Física mas allá del modelo estándar

Rodrigo Alonso

30/06/2017

Programa de profesores

Indice

- El Modelo Estándar
- Razones para ir mas allá
- Evidencia ‘palmaria’ y Modelos
- Evidencia teórica y Modelos

Antes de ir mas alla': Standard Model

El principio central

Simetria Gauge

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$$

$$g_s\,,\quad g\,,\quad g' \quad \sim 1$$

SM: Contenido de Materia

Grupo Gauge

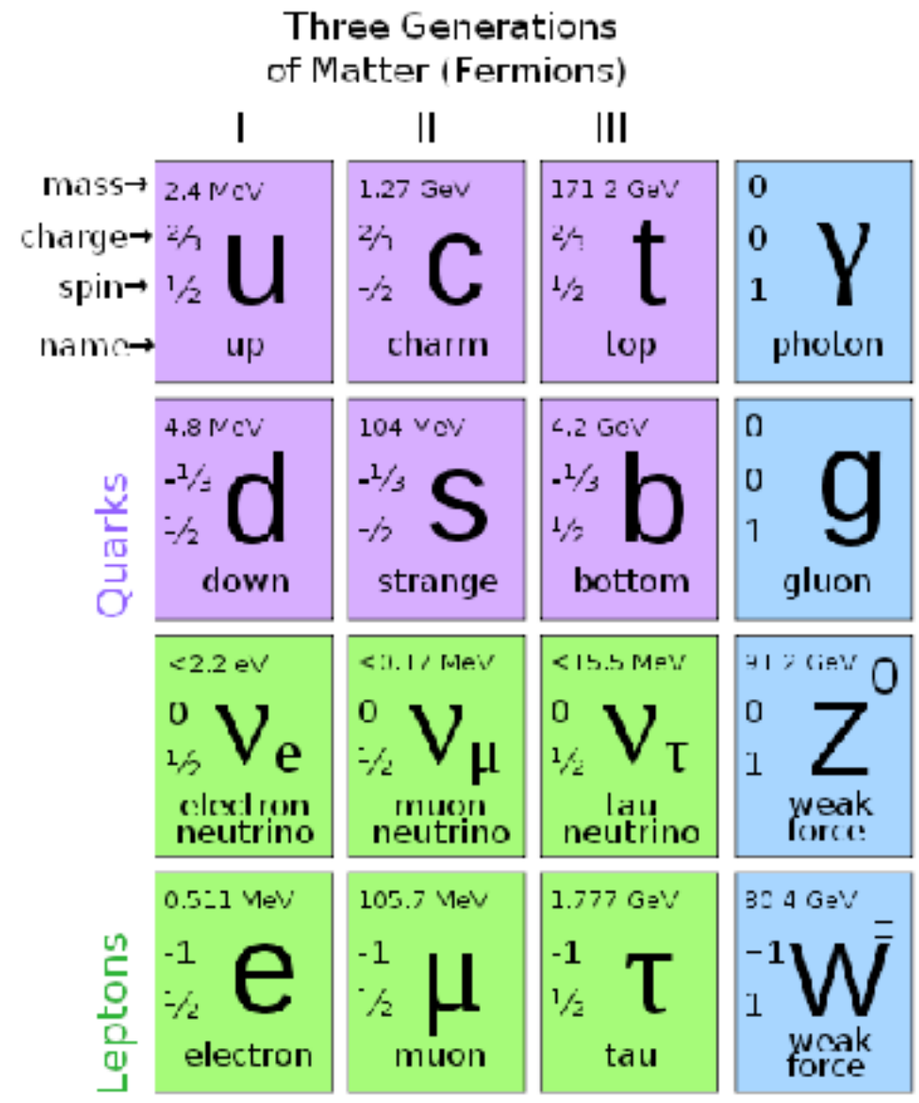
Fermiones

	$SU(3)_c$	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$
q_L	3	2	1/6
u_R	3	1	2/3
d_R	3	1	-1/3
ℓ_L	1	2	-1/2
e_R	1	1	-1

Int. Fuerte

Int. Isospin Debil

Hypercarga

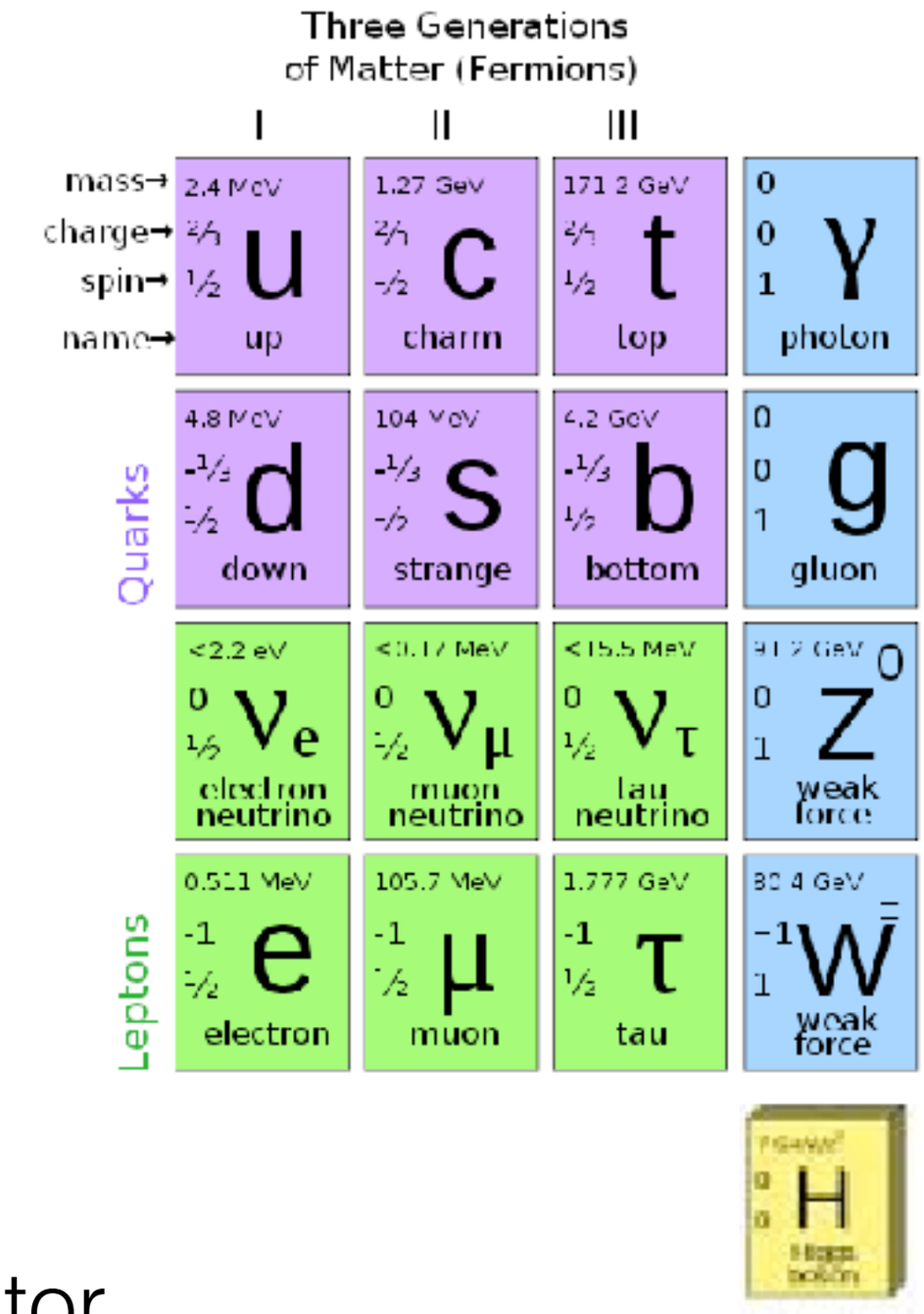


SM: Contenido de Materia

Gauge Group

Fermions

	$SU(3)_c$	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$
q_L	3	2	1/6
u_R	3	1	2/3
d_R	3	1	-1/3
ℓ_L	1	2	-1/2
e_R	1	1	-1



The scalar sector

Por que' ir mas allá del Modelo Estándar ?

Evidencia palmaria

- Energia Oscura
- Materia Oscura
- Masas de Neutrinos
- Baryo-genesis

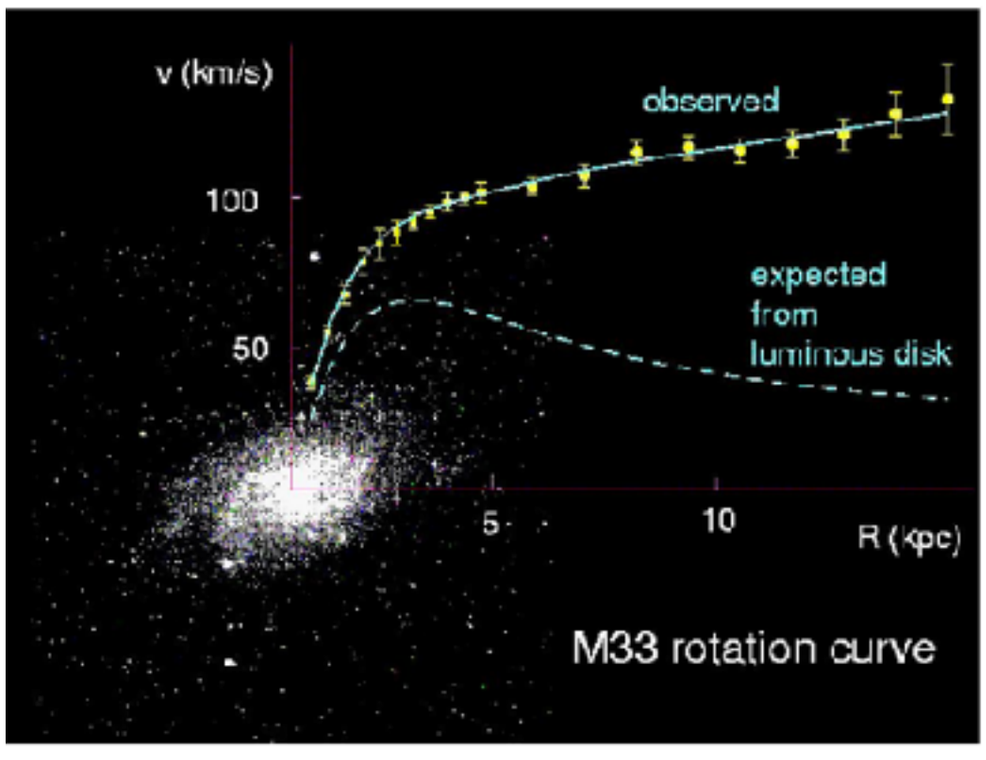
Evidencia Teorica

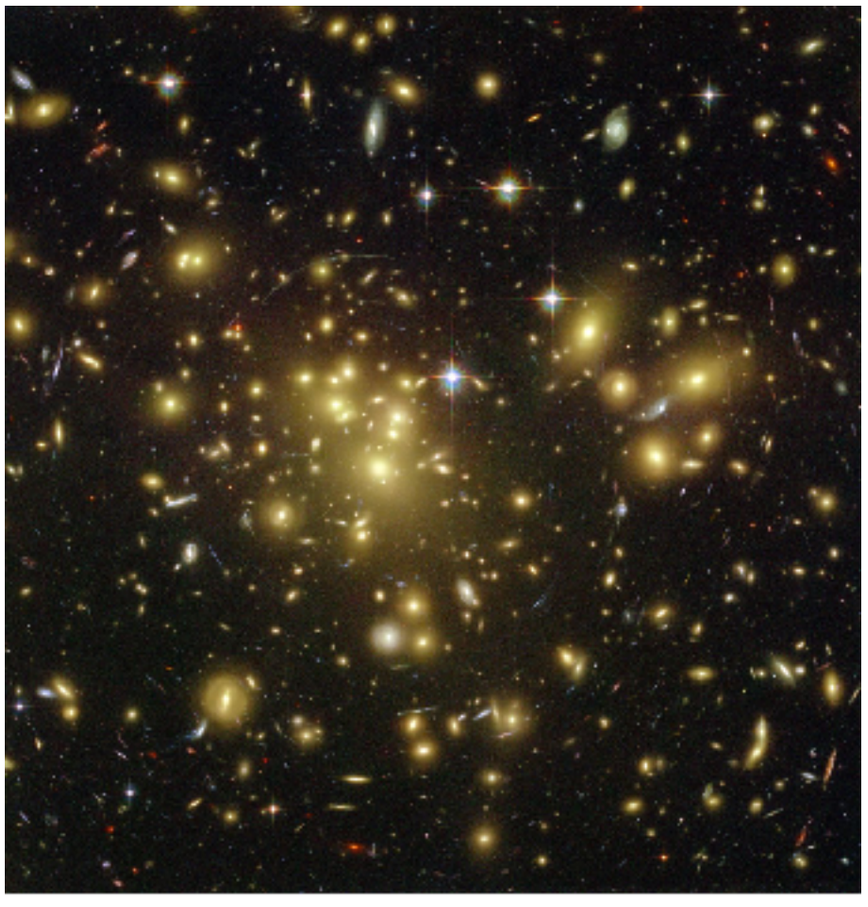
- Problema de la jerarquia
- Problema fuerte de CP
- Puzzle de Sabor

Teoria Cuántica de Gravedad

Materia Oscura

$$\frac{v^2}{R} \sim G_N \frac{M_{in}}{R^2}$$



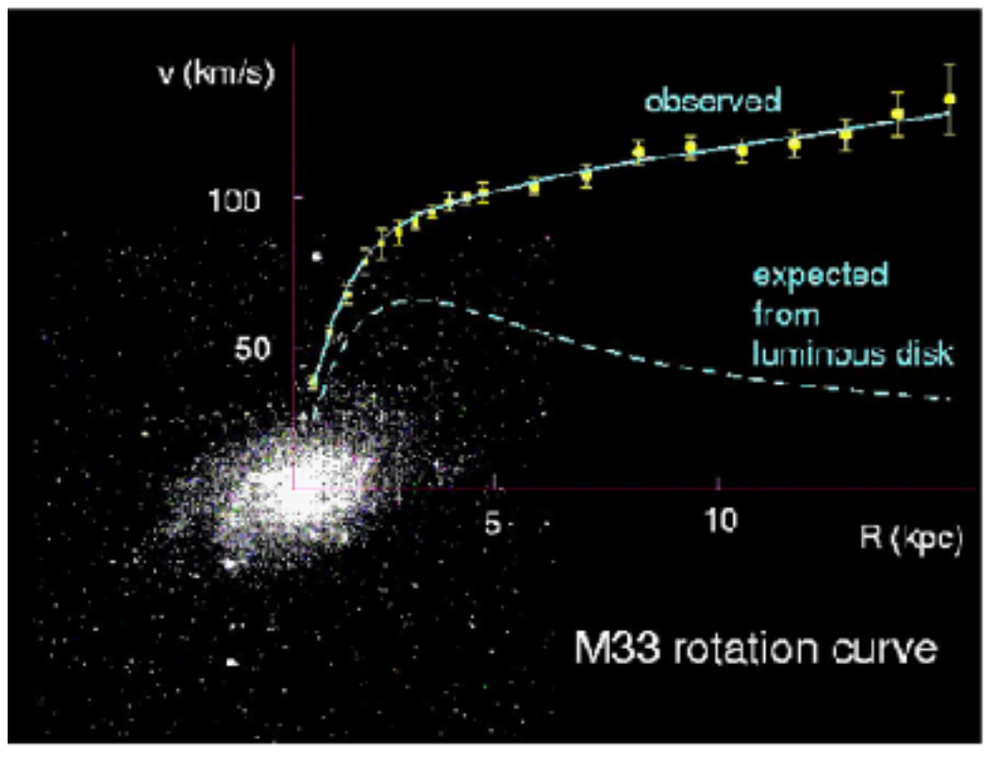


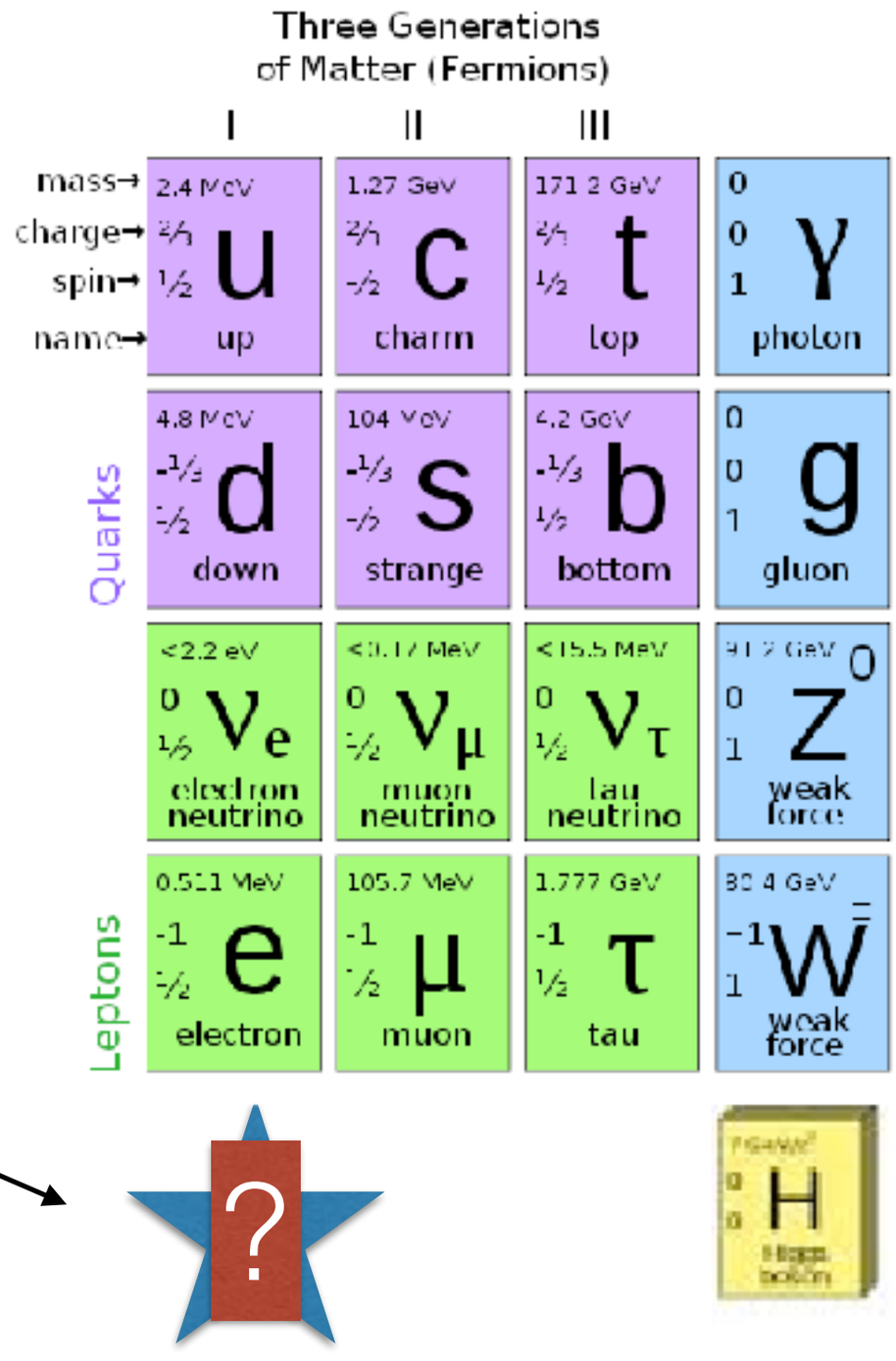
Gravitational lensing

Etc

Materia Oscura

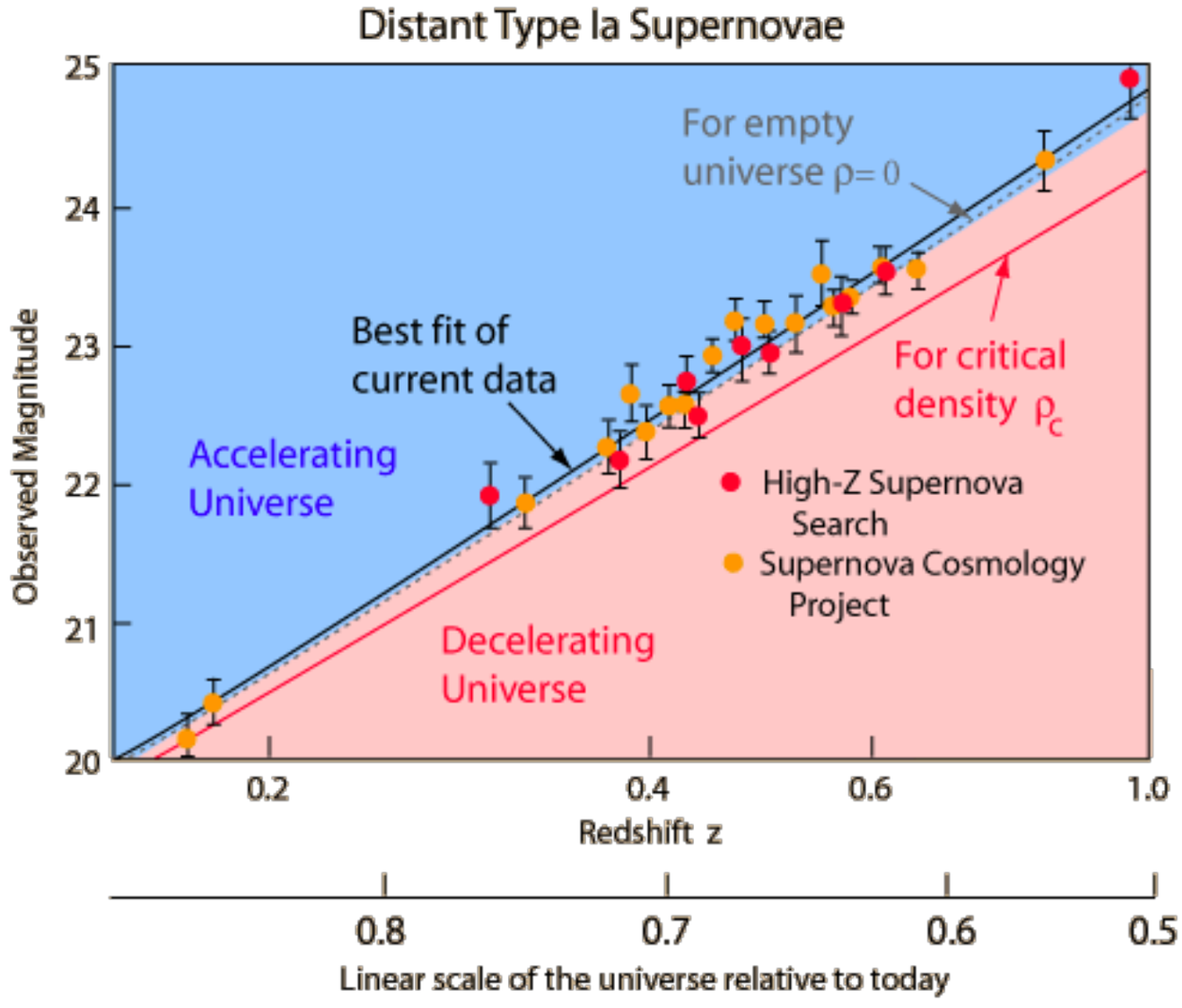
$$\frac{v^2}{R} \sim G_N \frac{M_{in}}{R^2}$$





?

La aceleración del universo



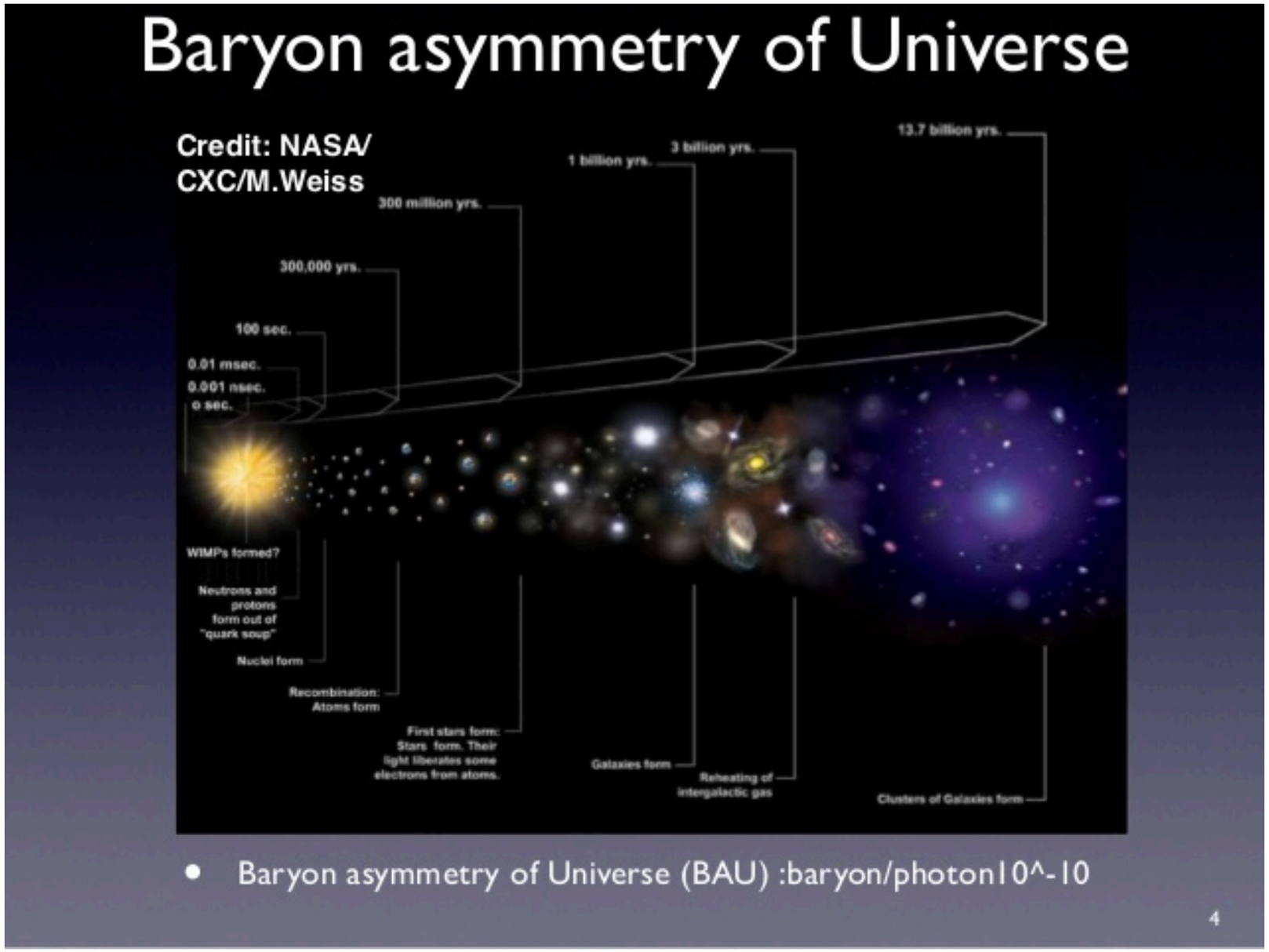
Densidad de energia del vacío: $10^{-29}\mathrm{g/cm}^3$

‘Estimación’ del Modelo Estándar

10^{55}

Veces mayor?!!

Por que hay mas materia que antimateria?



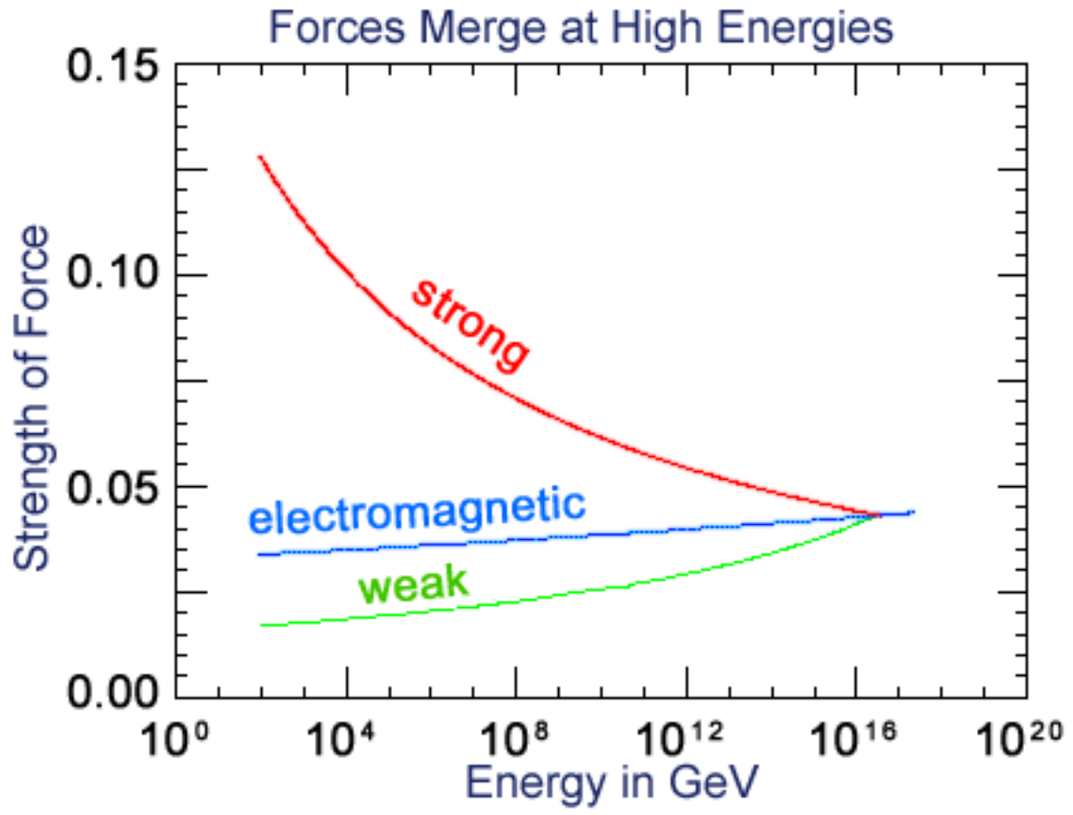
Un baryon (proton) por cada 10 mil millones de fotones

Posible explicación: Grand Unified Theories

Tienen todos los ingredientes:

i) No respetan CP (Necesariamente)

ii) No respetan numero Baryonico

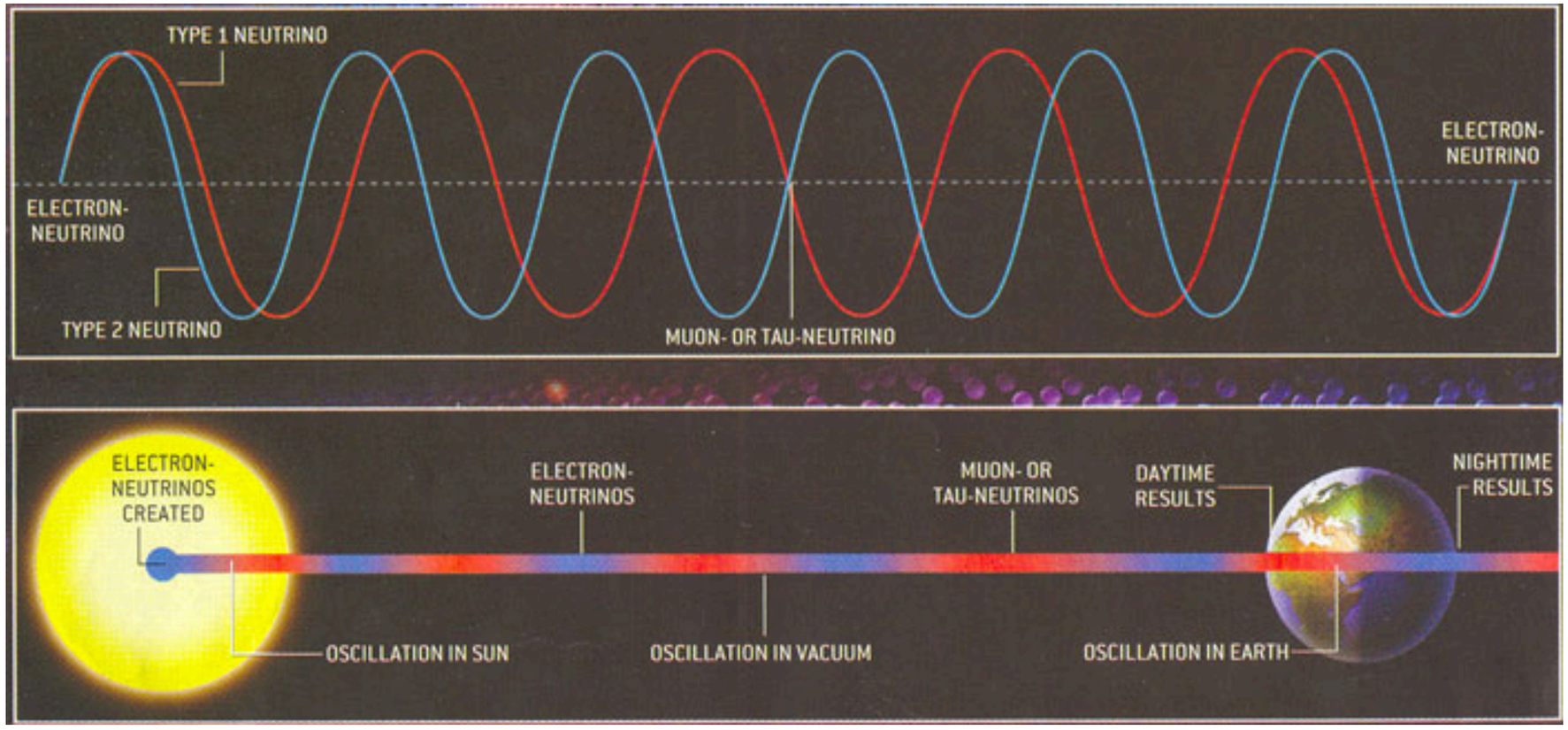


e.g. $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \subset SU(5)$

Relacionan quarks y leptones

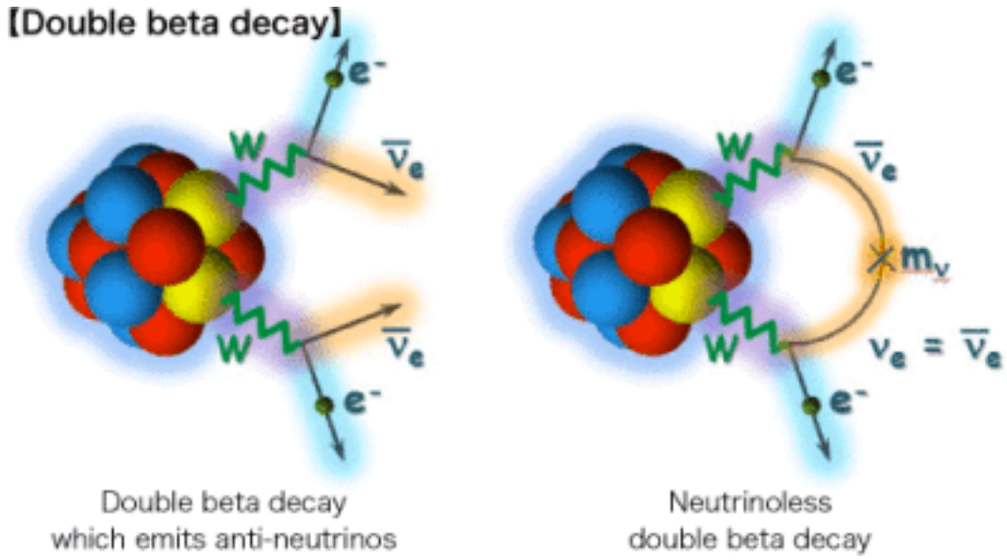
Testabilidad: decaimiento del proton

Los neutrinos tienen masa



Esta masa podría ser fundamentalmente distinta a al del resto de fermiones:

Los neutrinos podrían ser su propia antipartícula



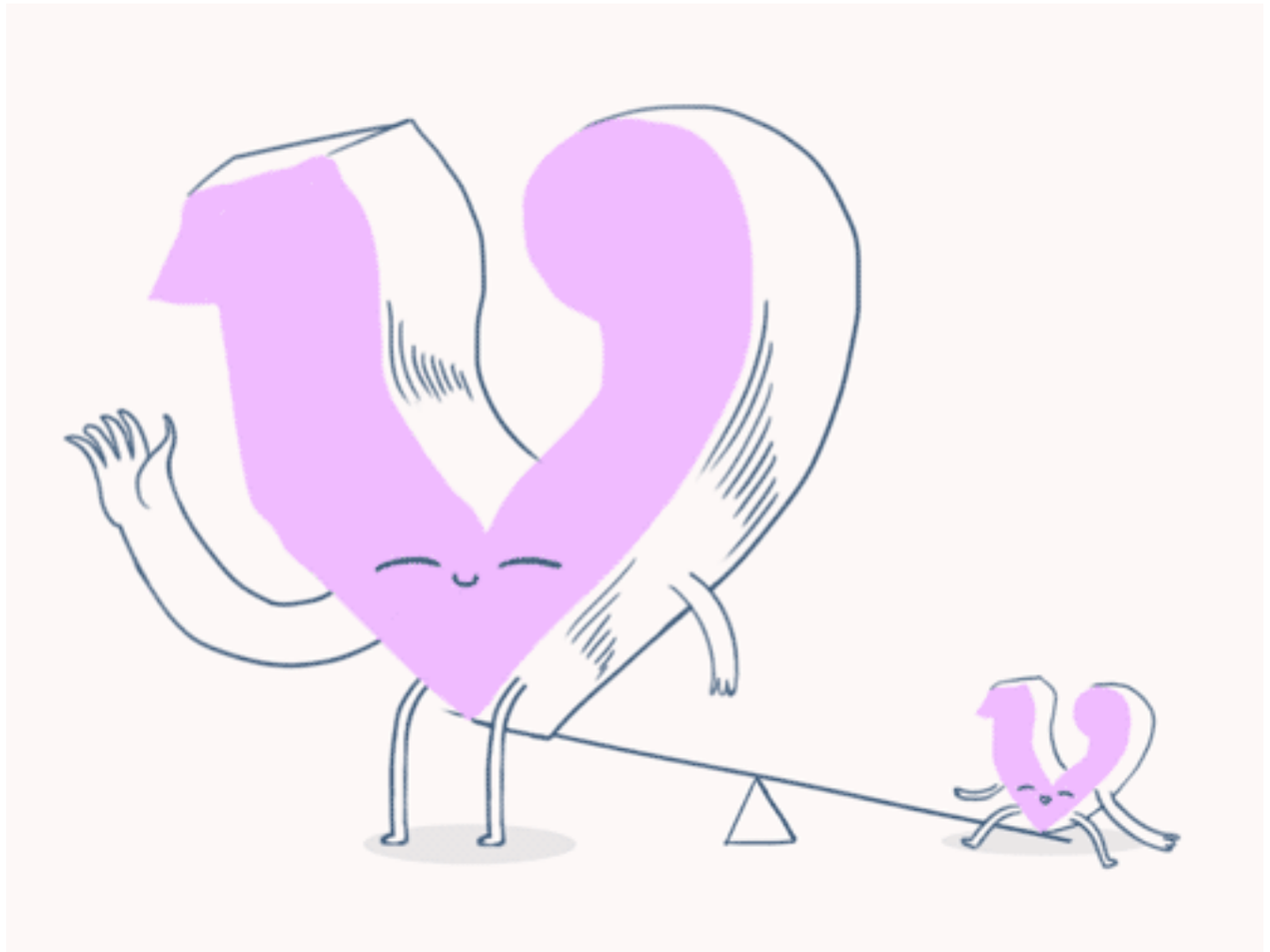
Double beta decay which emits anti-neutrinos

Neutrinoless double beta decay

Modelo de See-saw

Nuevas partículas,
'Neutrinos diestros'
se acoplan a los
neutrinos que conocemos
Y producen una masa

$$m_{\nu_L} \sim \frac{1}{M_{\nu_R}}$$



En general son demasiado pesados para ser
detectados en el futuro cercano…
Pero hay otros medios, Leptogenesis, muon decays…

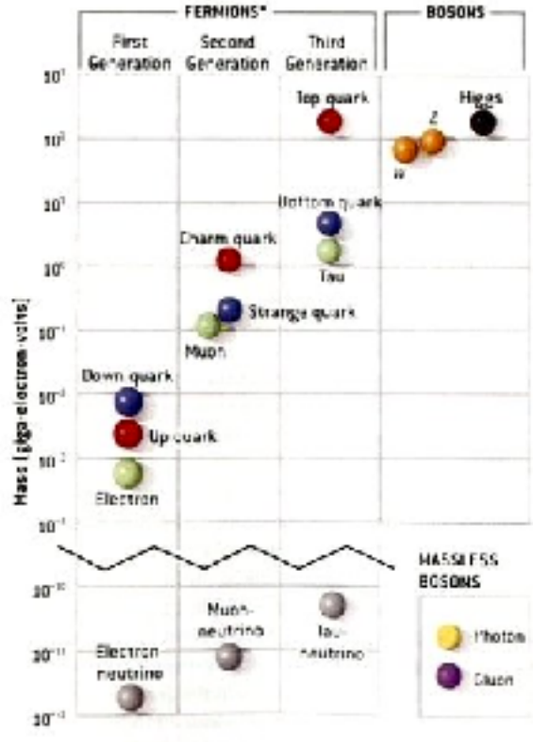
Cual es el mecanismo de rotura de la interacción electro-debil?

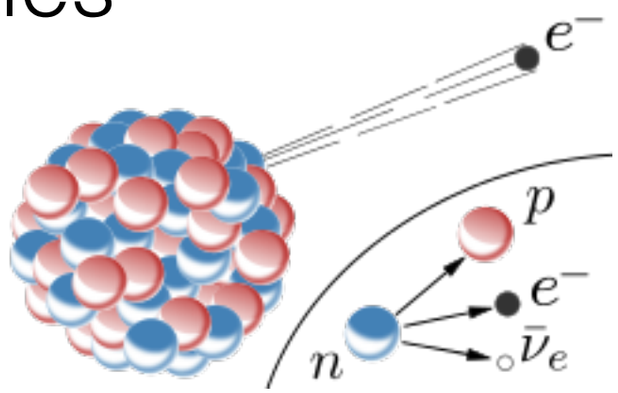
El Modelo Estándar tiene un aparente conflicto:

Interacción debil

vs

masas de partículas elementales





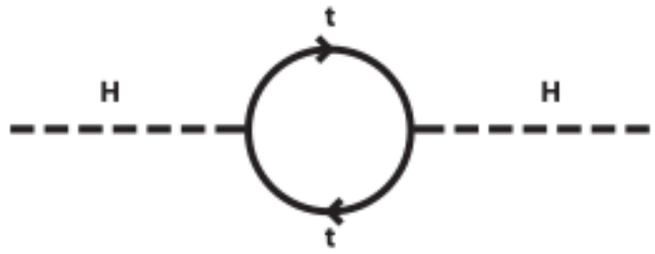
Resuelto por el Mecanismo de Higgs

Introducimos un campo escalar para la reconciliación

Por que el Higgs tiene la masa que tiene?

El campo de Higgs produce masa para el resto de partículas

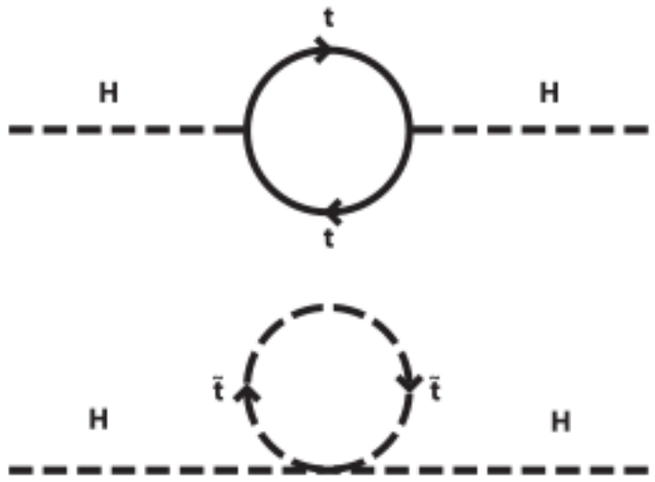
Y la suya?

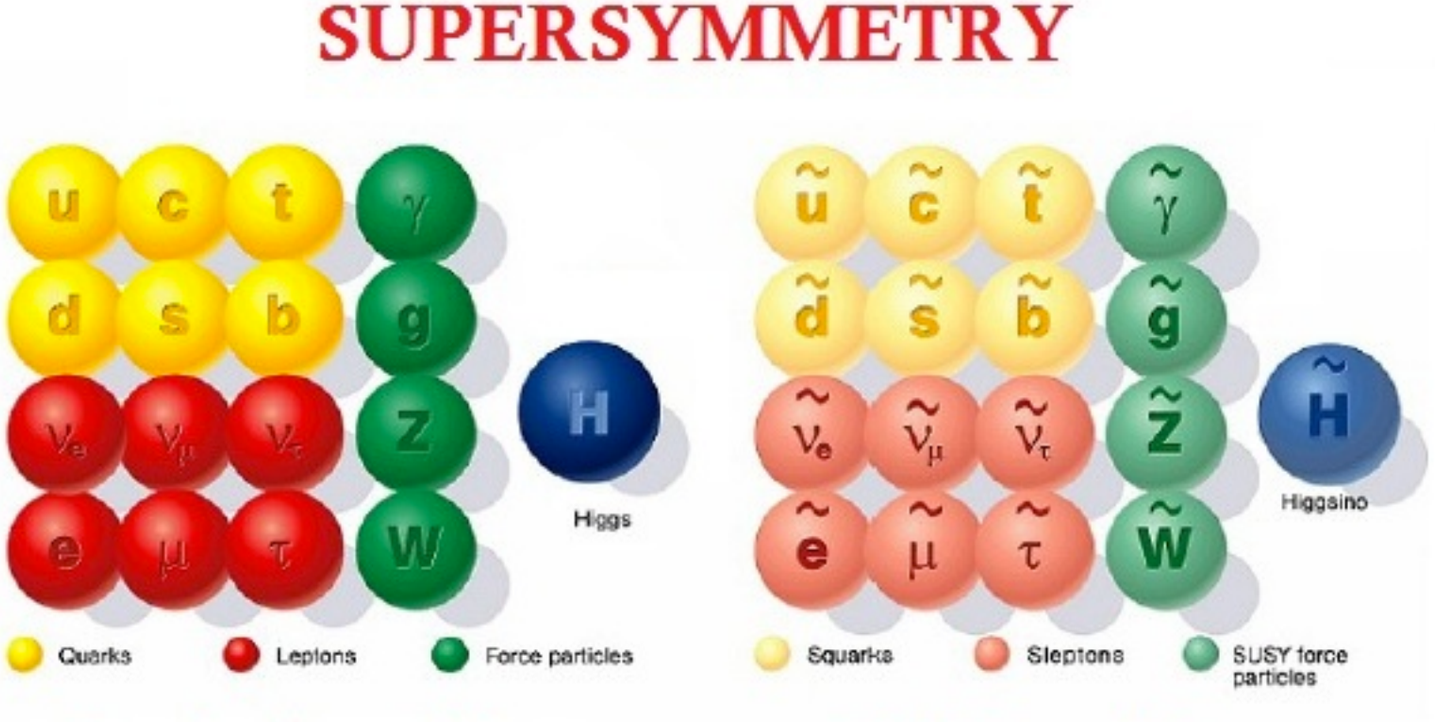


Correcciones Cuánticas

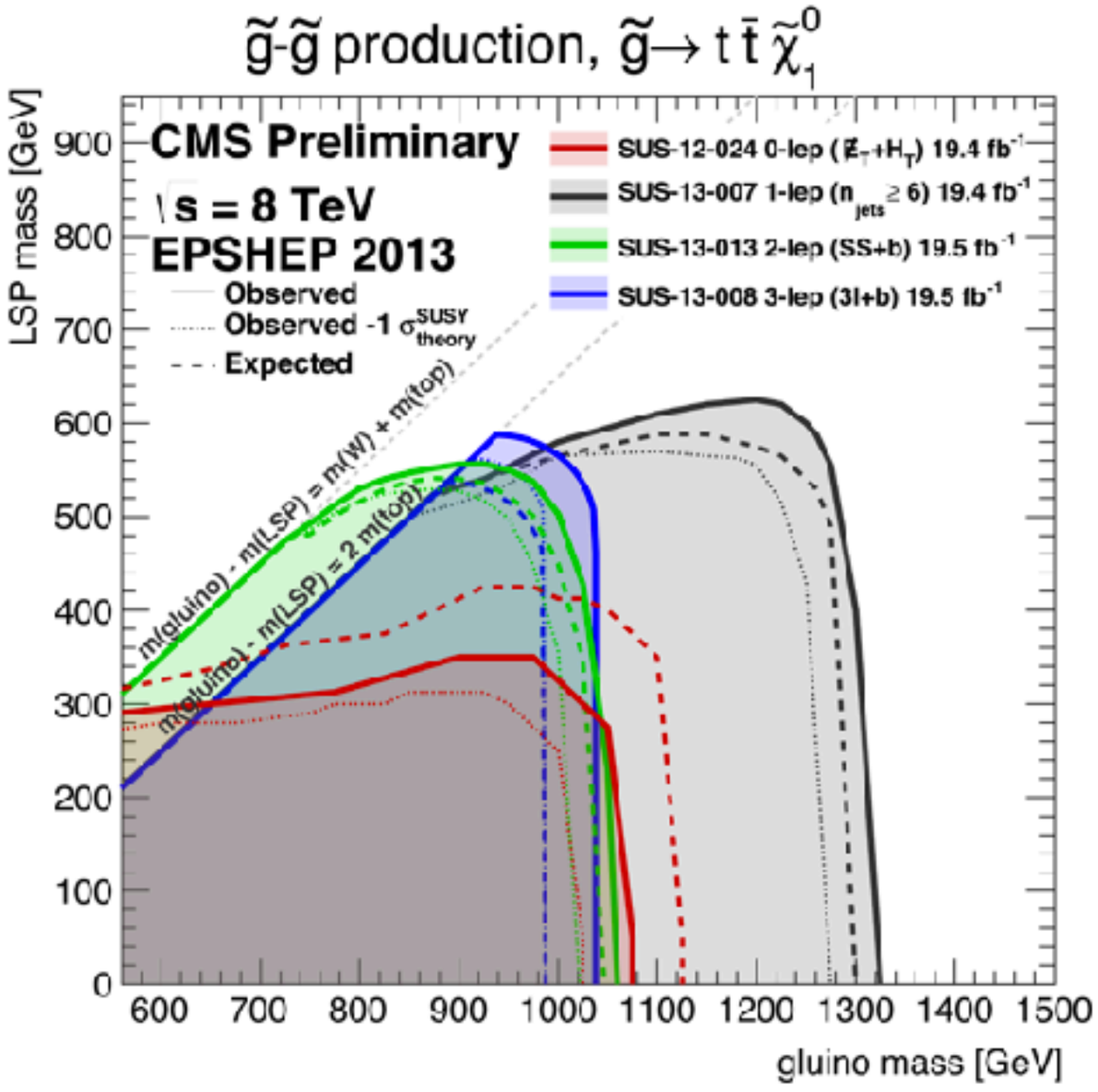
$$m_h \sim m_h^2(0) + \frac{g^2}{16\pi^2}\Lambda^2$$

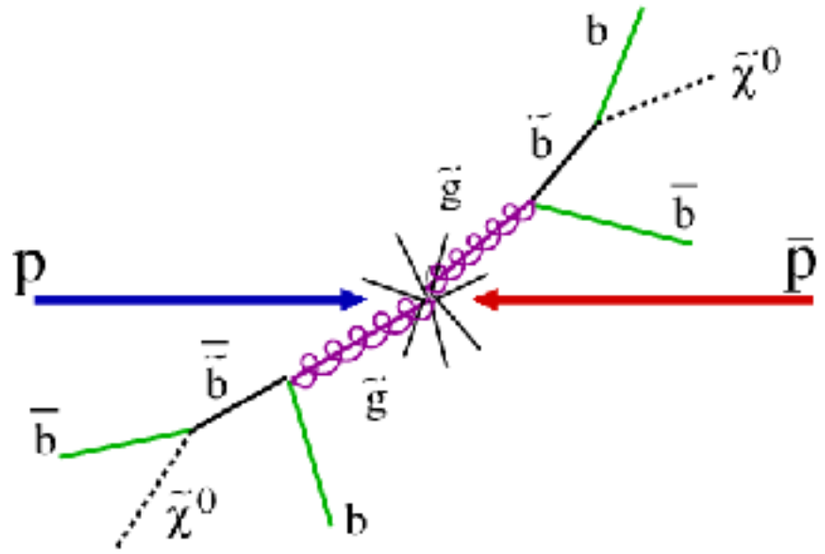
Supersymmetry

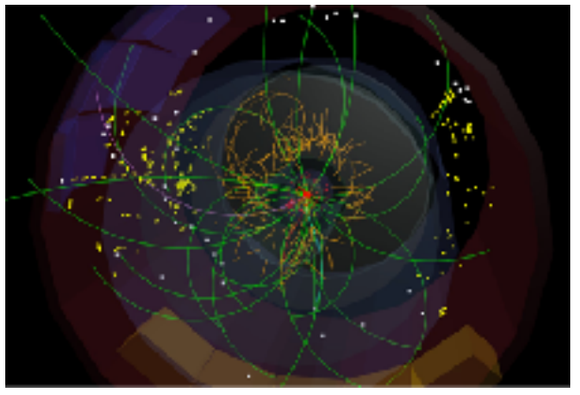




Supersymmetry



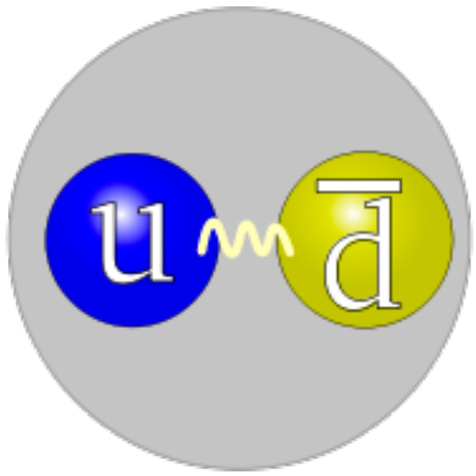




No hemos visto nada de momento

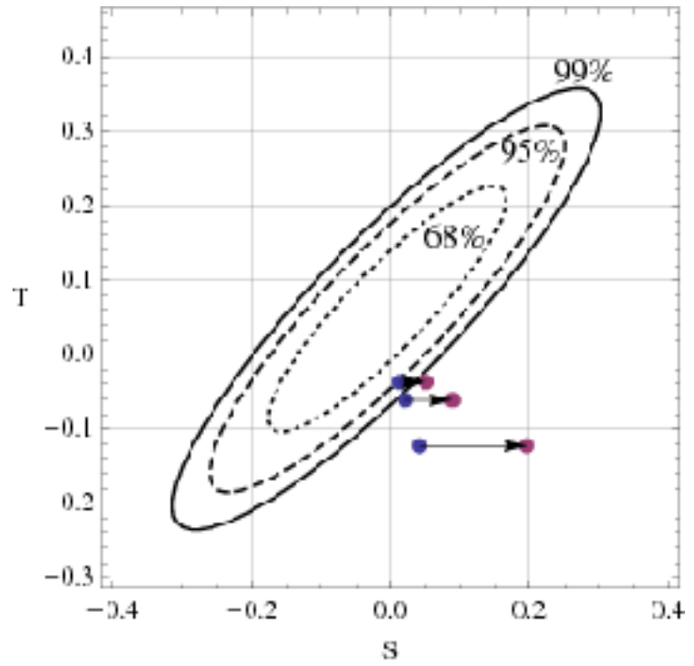
Es el Higgs un estado compuesto?

De hecho conocemos particular sin espín
y con masa protegida; los piones



Podría el Higgs ser un estado compuesto de
Una nueva interacción?

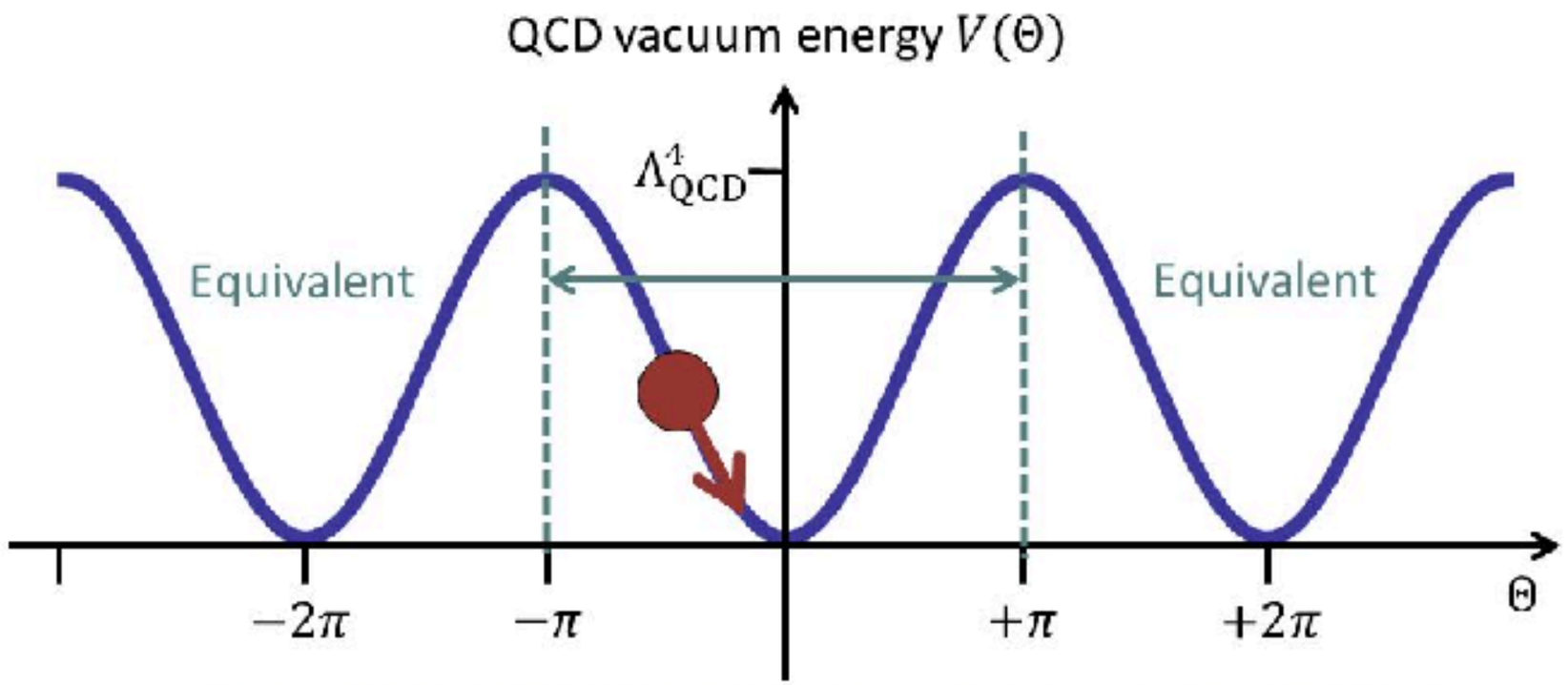
COMPOSITE HIGGS MODELS



?

El vacío de QCD

Strong CP Problem



- CP conserving vacuum has $\Theta = 0$ (Vafa and Witten 1984)
- QCD could have any $-\pi \leq \Theta \leq +\pi$, is "constant of nature"
- Energy can not be minimized: Θ not dynamical

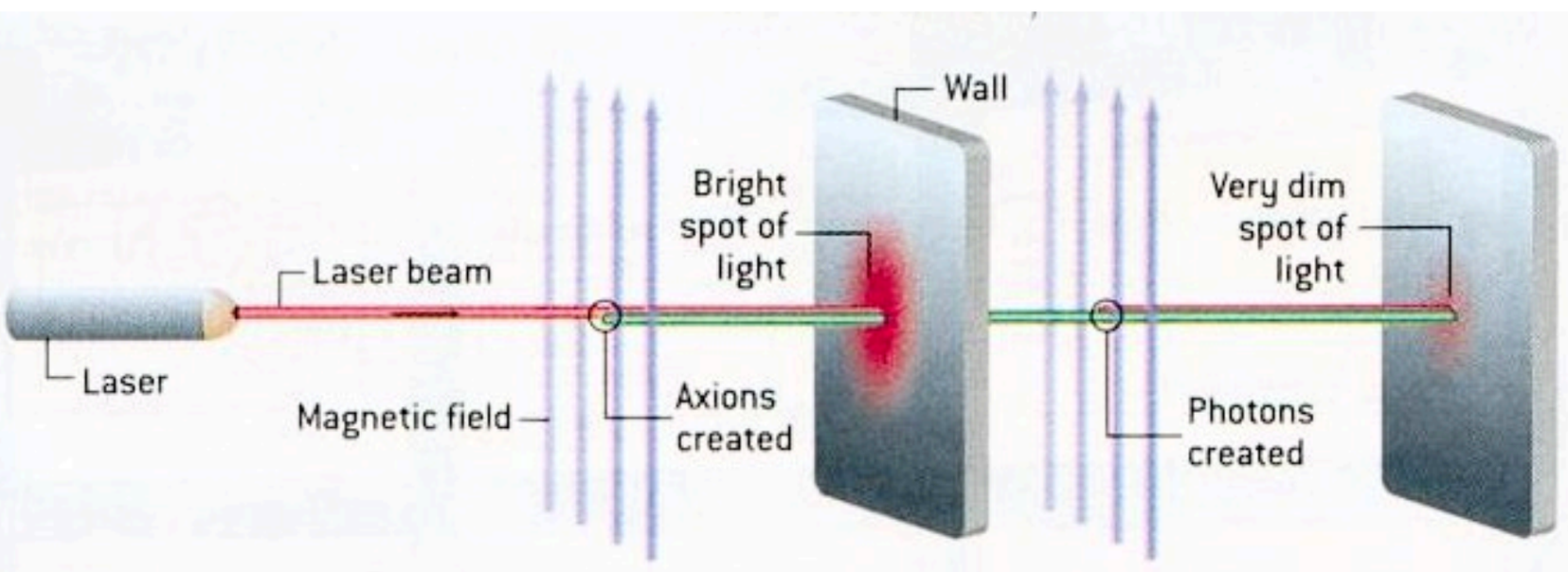
Peccei-Quinn solution:
Make Θ dynamical, let system relax to lowest energy

$$\theta \, \vec{E}_{QCD} \cdot \vec{B}_{QCD} \qquad\qquad \theta \leq 10^{-10}$$

Axion

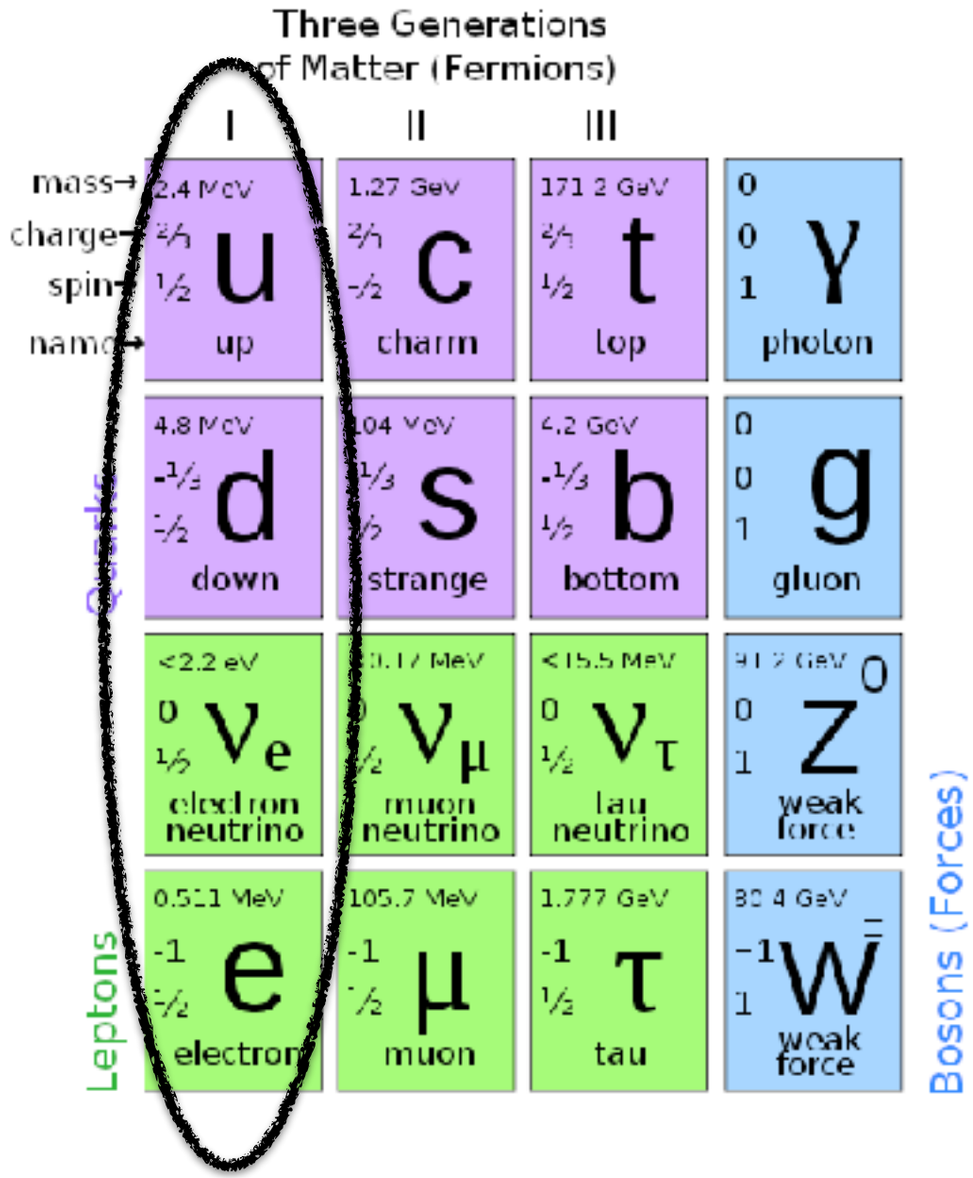
El axion modifica el vacío de manera
que selecciona el caso en el que CP se conserva

$$a\,\vec{E}\cdot\vec{B}$$



LIGHT BEAM experiment that would confirm the existence of axions passes a laser beam through a strong magnetic field, converting some photons to axions (*green beam*). The axions penetrate a wall before passing through another magnetic field that converts some of the particles back to photons, which form an extremely faint spot on the far wall.

El puzzle de sabor

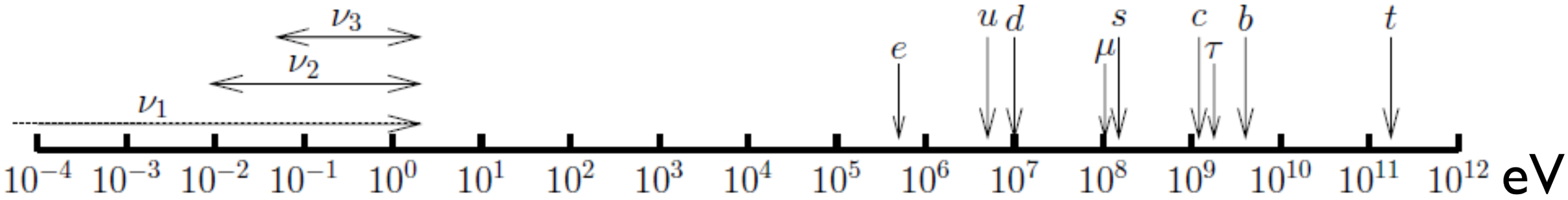


Mayor parte del universo

Para que los otros dos sabores?

Puzzle de Sabor

why are masses so separated from one another?



Quarks

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} \sim 1 & \lambda & \lambda^3 \\ \lambda & \sim 1 & \lambda^2 \\ \lambda^3 & \lambda^2 & \sim 1 \end{pmatrix}$$

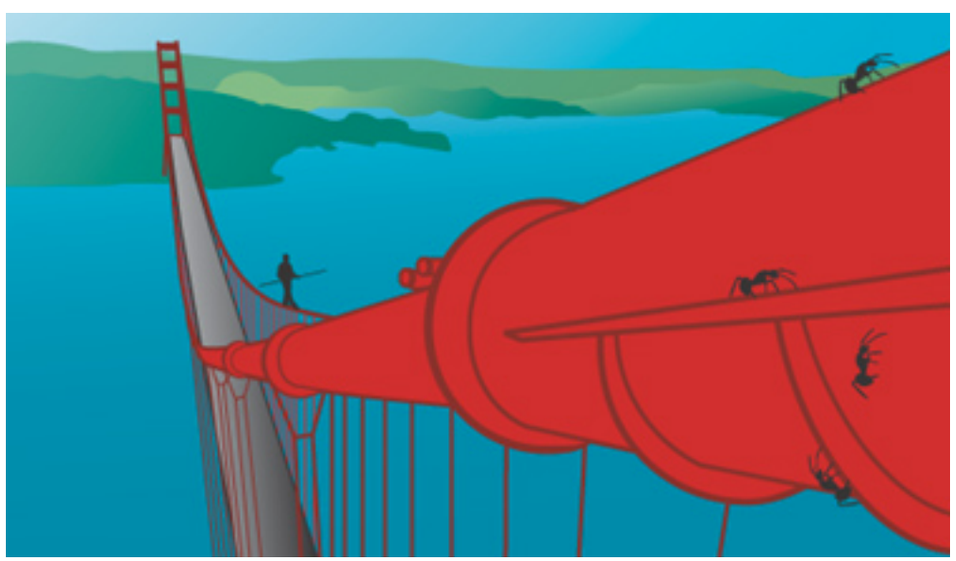
$$\lambda \sim 0.1$$

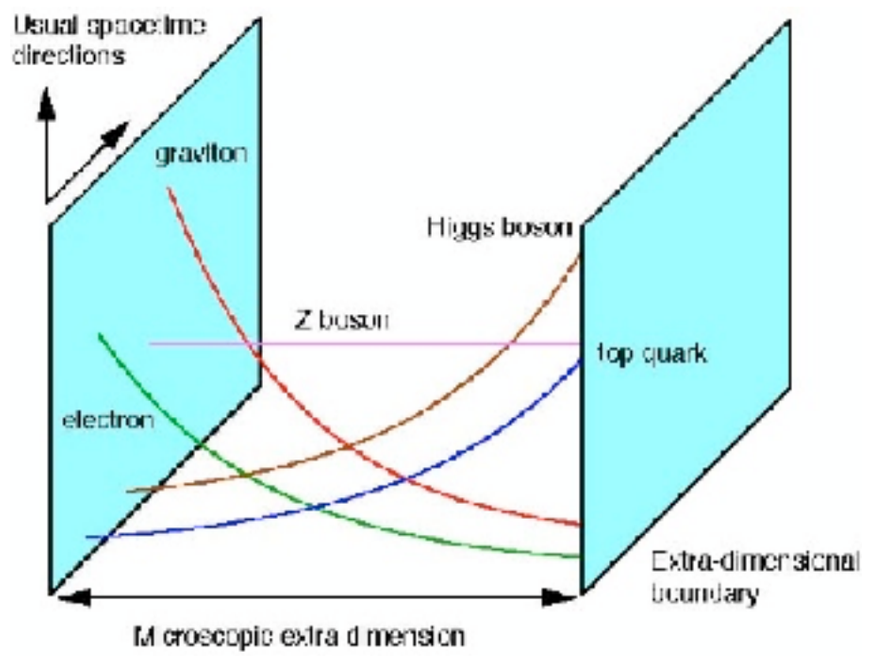
Leptons

$$U_{PMNS} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.5 & \sim 0.2 \\ -0.4 & 0.5 & -0.7 \\ -0.4 & 0.5 & 0.7 \end{pmatrix}$$

Randall Sundrum

Originalmente
Pensado para
El problema
De la jerarquia

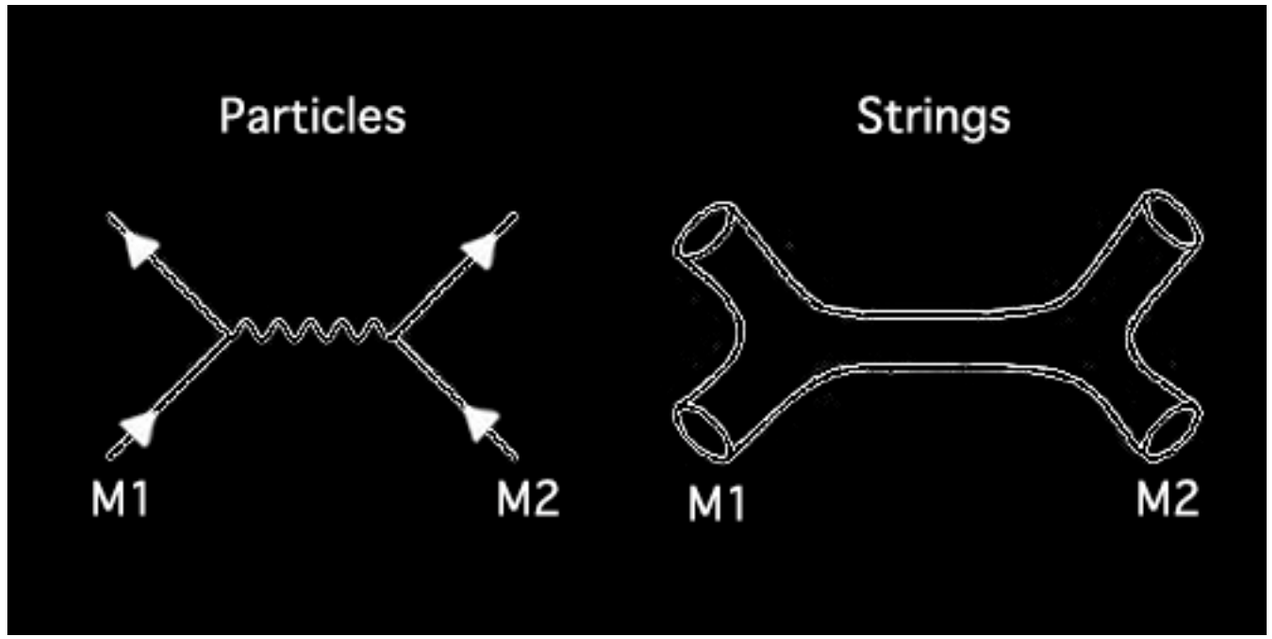




$$m_t/m_u \sim e^{-cR/K}$$

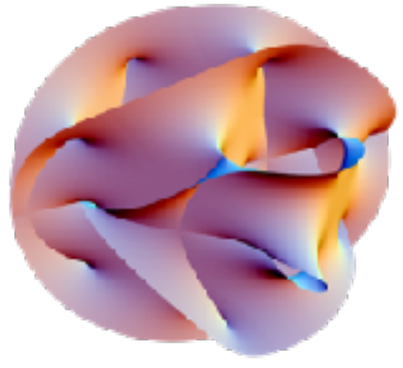
String Theory

La teoría de Gravedad cuántica mas aceptada



Las partículas que conocemos son vibraciones de una cuerda

Por consistencia, el espacio debe tener mas dimensiones de las que vemos



Por supuesto las verdaderas respuestas
no las hemos siquiera imaginado…