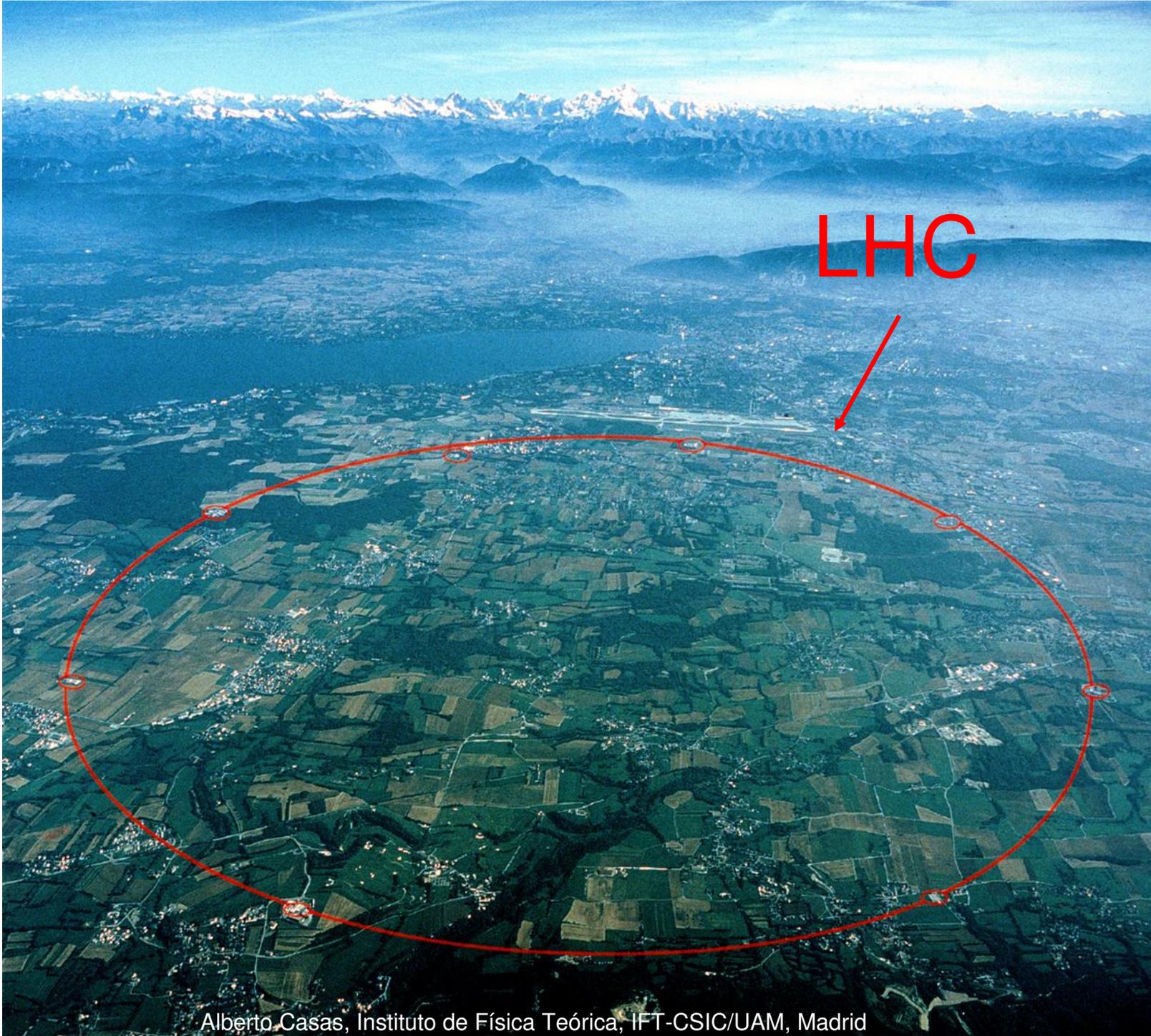


La Frontera de la Física de Partículas. El Modelo Estándar

CRIF Las Acacias

2013

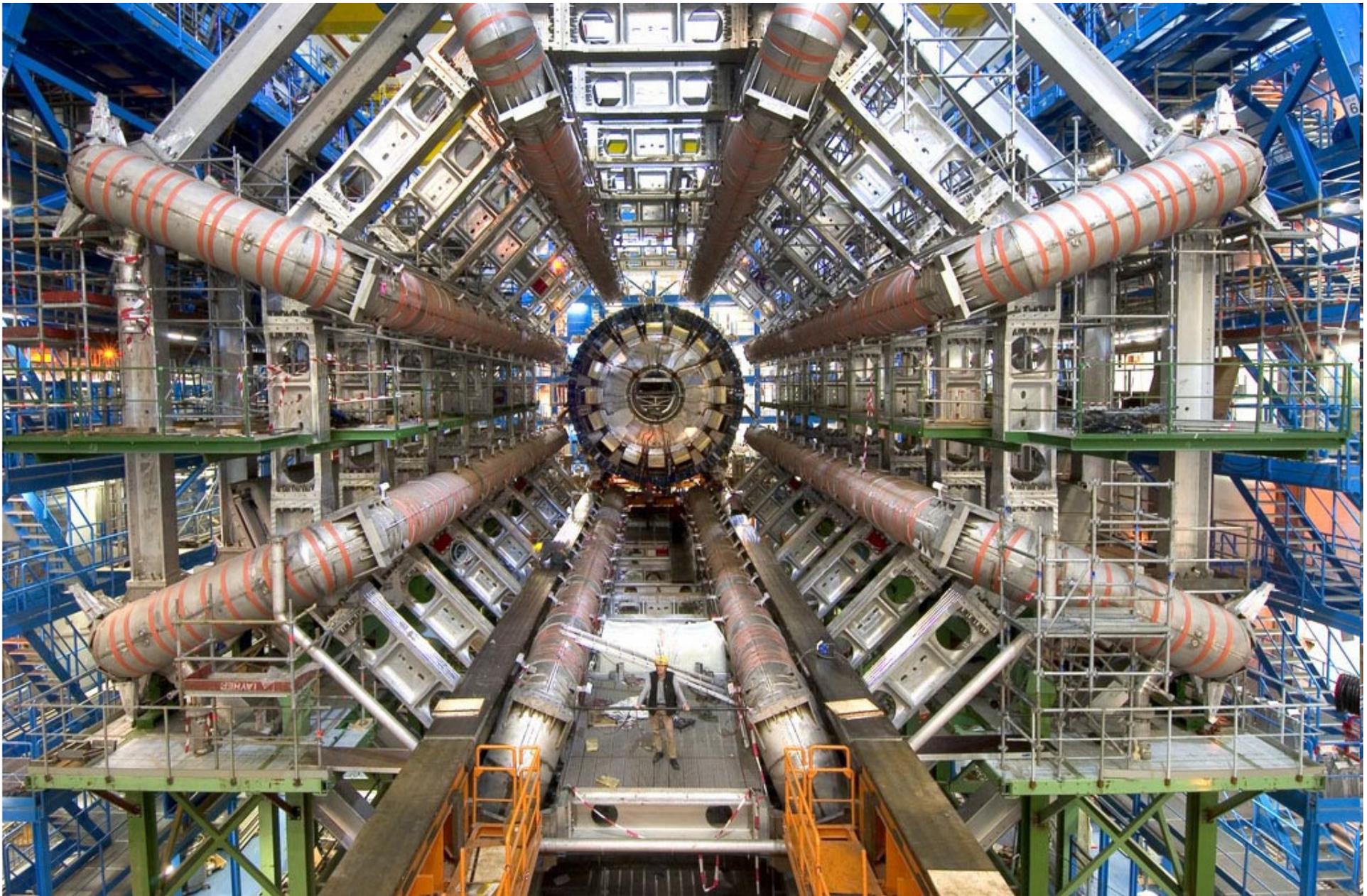
Alberto Casas
(IFT-CSIC/UAM, Madrid)



LHC



Alberto Casas, Instituto de Física Teórica, IFT-CSIC/UAM, Madrid



Alberto Casas, Instituto de Física Teórica, IFT-CSIC/UAM, Madrid

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

En cada colisión se producen cientos de partículas.



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

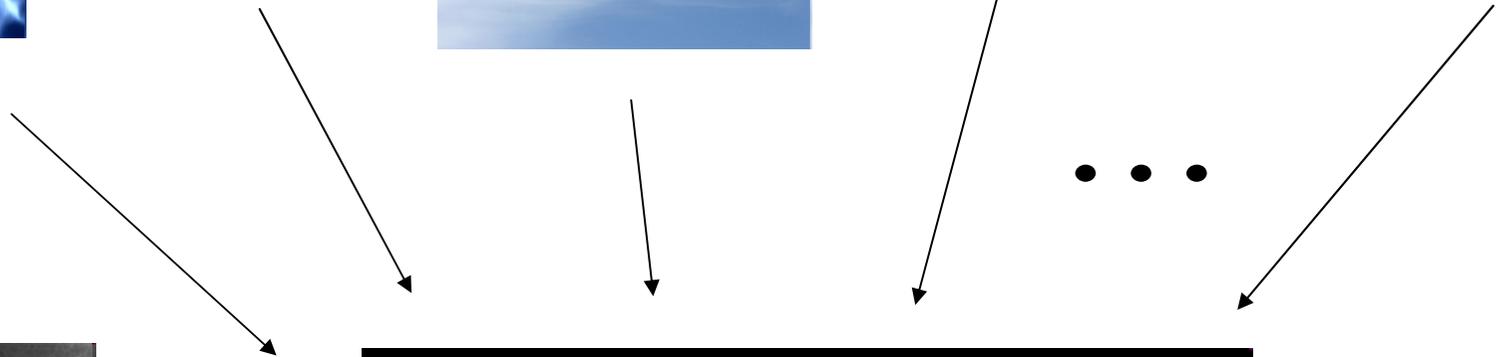
EL objetivo del **LHC** es traspasar la frontera actual del conocimiento básico sobre la naturaleza

¿ Por qué... ?



¿Por qué hay tantas sustancias y objetos diversos?





Mendeleiev
(1867)

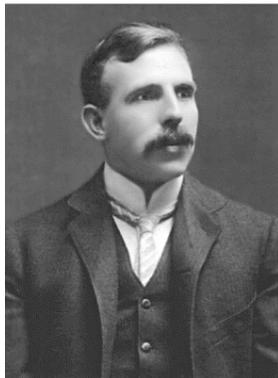
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		

Tabla Periódica

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No			



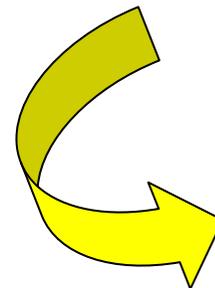
Tabla Periódica



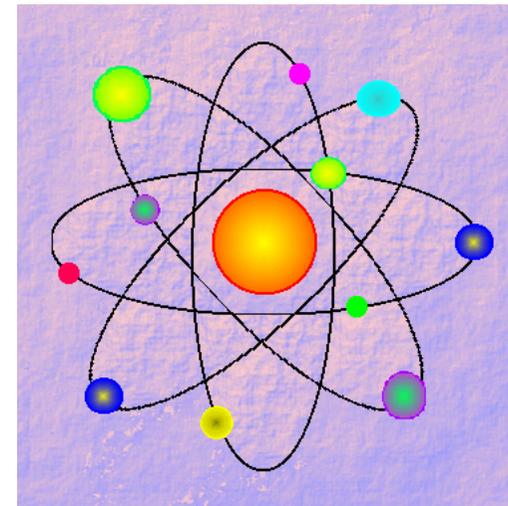
Rutherford
(1909)

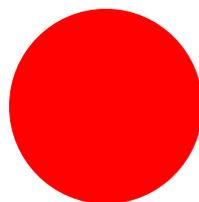
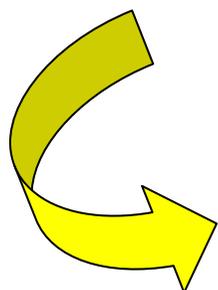
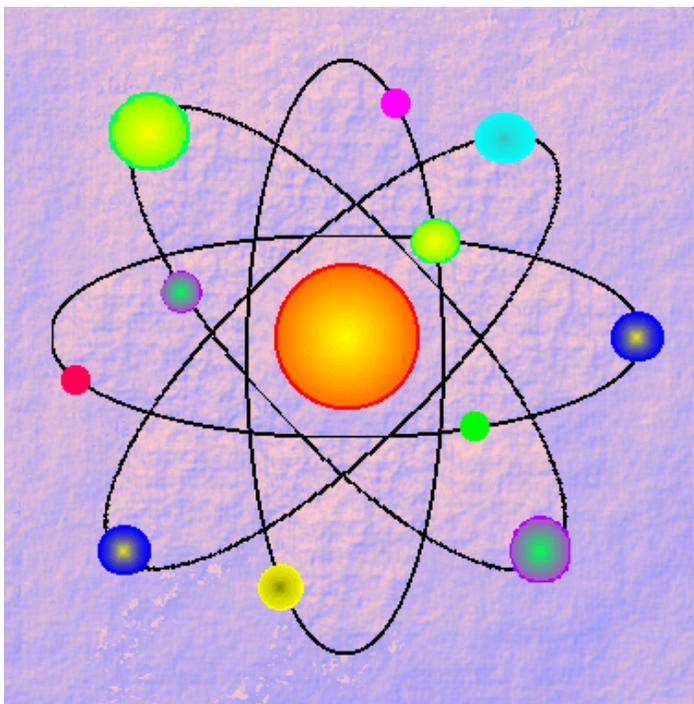


Bohr
(1913)

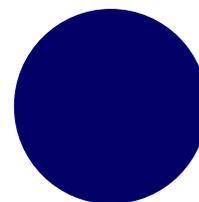


Átomo





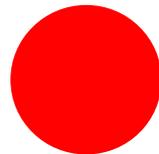
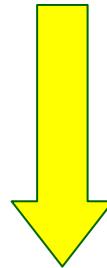
protón



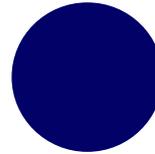
neutrón



electrón



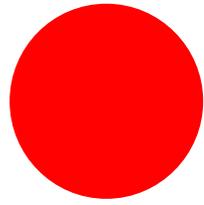
protón



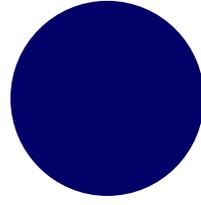
neutrón



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)

Simetría

**Componentes de la
Materia**

Interacciones

Materia

1932

p, n, e, ν

1937

μ

1940s

mesones π, K

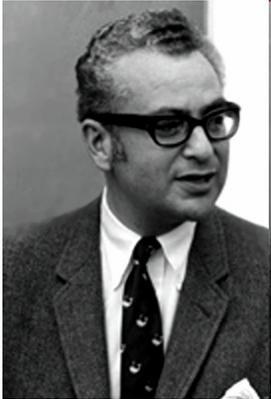
1950s

partículas $\Lambda, \Delta, \Sigma, \dots$

...Actualmente se conocen unas 300 partículas

En 1964 se propuso la idea de los

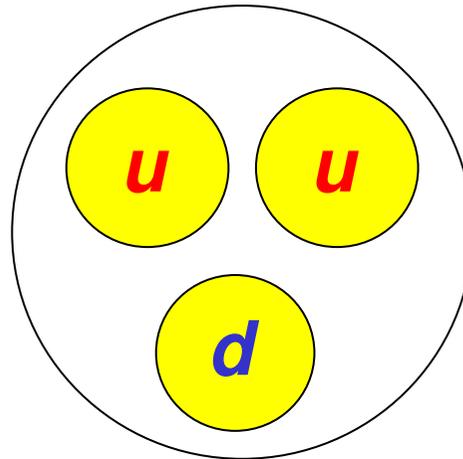
quarks



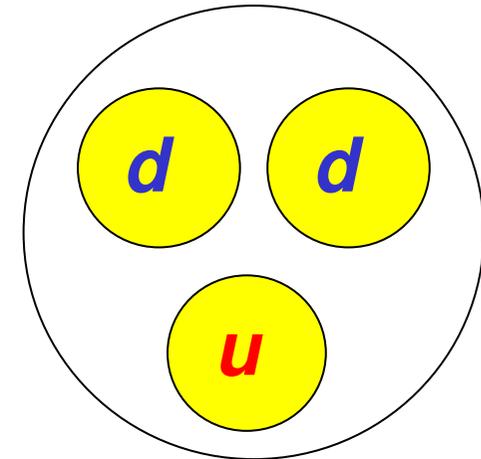
Gell-Mann



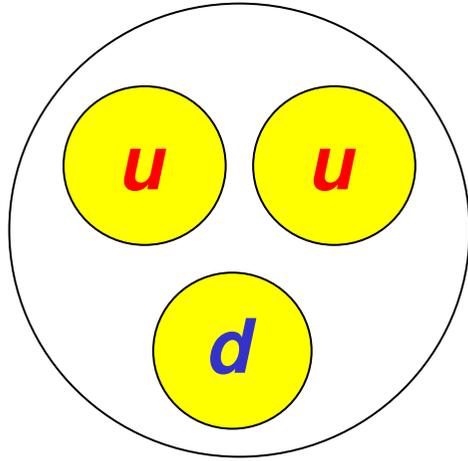
Zweig



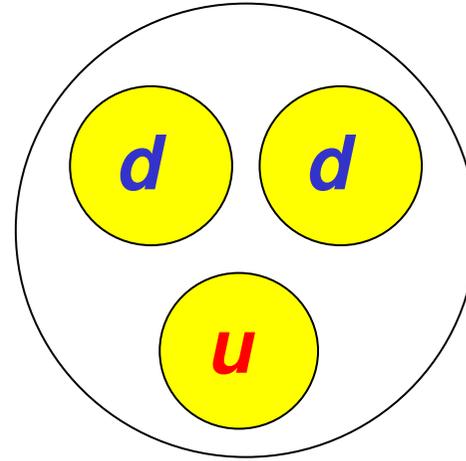
protón



neutrón



protón



neutrón

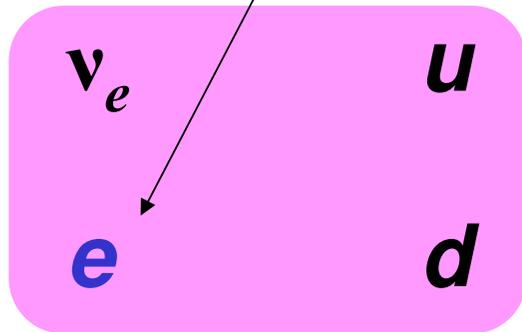
- ★ ¿Qué mantiene unidos a los quarks?
- ★ ¿Por qué no se ha visto nunca un quark libre?
- ★ ...



1ª familia de partículas elementales

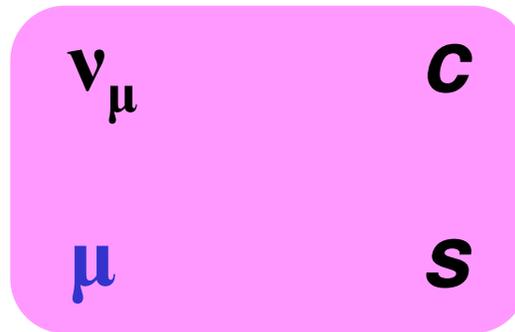
casi todo está hecho con ellas

1897

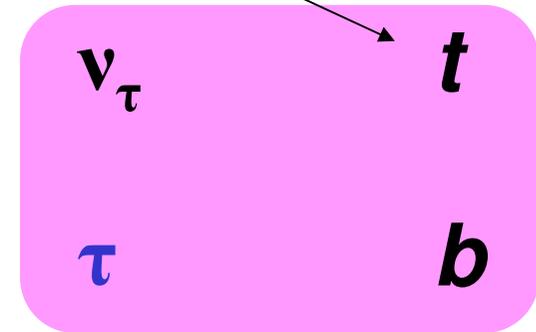


1^a familia

1995



2^a familia

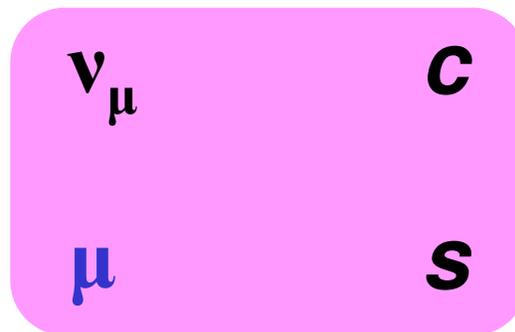


3^a familia

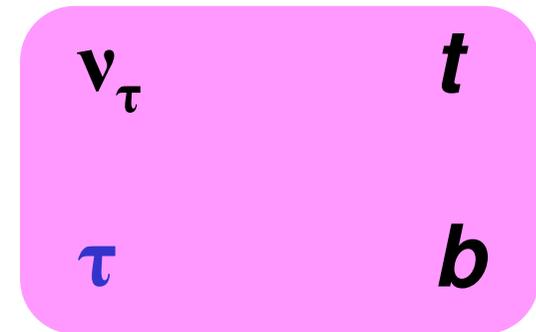




1ª familia



2ª familia



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

1^a

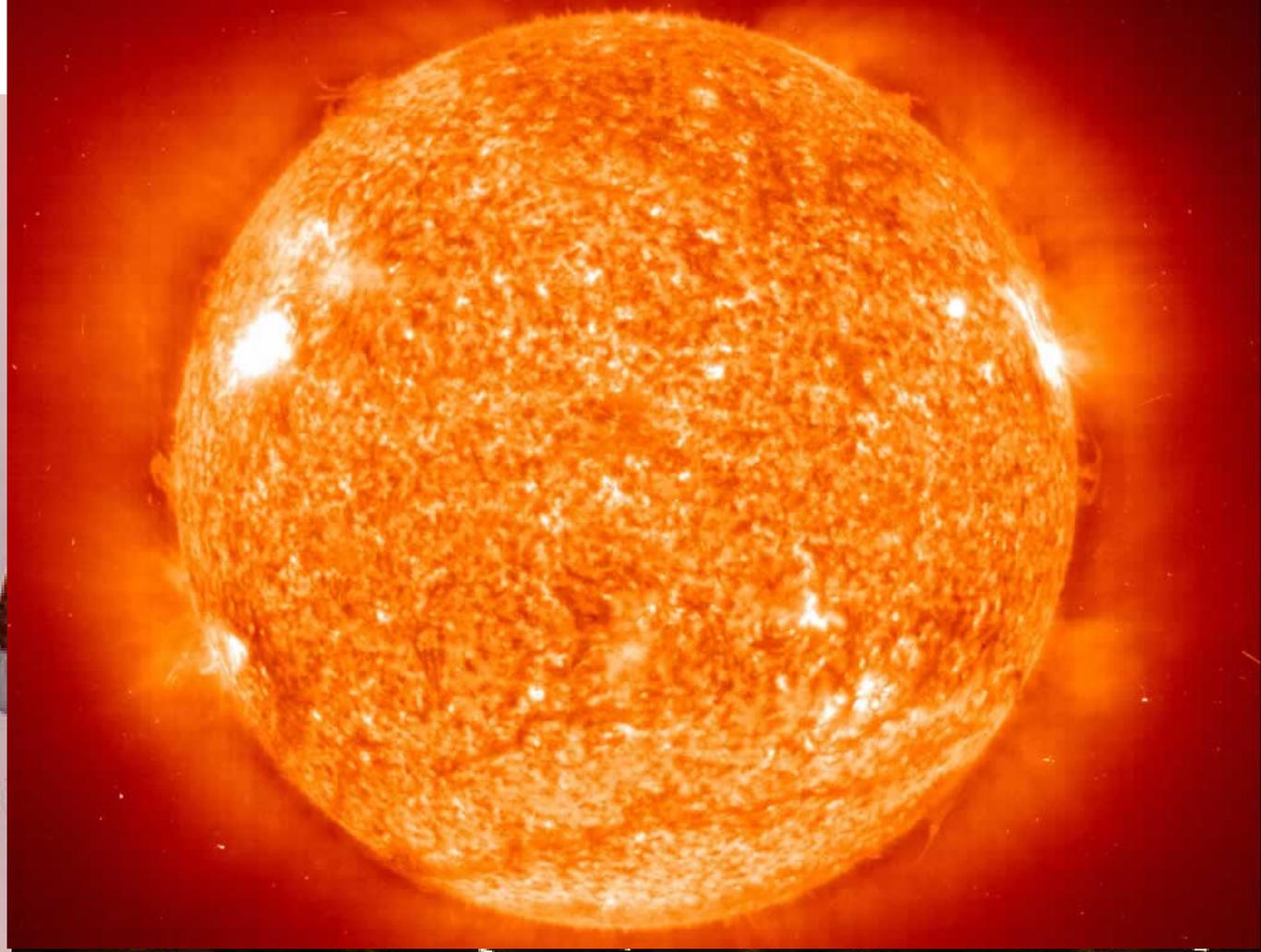
2^a

3^a

(en *GEV*)

Interacciones

Alberto Casas, Instituto de Física Teórica, IFT-CSIC/UAM, Madrid



**Todas estas interacciones son manifestaciones
de sólo**

4 interacciones básicas

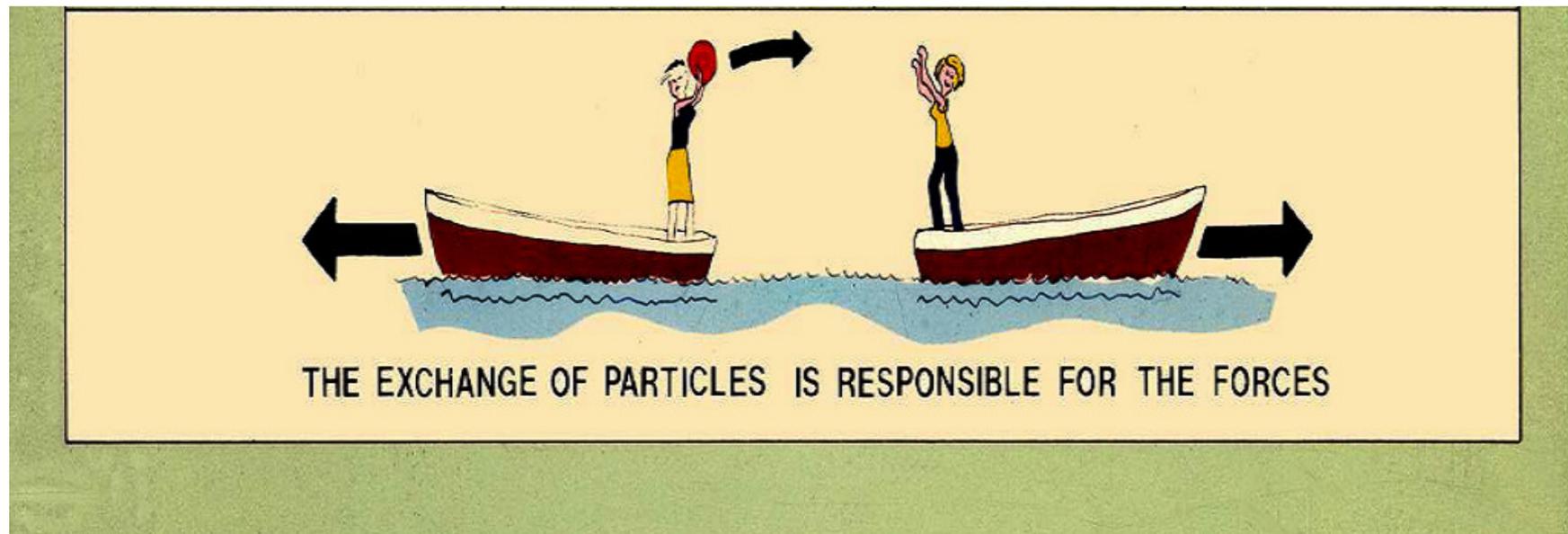
gravitatoria

fuerte

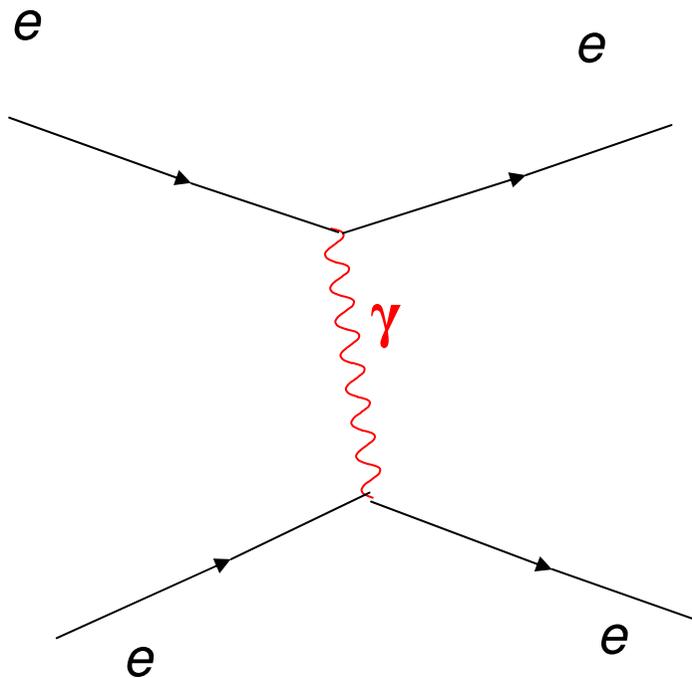
electromagnética

débil

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



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



Interacción Electromagnética

≡ Intercambio de fotones

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

**¡tienen
masa!**

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

1^a

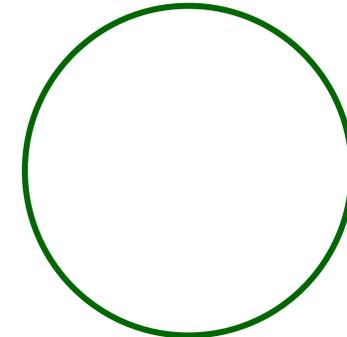
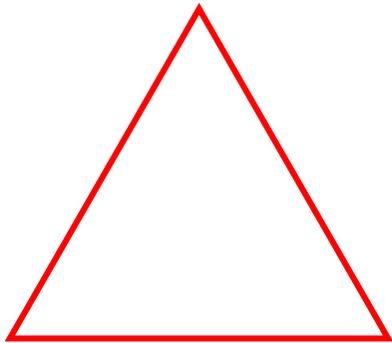
2^a

3^a

(en *GEV*)

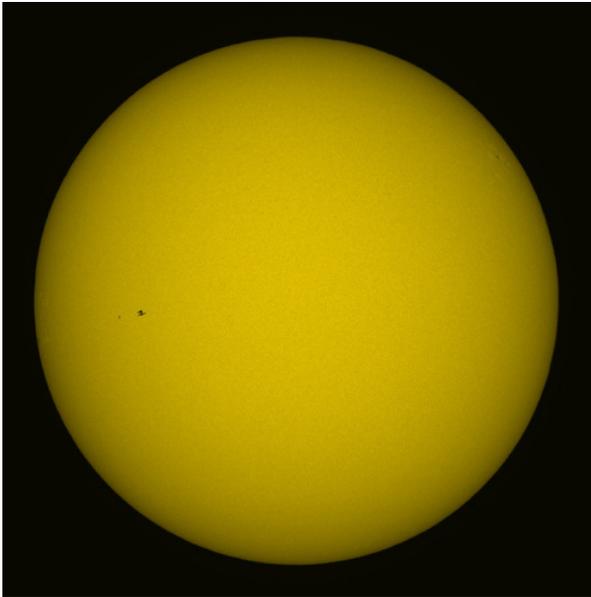
Simetría

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



Simetría \equiv Invariancia bajo transformaciones

**¿ Presenta la naturaleza alguna
simetría ?**



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

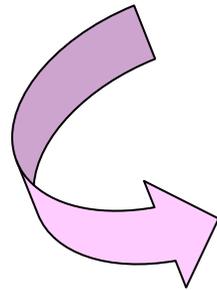
... y las leyes de la física tienen una enorme simetría

Es decir, quedan invariantes bajo ciertas transformaciones matemáticas

Por ejemplo:

**Las leyes de la física tienen
invarianza temporal:**

no cambian con el tiempo



**Conservación de
la Energía**

- **Traslaciones temporales**

Conserv. de la energía

- **Traslaciones espaciales**

Conserv. del momento

- **Rotaciones**

Conserv. del mom. angular

- **Cambios de sistema de referencia**
(transformaciones relativistas)

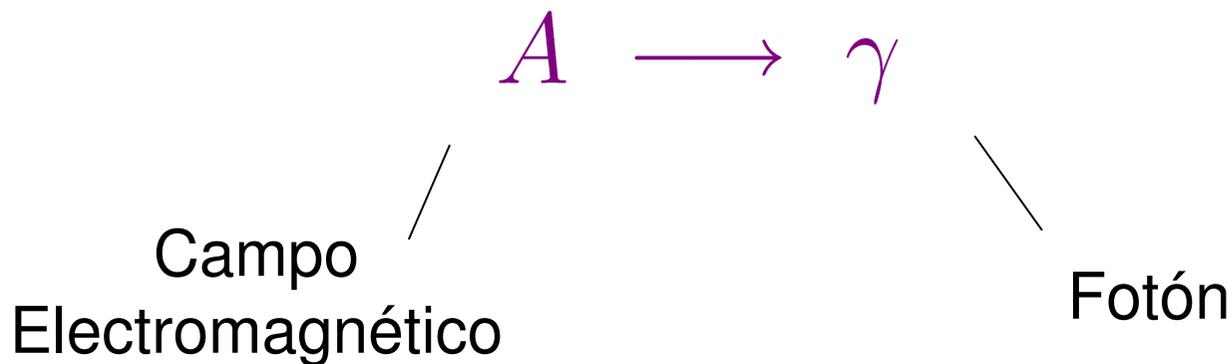
masa y espín

...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



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

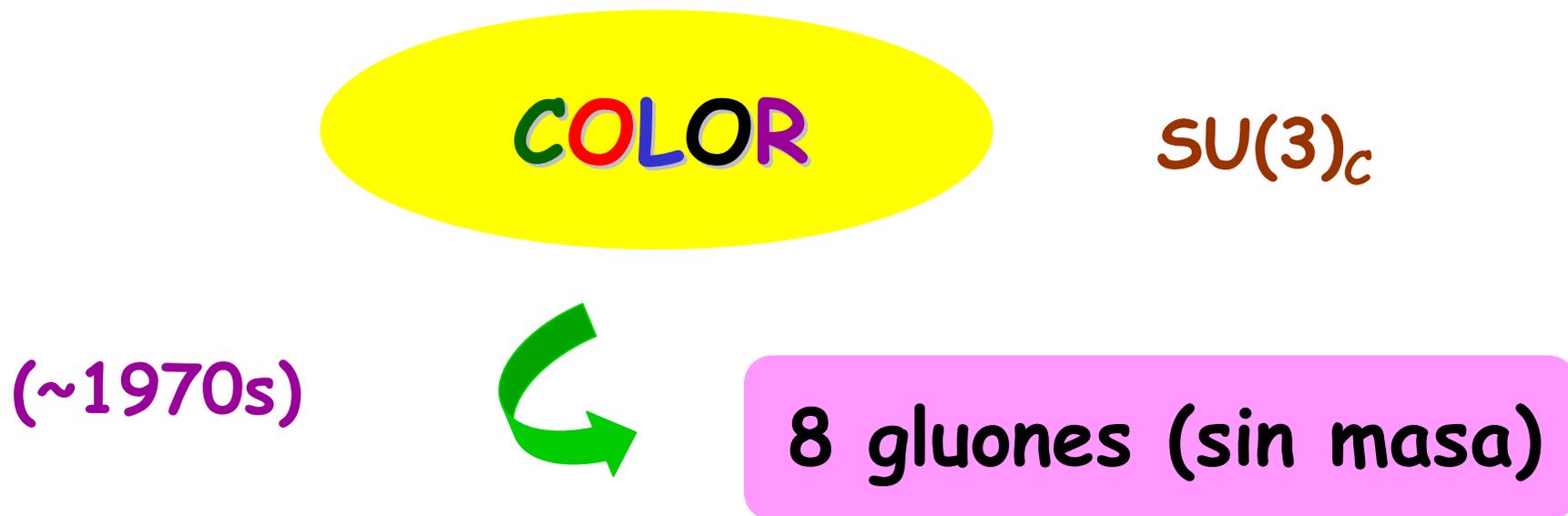
¡ La simetría **EM** es local !

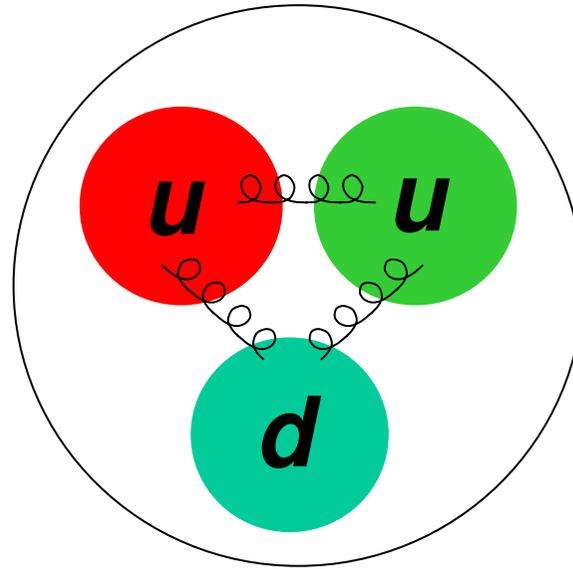
La interacción
electromagnética y
los **fotones**...

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

Interacciones fuertes:

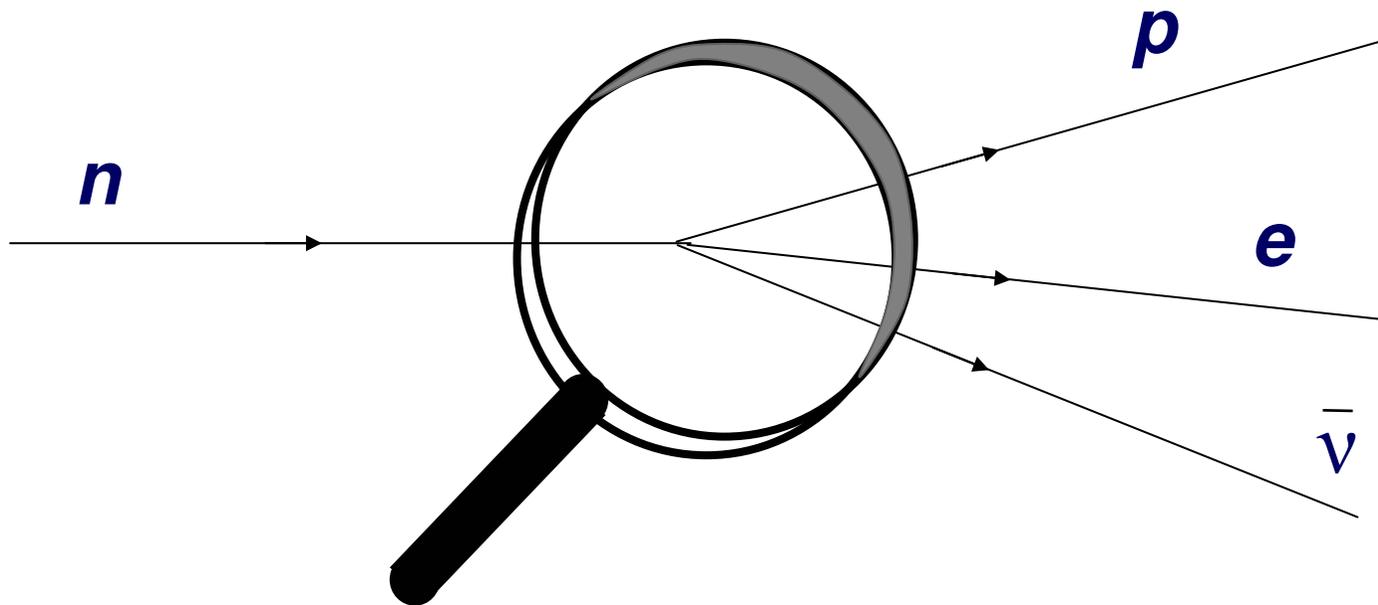
... son consecuencia de otra simetría local:





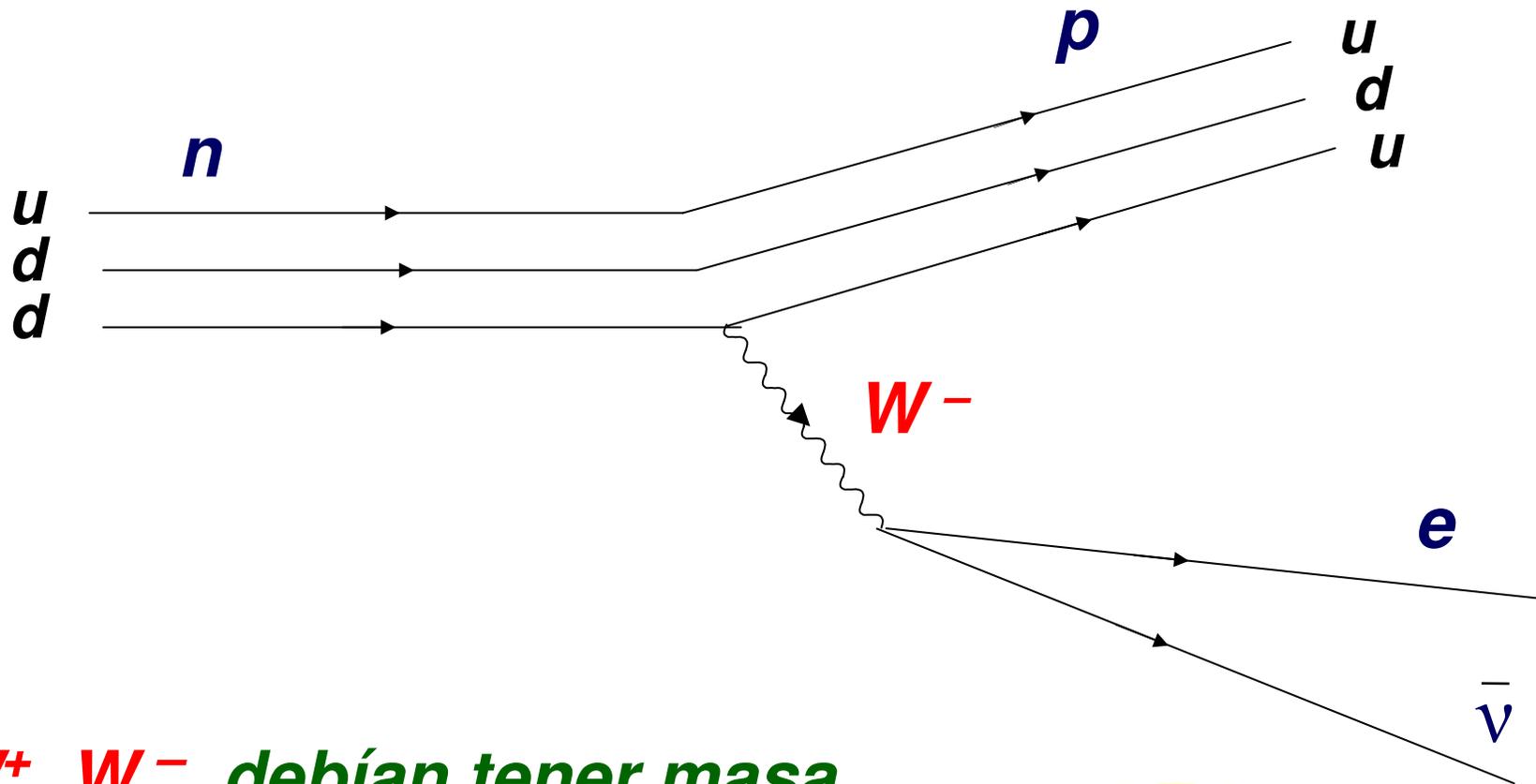
protón

Interacciones débiles:



Fermi (1933)

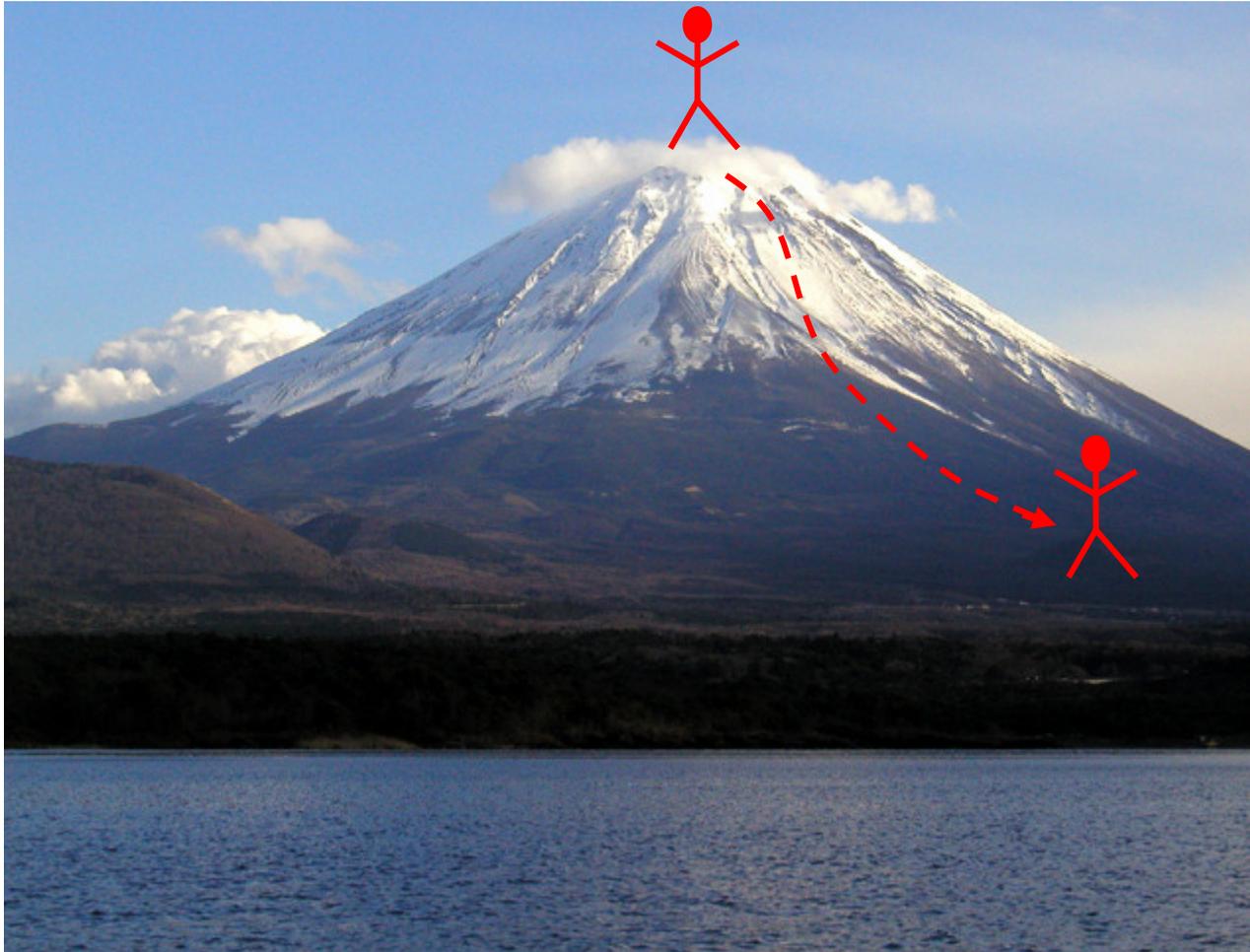
Interacciones débiles:



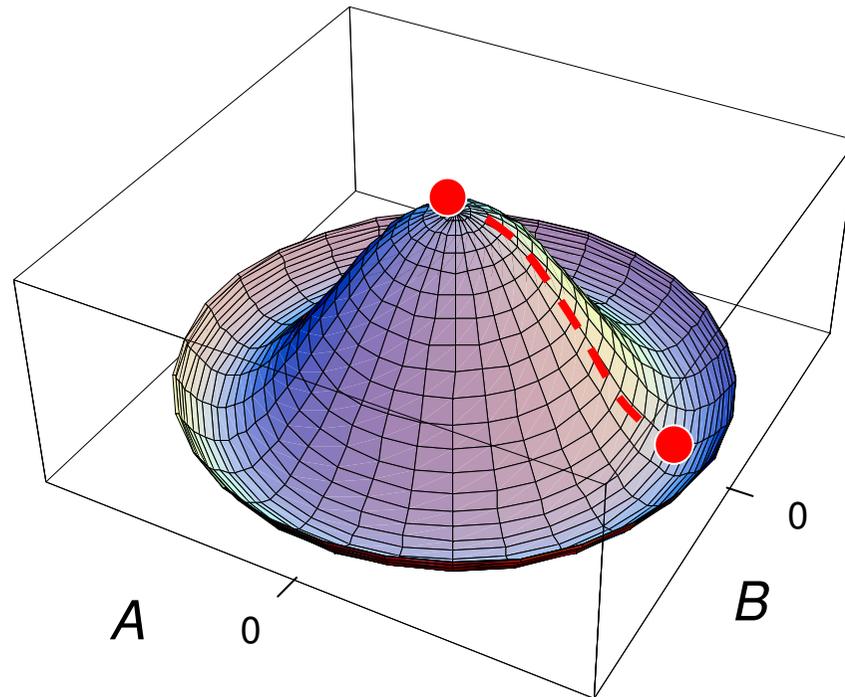
W^+ , W^- debían tener masa

problema

Simetrías rotas

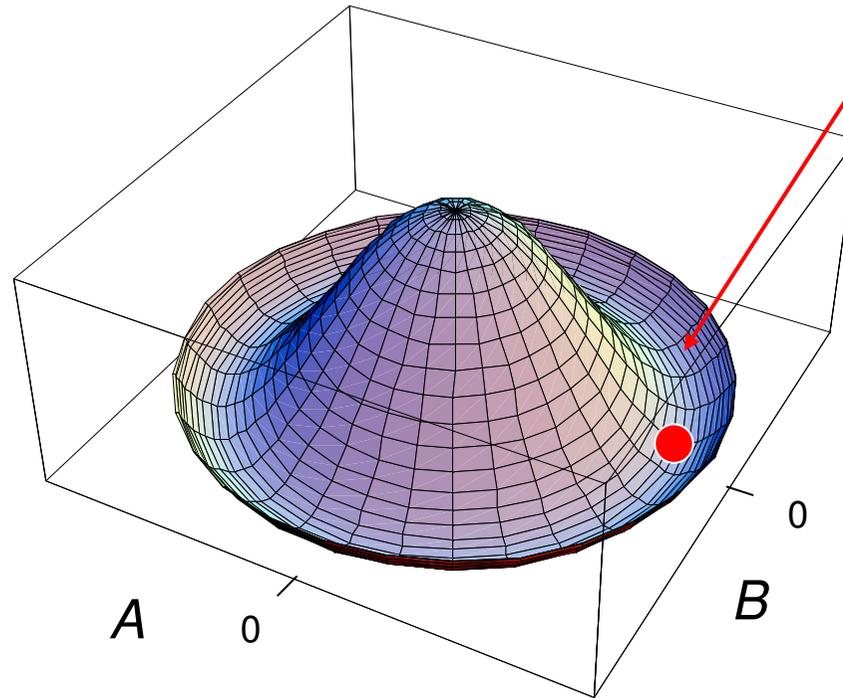


Ruptura espontánea de simetría



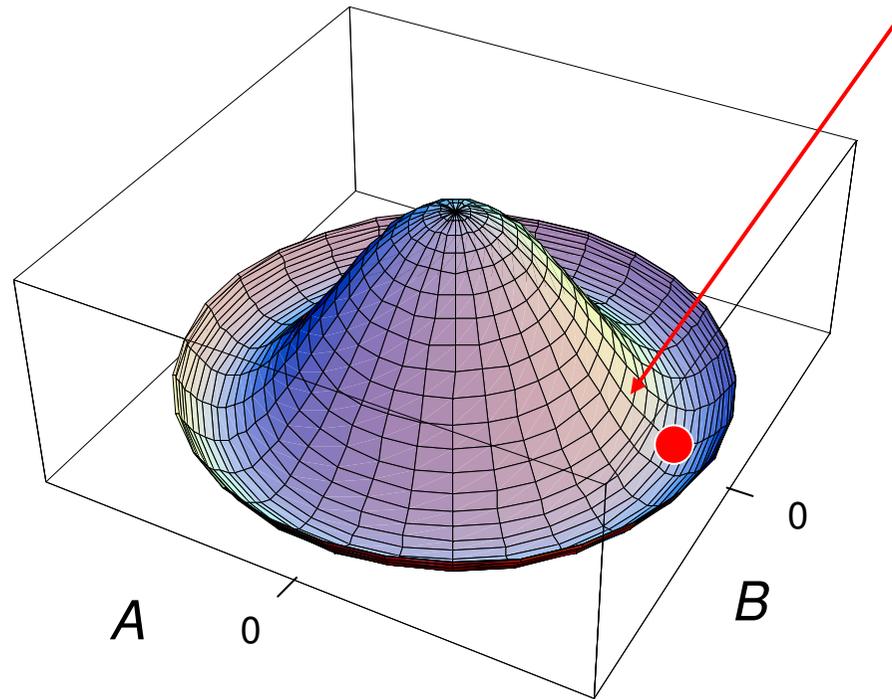
Mecanismo de Higgs

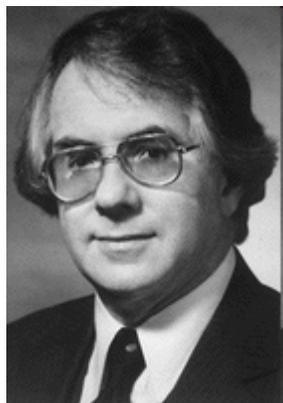
Da masa al
bosón mediador
("fotón")



Mecanismo de Higgs

Partícula con
masa (Higgs)





1960s

Glashow Weinberg Salam

Simetría Electrodébil:

ED

$SU(2) \times U(1)$

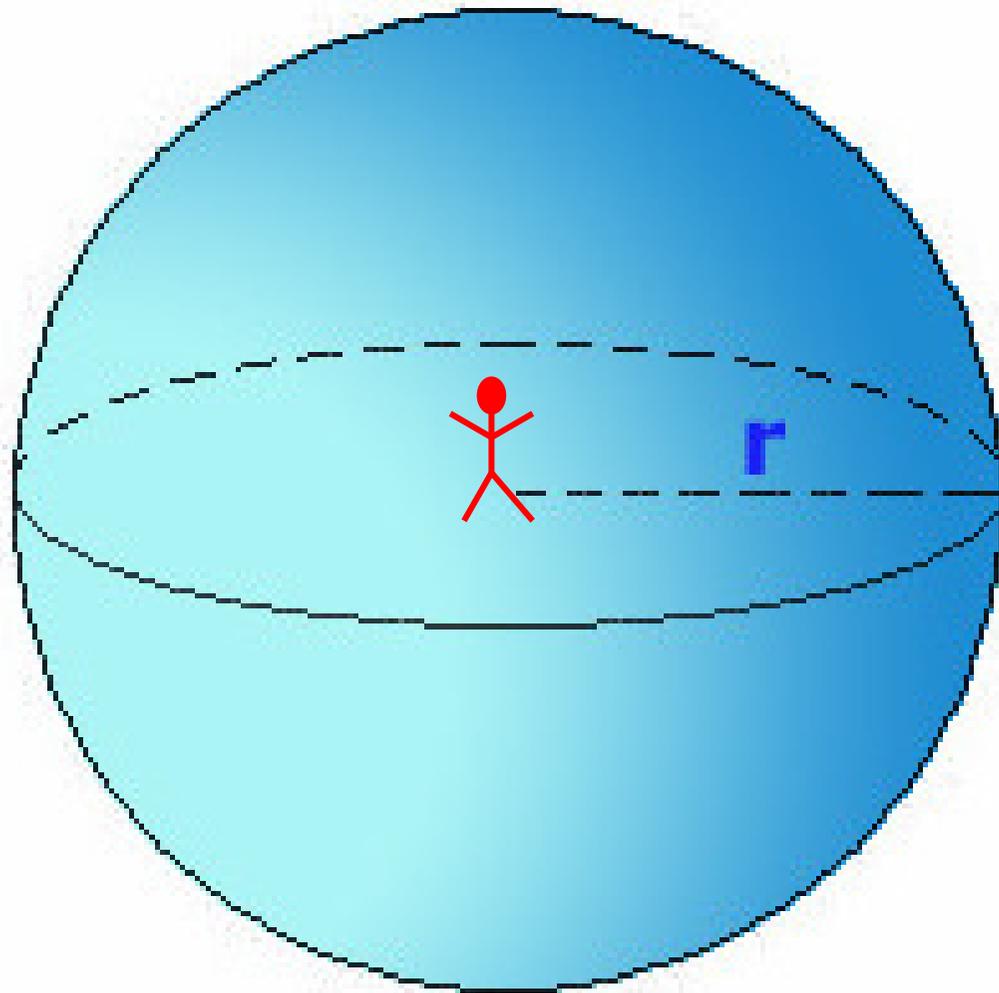
ED

Rupt. Esp.



EM

$\langle H \rangle$





★ En el proceso 3 partículas mediadoras:

W^+, W^-, Z

(Descubiertas en el
CERN en 1983)

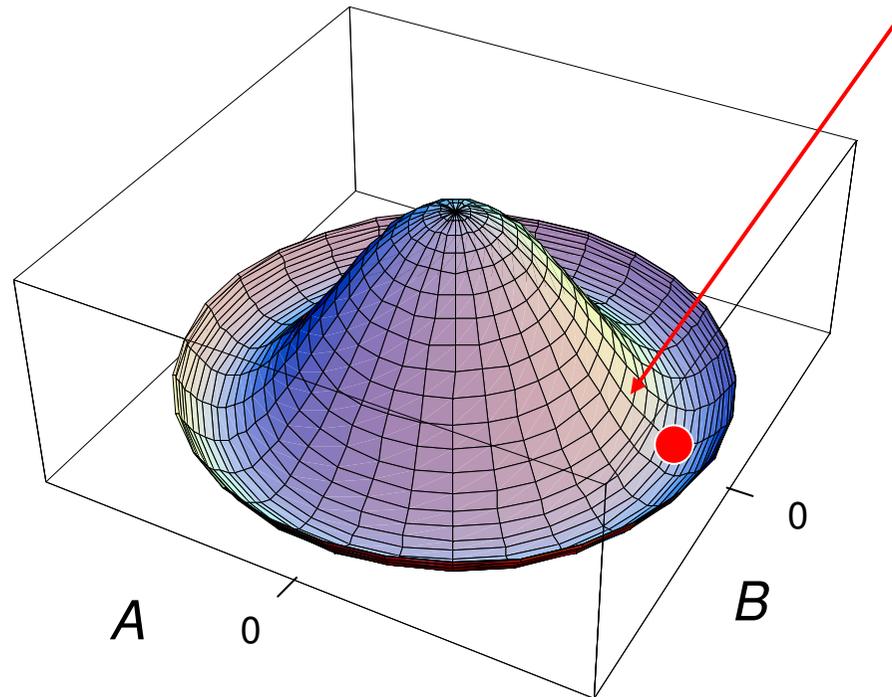
adquieren masa

★ Y una partícula mediadora:

γ (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

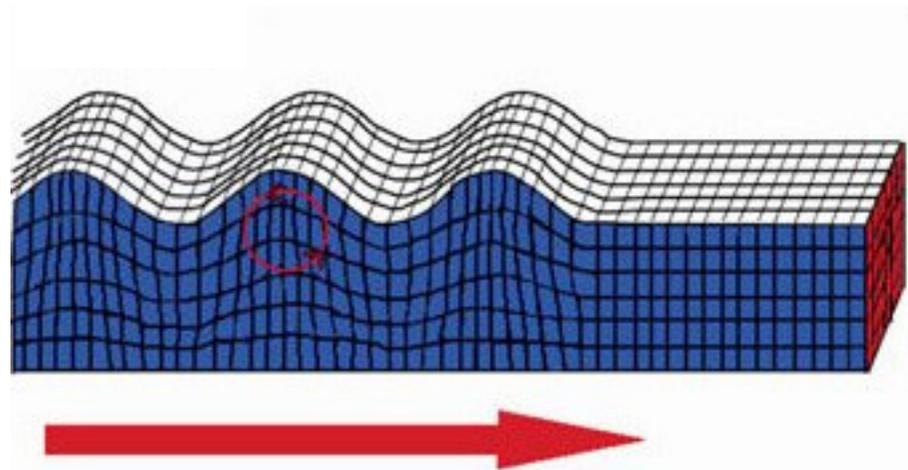


Fricción con un
líquido viscoso

Bosón de Higgs



Ondas 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.?**

...Continuará en
parte 2...