

Los ladrillos del Universo y su lado oscuro

Carlos Muñoz



Ciclo: El Futuro de la Física Fundamental
Residencia de Estudiantes, Madrid, 7 Noviembre 2017

¿De qué está hecho el Universo?

Esta charla, al ser de las primeras del ciclo, espero que sirva de introducción a otras charlas posteriores donde se desarrollarán de forma mucho más extensa temas que aquí solo se introducen:

Higgs, quarks y gluones, cuerdas, cosmología, etc.

Un cúmulo gigante de galaxias

El movimiento de las galaxias del cúmulo no parece seguir la ley de Newton de la gravitación

$$v_{\text{rot}} = \sqrt{\frac{G M(r)}{r}} \sim 100 \text{ km/s}$$

$$V_{\text{observada}} \sim 200 \text{ km/s}$$

LA SOLUCIÓN

Zwicky, 1933



Debe haber **más materia** de la que vemos tanto en el interior como alrededor de los cúmulos de Galaxias

Materia Oscura

❑ No tiene interacciones electromagnéticas (porque no la vemos y por tanto no emite luz)

❑ Tiene interacciones gravitacionales

Si todo lo que se muestra en azul está lleno de "materia oscura", entonces si que el movimiento de las galaxias se puede explicar con la ley de Newton

$$v_{\text{rot}} = \sqrt{\frac{G M(r)}{r}}$$

~ 100 km/s

$$M \longrightarrow M + M_{\text{oscura}}$$



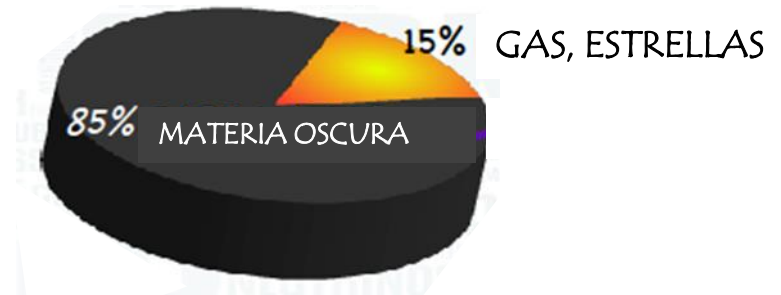
$V_{\text{observada}} \sim 200 \text{ km/s}$

Imagen artística de como debe ser nuestra Vía Láctea: está rodeada de materia oscura



Sin la materia oscura no se habrían podido formar las galaxias:
primero se agrupa la materia oscura y luego ésta atrae a la materia ordinaria
a la que le es más difícil juntarse entre si al tener carga eléctrica

85% de la materia en el Universo es oscura

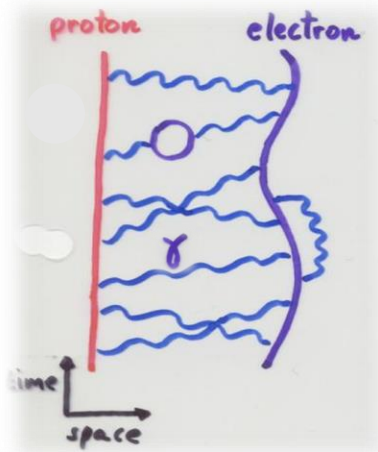
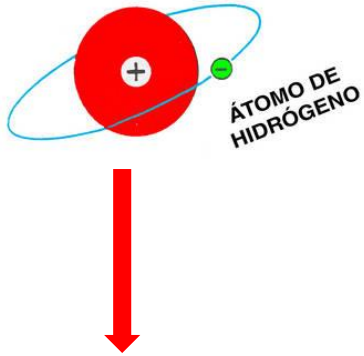


Más de 80 años después de la propuesta de Zwicky,
sigue el enigma:
¿Que és de la materia oscura?

Dado que el Universo está hecho de partículas elementales,
una de ellas podría ser la candidata a constituir la materia oscura

Veamos entonces que partículas elementales tenemos

El zoo de partículas elementales



Sin la interacción electromagnética no existirían los átomos

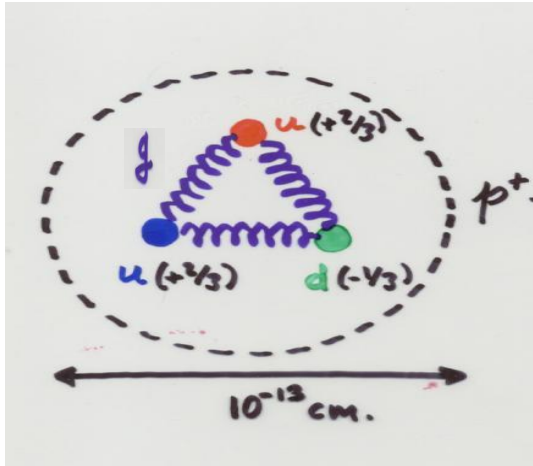
e

γ

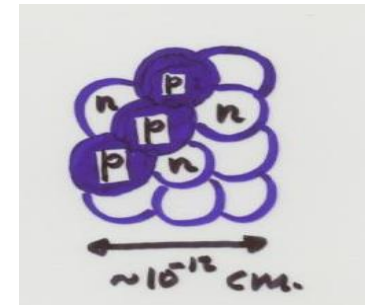
u

d

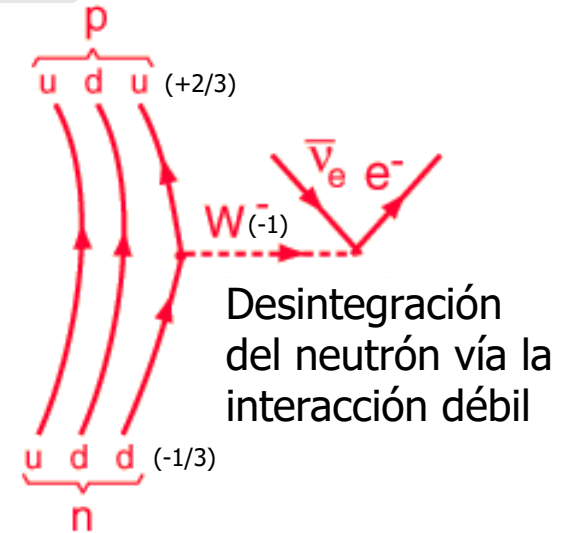
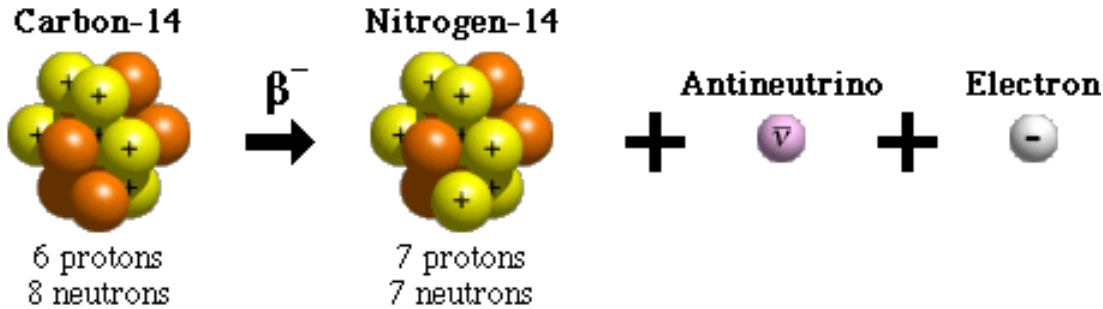
d



Sin la interacción nuclear fuerte no existirían los núcleos atómicos



El zoo de partículas elementales



Sin la interacción nuclear débil no se producirían las reacciones de fusión nuclear en el Sol, sin las cuales no habría vida en el Tierra

ν

W, Z^0

PARTICLE ZOO

e	simbol
ast	mass (MeV)

spin $\frac{1}{2}$ particles

u, d, s
 ~ 5

d, u, s
 ~ 10

e
 ~ 0.51

ν_e
 ~ 0.00000001

spin 1 particles

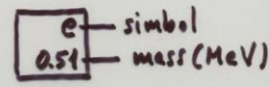
γ
0

$g_{8,1,-1}$
0

W^\pm, Z^0
 ~ 80000

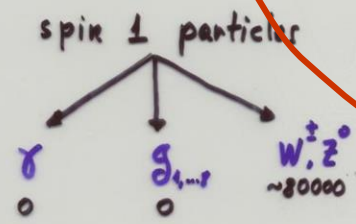
Electromagnetismo, Nuclear Fuerte y Débil, Gravedad

PARTICLE ZOO



spin $\frac{1}{2}$ particles

$U_{mass} \sim 5$
 $d_{mass} \sim 10$
 e
 ~ 0.51
 ν_e
 ~ 0.0000001



Mendeleiev, 1869

Electromagnetismo, Nuclear Fuerte y Débil, Gravedad

- ❖ Quarks y electrón tienen carga eléctrica, NO nos sirven
- ❖ Neutrino no tiene carga eléctrica, podría servirnos...PERO tiene una masa demasiado pequeña para constituir toda la materia oscura que "observamos": NO nos sirve



PARTICLE ZOO

e — simbol
 0.51 — mass (MeV)

spin 1/2 particles

$u_{1/2}$
~5

$d_{1/2}$
~10

e
~0.51

ν_e
~0.00000001

$C_{1/2}$
~1350

$S_{1/2}$
~200

μ
105.6

ν_μ

$t_{1/2}$
~184000

$b_{1/2}$
~5000

Z
~1784

ν_τ

spin 1 particles

γ
0

$g_{1/2}$
0

W^\pm, Z^0
~80000

H
~125000

Mendeleiev, 1869

~1970's

¡Todavía nos queda el bosón de Higgs!
 que no tiene carga

- ❖ Quarks y electrón tienen carga eléctrica, NO nos sirven
- ❖ Neutrino no tiene carga eléctrica, podría servirnos...PERO tiene una masa demasiado pequeña para constituir toda la materia oscura que "observamos": NO nos sirve
- ❖ Segunda y tercera familia de quarks y electrones tienen carga eléctrica: NO nos sirven

El bosón de Higgs no es simplemente otra partícula elemental más en nuestro zoo



Tiene una masa gigantesca = $125 m_p$



Es la primera partícula elemental con espín 0

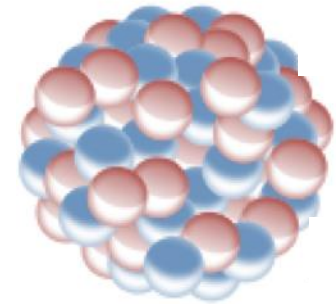


El (campo de) Higgs define el vacío. Podemos imaginar el vacío cuántico como un mar lleno del campo de Higgs. (iparecido al concepto del éter de hace un siglo!)

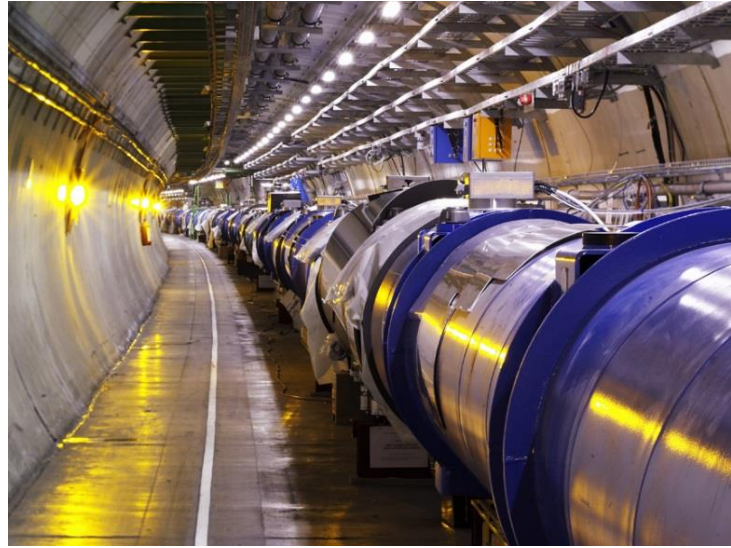
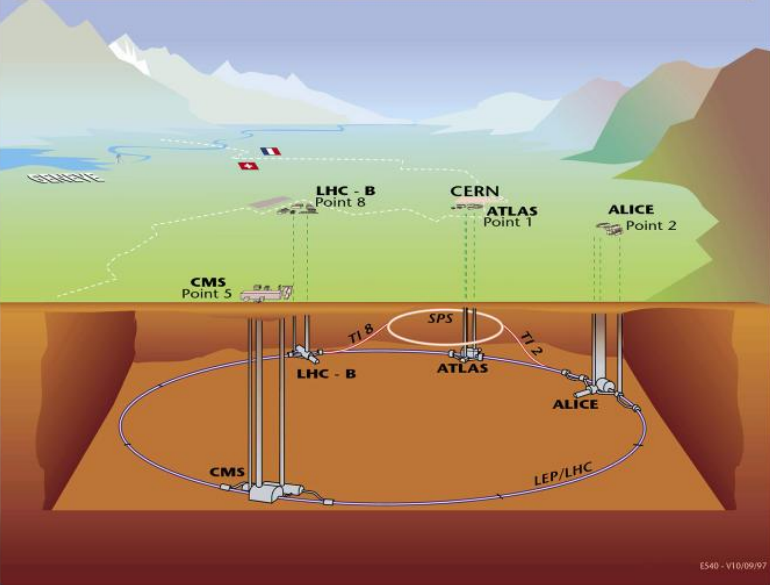


Las partículas al interactuar con el campo de Higgs consiguen sus masas.

Sin el campo de Higgs no se hubieran podido formar los átomos, porque todas las partículas se moverían a la velocidad de la luz



Overall view of the LHC experiments.



CMS Collaboration

36 Nations, 160 Institutions, 2008 Scientists and Engineers (November 2003)

TRIGGER & DATA ACQUISITION

Austria, CERN, Finland, France, Greece, Hungary, Italy, Korea, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

TRACKER

Austria, Belgium, CERN, Finland, France, New Zealand, Germany, Italy, Japan*, Switzerland, UK, USA

CRYSTAL ECAL

Belarus, CERN, China, Croatia, Cyprus, France, Ireland, Italy, Japan*, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

PRESHOWER

Armenia, Belarus, CERN, Greece, India, Russia, Taipei, Uzbekistan

RETURN YOKE

Barrel: Czech Rep., Estonia, Germany, Greece, Russia
Endcap: Japan*, USA, Brazil

SUPERCONDUCTING MAGNET

All countries in CMS contribute to Magnet financing in particular: Finland, France, Italy, Japan*, Korea, Switzerland, USA

FEET

Pakistan, China

FORWARD CALORIMETER

Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

HCAL

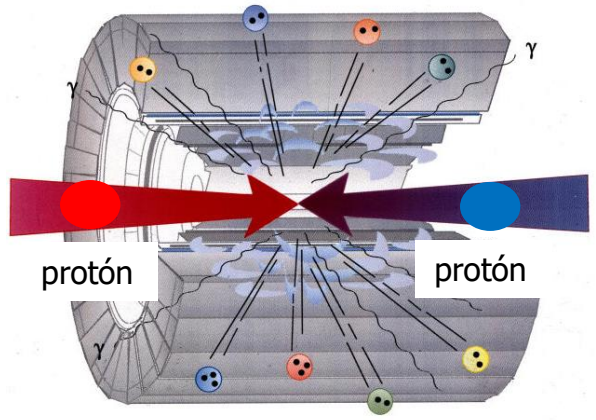
Barrel: Bulgaria, India, Spain*, USA
Endcap: Belarus, Bulgaria, Russia, Ukraine
HO: India

MUON CHAMBERS

Barrel: Austria, Bulgaria, CERN, China, Germany, Hungary, Italy, Spain, Korea, Pakistan, Russia, USA

Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

* Only through industrial contracts



Carlos Muñoz
UAM & IFT



¿De qué está hecho el Universo?

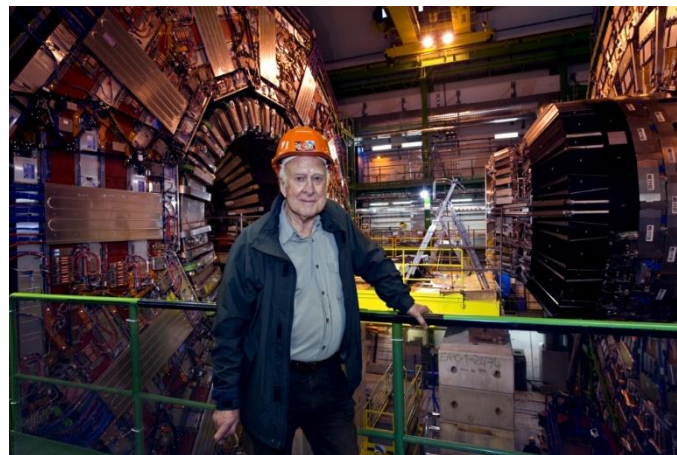
Detección del Higgs en el LHC



se tardó casi 50 años

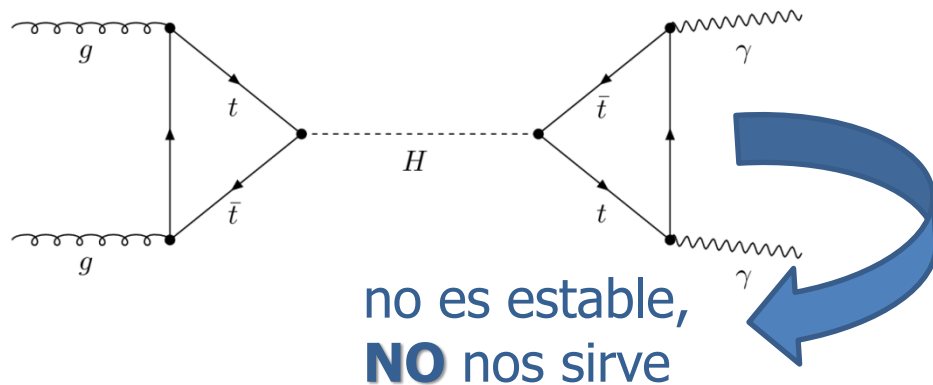
1964

2012



La enorme energía cinética de los protones se transforma en materia según la formula de Einstein

$$\frac{m_p c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = E = m_H c^2$$



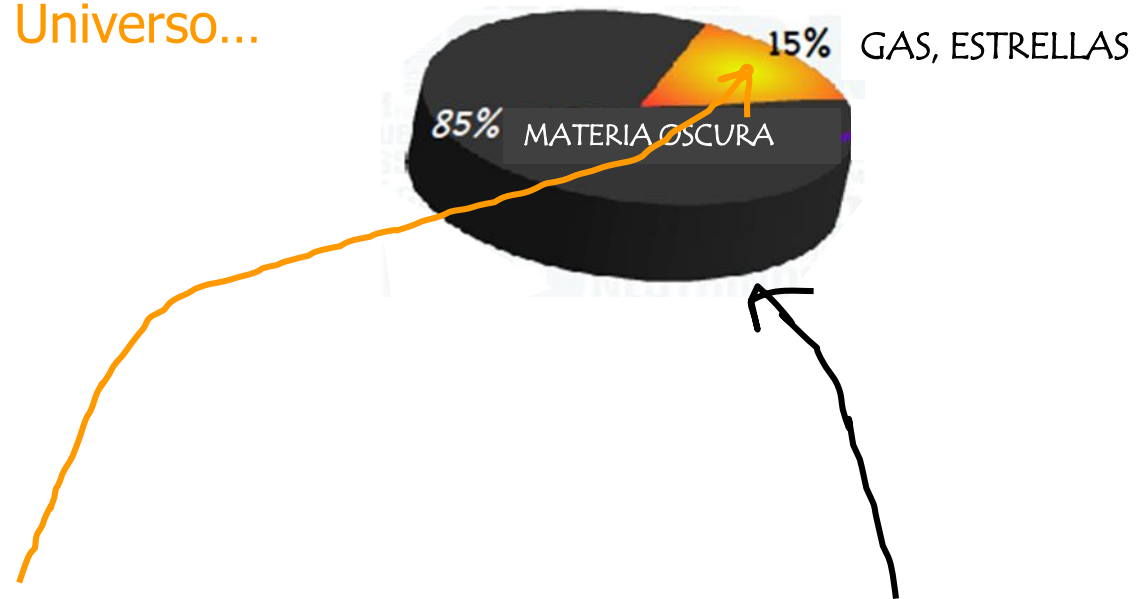
la materia oscura tiene más de 13.000.000.000 años

Esta es otra razón por la que la 2ª y 3ª familias tampoco sirven

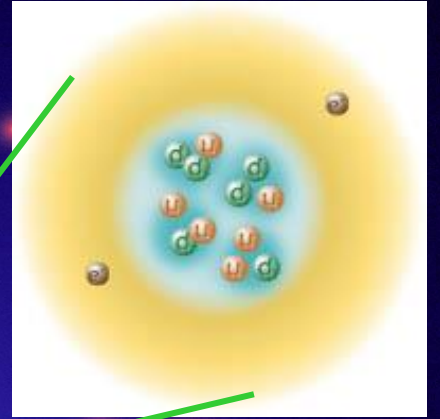
¡Ninguna de las partículas que existen, de las que estamos hechos, nos sirve para materia oscura!

Una especie de revolución anti-Copernicana:

No estamos en el centro del Universo...



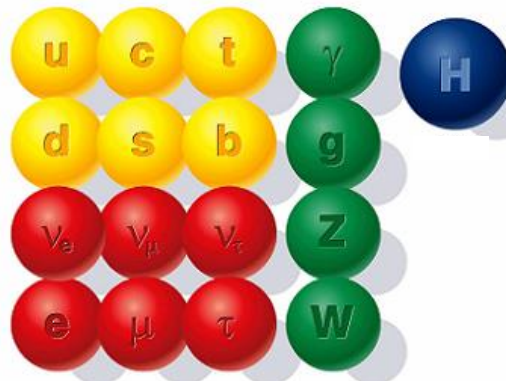
¡pero al menos estamos hechos de lo que la mayor parte del Universo no está hecho !



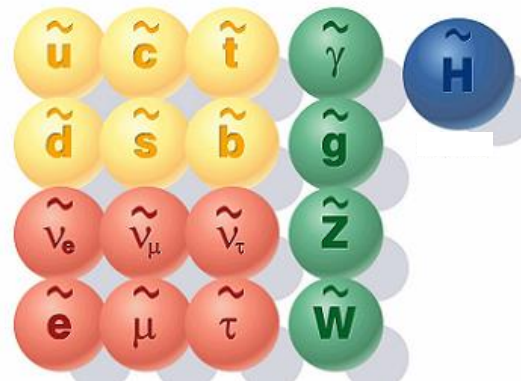
El problema de la materia oscura nos indica que deben existir más partículas elementales de las que se han descubierto hasta ahora

QUIZAS...

partículas conocidas



compañeras supersimétricas



Algunas de ellas son

-neutras

-estables

(o con una vida media mayor que la del Universo)

-masivas

SI nos sirven para materia oscura



A LA CAZA DE LA MATERIA OSCURA

❖ La aniquilación de partículas de materia oscura en el halo de nuestra galaxia produce **rayos gamma**, **antimateria**, **neutrinos**,

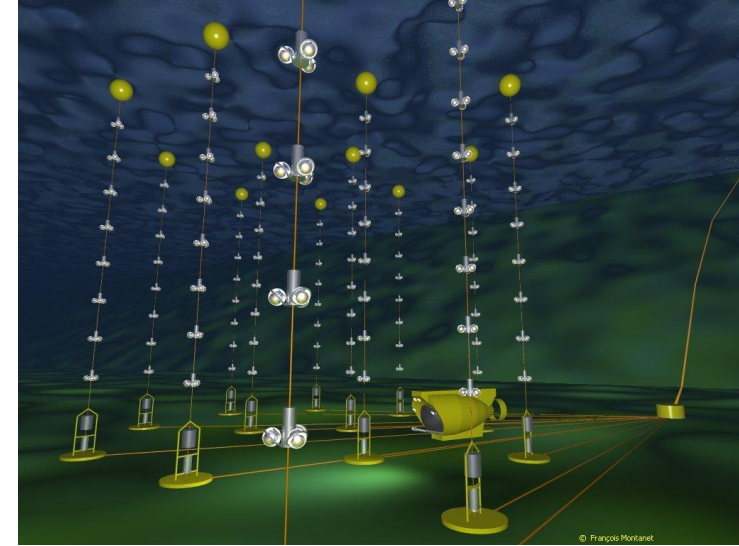
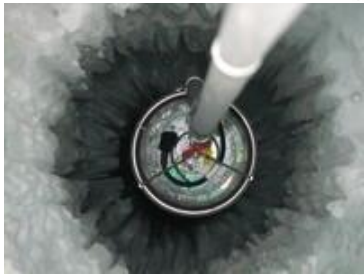
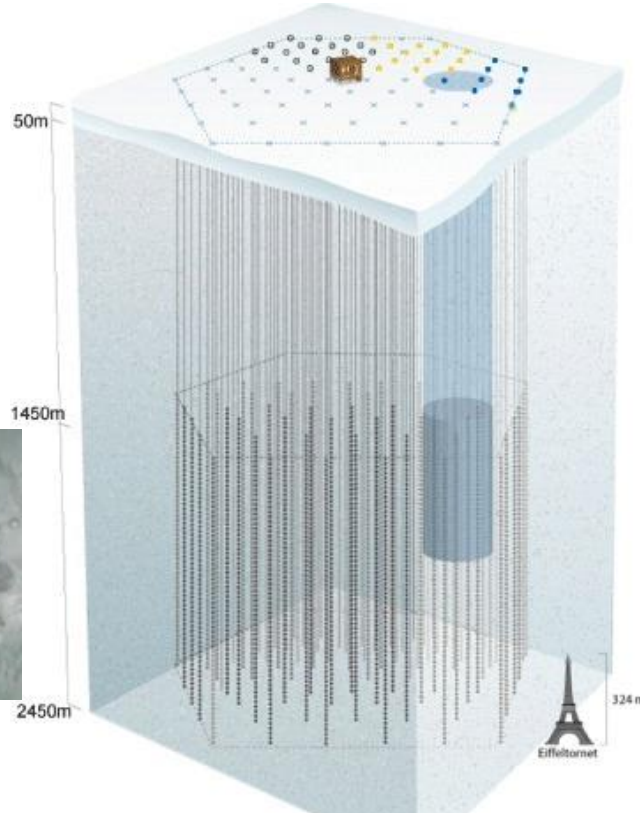


que se pueden medir en **detectores basados en el espacio**: *Fermi* (gammas), PAMELA, AMS (antimateria)

en telescopios Cherenkov **MAGIC, HESS, VERITAS** (gammas)

❖ La materia oscura también se puede acumular en el Sol. Su aniquilación produciría neutrinos que podrían ser detectados en los **telescopios de neutrinos**, a través de los muones producidos en sus interacciones con las rocas

Experimentos bajo el hielo
(**IceCube** con un tamaño de 1 km^3)



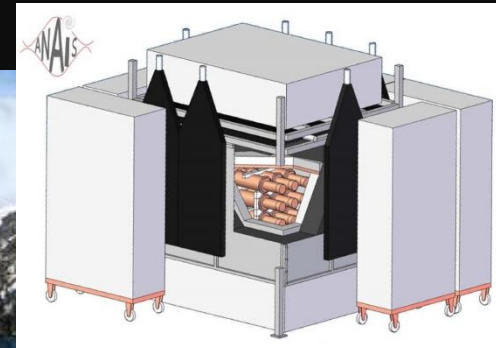
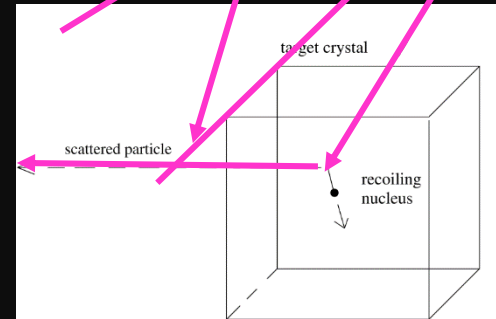
Experimentos bajo el agua
(**ANTARES** cubre un área de $0,1 \text{ km}^2$
En el futuro **KM3NeT** de 1 km^3)



DETECCIÓN DIRECTA

1.000.000.000.000 de partículas de materia oscura nos han atravesado (a cada uno) durante esta charla!

Un ejemplo es el experimento ANAIS
Grupo de Física Nuclear y Astropartículas
de la Univ. Zaragoza, miembro de MultiDark



CONCLUSIÓN

La física de partículas “casi” responde a la pregunta:
¿De qué está hecho el Universo?

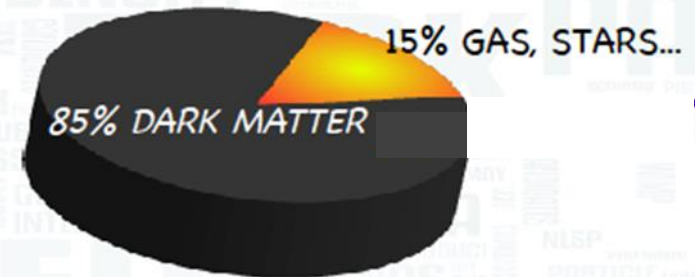
+ porque persiste el enigma: ¿Que és la materia oscura?

+ Para resolverlo, debemos asumir la existencia de
más partículas de las que conocemos

+ Supersimetría predice que cada partícula conocida tiene una compañera y alguna de ellas puede ser candidata a materia oscura
Se podrían detectar en el LHC o en experimentos de detección directa e indirecta

Otras partículas candidatas para materia oscura se han propuesto
y se está intentando “cazarlas” también

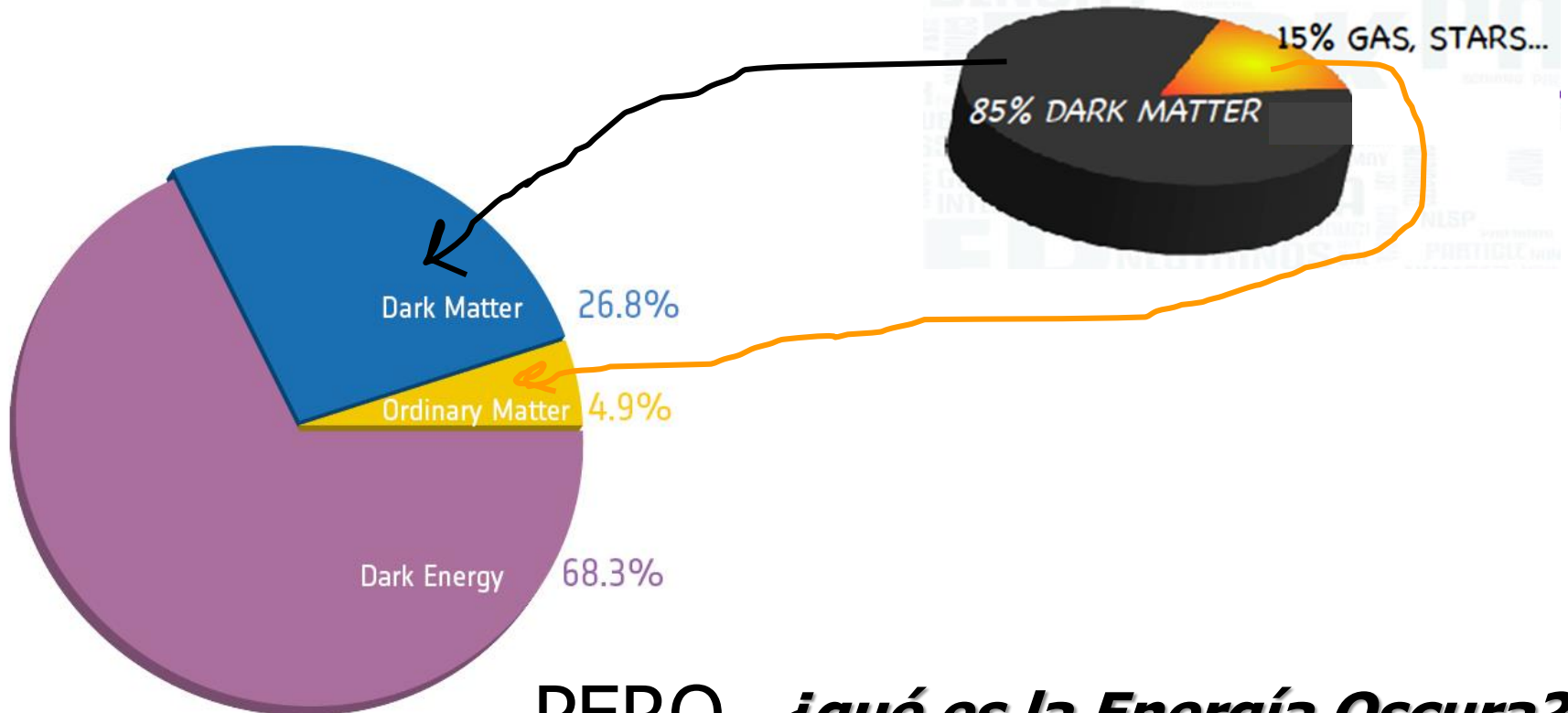
En el futuro, en los experimentos en curso podremos descubrir de qué está hecho ese 85% de materia que desconocemos del Universo



PERO...

Perlmutter, Schmidt y Ries descubrieron in 1998 que el Universo se está expandiendo de forma... iacelerada!

¿Energía Oscura quizás?



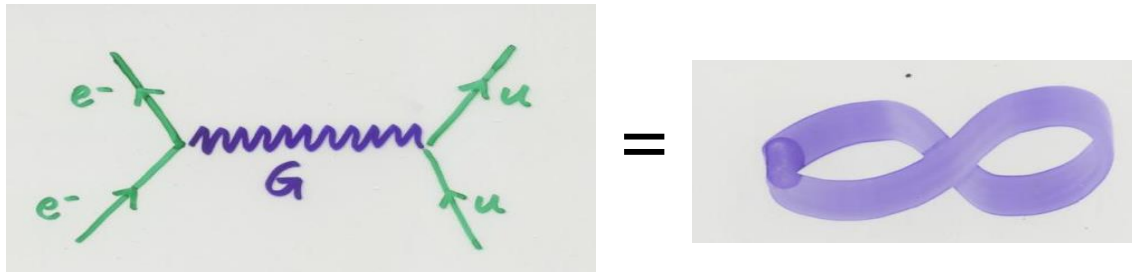
PERO... *¿qué es la Energía Oscura?*

(la constante cosmológica de Einstein)

✓ **Quizá la energía oscura es la energía del vacío...
como la que produce el campo de Higgs**

... pero cuando se calcula en una teoría cuántica acoplada a gravedad sale gigantesca comparada con la que se mide

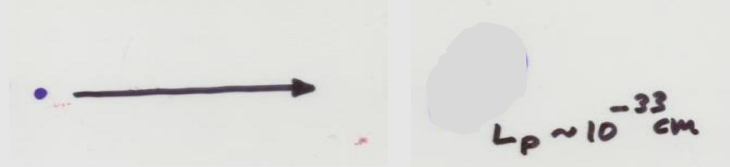
✓ **Quizá es que el cálculo está mal porque no tenemos una teoría cuántica de la gravedad**



G es el gravitón,
el análogo del fotón

✓ **Quizá la teoría de cuerdas resuelva este problema...**

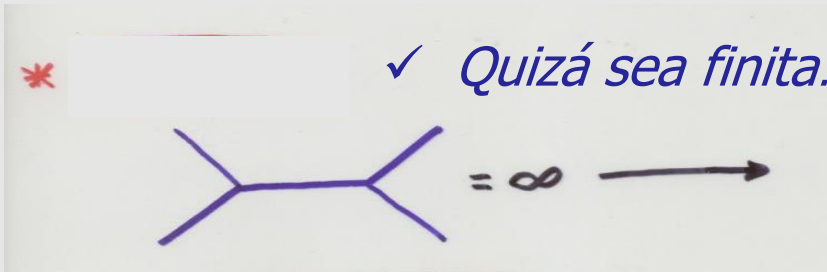
Teoría de Cuerdas



- Las partículas corresponden a los distintos modos de vibración
- El gravitón aparece como una de esas vibraciones



Teoría cuántica unificada de todas las interacciones



= finita

✓ *Quizá, cuando tengamos la formulación completa, al calcular la energía del vacío salga pequeña...*

- ¿Energía Oscura quizás? ✓ Quizá la energía oscura es la energía del vacío...*
- ✓ Quizá es que no tenemos una teoría cuántica de la gravedad*
- ✓ Quizá la teoría de cuerdas resuelva este problema... ✓ Quizá sea finita...*
 - ✓ Quizá al calcular la energía del vacío salga pequeña...*

Quizá necesitemos un nuevo Einstein

FIN

