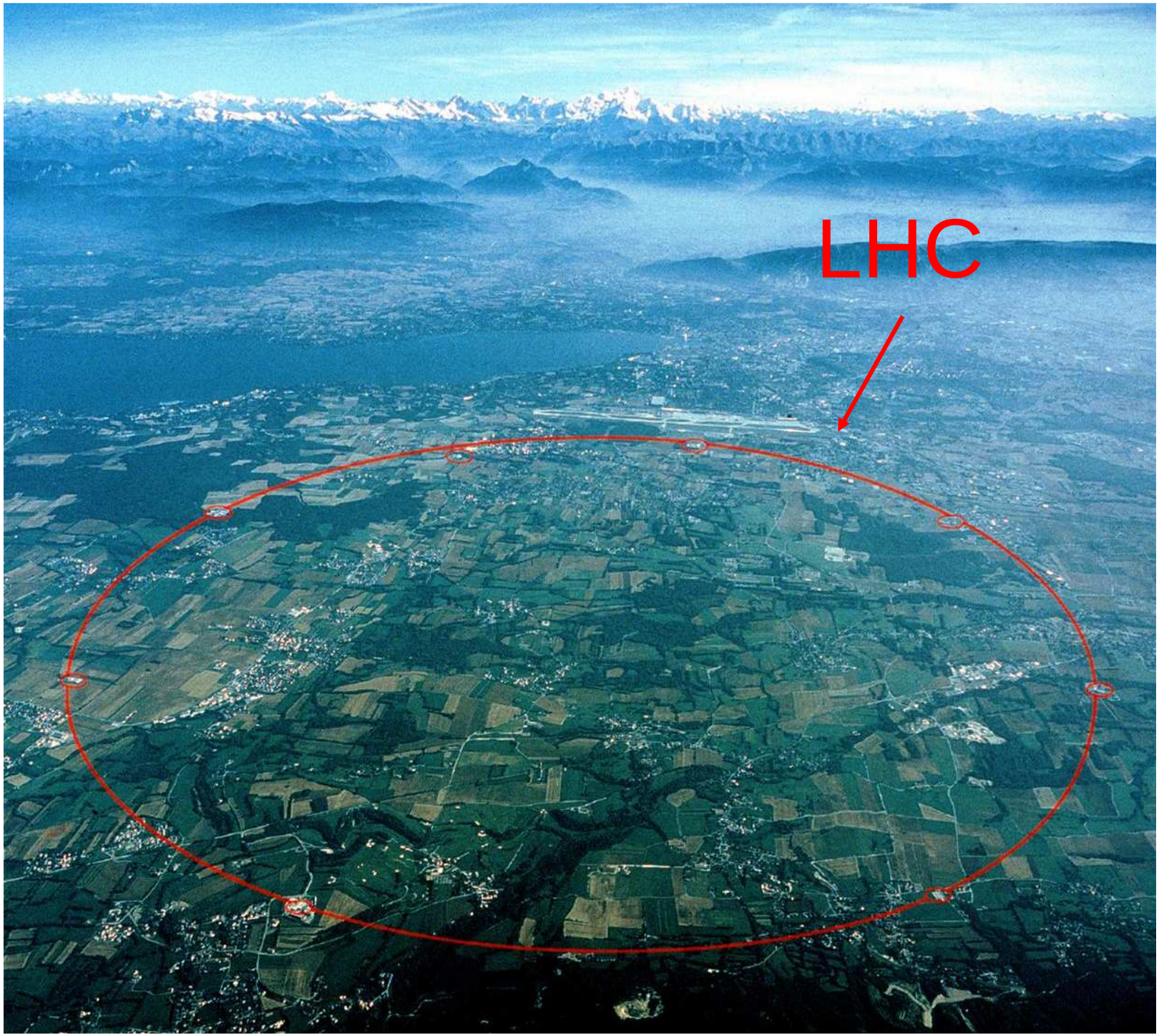
A las puertas del proyecto LHC

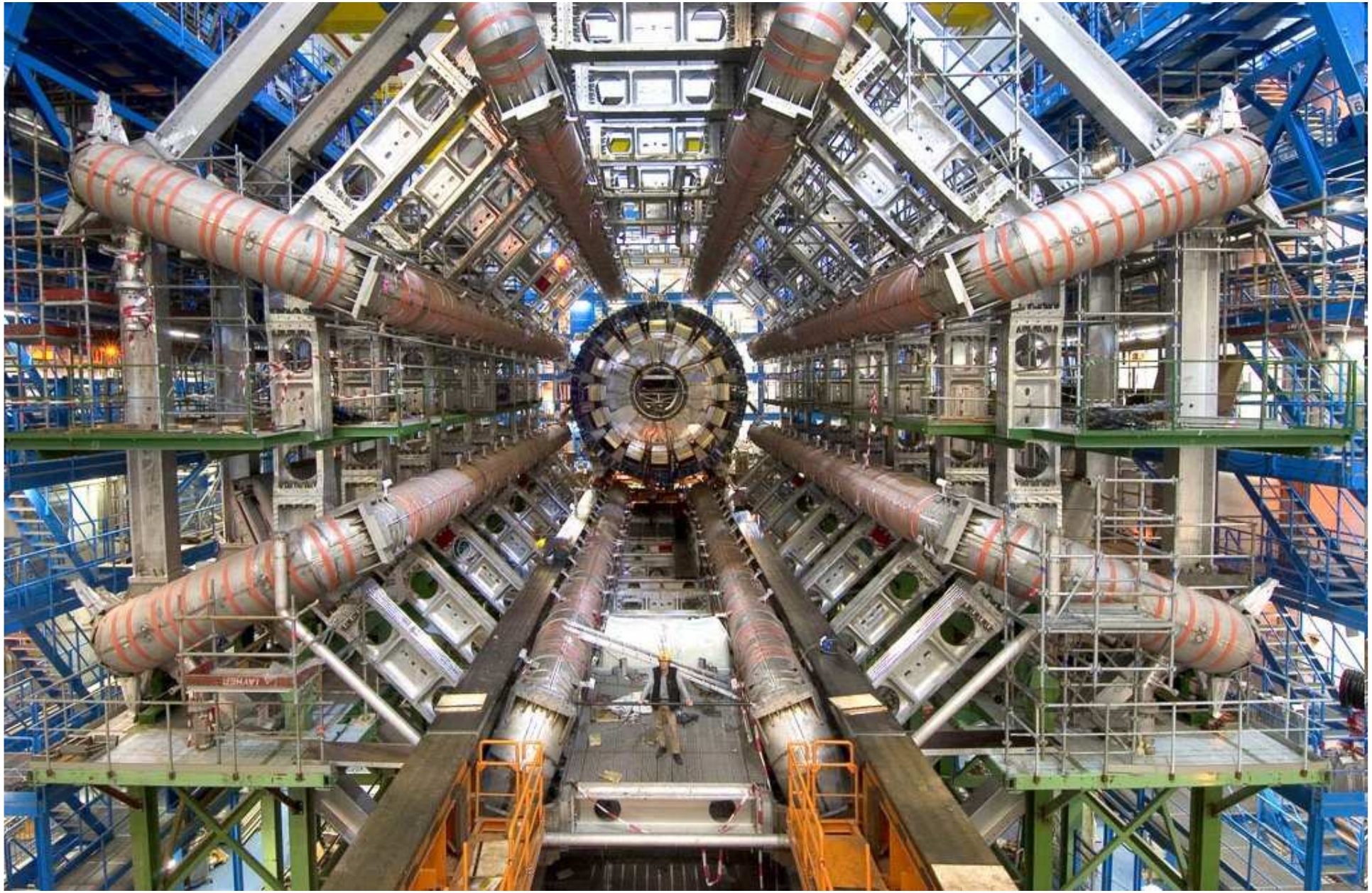
UCM

2009

Alberto Casas

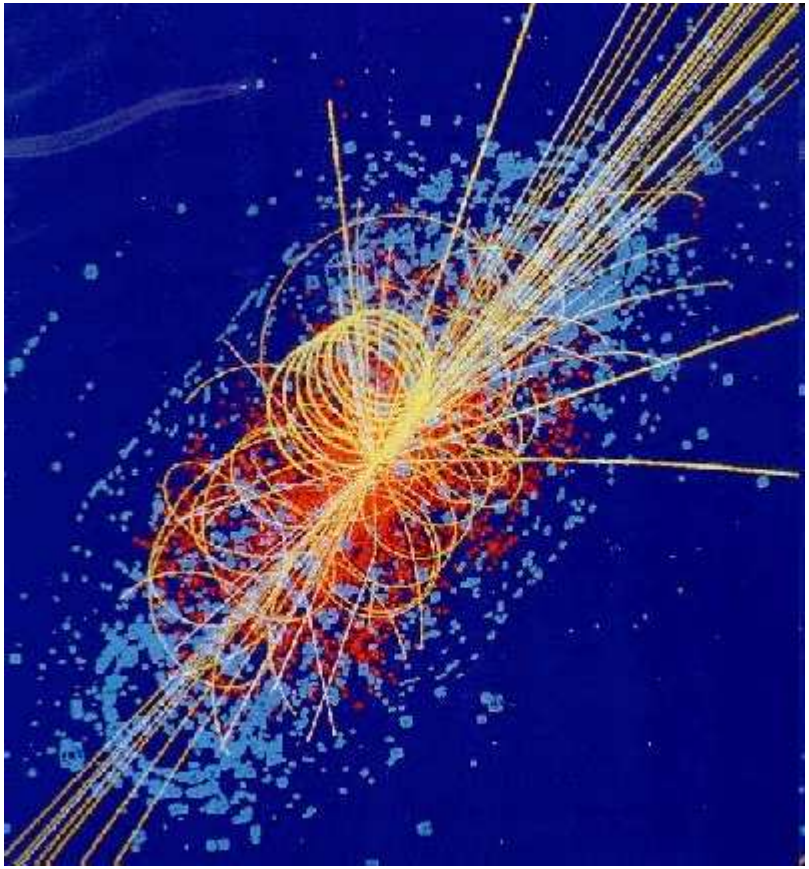
(IFT-CSIC/UAM, Madrid)


LHC



¿ Qué se persigue exactamente
con el LHC ?

EL LHC es una máquina para acelerar y hacer chocar protones a enormes energías.



En cada colisión se producirán cientos de partículas.

Del estudio de estas partículas se obtendrá información nueva y crucial para nuestra comprensión de la naturaleza.

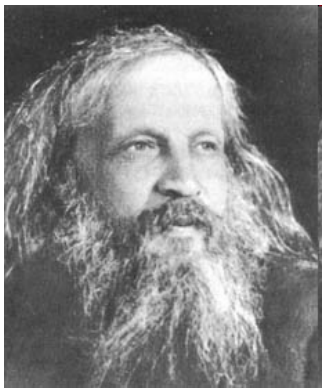
EL objetivo del LHC es traspasar la frontera actual del conocimiento básico sobre la naturaleza

¿ Por qué... ?

¿Por qué hay tantas sustancias y objetos diversos?

. . .

. . .



Mendeleiev (1867)

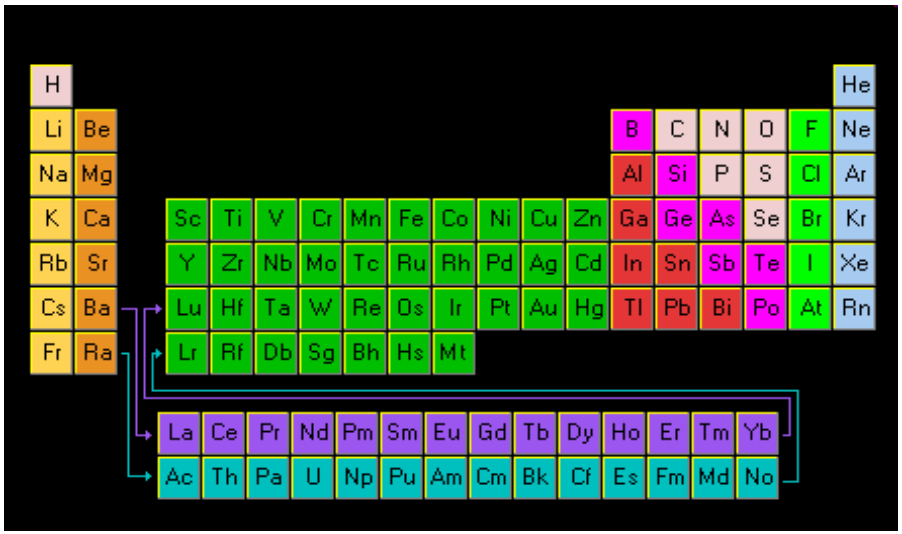
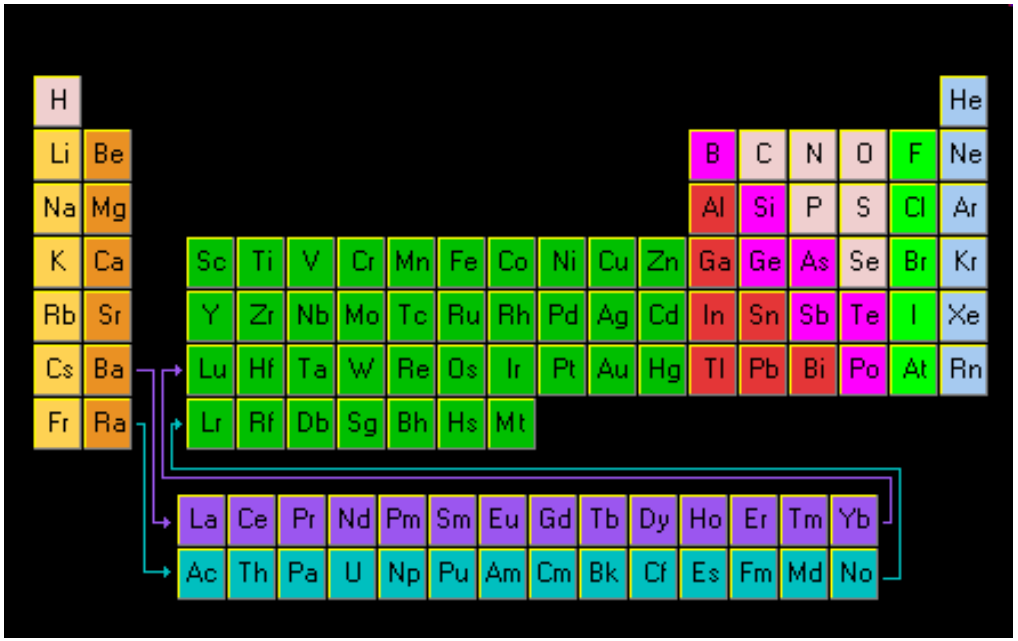
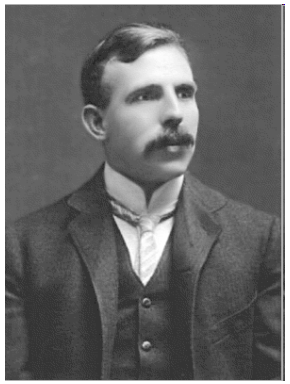


Tabla Periódica

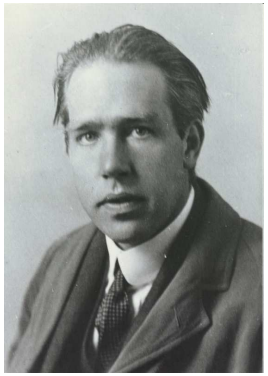


?

Tabla Periódica

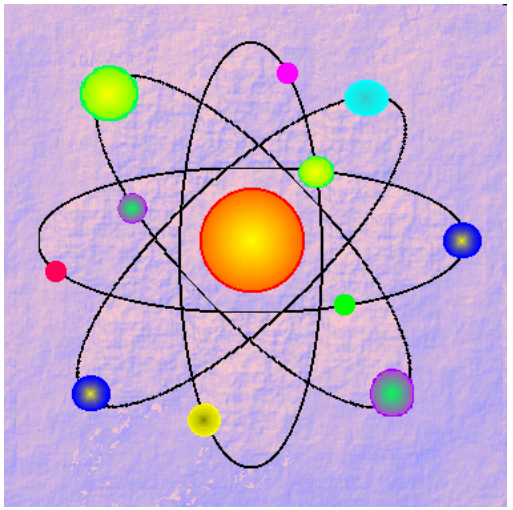


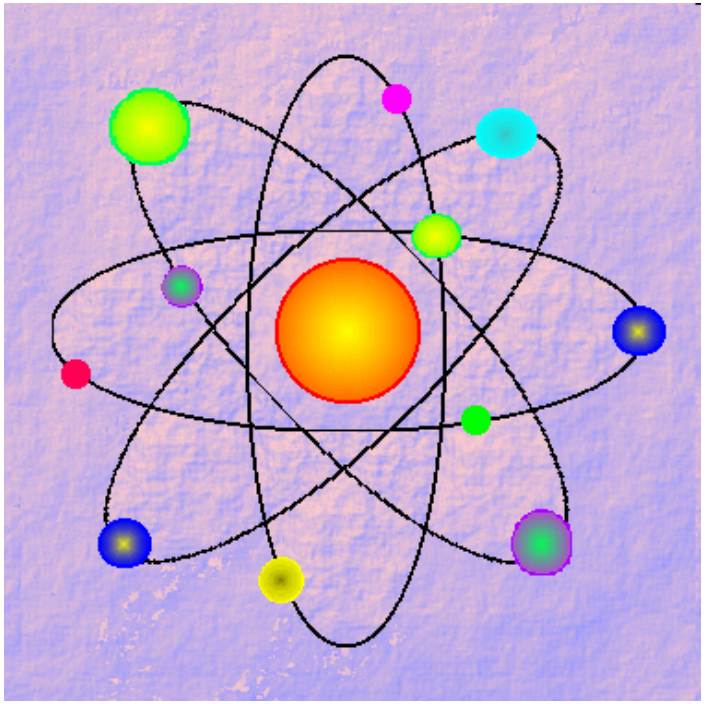
Rutherford
(1909)

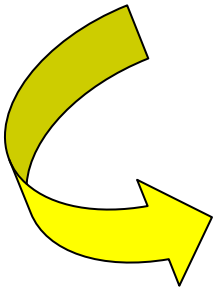


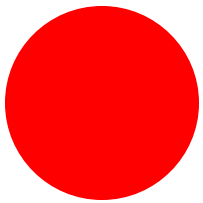
Bohr
(1913)

Átomo

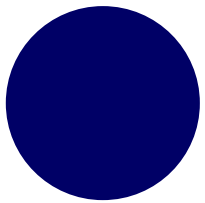








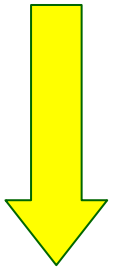
protón

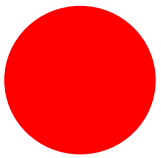


neutrón

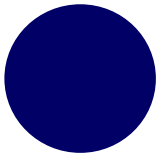
electrón

. . .



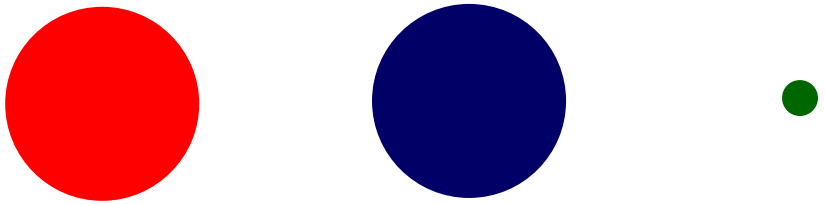


protón



neutrón

electrón



protón *neutrón* *electrón*

¿Por qué existen estas tres partículas y a qué se deben sus propiedades?

Esta pregunta sólo ha podido ser respondida parcialmente

Aquí es donde chocamos con la frontera básica del conocimiento

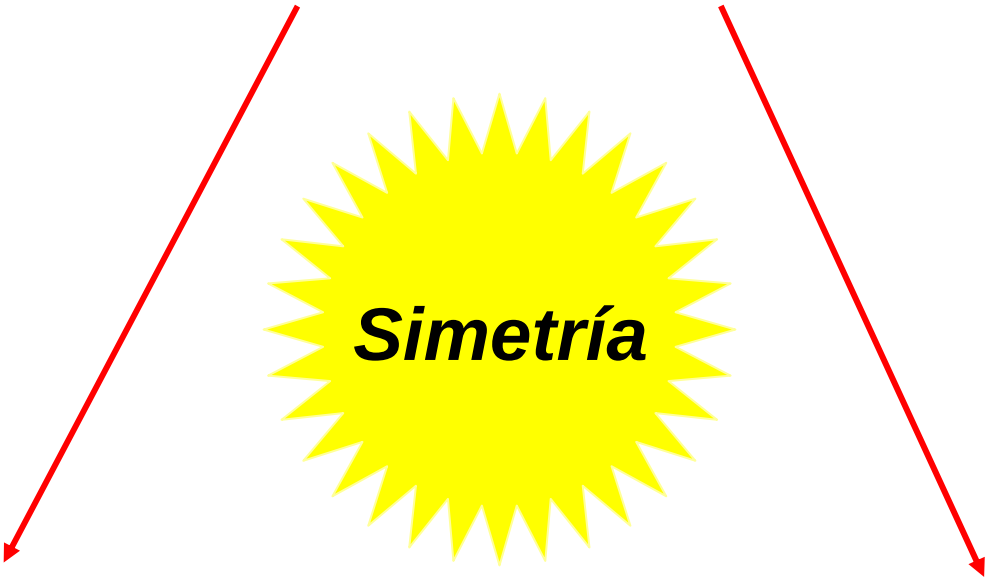
Frontera actual

|||

Modelo Estándar

Modelo Estándar

(~1980)



Componentes de la Materia

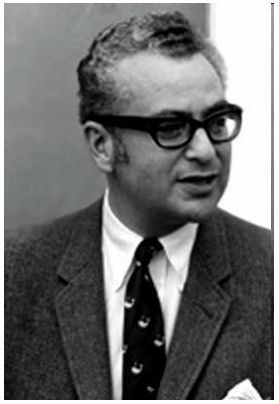
Interacciones

Materia

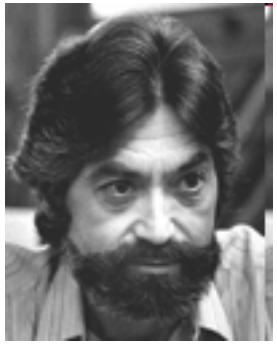
1932	p, n, e ν
1937	μ
1940s	mesones π, K
1950s	partículas Λ, Δ, Σ, ...

...Actualmente se conocen unas 300 partículas

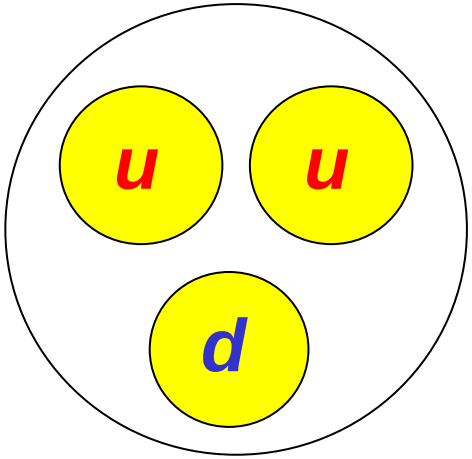
En 1964 se propuso la idea de los **quarks**



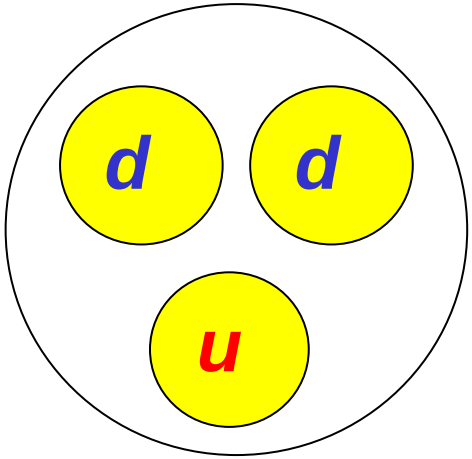
Gell-Mann



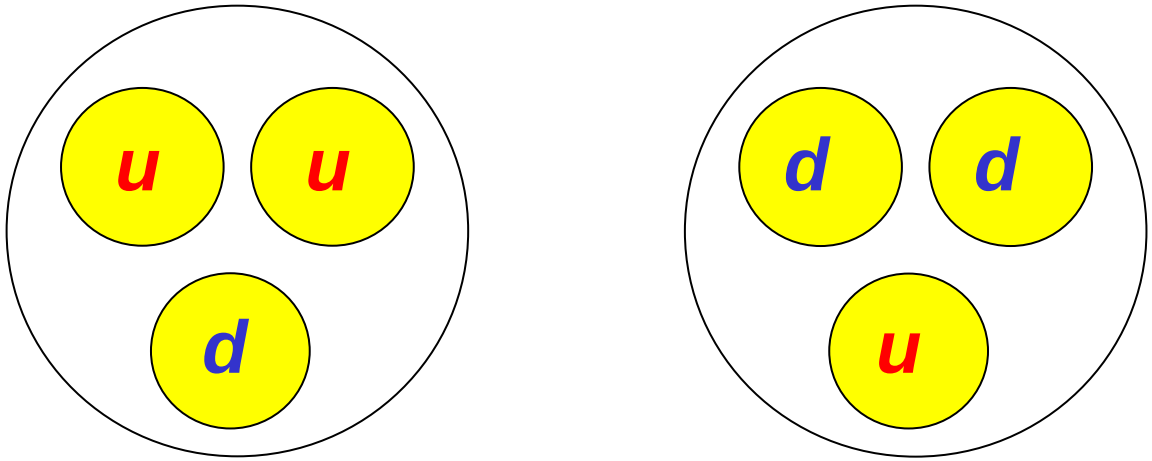
Zweig



protón



neutrón



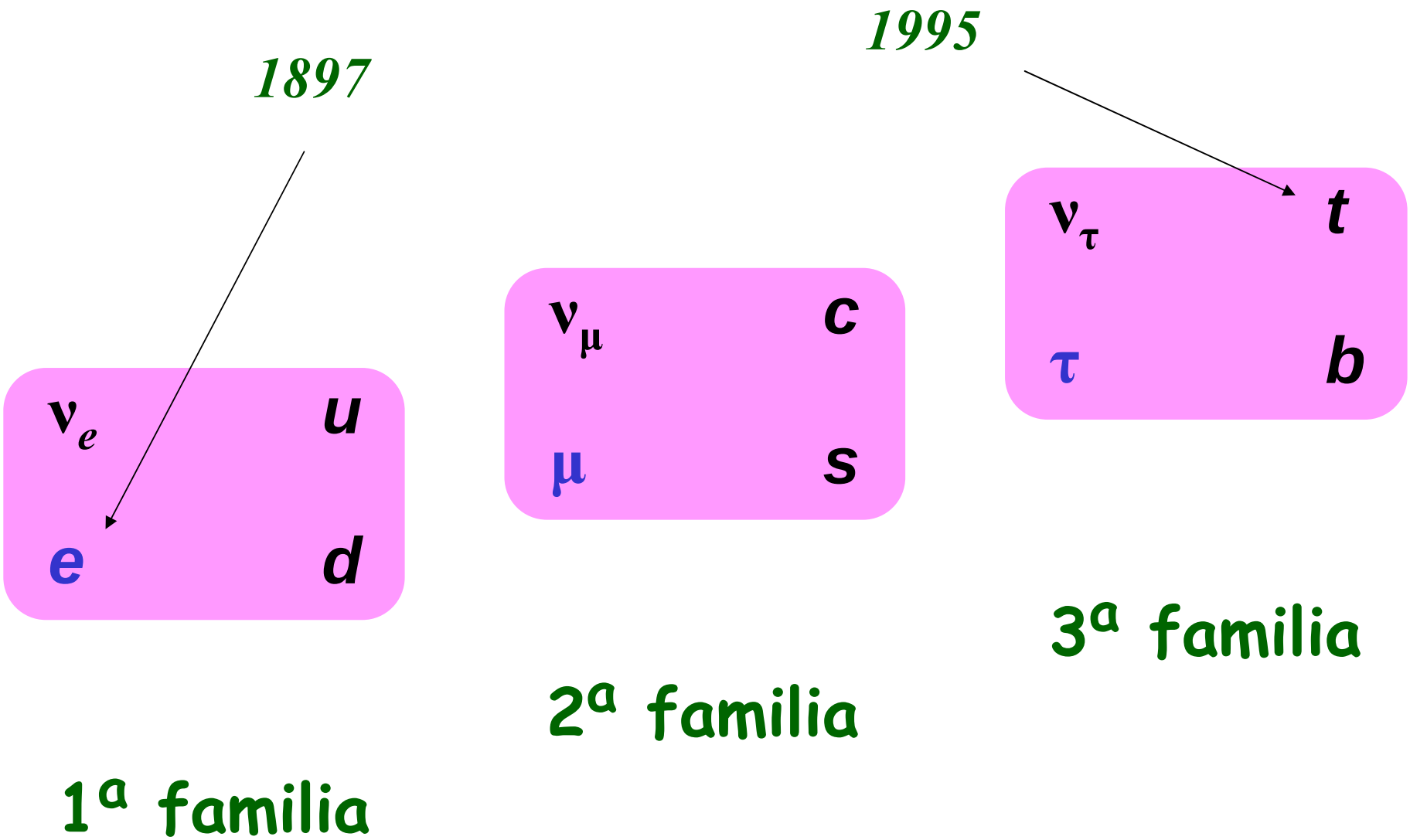
protón ***neutrón***

- ¿Qué mantiene unidos a los quarks?
- ¿Por qué no se ha visto nunca un quark libre?
- ...

ν_e	u
e	d

1ª familia de partículas elementales

casi todo está hecho con ellas


1897
1995
ν_e
u
e
d
ν_μ
c
μ
s
ν_τ
t
τ
b
1ª familia
2ª familia
3ª familia

ν_e	u
e	d

1ª familia

ν_μ	c
μ	s

2ª familia

ν_τ	t
τ	b

3ª familia

¿Por qué?

Masas de las partículas

e	0.0005		μ	0.106		τ	1.78
ν_e	?		ν_μ	?		ν_τ	?
u	0,002		c	1,25		t	173
d	0,004		s	0,095		b	4.2

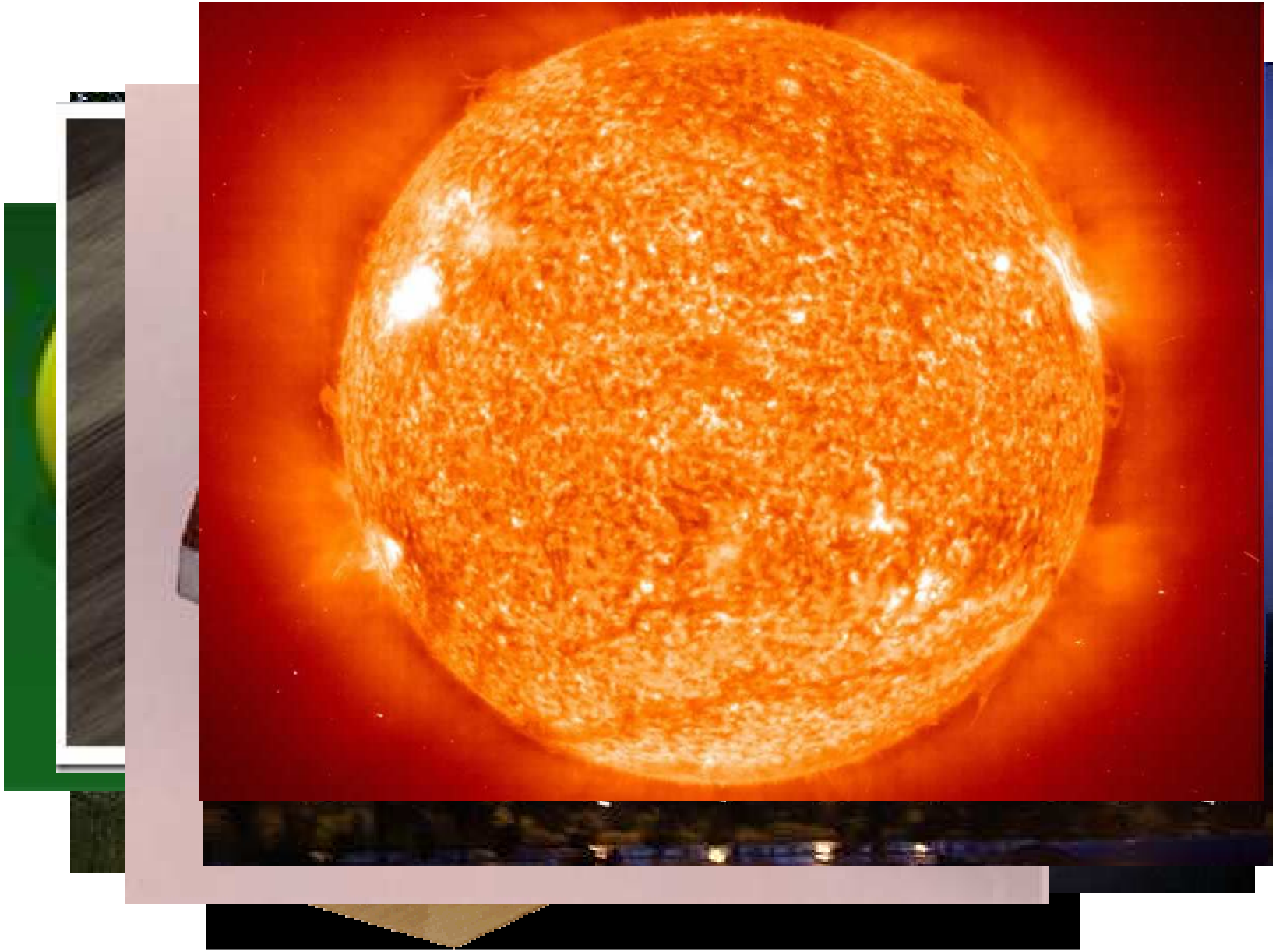
leptones

hadrones

1ª **2ª** **3ª**

(en *GEV*)

Interacciones



Todas estas interacciones son manifestaciones de sólo

4 interacciones básicas

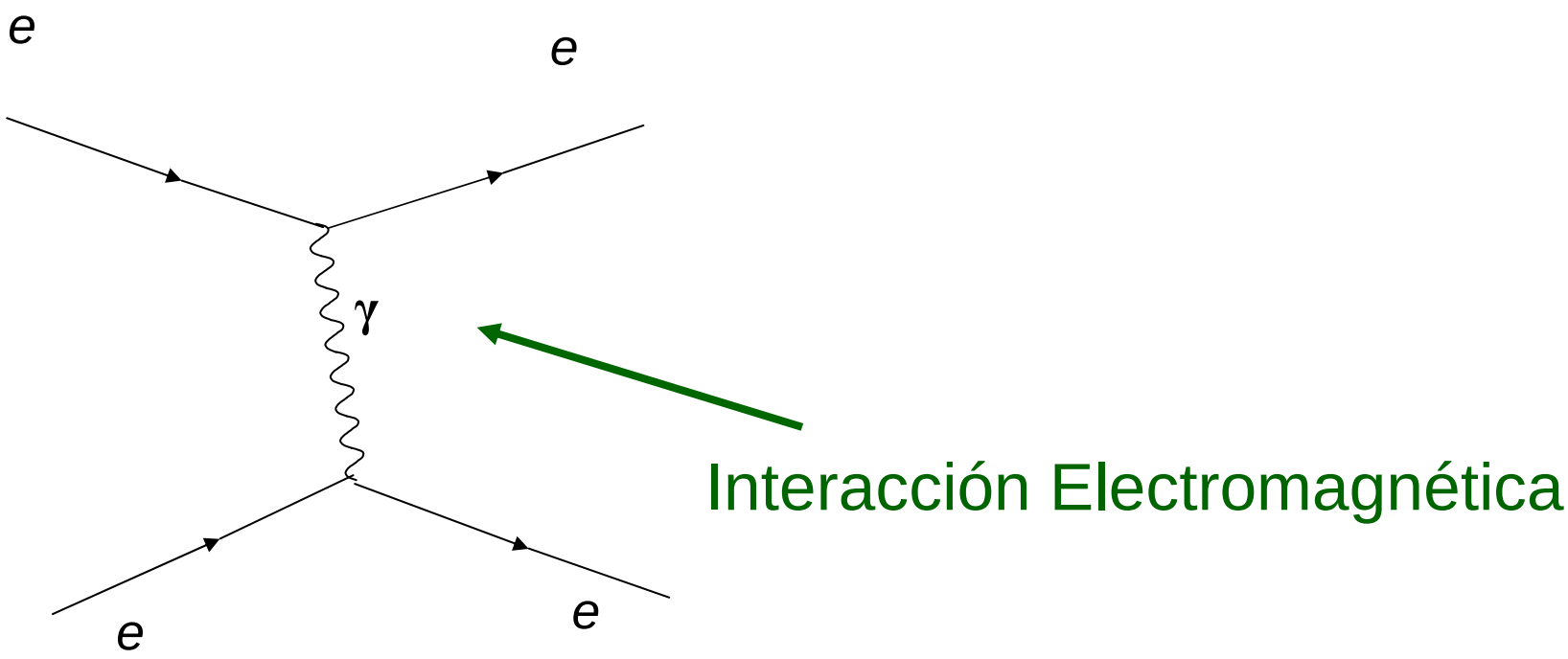
gravitatoria

fuerte

electromagnética

débil

Estas interacciones están mediadas por otras partículas: mensajeros de la interacción

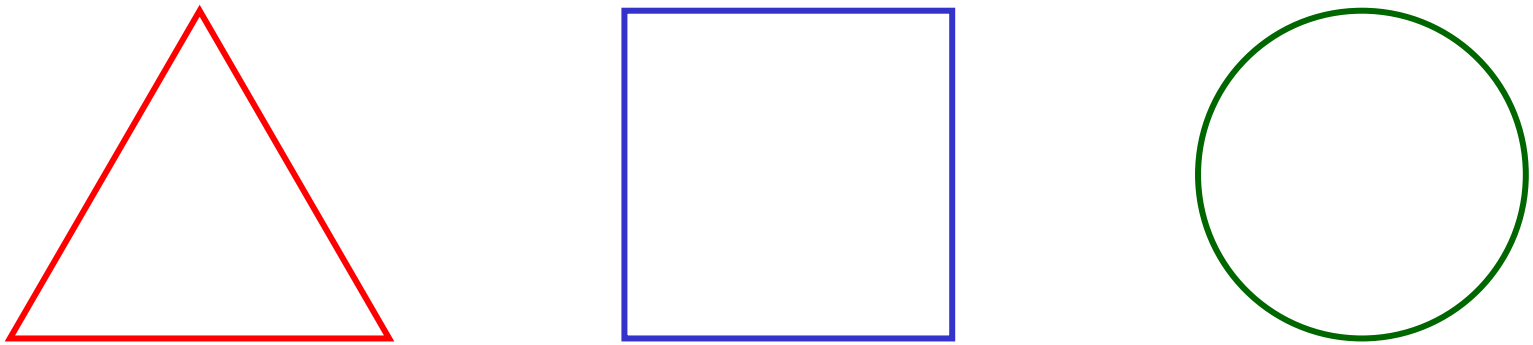


Tipo de Interacción	Partícula Mediadora
Electromagnética	**γ (fotón)**
Fuerte	**g (gluón)**
Débil	bosones **W, Z**
Gravitatoria	**G (gravitón)**

¡tienen masa!

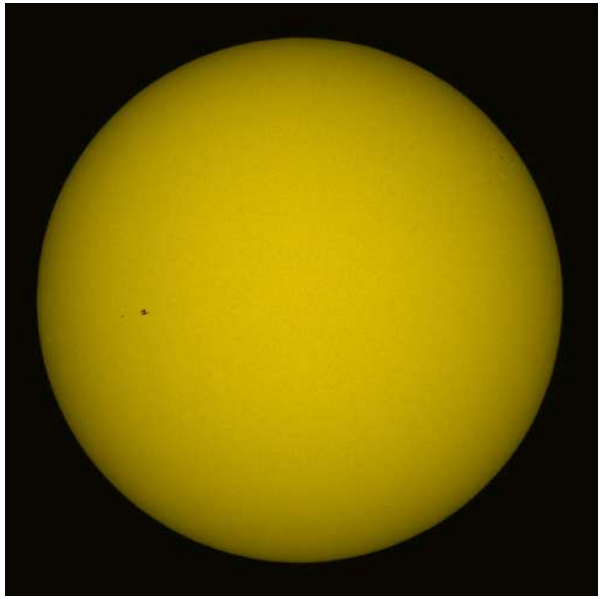
Simetría

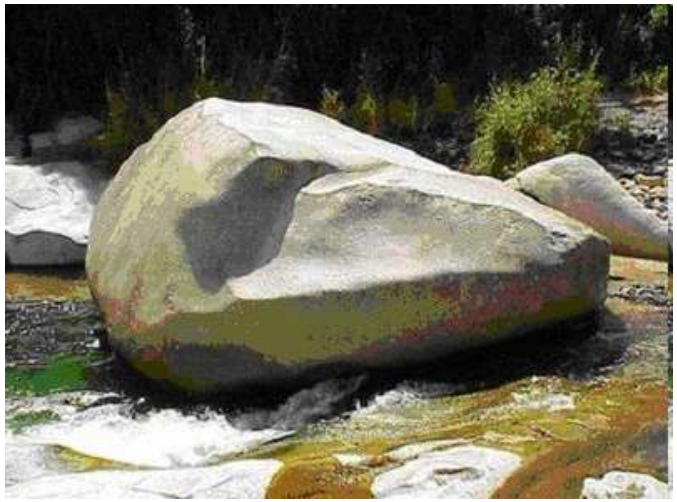
...Quizá el concepto más importante en la física de partículas moderna



Simetría ≡ Invariancia bajo transformaciones

¿ Presenta la naturaleza alguna simetría ?





Lo verdaderamente fundamental no son los objetos, sino las leyes de la física que los originan.

... y las leyes de la física tienen una enorme simetría

Es decir, quedan invariantes bajo ciertas transformaciones matemáticas

• Rotaciones	Conserv. del mom. angular
• Traslaciones espaciales	Conserv. del momento
• Traslaciones temporales	Conserv. de la energía
• Cambios de sistema de referencia (transformaciones de Lorentz)	masa y espín

...y aún hay más simetría

Simetrías Internas

En una Teoría Cuántica de Campos (como el Modelo Estándar), los objetos fundamentales no son las partículas sino los campos.

Las partículas son las excitaciones (cuánticas) del campo

$$A(x) \longrightarrow \gamma$$

Esto da posibilidades de nuevas simetrías

Imaginemos una teoría que depende de dos campos: $A(x),\ B(x)$

pero sólo a través de la combinación $A + B$

la teoría es invariante bajo la transformación:

$$A \rightarrow A + q$$

$$B \rightarrow B - q$$

simetría interna

Emmy Noether
(1915)

Las simetrías internas también producen cantidades conservadas

¡La conservación de la carga eléctrica proviene de una simetría interna de las ecuaciones del Electromagnetismo!

EM

$U(1)_{EM}$

Simetrías Locales

$$A \rightarrow A + q$$

$$B \rightarrow B - q$$

Si la simetría es válida para cualquier $q(x)$

simetría local

Simetrías locales

Interacciones

Yang & Mills
(1954)

Las partículas **mediadoras** de esas interacciones han de ser bosones **sin masa**

¡ La simetría EM es local !

La interacción electromagnética y los fotones...

... son consecuencia de una simetría local de la naturaleza

Interacciones fuertes:

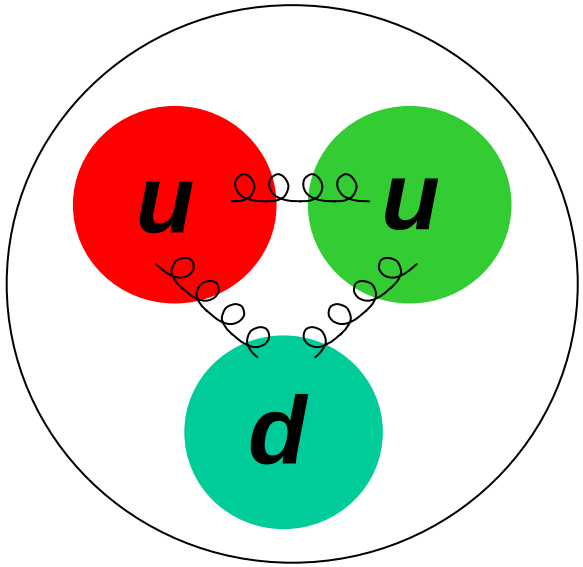
... son consecuencia de otra simetría local:

COLOR

$SU(3)_c$

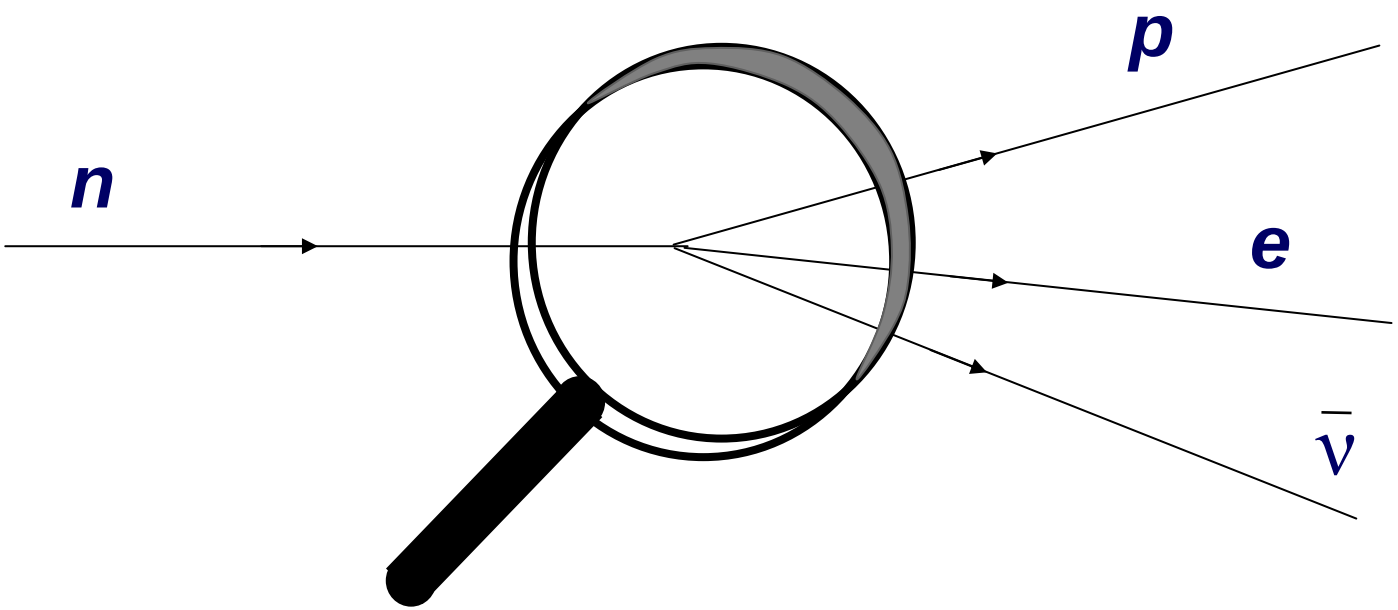
(~1970s)

8 gluones (sin masa)



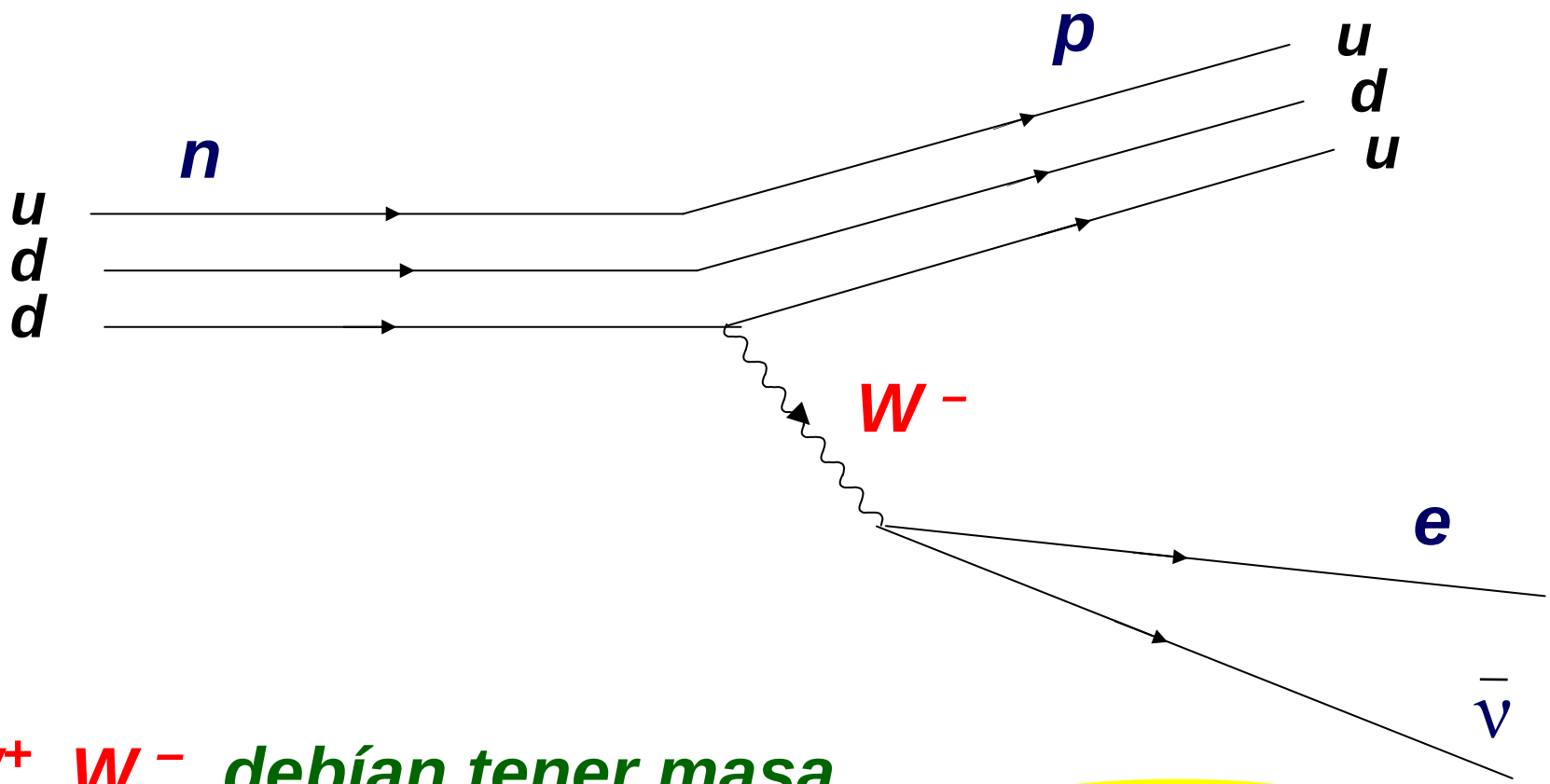
protón

Interacciones débiles:



Fermi (1933)

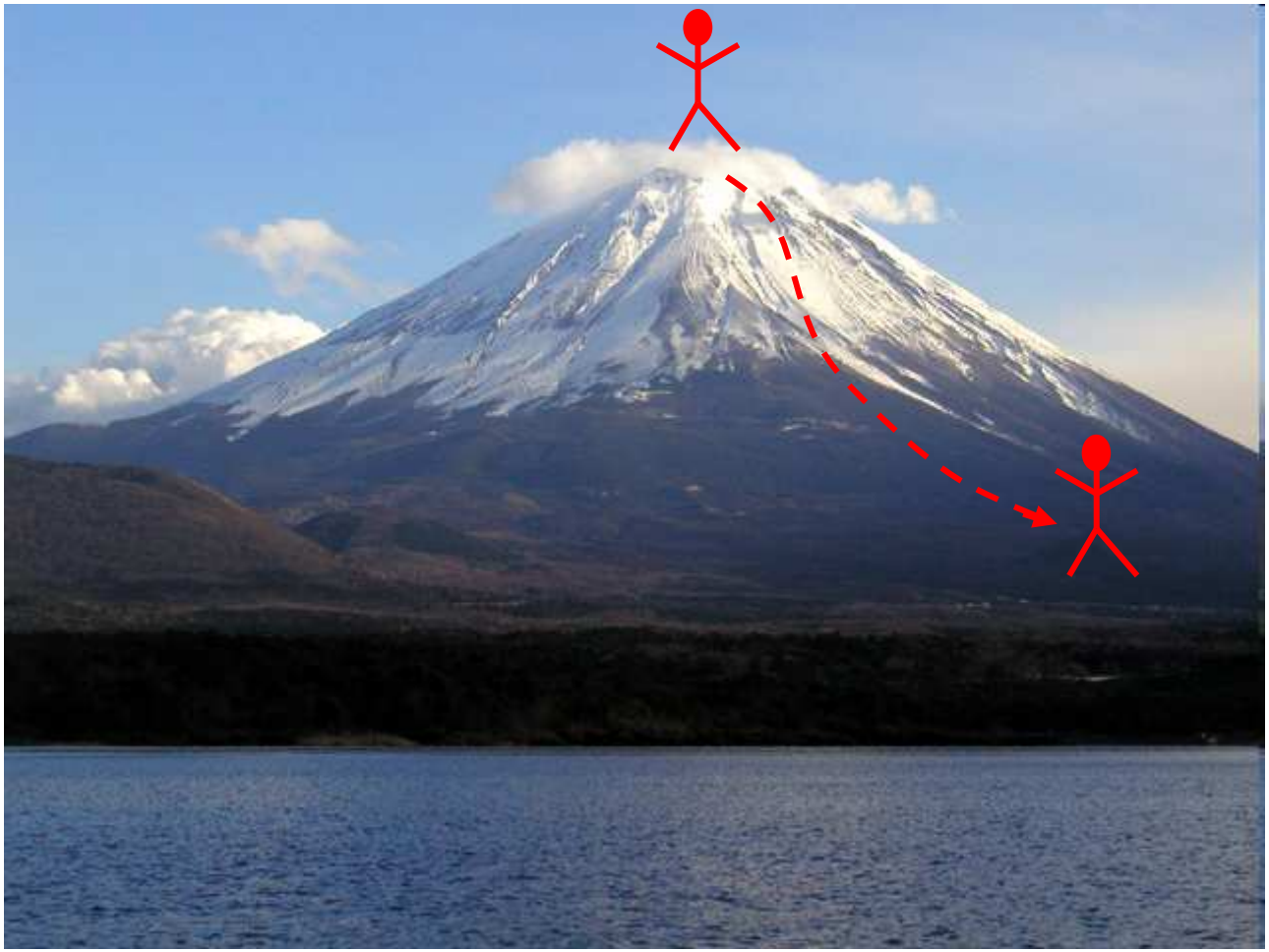
Interacciones débiles:



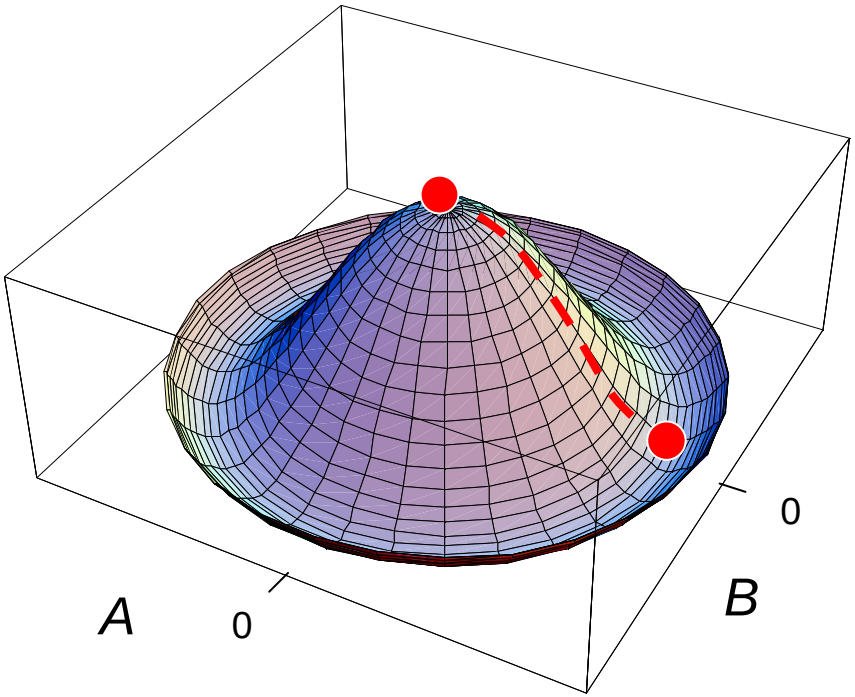
W^+, W^- *debían tener masa*

problema

Simetrías rotas

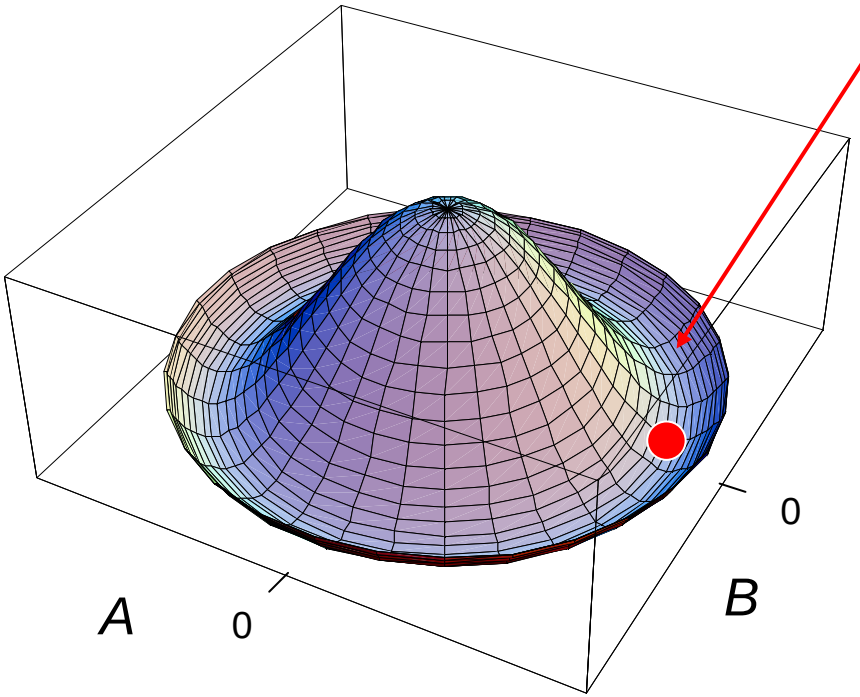


Ruptura espontánea de simetría



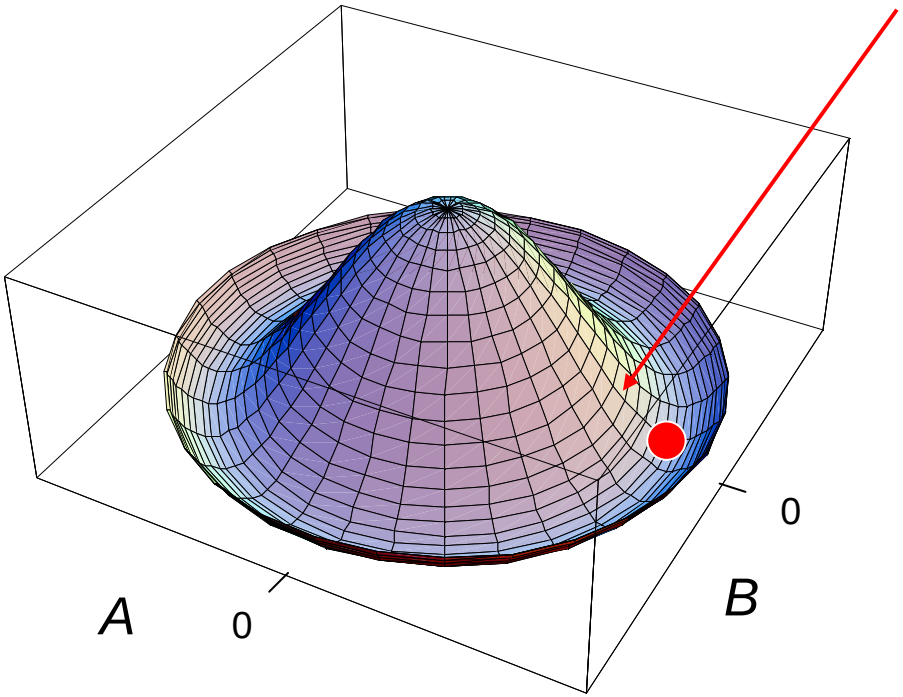
Mecanismo de Higgs

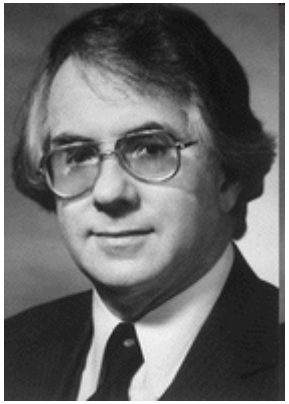
Da masa al bosón mediador (“fotón”)



Mecanismo de Higgs

Partícula con masa (Higgs)





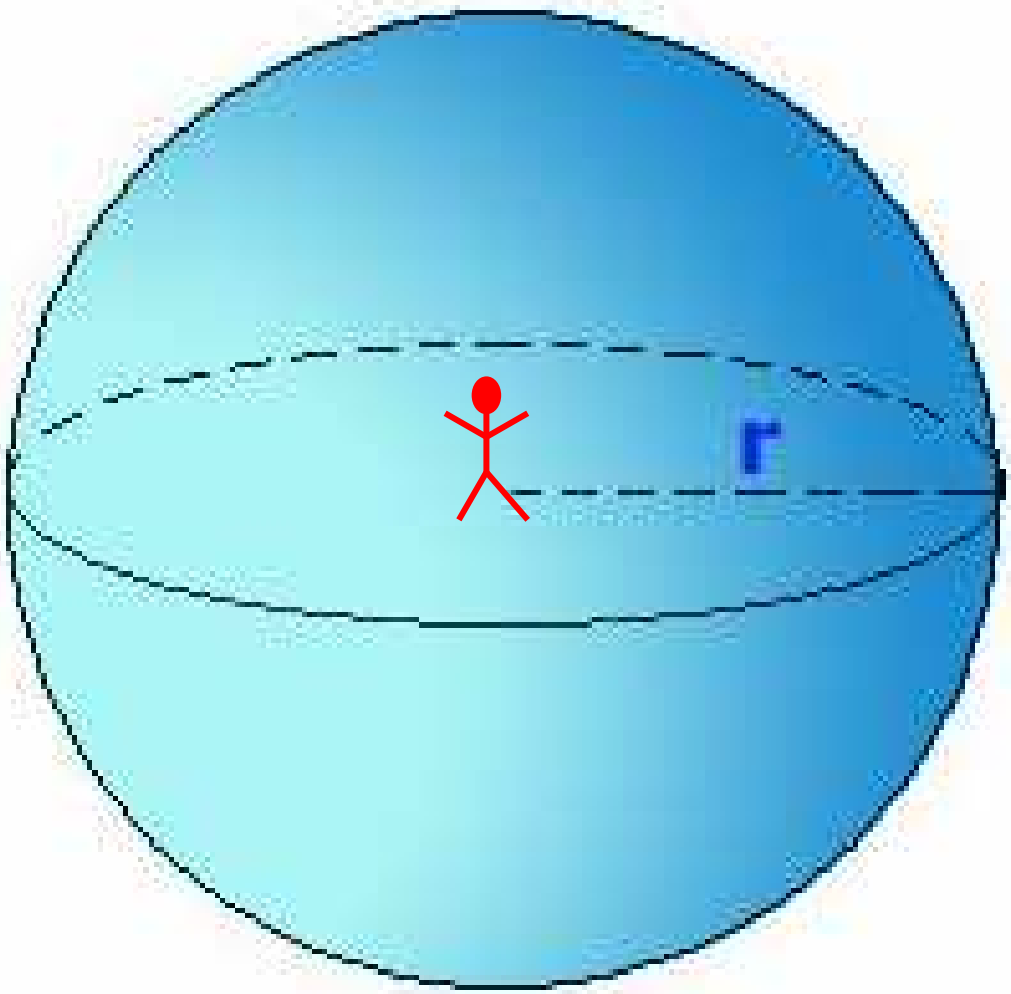
Glashow Weinberg Salam

1960s

Simetría Electrodébil: ED

SU(2)xU(1)

$$\text{ED} \xrightarrow[\langle H \rangle]{Rupt.\ Esp.} \text{EM}$$


r

$$\text{ED} \xrightarrow{Rupt.\ Esp.} \text{EM}$$

★ **En el proceso 3 partículas mediadoras:**

$$W^+,\ W^-,\ Z$$

(Descubiertas en el CERN en 1983)

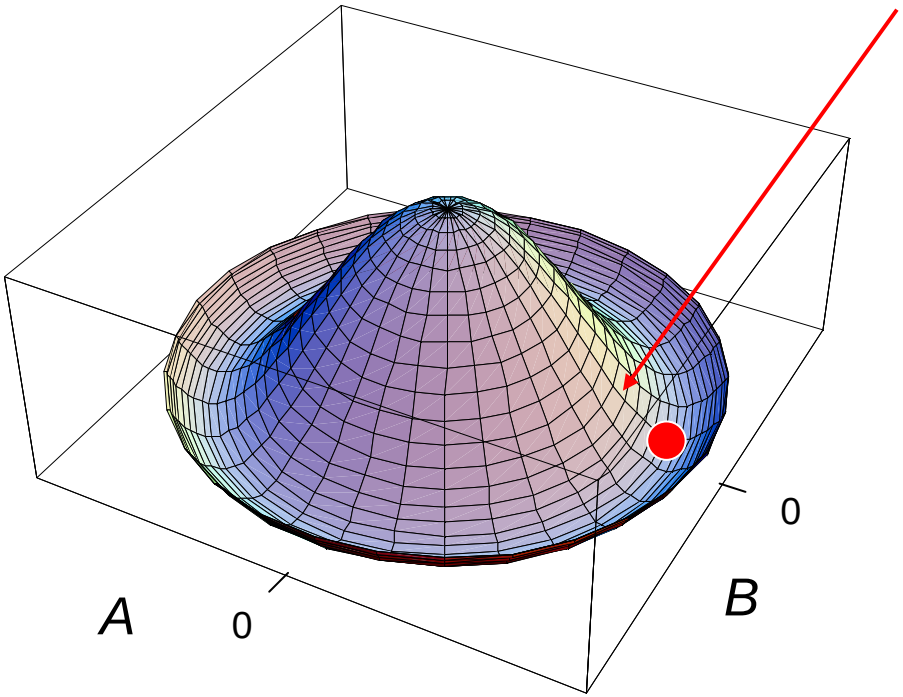
adquieren masa

★ **Y una partícula mediadora:**

$$\gamma$$ **(fotón)**

queda sin masa

Partícula con masa (Higgs)



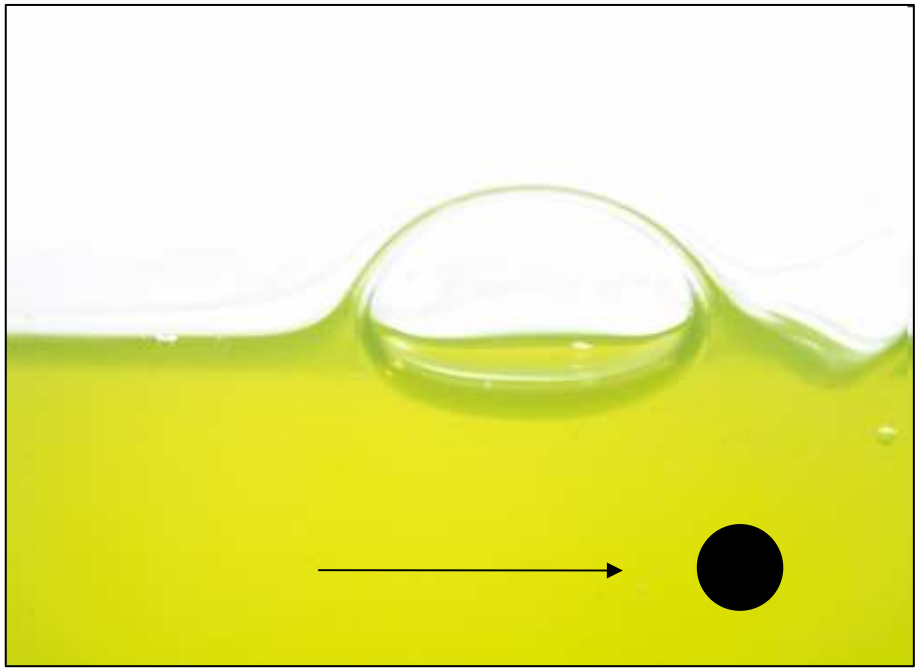
Si la teoría es correcta debería existir un bosón de Higgs con masa

Esta es la única predicción importante del Modelo Estándar aún sin verificar

Pero es una predicción crucial

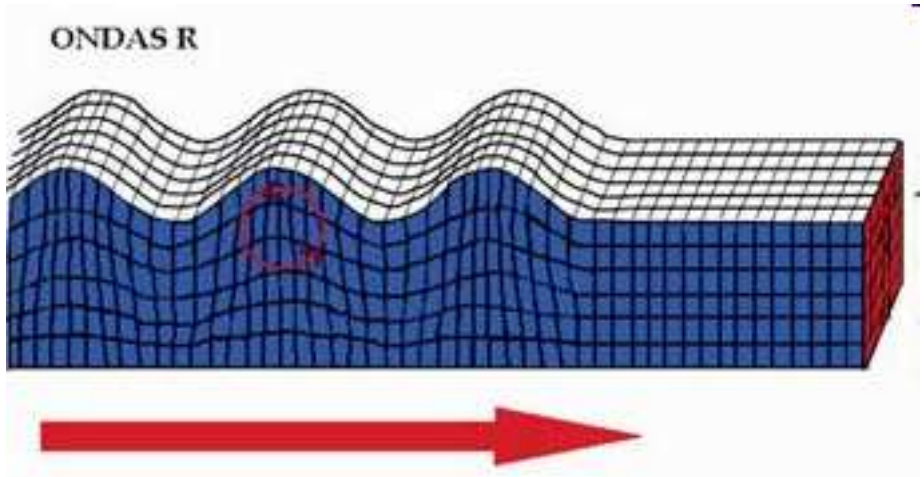
Producir un bosón de Higgs es equivalente a "sacar al vacío de su sitio" (por un instante diminuto)

El Higgs es también necesario para dar **masa** al resto de las partículas elementales.



Interacción con el campo de Higgs $\equiv$ Fricción con un líquido viscoso

Bosón de Higgs ≡ Odas en el líquido viscoso



Objetivos del LHC

- Descubrir el bosón de Higgs
- Descubrir la física más allá del M.S.

Pero si el Mod. Est. funciona tan bien, ¿Por qué ir más allá?

Qué hay de malo con el Mod. Est.?

Problemas teóricos

★ **Consistencia con la Gravitación (Relatividad General)**

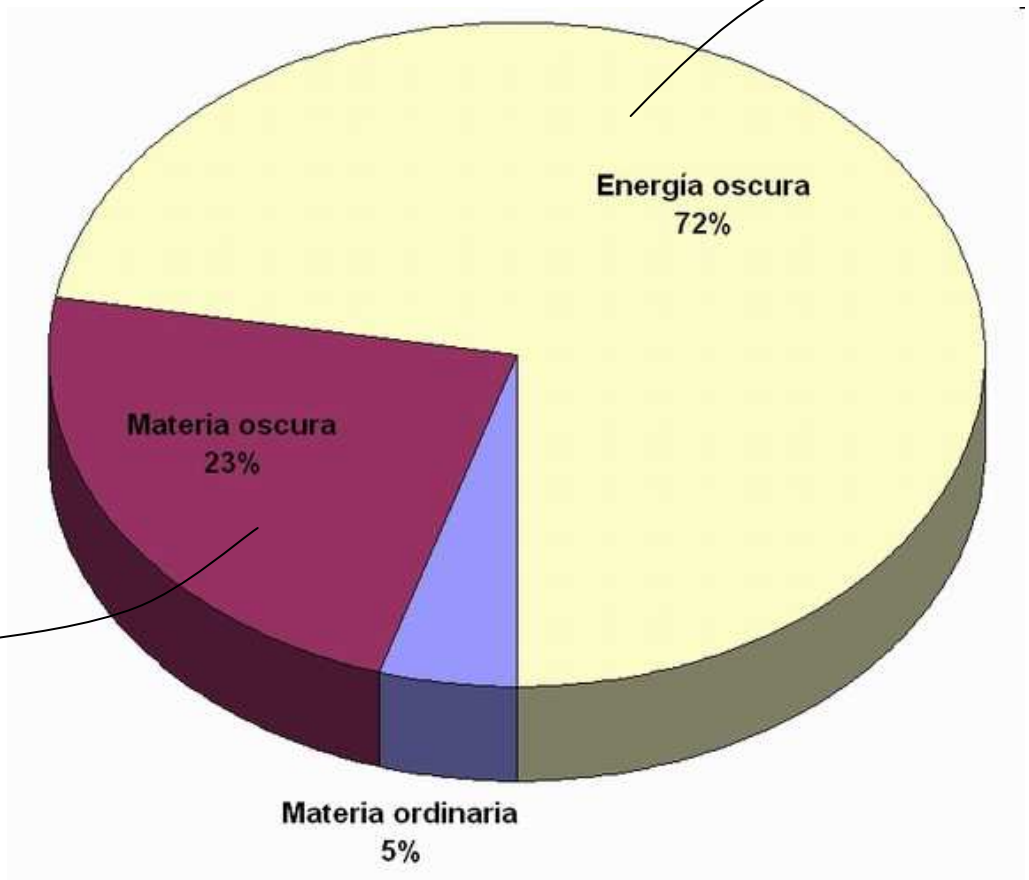
Teorías de cuerdas

Probablemente sus efectos sólo aparecen a las escalas de gravitación cuántica

$$M_P \simeq 10^{19}\ \mathrm{GeV}$$

Problemas fenomenológicos

???



?

Problemas estéticos

Recordar...

ν_e	u
e	d

1ª familia

ν_μ	c
μ	s

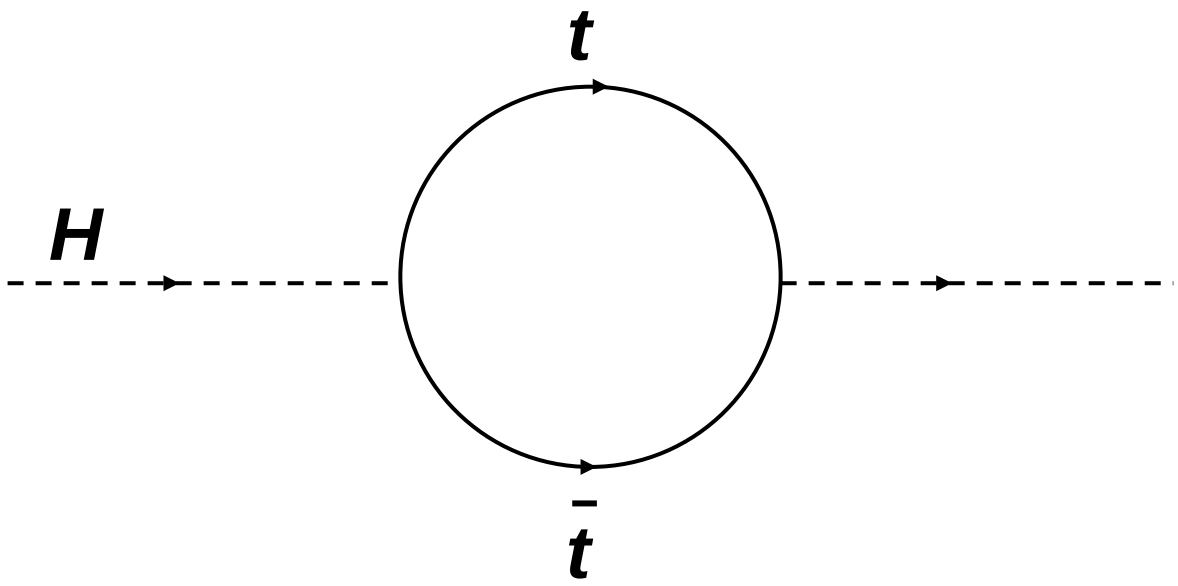
2ª familia

ν_τ	t
τ	b

3ª familia

???

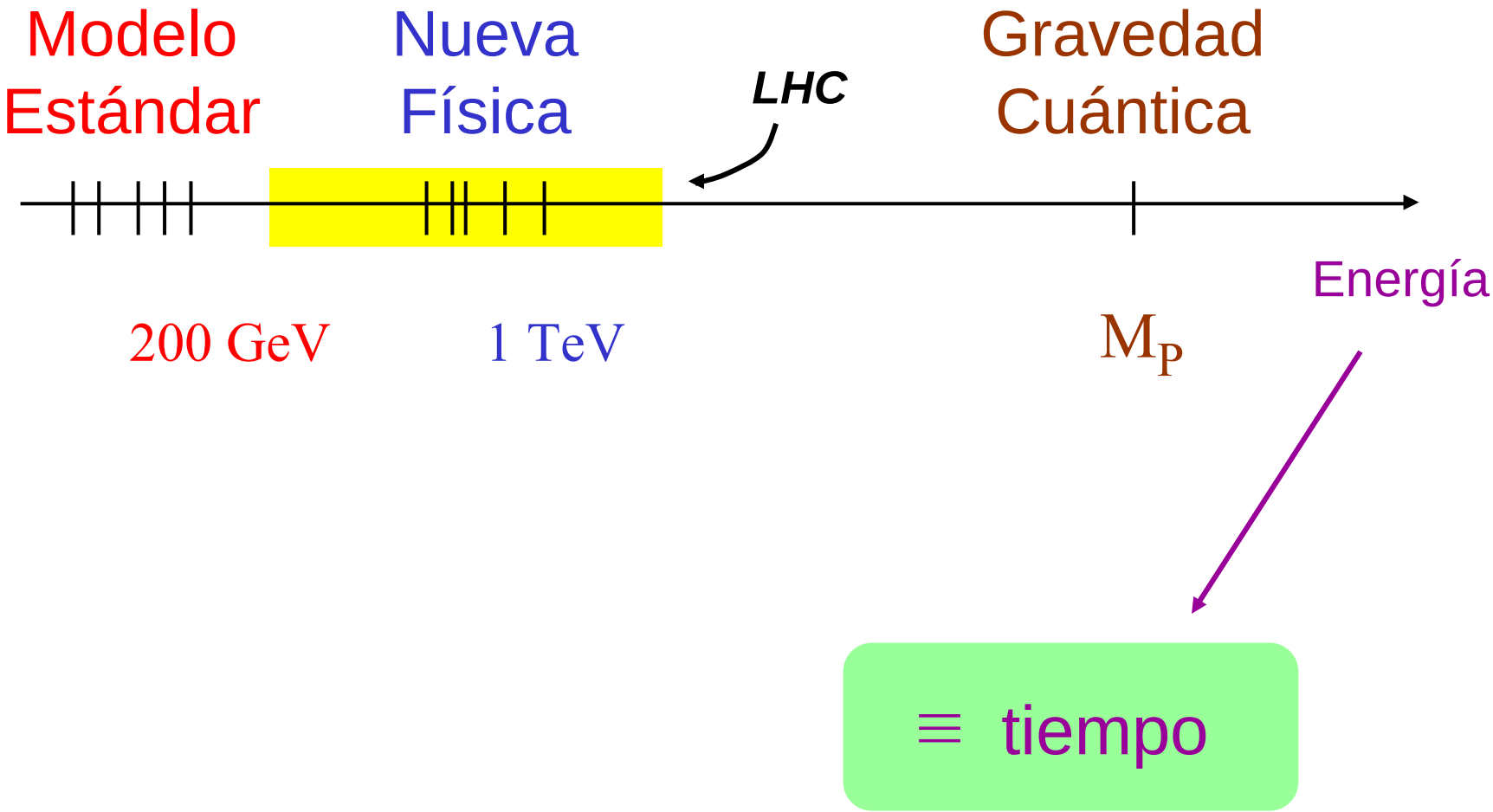
Problema de la jerarquía



Contribuciones cuánticas a la masa del Higgs:

gigantescas si no hay nueva física a energías

$$\lesssim \mathcal{O}(1000\ \mathrm{GeV}) \ \equiv \ \mathcal{O}(\mathrm{TeV})$$


Modelo Estándar
Nueva Física
LHC
Gravedad Cuántica
200 GeV
1 TeV
M_P
Energía
≡ tiempo

¿Qué nueva física?

Supersimetría

Technicolor

Dimensiones extras

...

Supersimetría

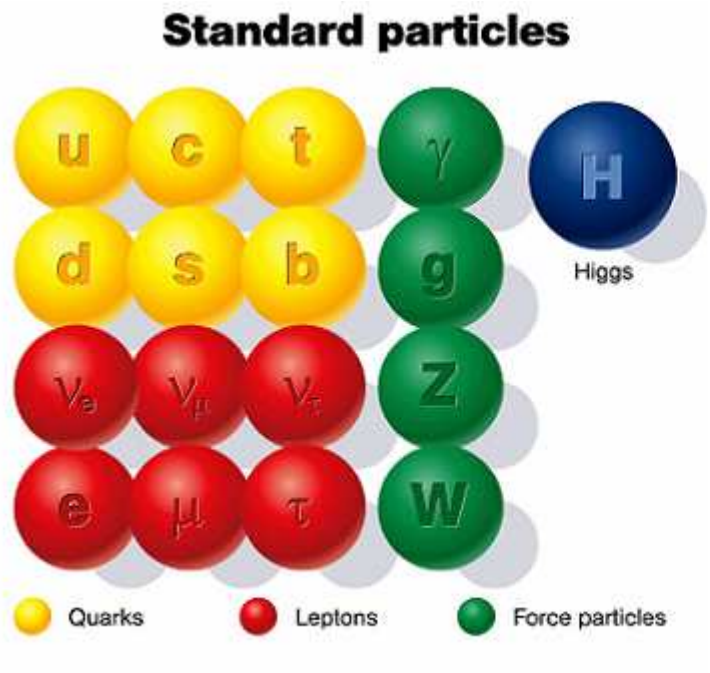
Simetría que relaciona partículas con distinto espín:

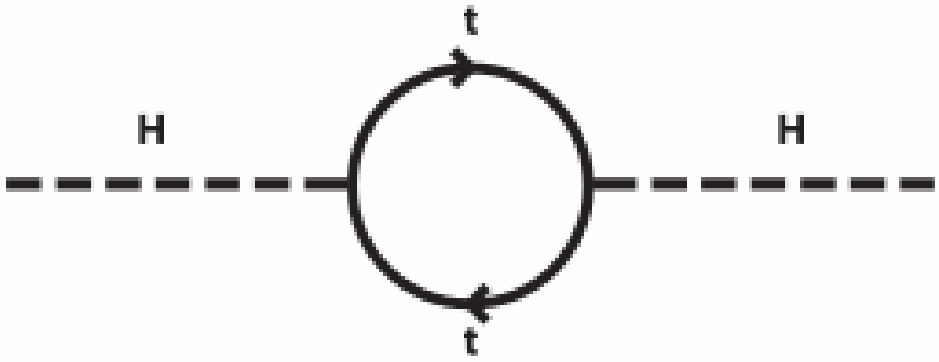
$$e \longrightarrow \tilde{e}$$

La situación recuerda a la predicción de las antipartículas que realizó Dirac en 1928

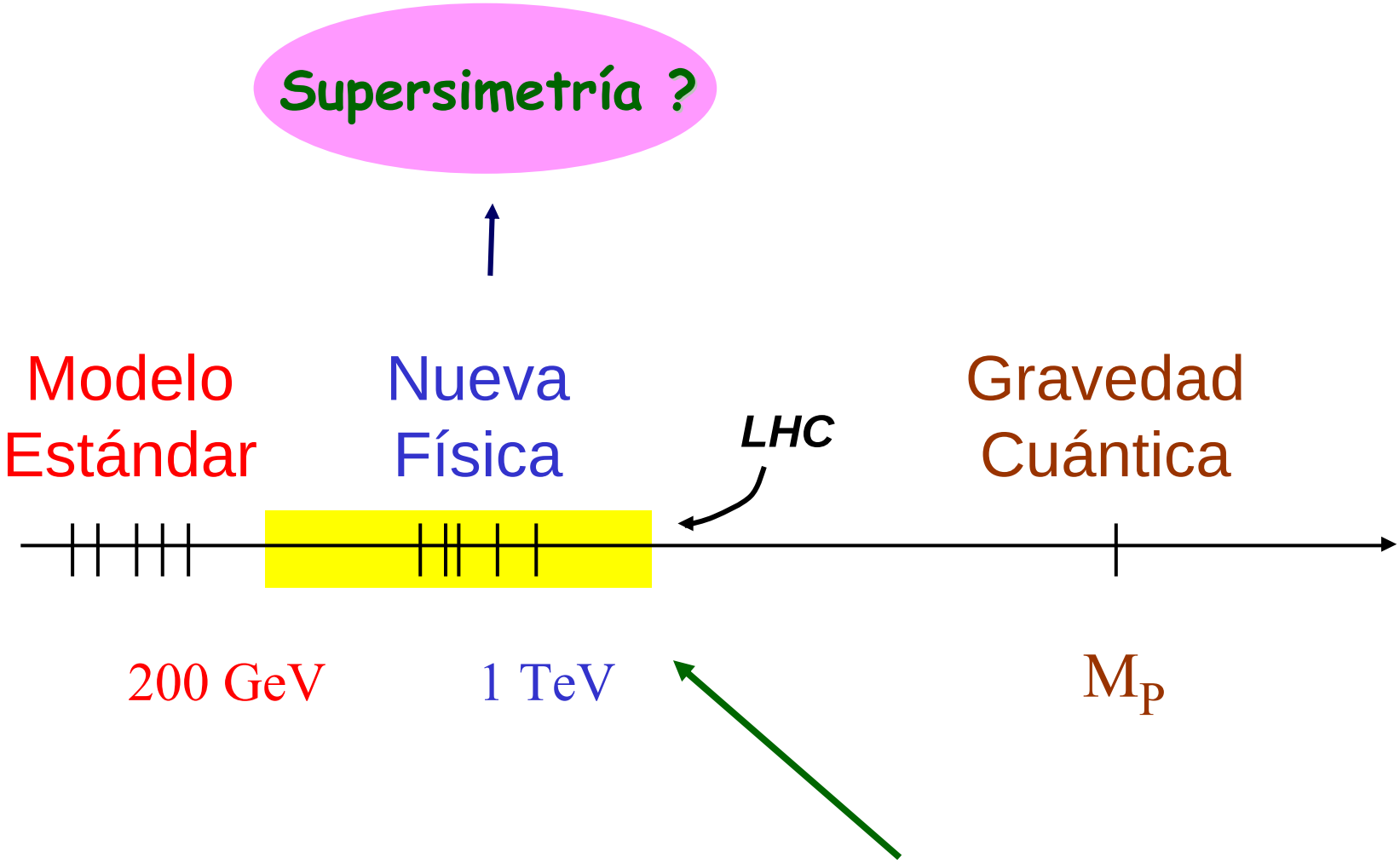
$$e^- \longrightarrow e^+$$

Supersimetría




t
H
H
t

t̄
t̄
H
H

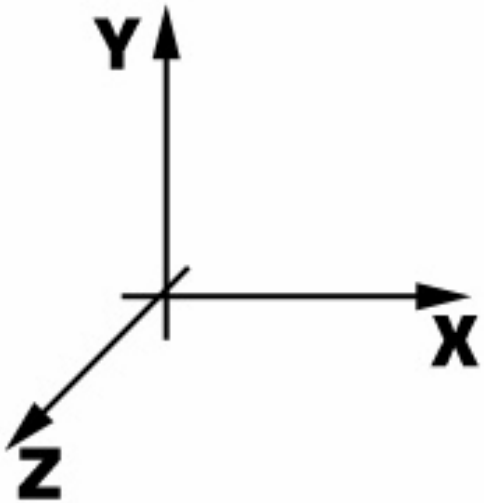


Posibilidad fuertemente sugerida por la Teoría de Cuerdas

Una de estas partículas podría ser la responsable de la materia oscura

Dimensiones Extras

El espacio que percibimos con nuestros sentidos posee tres dimensiones espaciales:



En 1917 Kaluza y Klein conjeturaron la existencia de dimensiones extras compactas (invisibles)

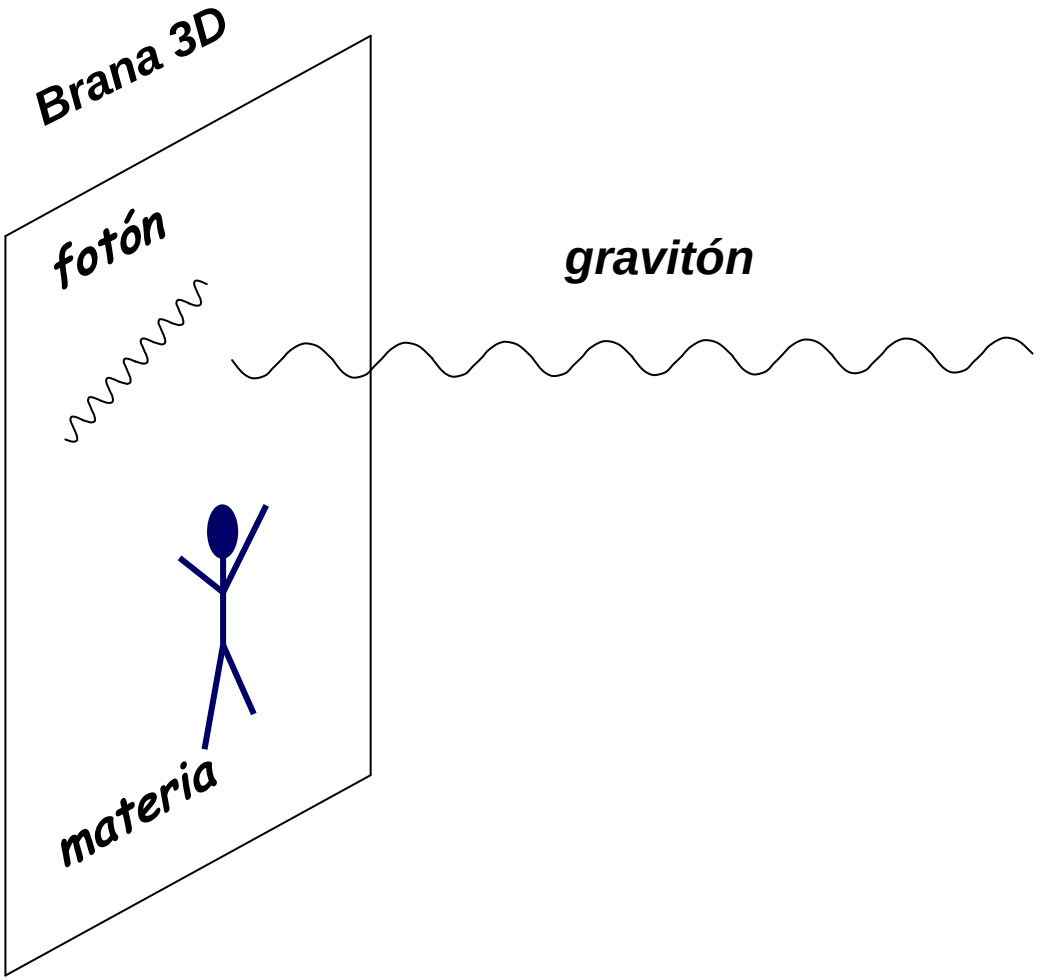
Dimensiones Extras Compactas

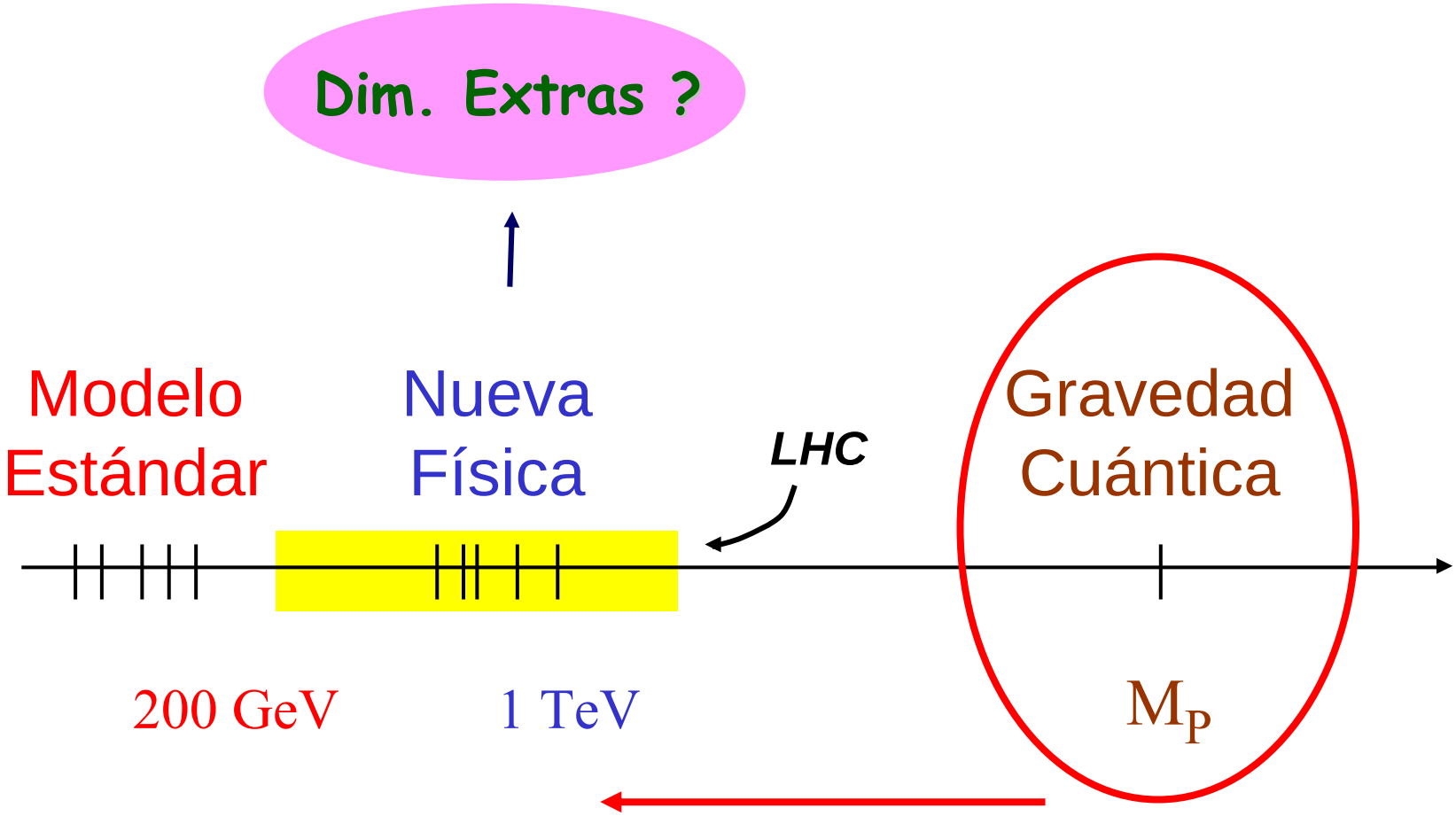
¿Tendría esta dimensión extra alguna influencia en nuestra vida?

Escenario muy frecuente en Teoría de Cuerdas

¿Podrían resolver las dimensiones extras el problema de la jerarquía?

Un escenario distinto




Dim. Extras ?
Modelo Estándar
Nueva Física
LHC
Gravedad Cuántica
200 GeV
1 TeV
M_P

Existe otra posibilidad...

... que estemos completamente equivocados

¡Y ésta podría ser la situación más excitante!