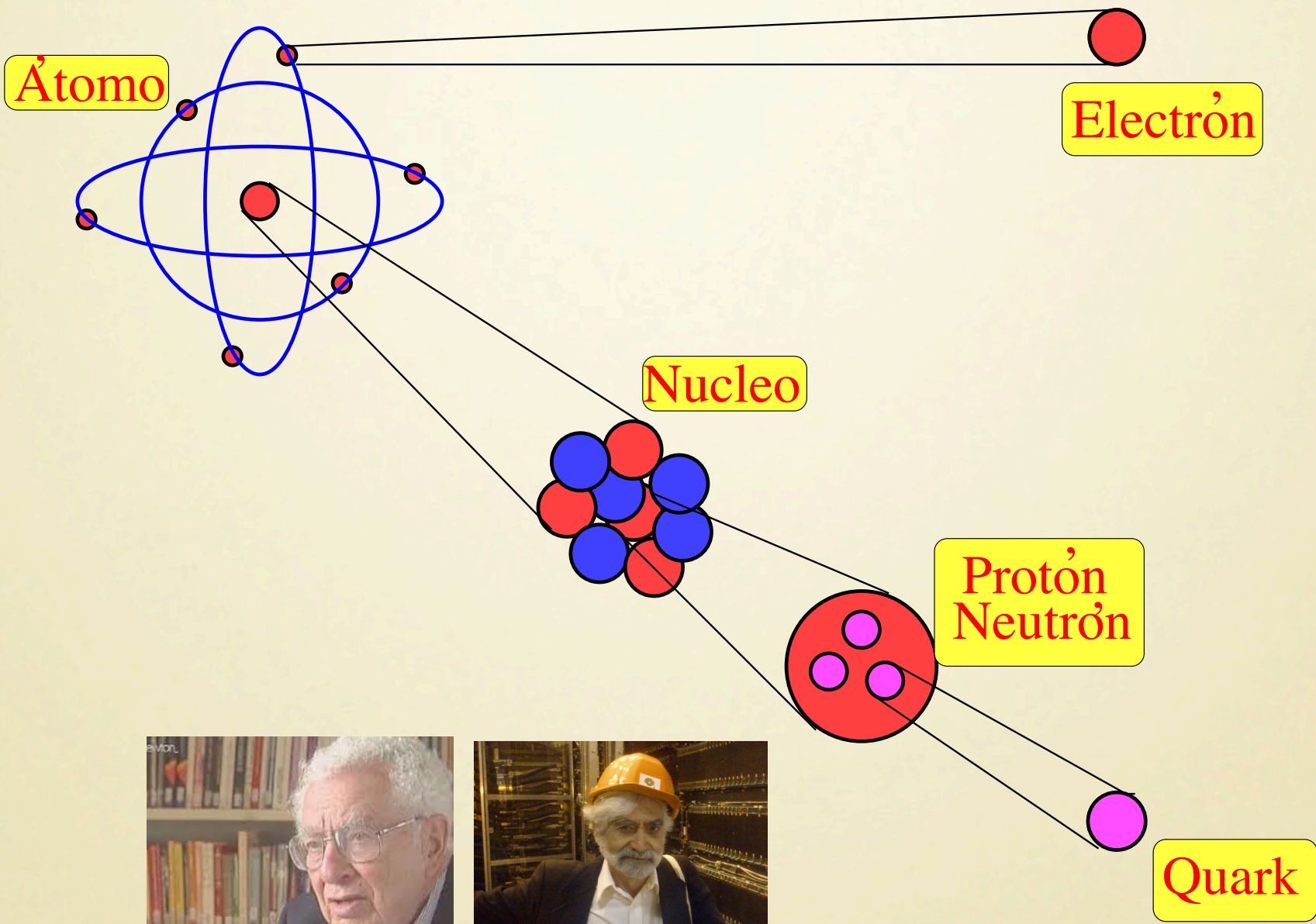
# EL Modelo Estándar de La Física de Partículas

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...)
















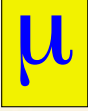





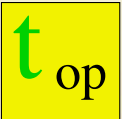






Gel-mann



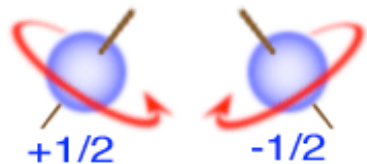
Zweig

Quark

1964

	QUARKS	LEPTONES
MATERIA USUAL	 	 
	 	 
MATERIA EXISTENTE	 	 
	 	 
A ALTAS ENERGIAS	 	 
	 	 

BOSONES INTERMEDIARIOS
Fuerza Nuclear  
Fuerza Débil  
Electromagnética  



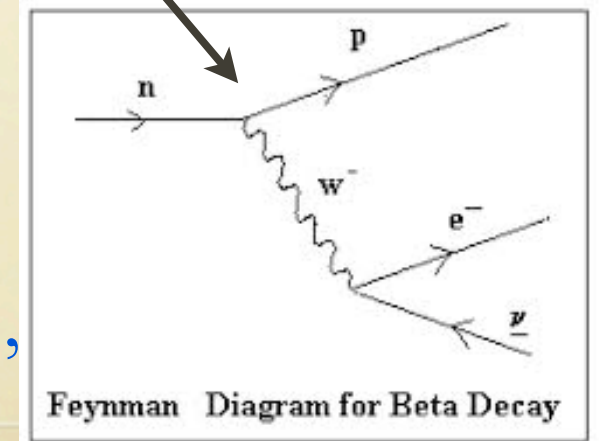
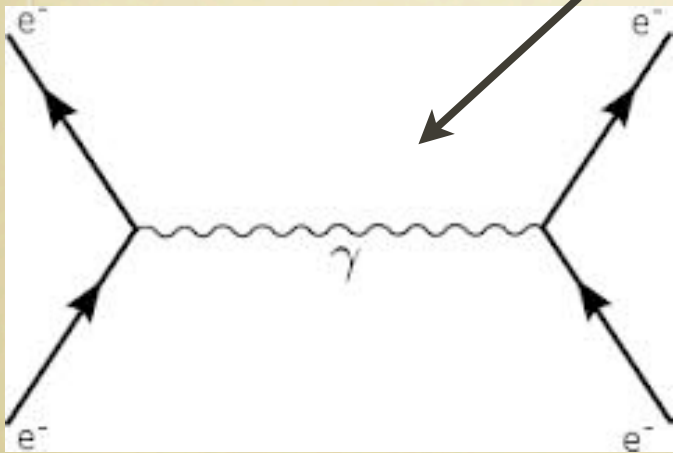
Fermiones  
'Spin' = 1/2

Bosones  
'Spin' = 1



# LAS 4 INTERACCIONES FUNDAMENTALES

Tipo de Fuerza	Intensidad	Partícula Mediadora	Importante en :
Nuclear Fuerte	$\sim 1$	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

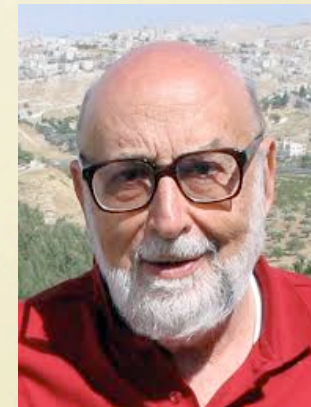
El MS predice la existencia de una nueva partícula:

## El Bosón de Higgs

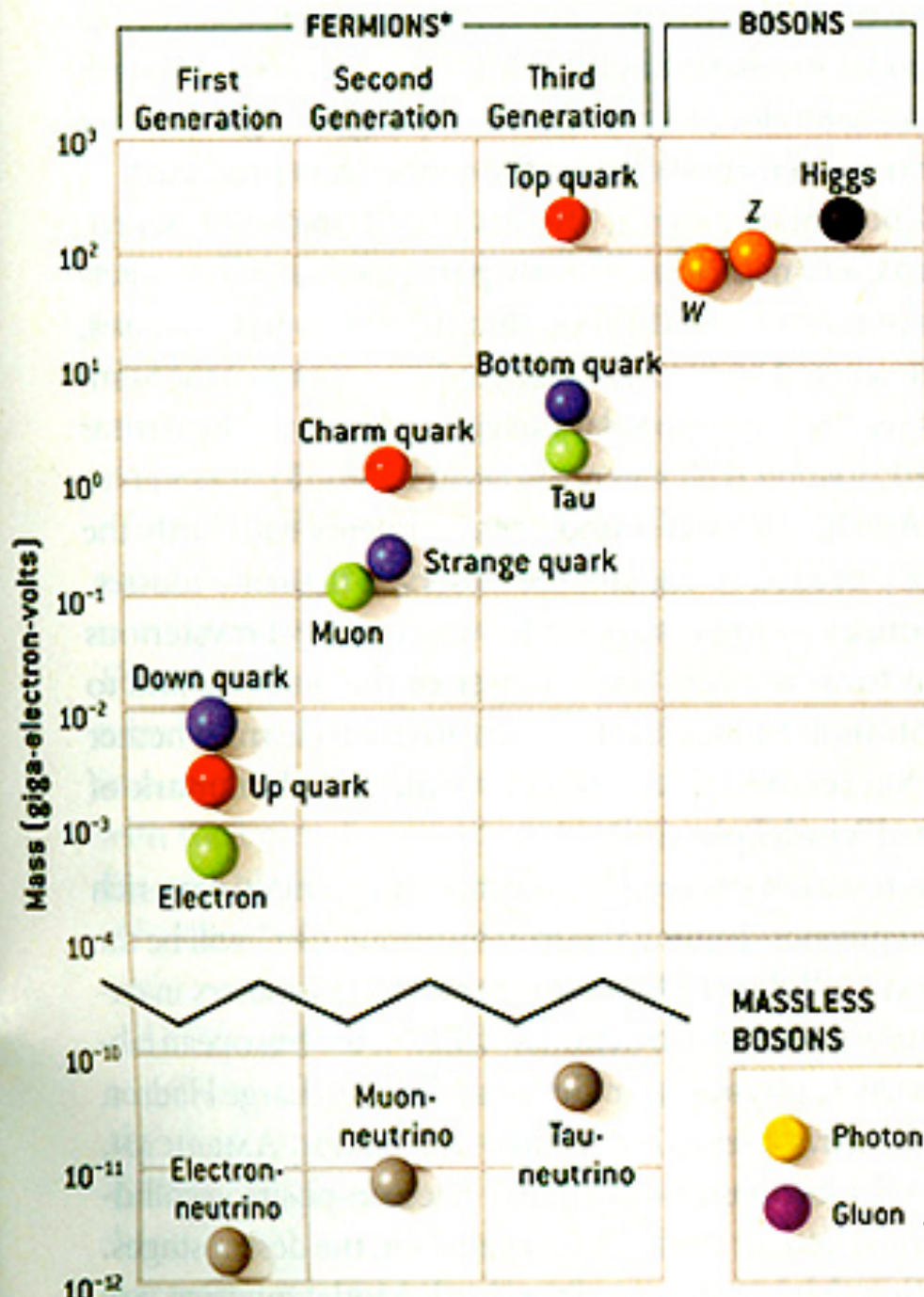
1964



Higgs



Englert

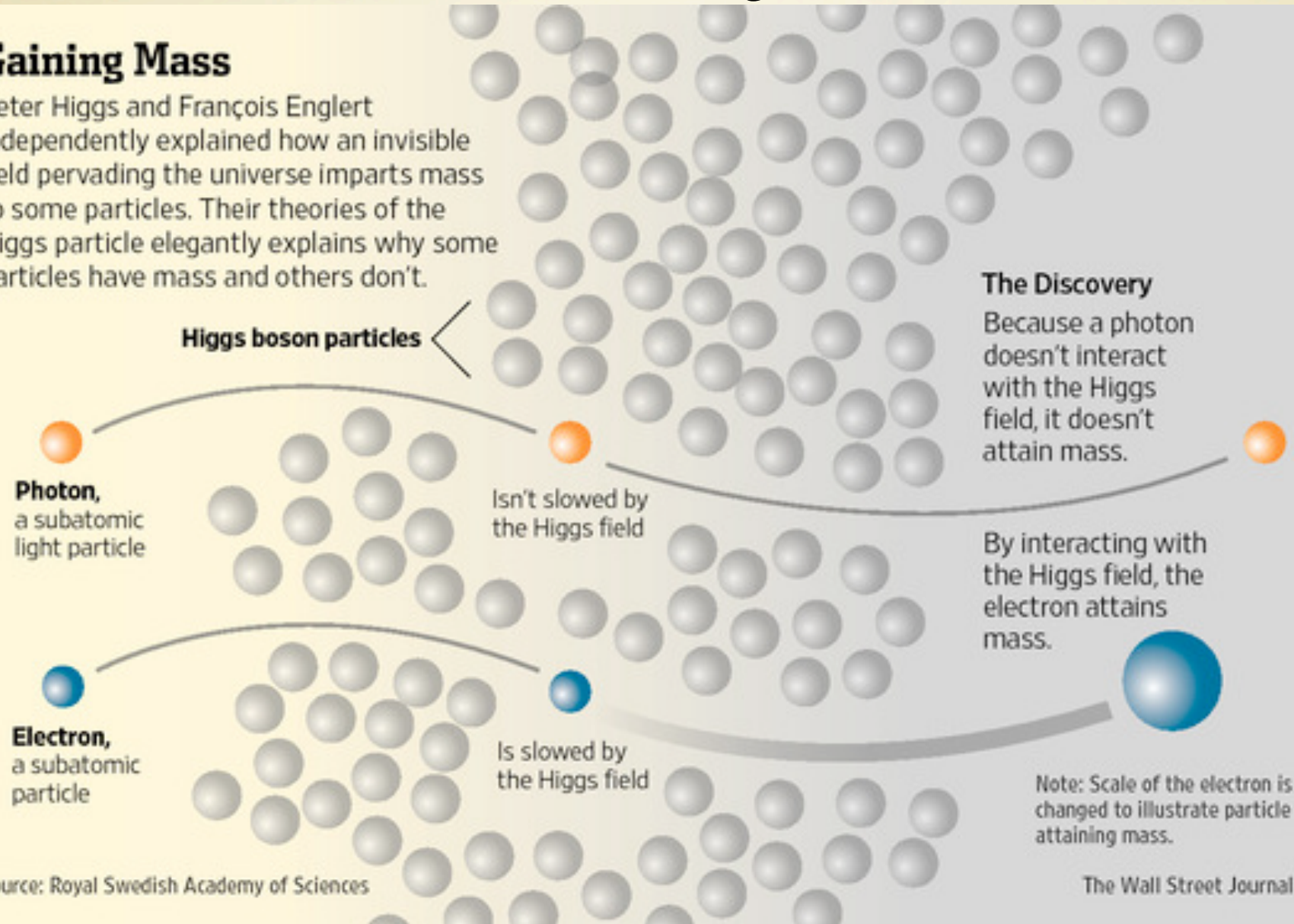


Brout



## 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.

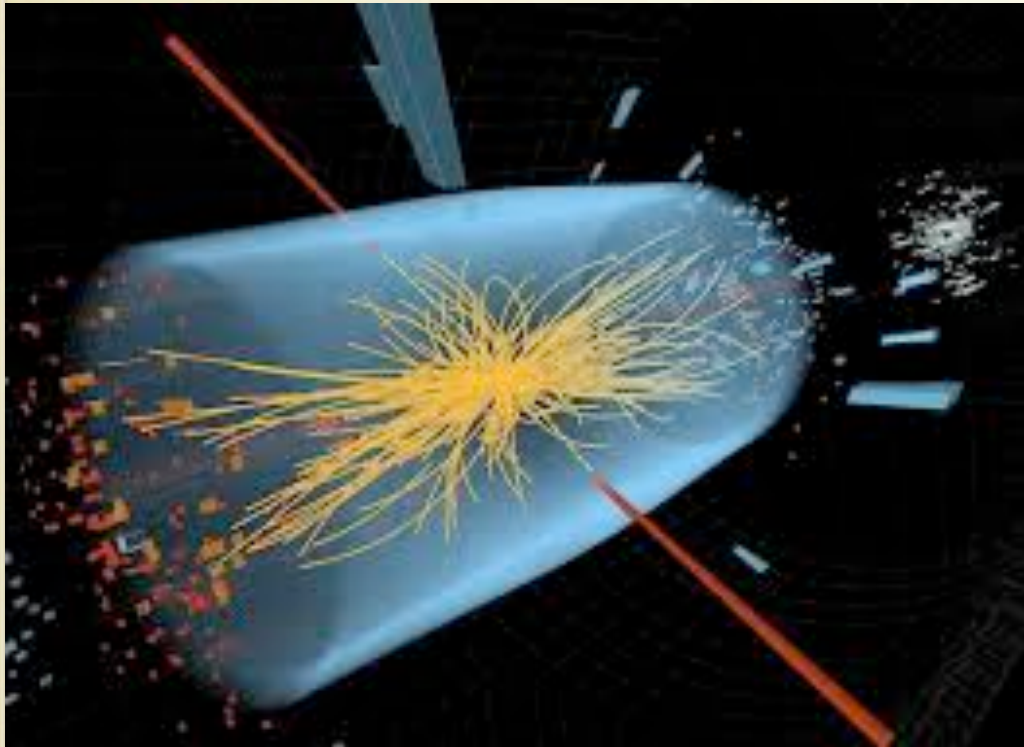


El campo de Higgs llena el espacio y  
‘frena’ a las partículas dandoles masa<sup>31</sup>



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**:

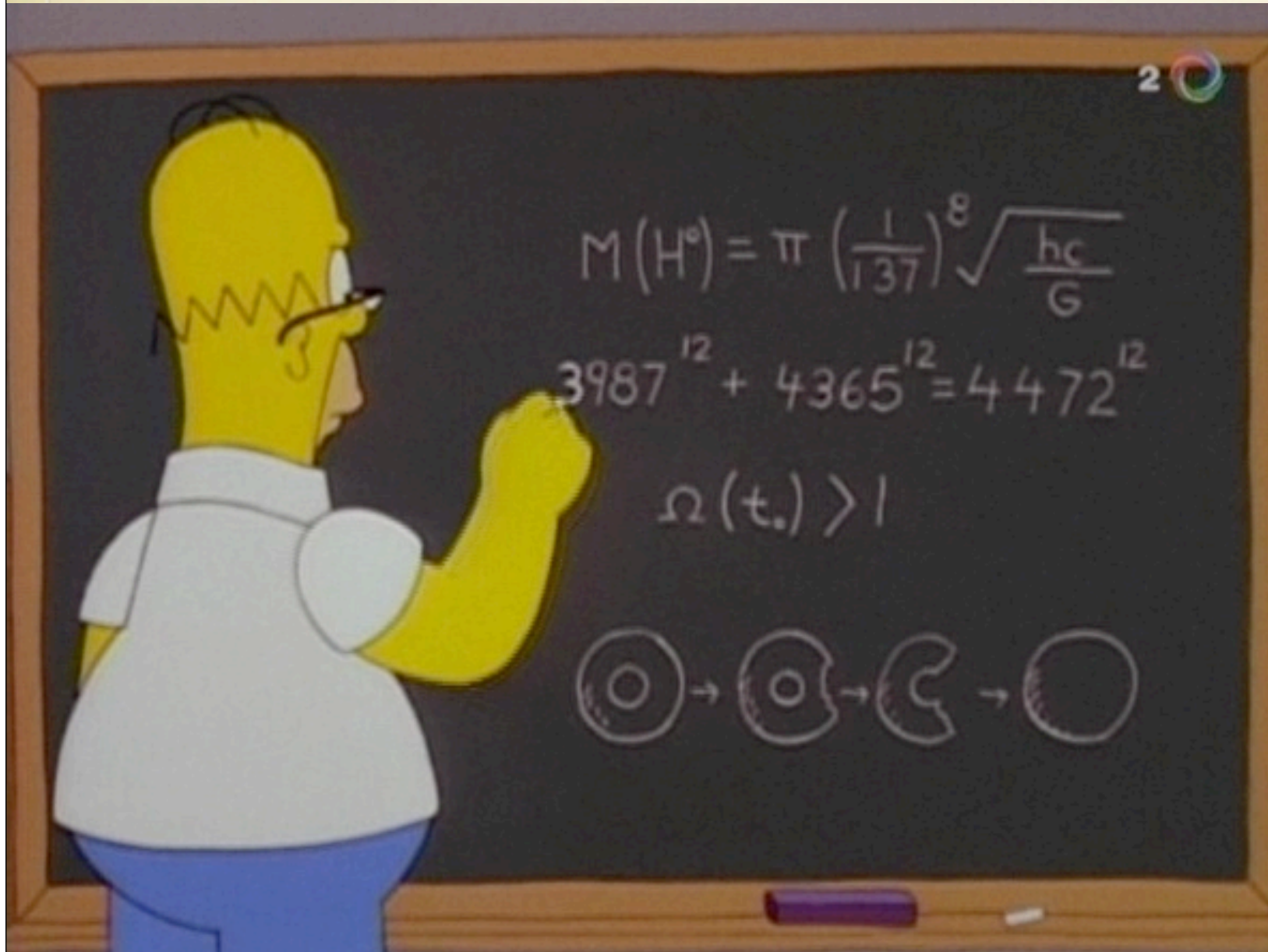


Experimentos  
ATLAS y CMS del (CERN)

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

Un gran éxito de la Física<sup>32</sup> Teórica (y experimental!)

La predicción de Homer Simpson resultó incorrecta...

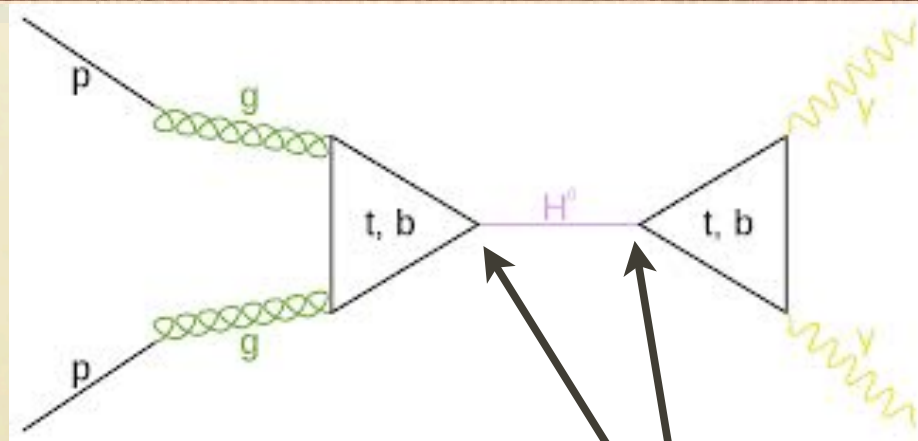
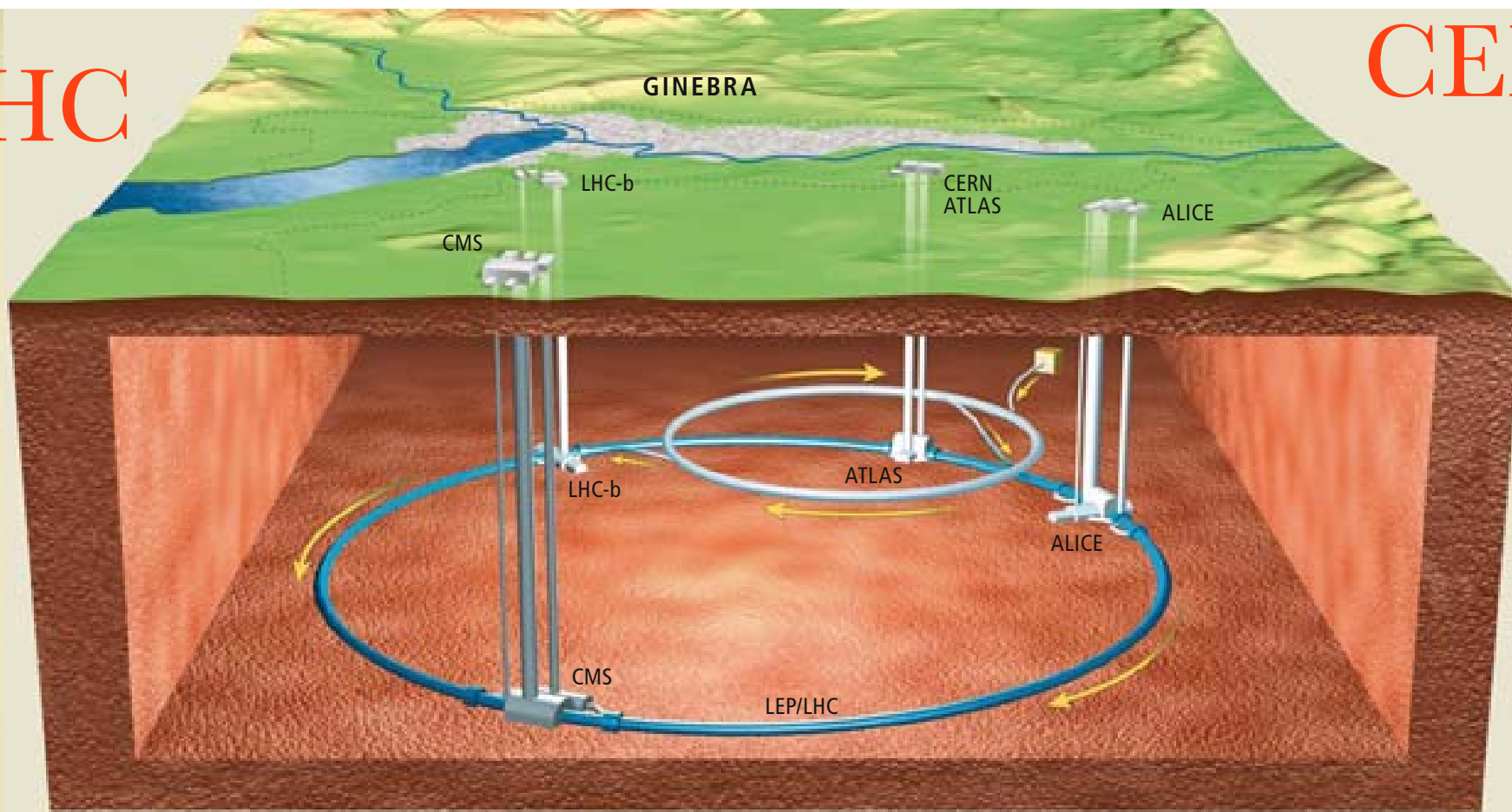


= 303 GeV



# LHC

# CERN

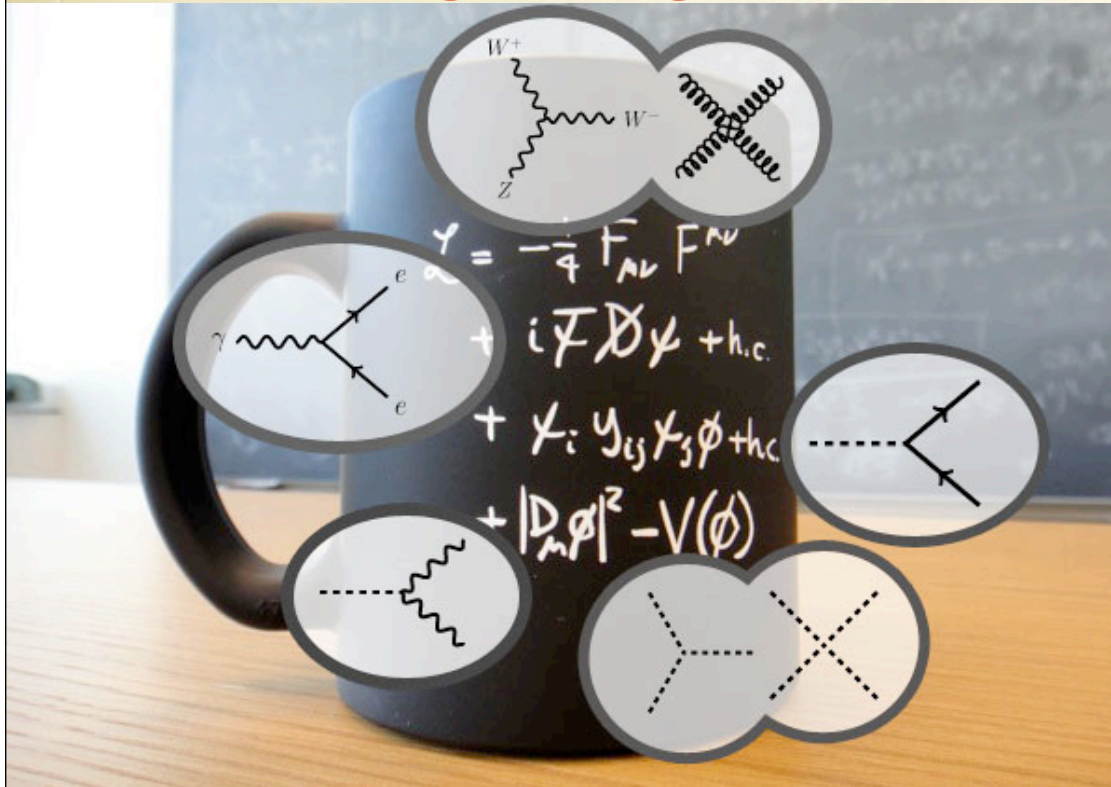


**!Nuevas interacciones fundamentales!**

**Interacciones de Yukawa**



# El Lagrangiano del Modelo Standard



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



Veltman, Glashow, Gross

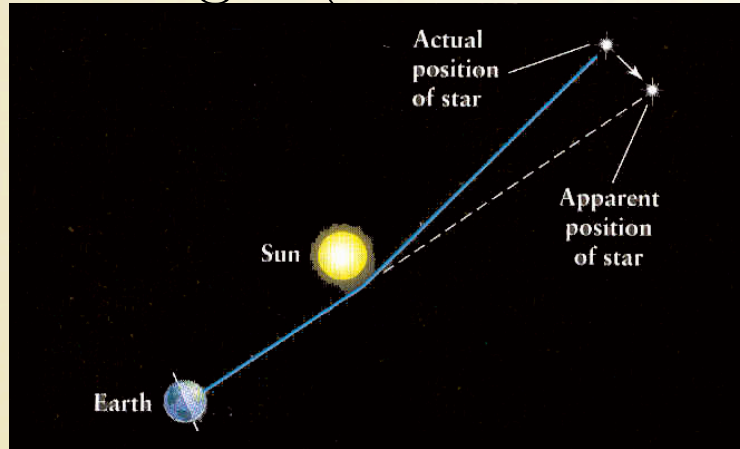
Y la Gravitación?

Juan García-Bellido os lo ha  
contado maravillosamente!

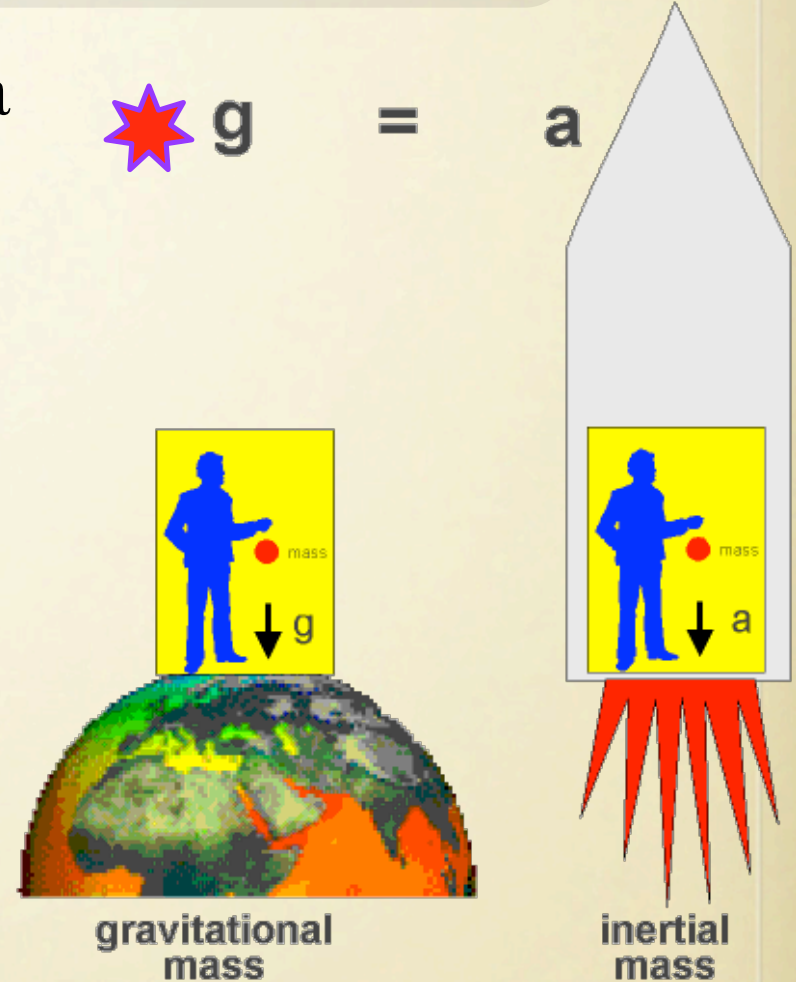
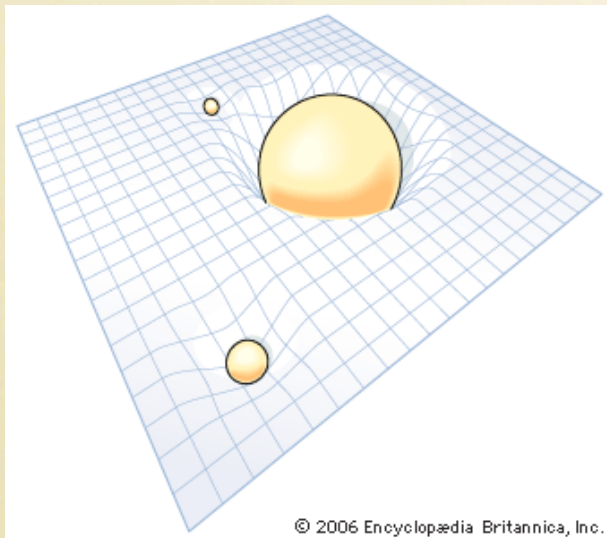


# Teoría Relativista de la Gravitación de Einstein 1915

★ La energía (no solo la masa) gravita

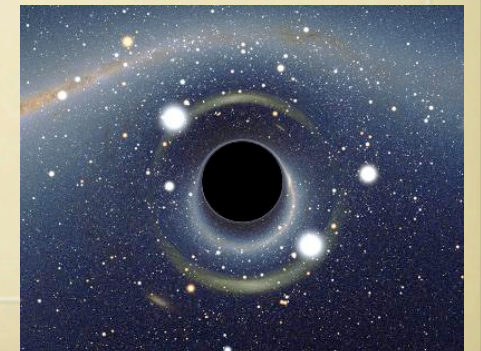


$$\star g = a$$



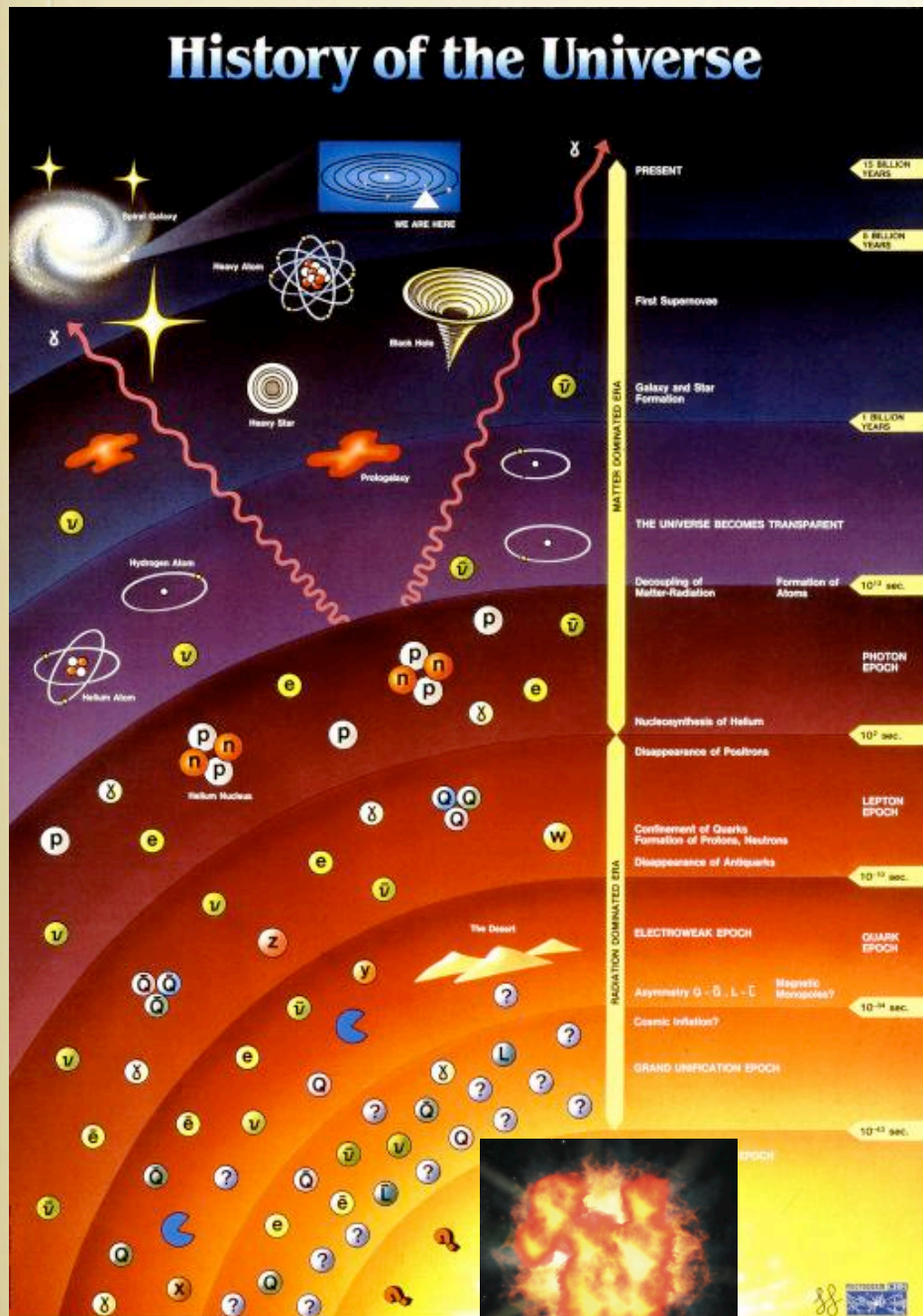
★ La energía 'curva' el espacio alrededor

★ Agujeros negros





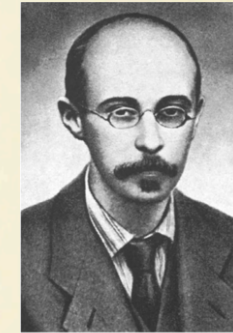
# Aplicada al Universo como un todo: COSMOLOGÍA



Hubble,  
1929



Lemaître,  
1927



Friedman

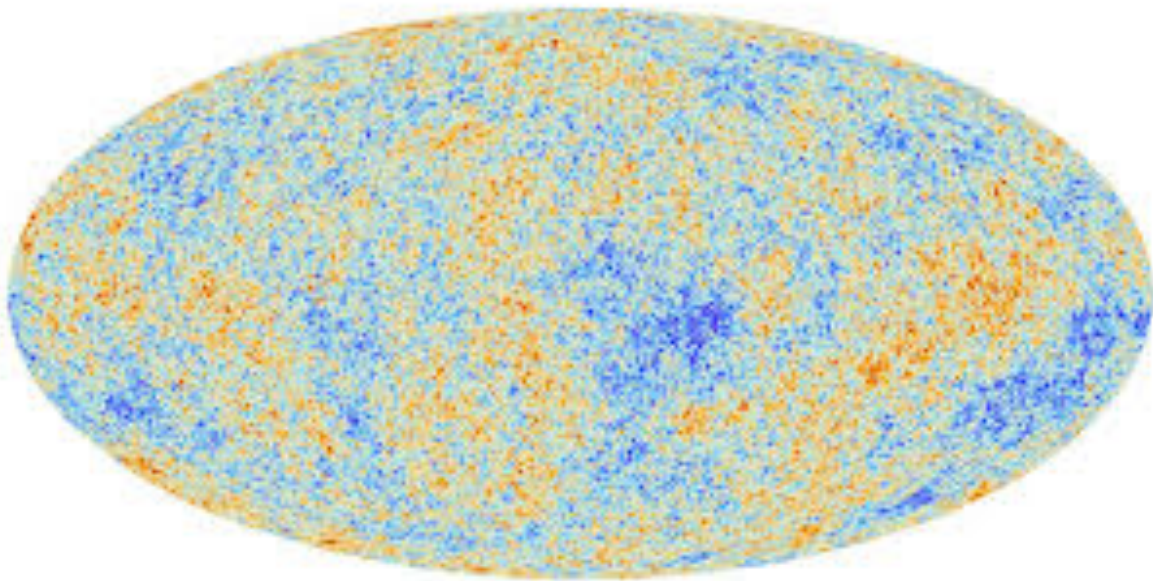
Universo en expansión

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

$\rho$  = densidad materia/radiacion  
 $K$  = curvatura



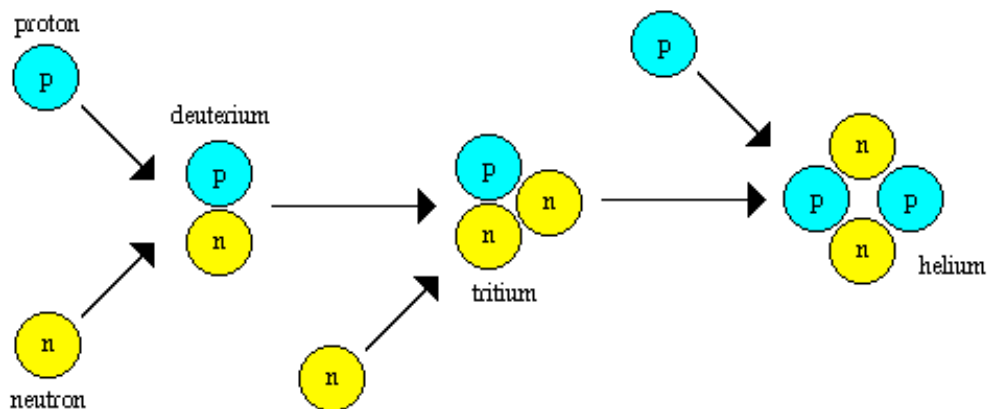
## Fondo Cósmico de Microondas

Inhomogeneidades predichas por **inflación**

Text

### Nucleosynthesis

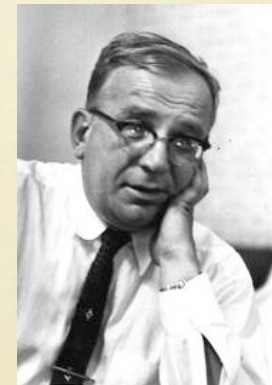
as the Universe cools, protons and neutrons can fuse to form heavier atomic nuclei



39

## Nucleosíntesis primordial

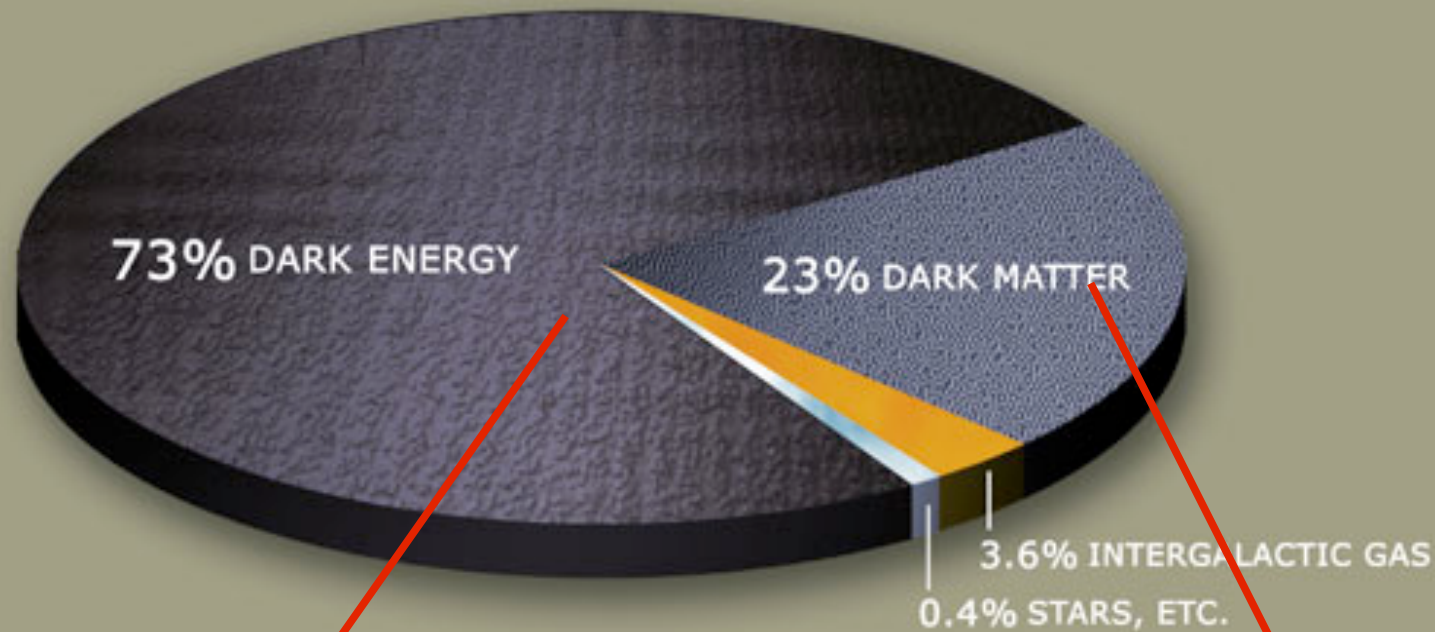
1948



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

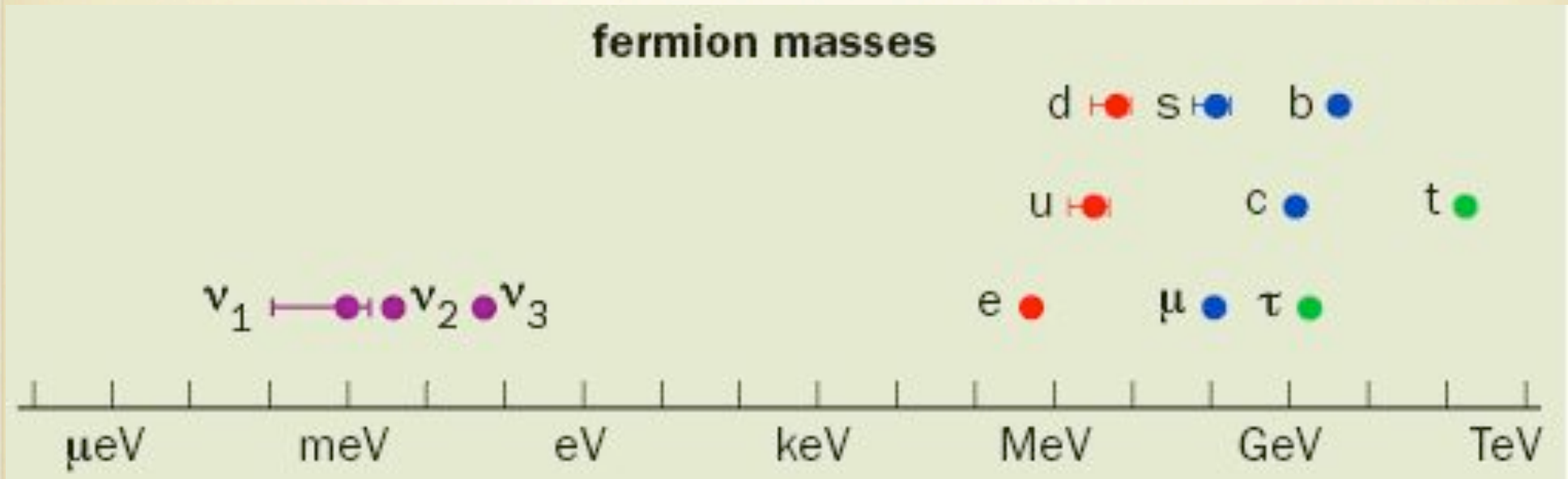
★ **Materia oscura**  
De qué está compuesta?

★ **¿Qué es la energía oscura?**

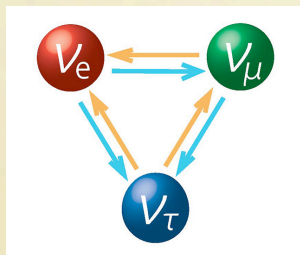


# Los retos del siglo XXI....

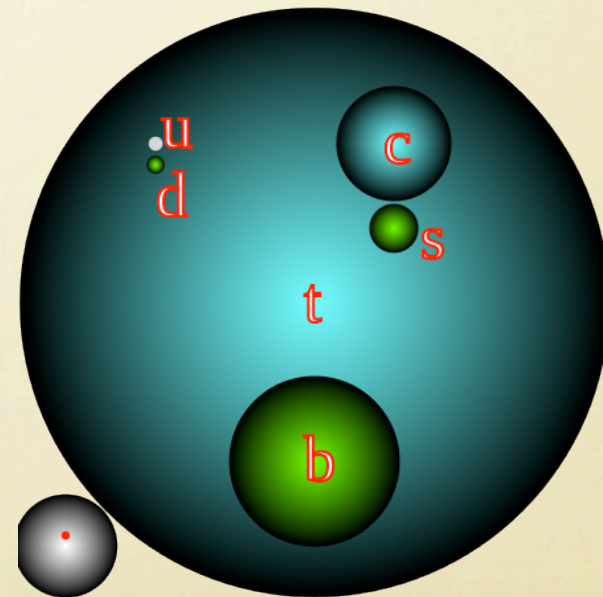
# ★ Por qué las masas de quarks y leptones son las que son?



## Neutrinos



Oscilan entre si..





Tipo de Fuerza	Intensidad	Partícula Mediadora	Importante en :
Nuclear Fuerte	$\sim 1$	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

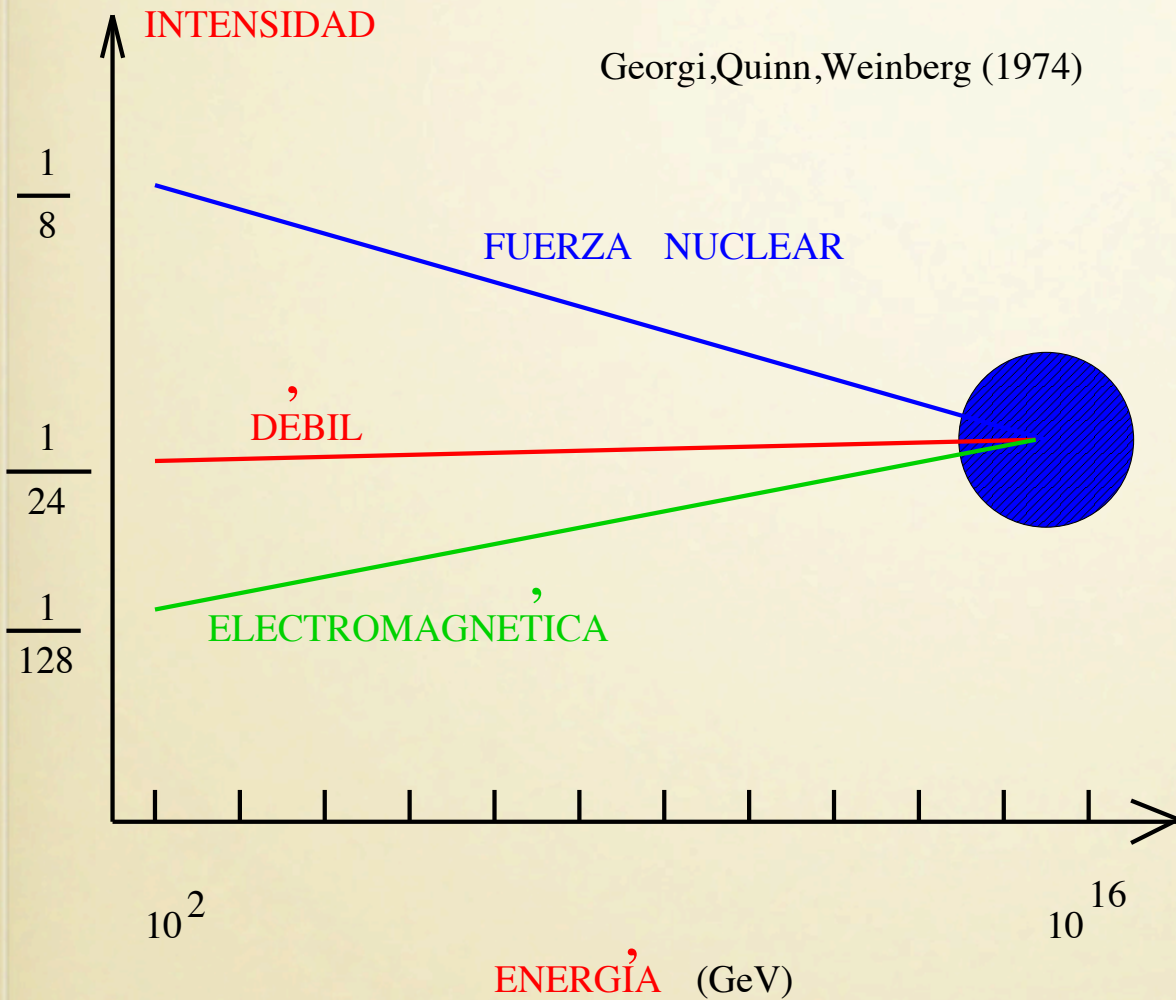


Por qué hay 4 interacciones fundamentales?

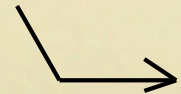


Por qué tienen intensidades tan diferentes?

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



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



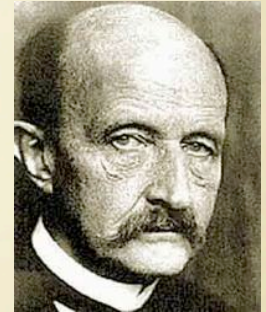
ZONA ACCESIBLE A ACELERADORES

★ Que unificación?

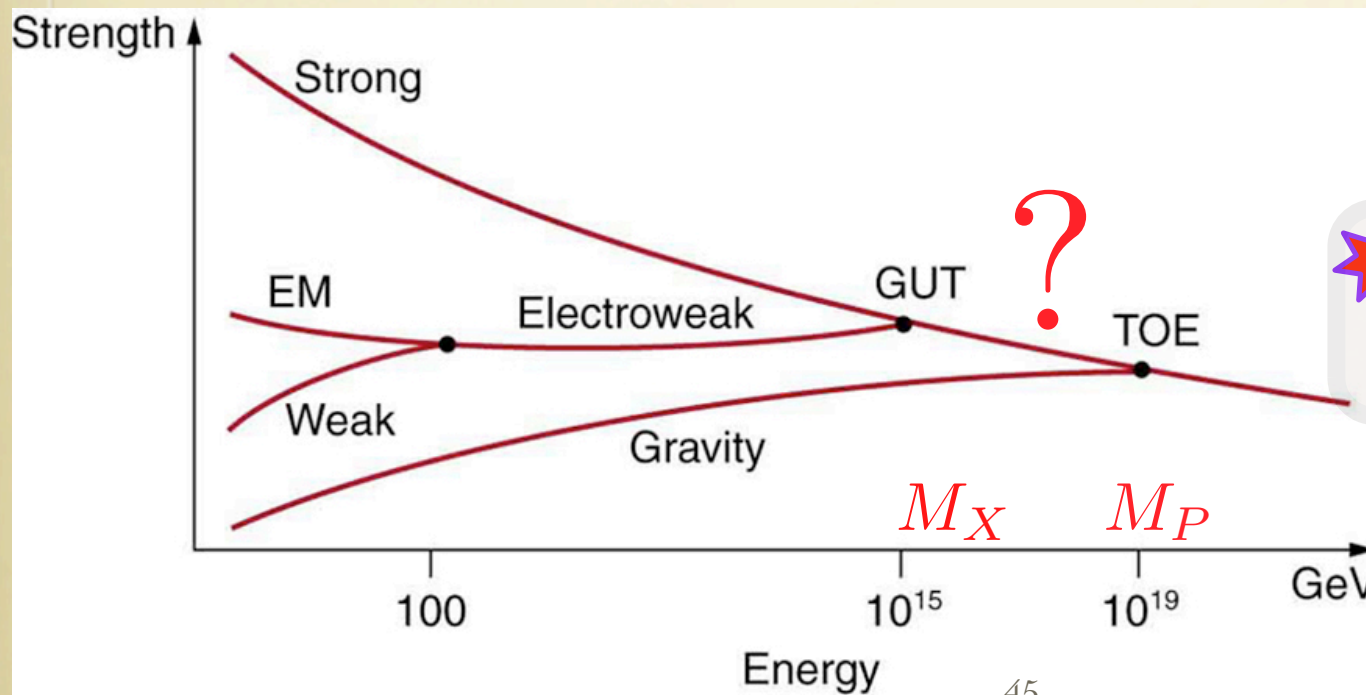


Esta gran escala de unificación  $M_X = 10^{16} GeV$  está cercana a la escala de energías donde los efectos cuánticos gravitacionales se hacen tan fuertes como los de las otras 3 :

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

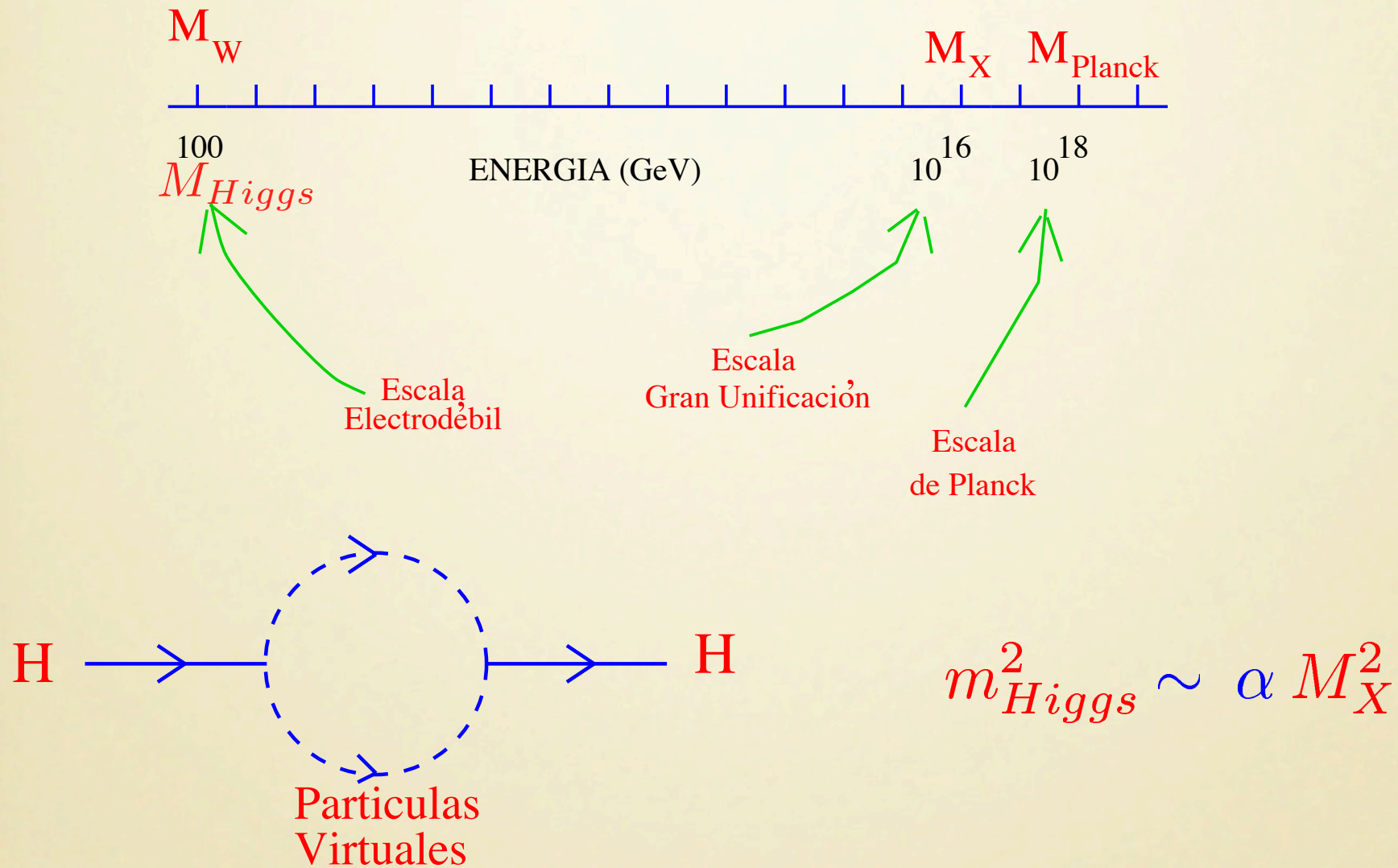


‘Escala de Planck’



★ Unificación de las 4 interacciones?

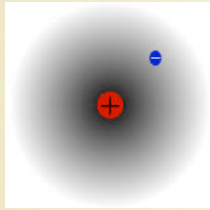
# El problema de la estabilidad del Higgs



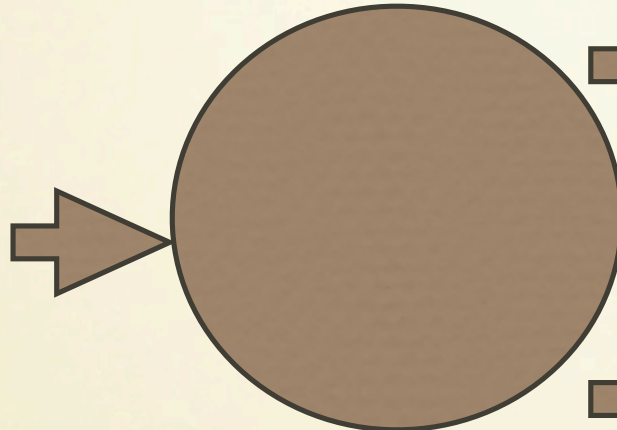


# En Física normalmente no hay 'ajustes finos'

Ejemplo: Radio del átomo de Hidrógeno



$e$  ,  $m_e$  ,  $\hbar$



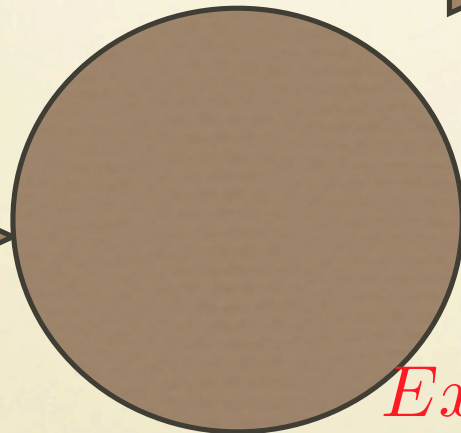
$$\text{Radio} \simeq \frac{\hbar^2}{m_e e^2}$$

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.

$M_X$  ,  $M_P$  ,  $M_H$  , ...



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

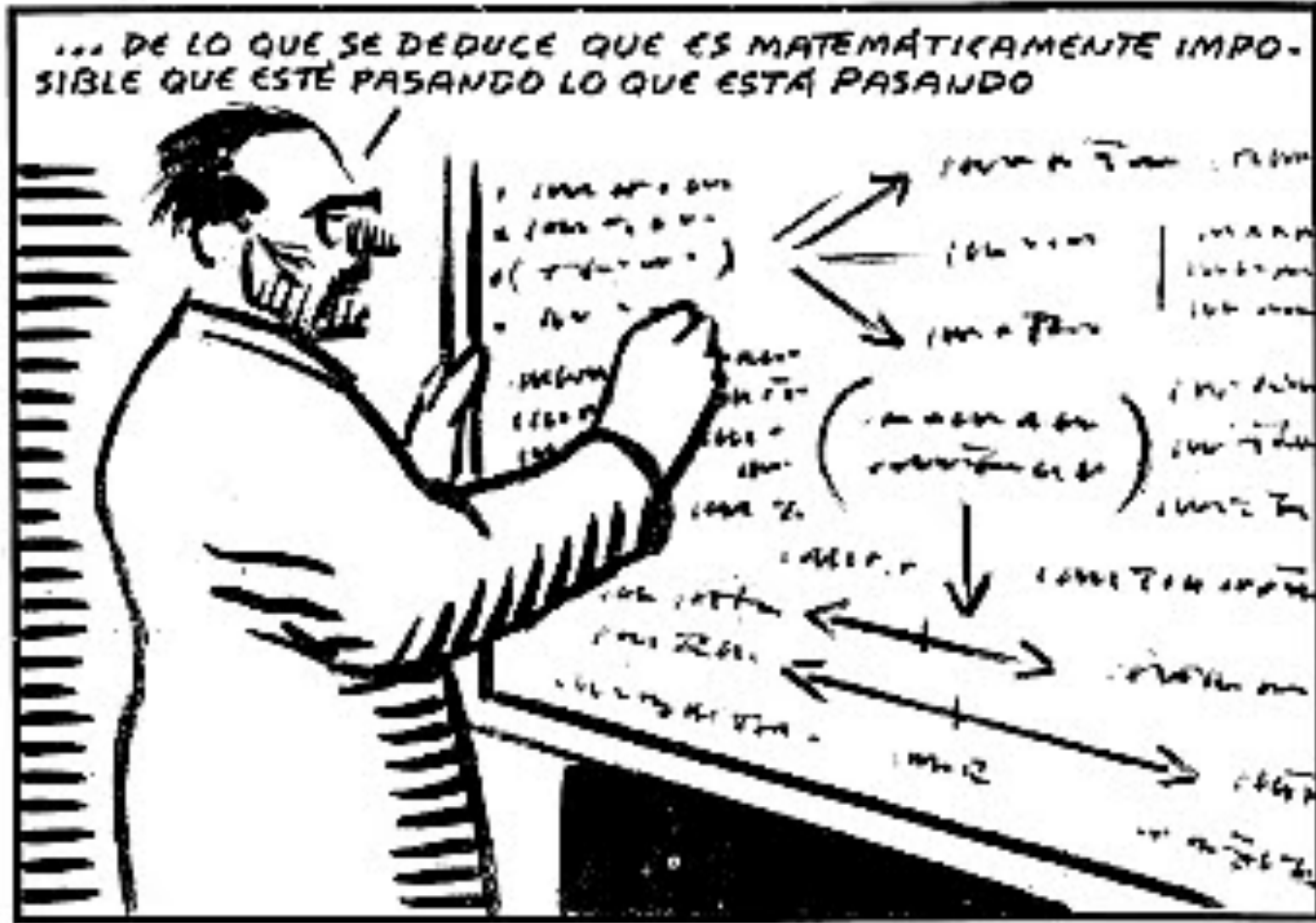
Experimentalmente : 126 GeV

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

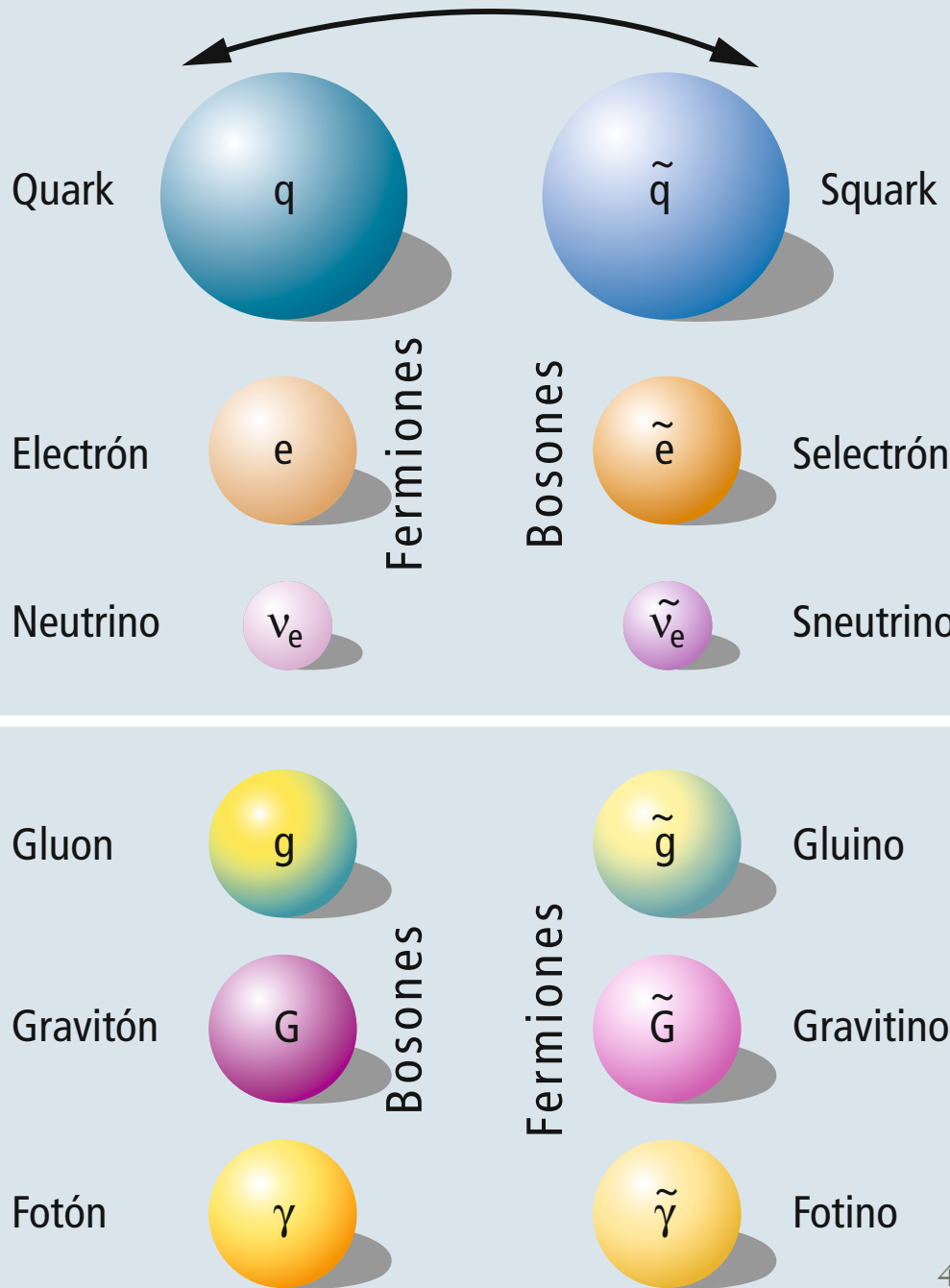
★ Hay algo que no entendemos: problema de 'Naturalidad'

# EL ROTO

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



# Supersimetría



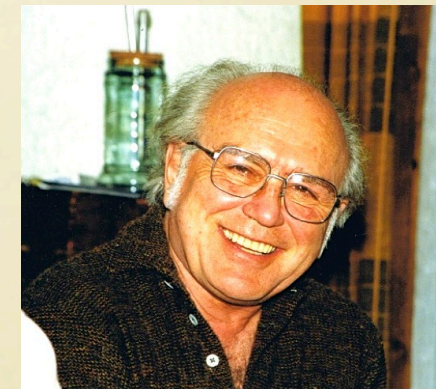
## Una elegante solución: SUPERSIMETRÍA

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

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



Wess

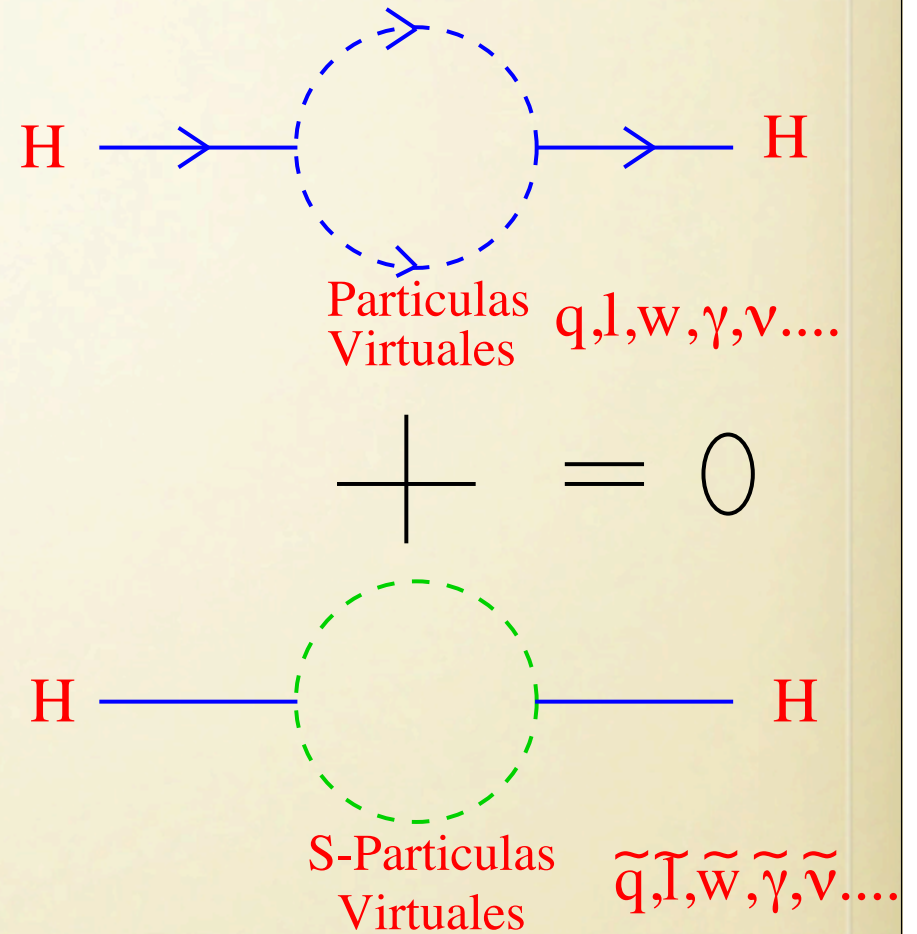


Zumino

1974



<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> $\nu$	$\longleftrightarrow$	<i>s - neutrino</i> $\tilde{\nu}$	$s = 0$
<i>fotón</i> $\gamma$	$\longleftrightarrow$	<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> $\tilde{H}$	$s = 1/2$

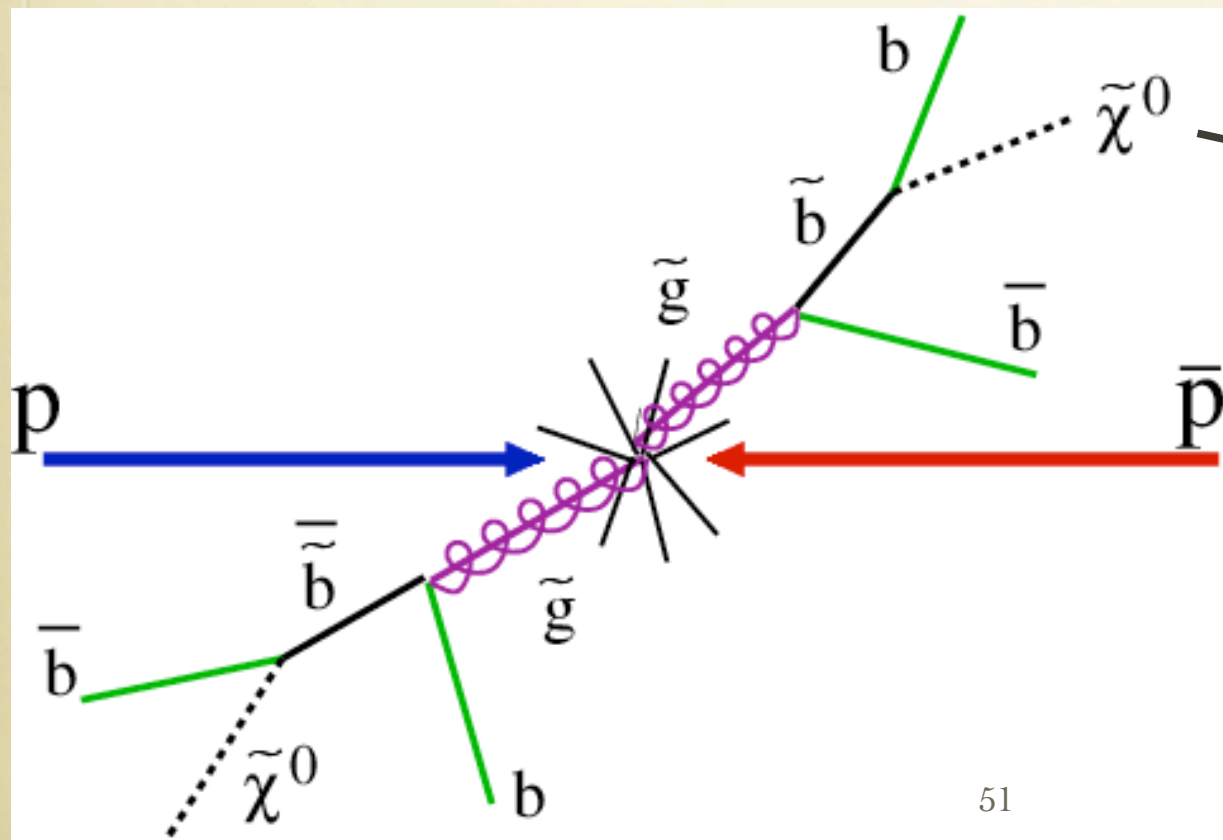


Las nuevas partículas  
'SUSY' estabilizan al Higgs

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**



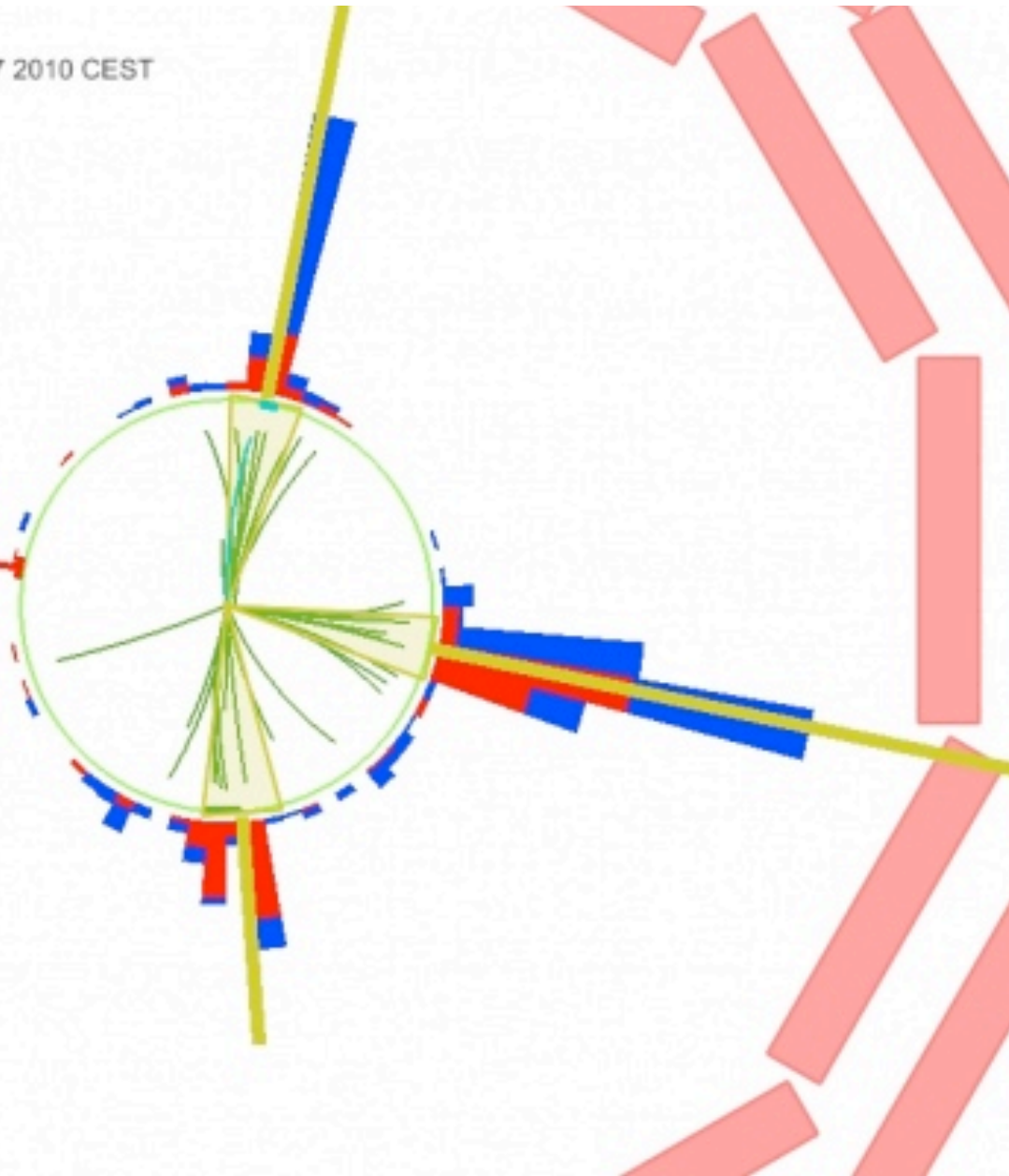
**Neutralinos**

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

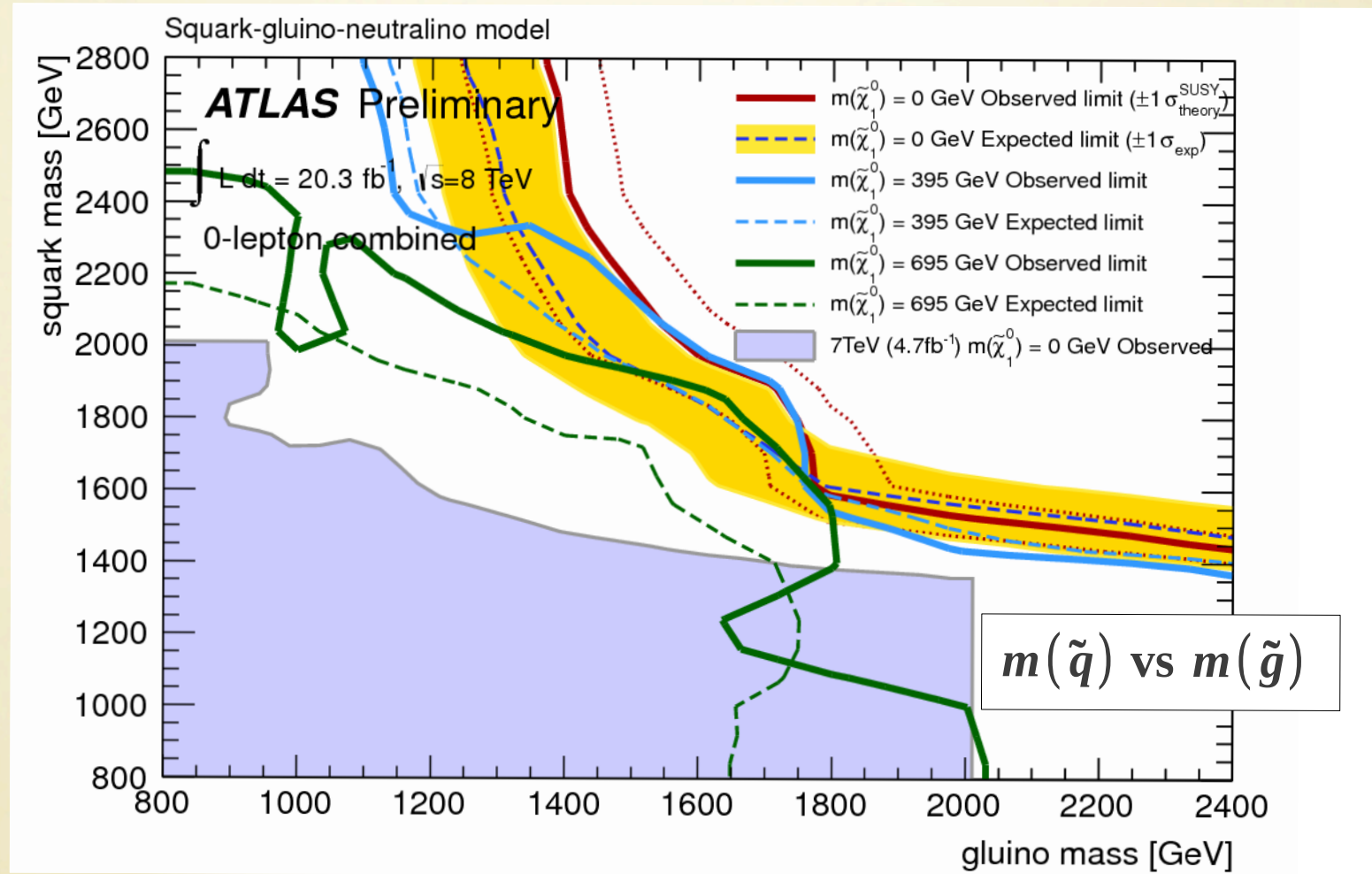


se detectarían indirectamente



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

2013:



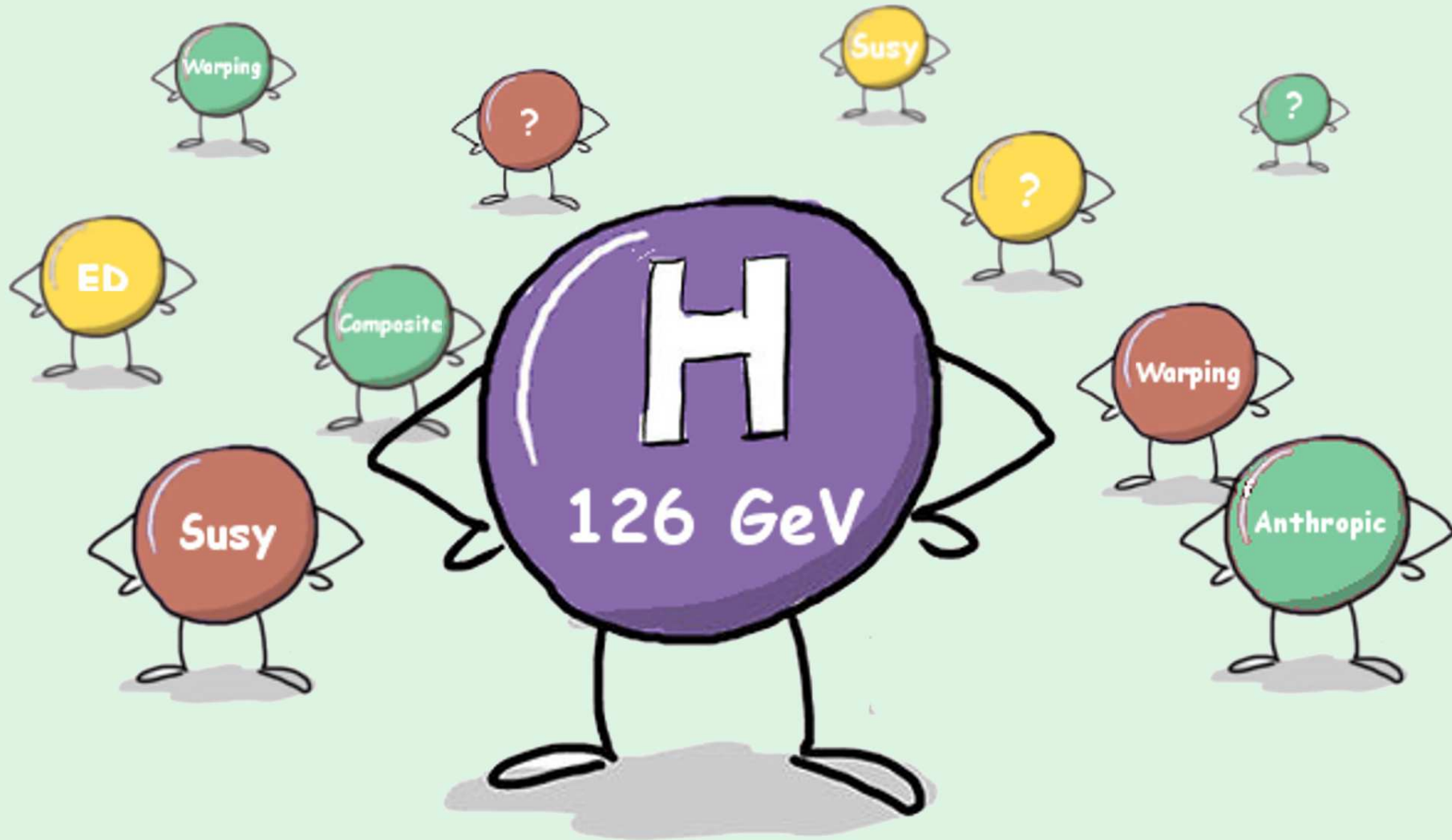
Masas de Squarks y gluinos  $> 1700 \text{ GeV}$  !



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



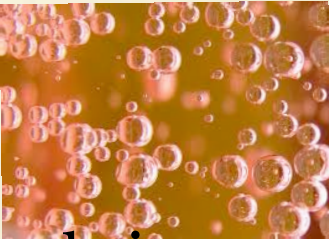
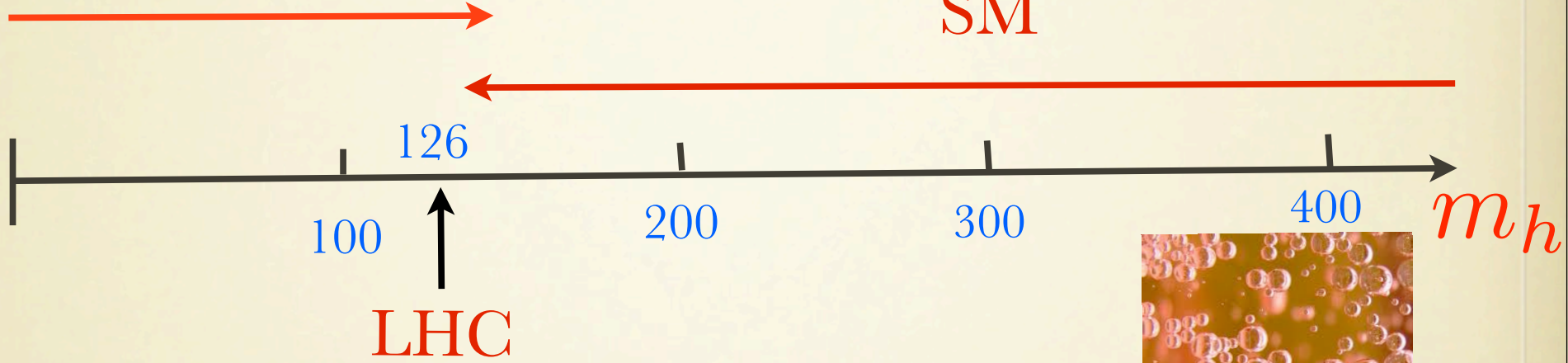
# Por qué el Higgs pesa 126 GeV?



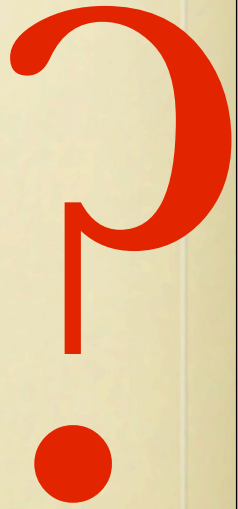
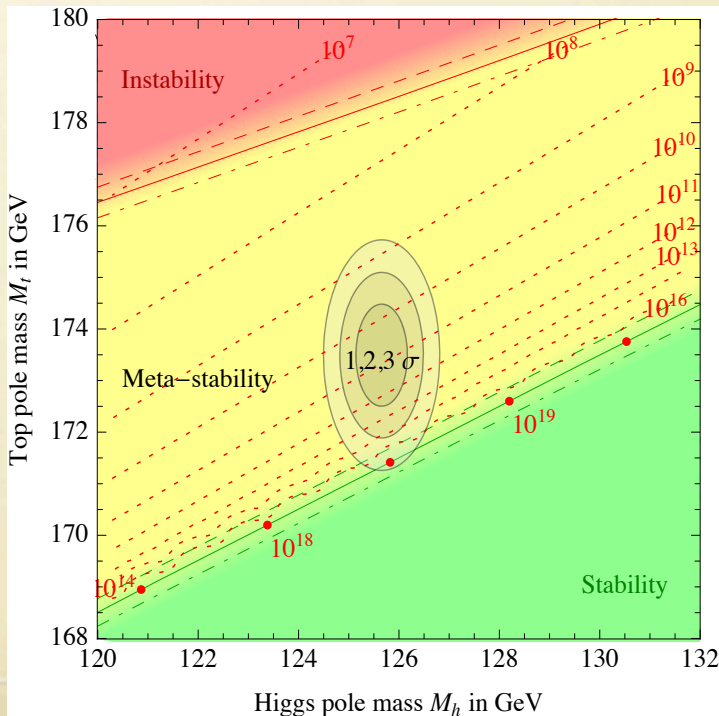
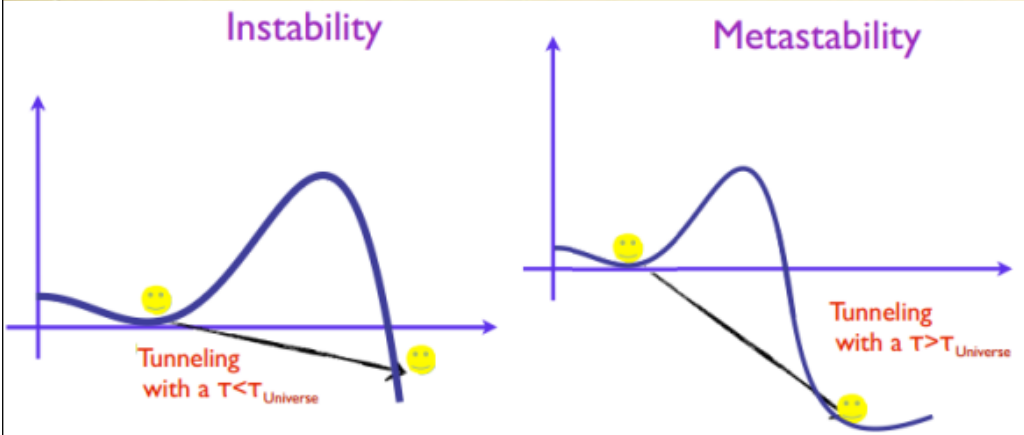
# 126 es un valor especial....

SM Supersimétrico

SM



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





# 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**

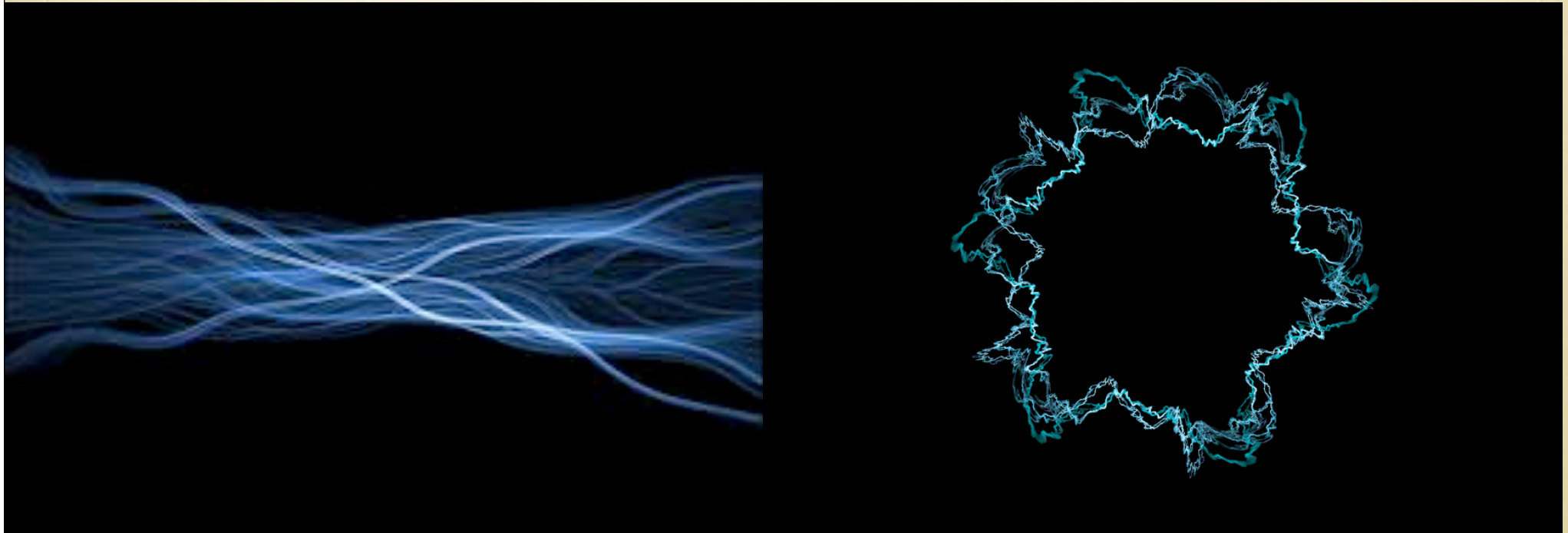


Muchos físicos piensan que hay **que abandonar la idea de que las partículas elementales son puntuales**

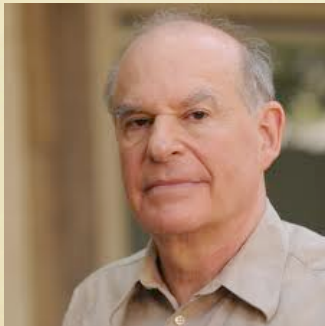
# La Teoría de Cuerdas y la unificación de las Interacciones...



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



Veneziano



Schwarz



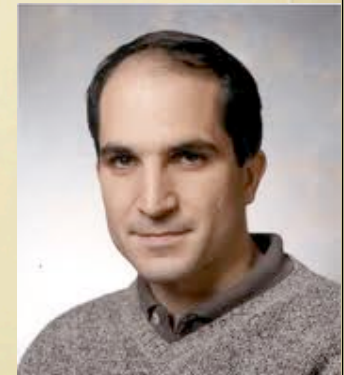
Green



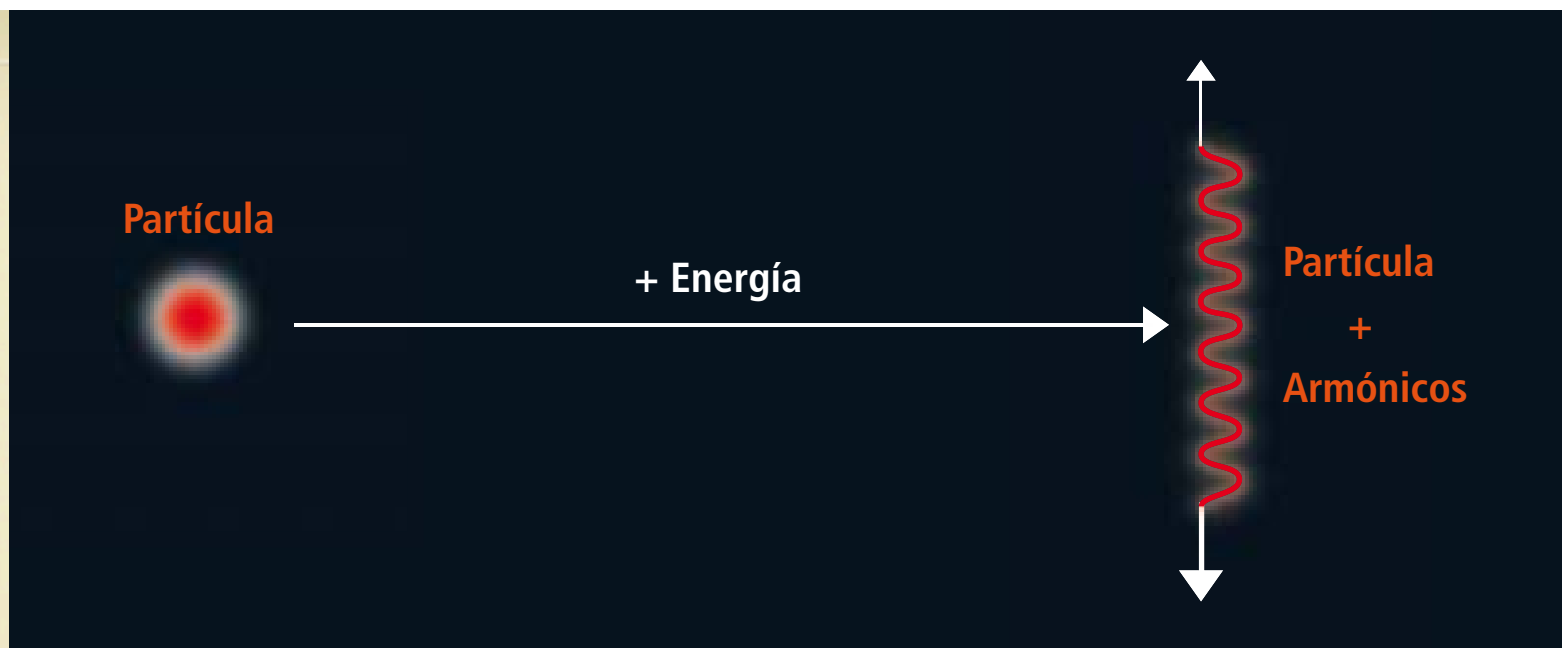
Gross



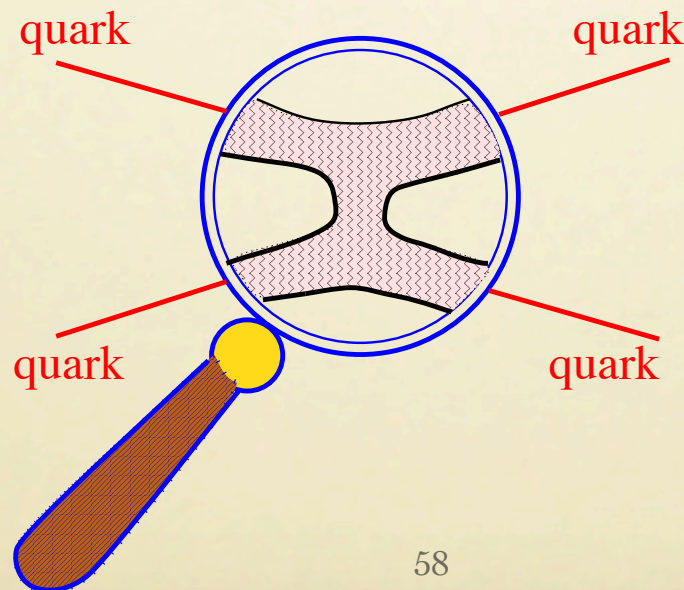
Witten



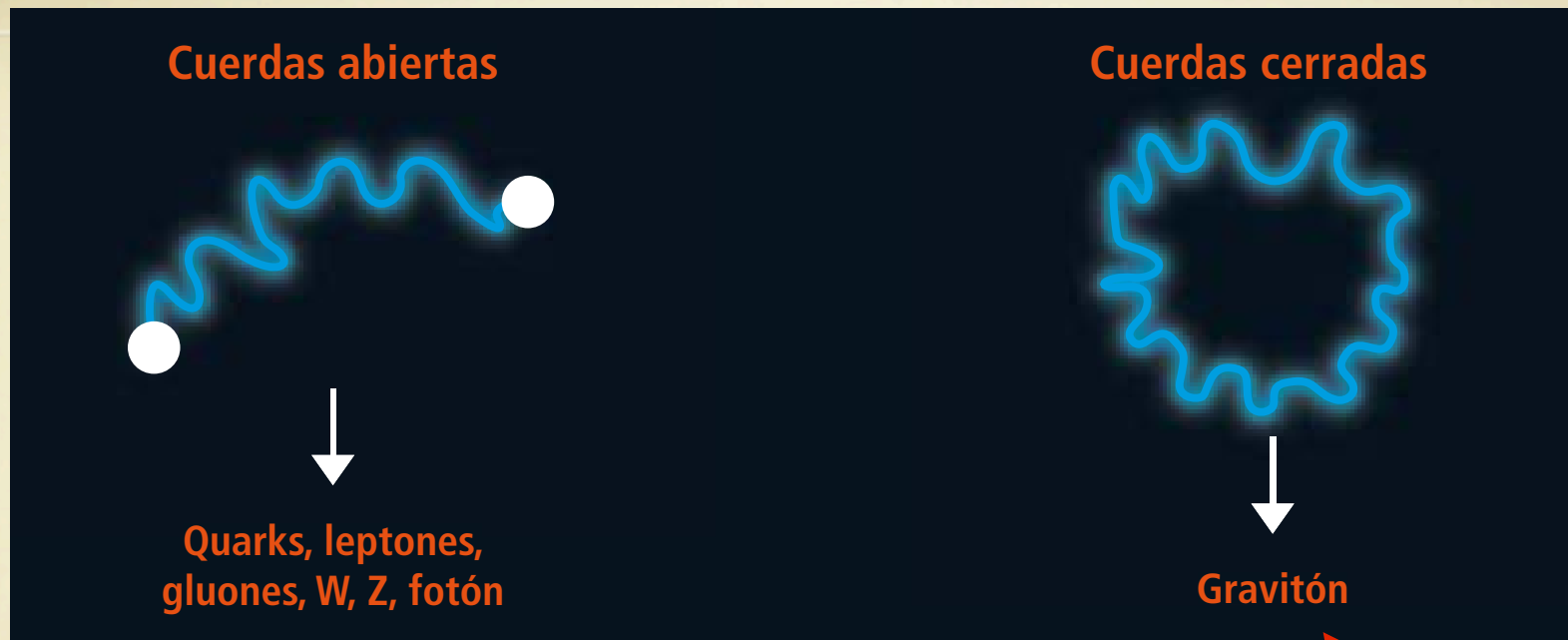
Maldacena



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

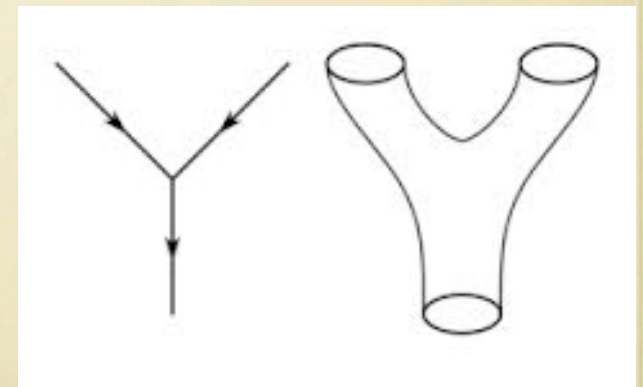






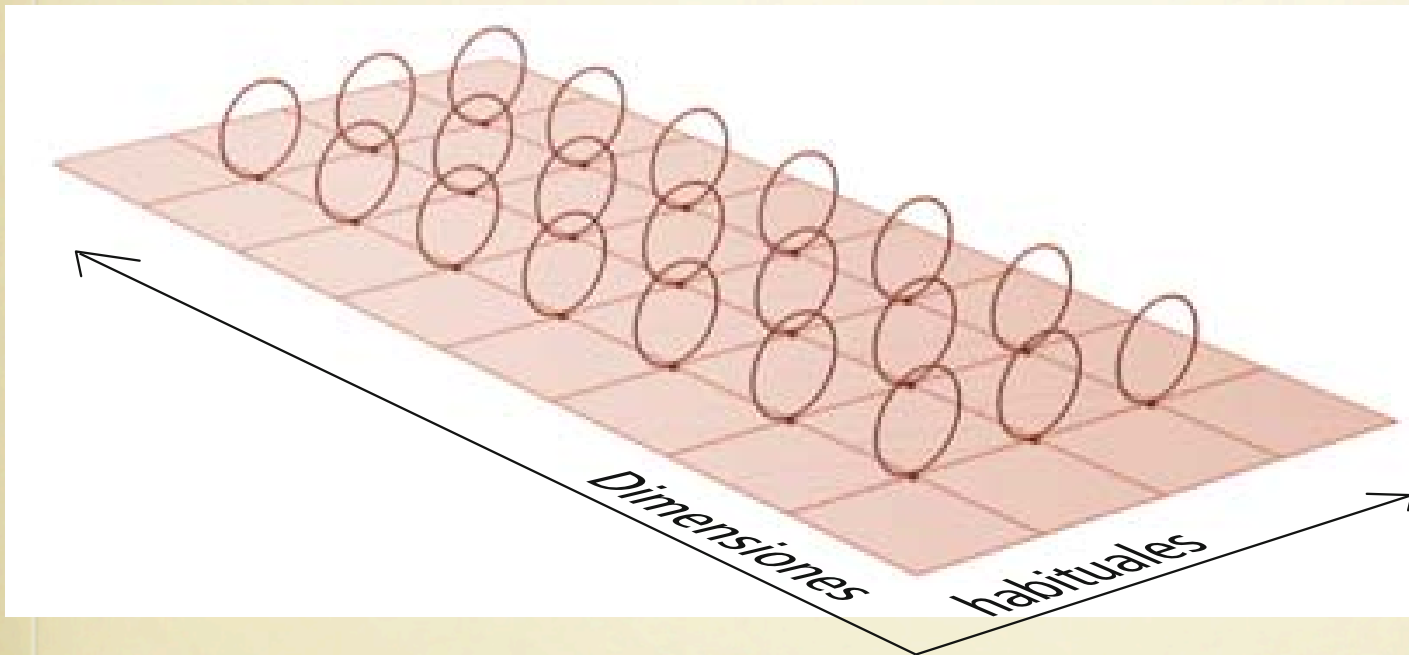
- ★ La Teoría de Cuerdas exige la existencia de la gravitación
- ★ Inconsistencias matemáticas al combinar gravitación+M.C. desaparecen por el caracter no puntual de las interacciones:

★ 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:

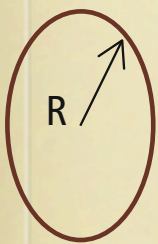


1921-1926



Kaluza

Klein

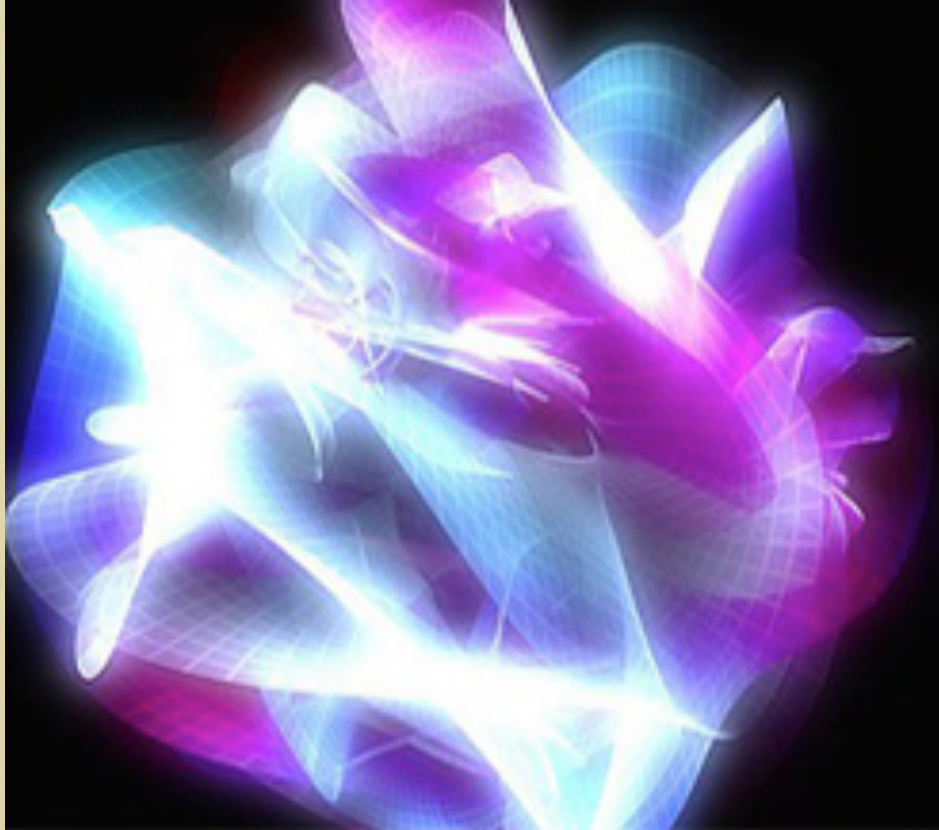


Quinta dimensión

$R \ll$  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

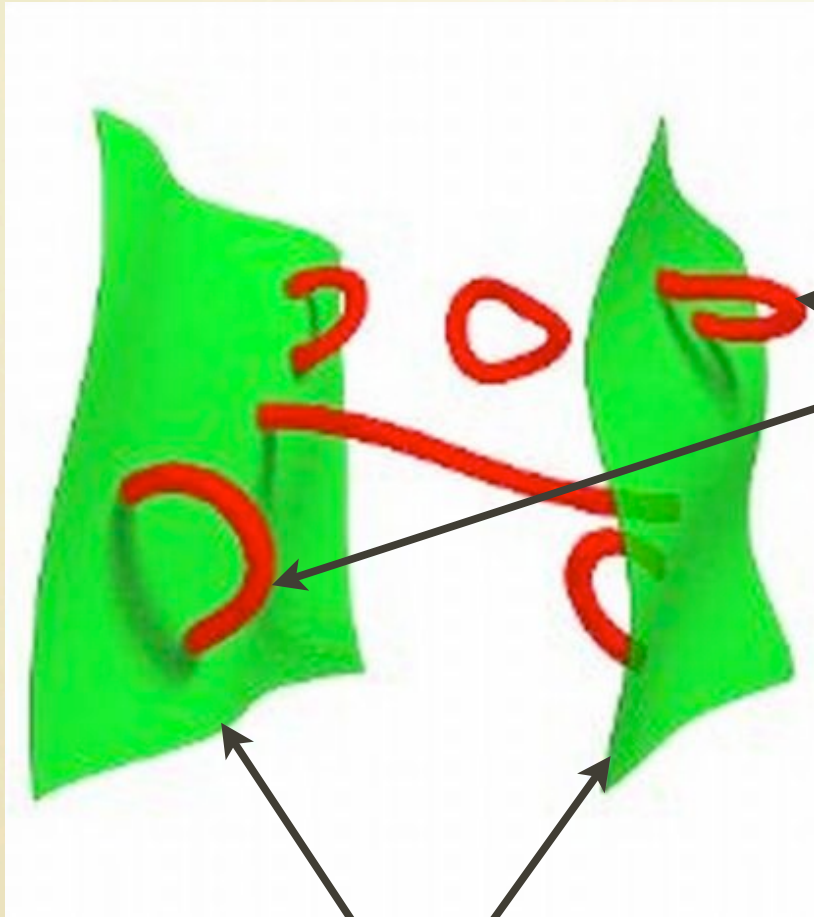




La Teoría contiene además nuevos objetos extensos

# D-branas

Generalización de las  
cuerdas a mas dimensiones:



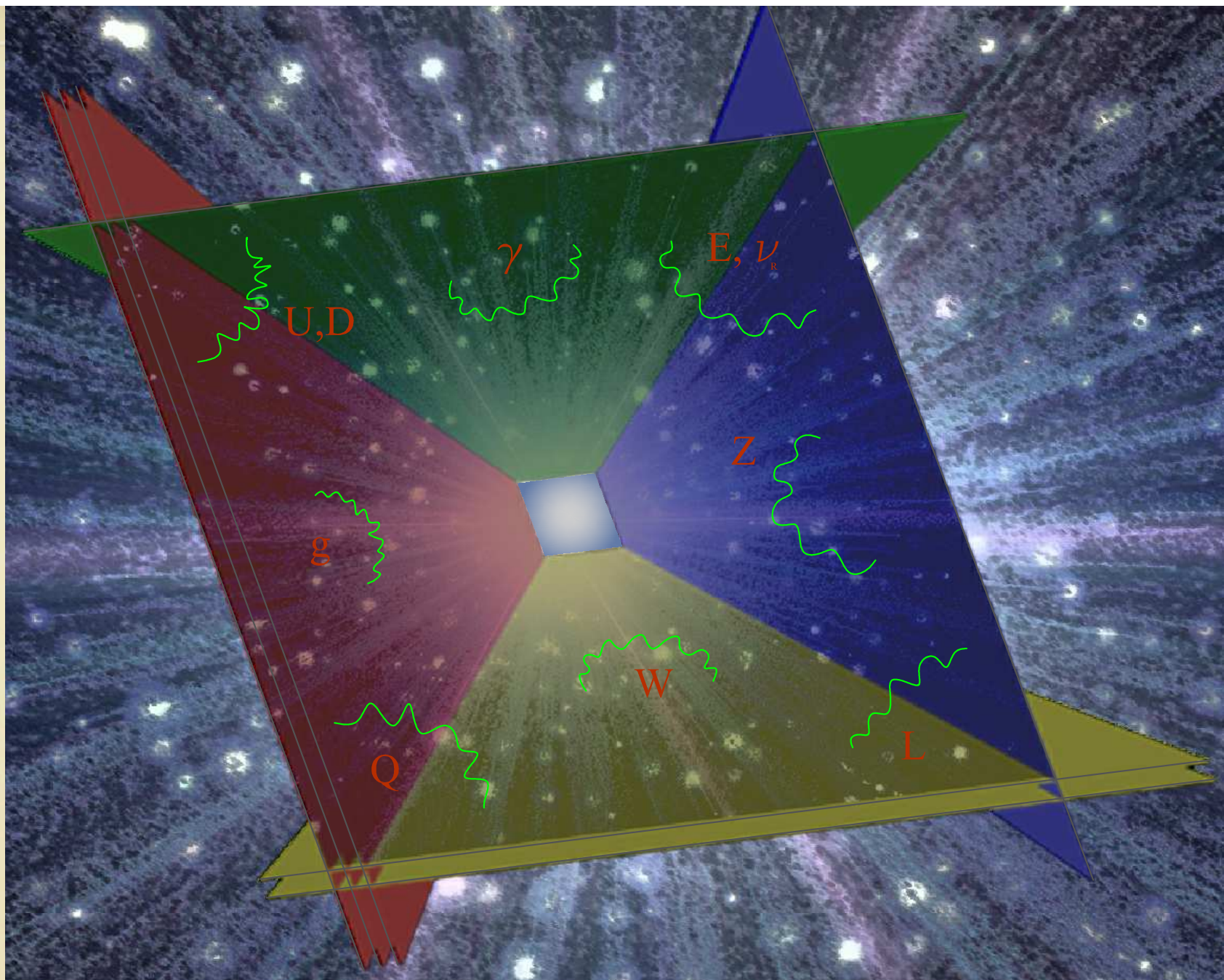
Las cuerdas abiertas  
comienzan y terminan  
en D-branas 1995



Polchinski

D-branas





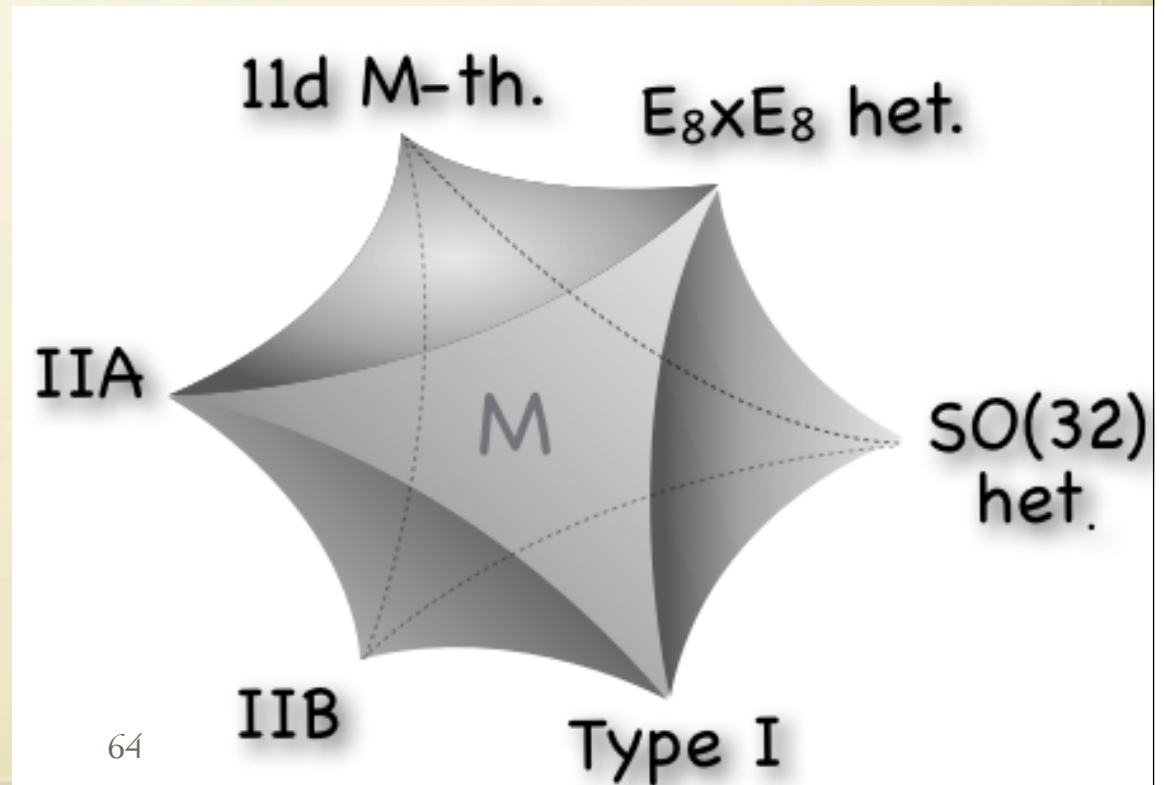
Las partículas del MS vienen de vibraciones de las cuerdas en las intersecciones

# 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

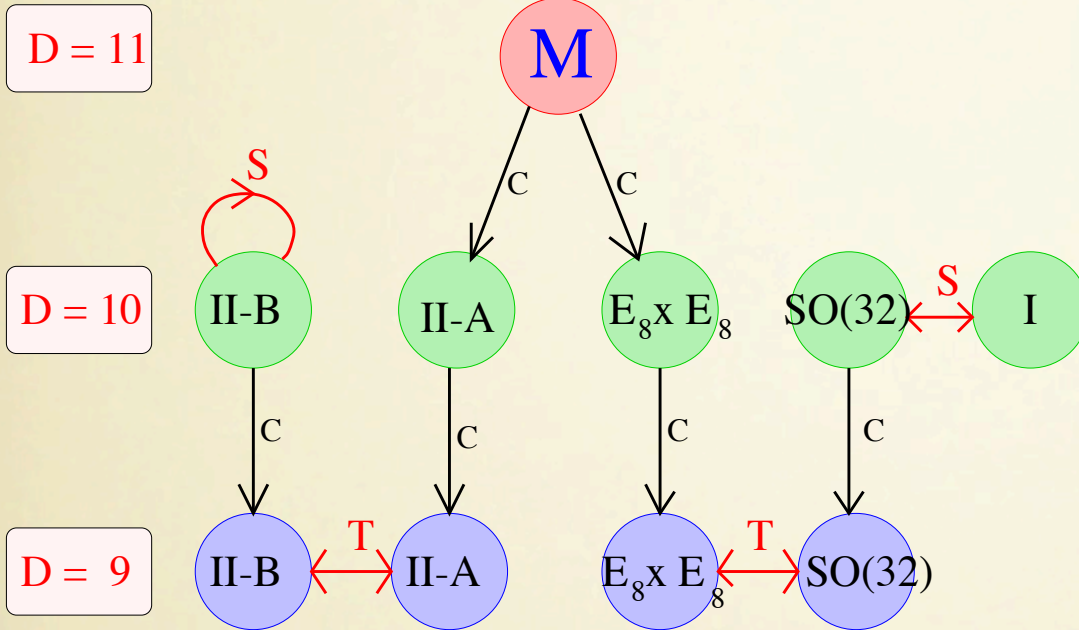
1995 : Están unificadas  
en una estructura  
matemática única:

# Teoría M





# Unas sorprendentes simetrías conectan las teorías:



## Dualidad-S

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

## Dualidad-T

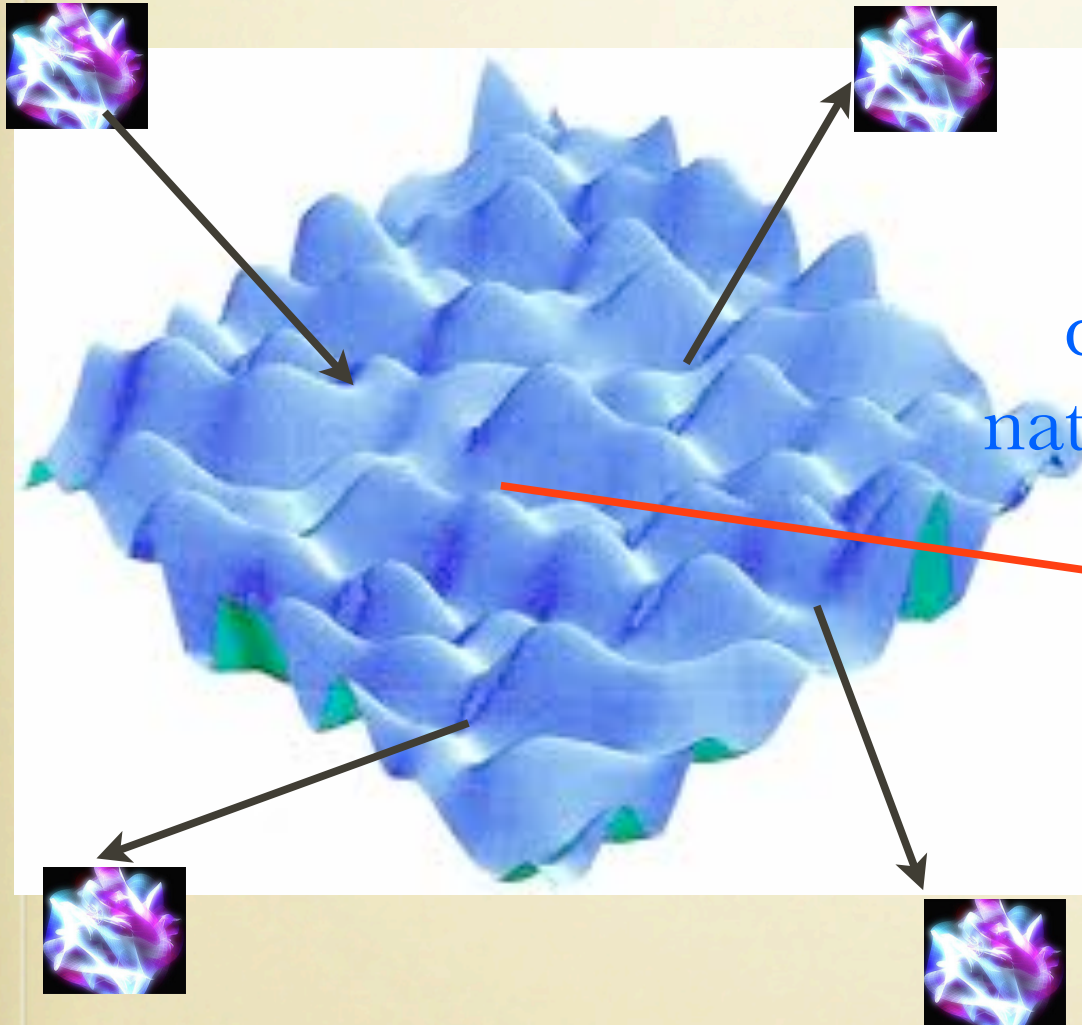
Cuerda con una dimensión extra de radio  $R$

=

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

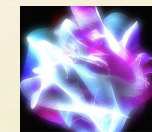
Grande = Pequeño

**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

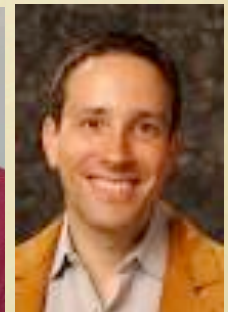
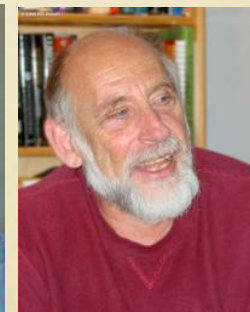


Nosotros

¿Por qué esta solución?

‘Paisaje de la T. de Cuerdas’<sup>66</sup>

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)

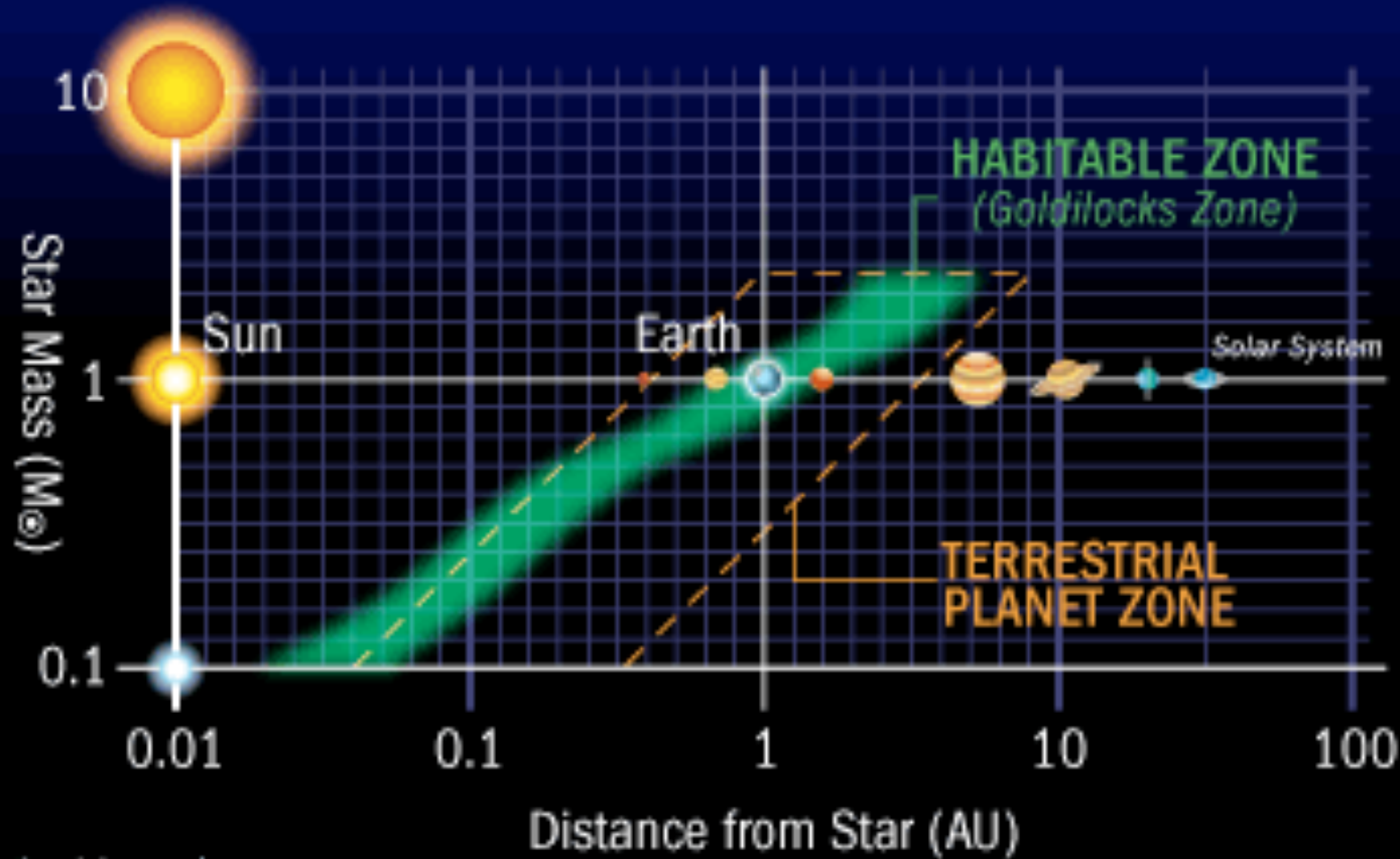
En este caso Supersimetría no sería relevante para la estabilidad del Higgs...

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 aquí...

# ¿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:**

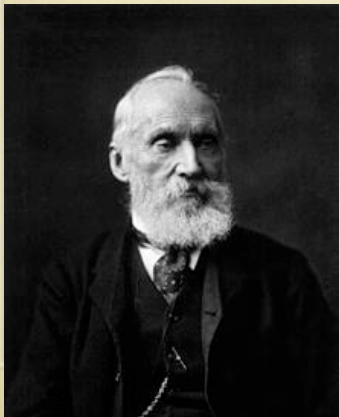
¿Supersimetría?, ¿materia oscura?  
¿mas Higgses?, ¿nuevas partículas?

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

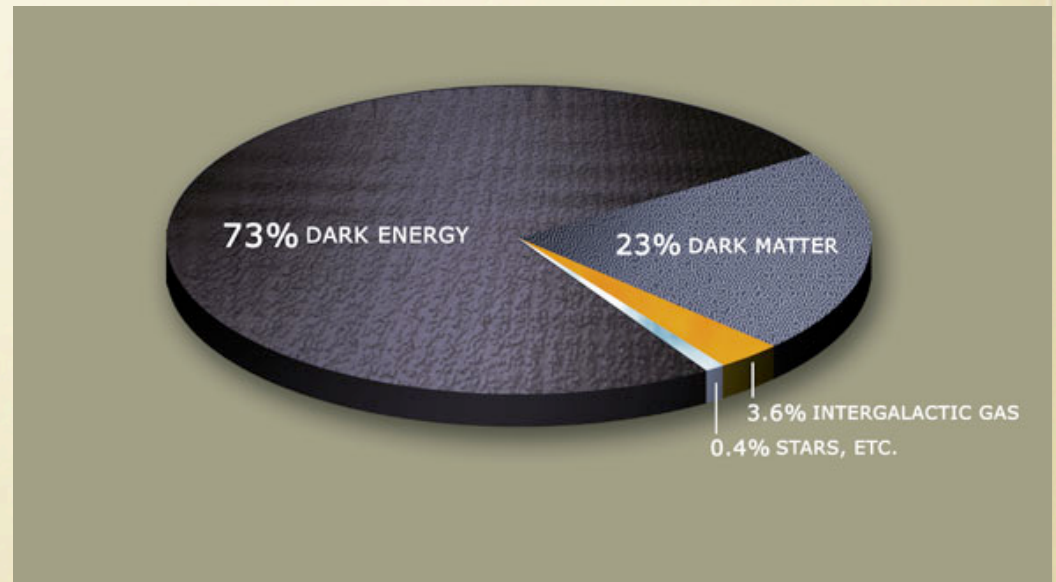
¿Detección directa de  
materia oscura?

¿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.



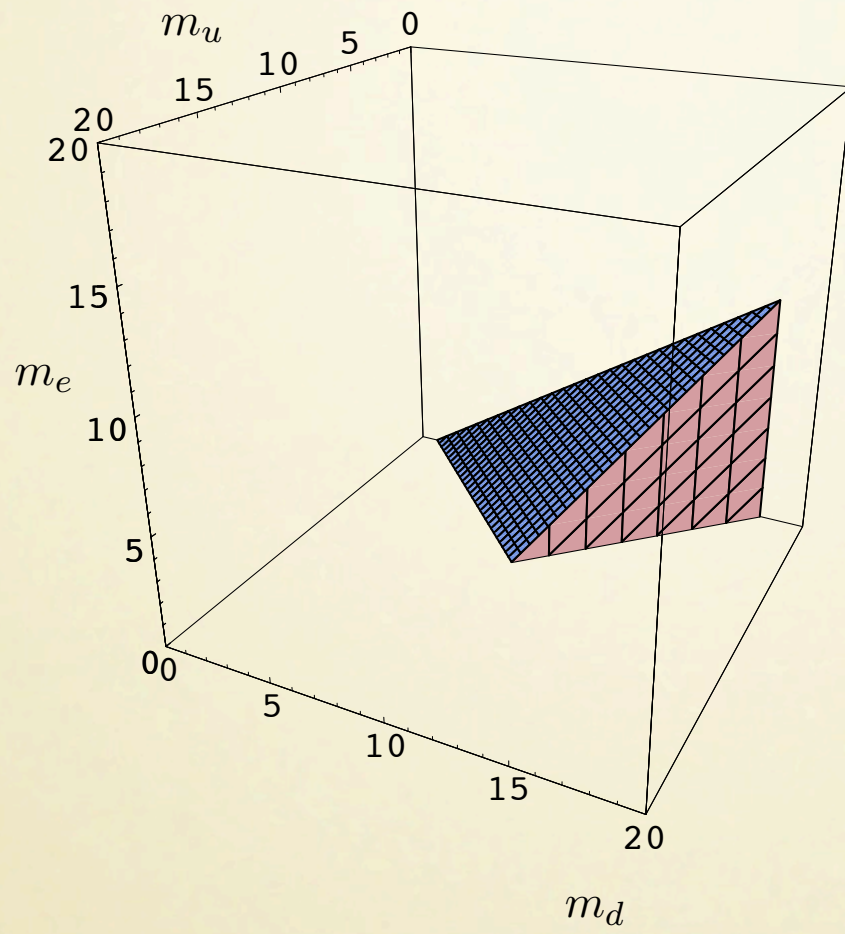
¡Gracias!







Transparencias de reserva.....





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