



Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC

[www.ift.uam-csic.es](http://www.ift.uam-csic.es)

¿De qué estamos  
hechos?



Margarita García Pérez



Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC





Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC

[www.ift.uam-csic.es](http://www.ift.uam-csic.es)

# Partículas en el Universo



Margarita García Pérez



Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC



# El Instituto de Física Teórica



Creado en 2003



desde 2013

Senior  
44

Postdocs  
~25

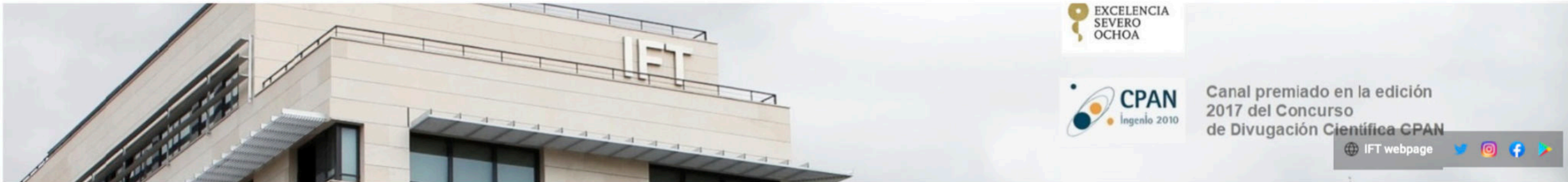
Predocs  
~50

# El Instituto de Física Teórica

Investigación

Formación

Divulgación



## Instituto de Física Teórica IFT

¡¡637K subscribers!!

SUBSCRIBE

HOME

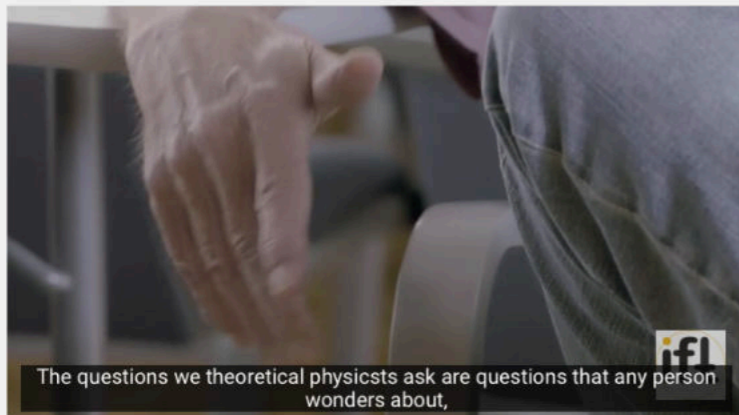
VIDEOS

PLAYLISTS

COMMUNITY

CHANNELS

ABOUT



### IFT: Viviendo la investigación

119,931 views • 5 years ago

¿Quiénes somos y qué investigamos? ¿y por qué lo hacemos? Miembros del IFT nos explican la vida en el IFT, sus campos de investigación, y su visión de la Física y la investigación científica en general.

No te pierdas ningún vídeo: solo tienes que... ¡SUSCRIBIRTE!, ¡es GRATIS!... <http://filmociencia.com/>  
READ MORE

Uploads

▶ PLAY ALL



#### ¿Por qué MOJA el agua?

14K views • 2 days ago



#### The Universe Howling | What are Standard Sirens?

12K views • 2 weeks ago

CC



#### Las Mujeres en la Ciencia: ¿Lo entiendes o te lo...

6K views • 1 month ago



#### Cómo la Polarización de la Luz Explica el Spin del...

25K views • 1 month ago



#### Cómo construir un Agujero de Gusano | La conjetura...

25K views • 1 month ago

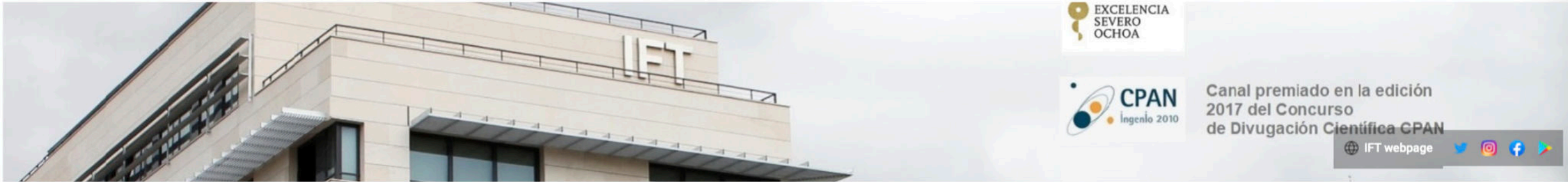


#### Lo que NADIE te ha EXPLICADO sobre el Spin...

18K views • 1 month ago



https://www.youtube.com/user/IFTMadrid



Instituto de Física Teórica IFT

637K subscribers

SUBSCRIBE

HOME

VIDEOS

PLAYLISTS

COMMUNITY

CHANNELS

ABOUT



¡¡637K subscriptores!!

Uploads ▶ PLAY ALL



¿Por qué MOJA el agua?

14K views • 2 days ago



The Universe Howling |  
What are Standard Sirens?

12K views • 2 weeks ago

CC



Las Mujeres en la Ciencia:  
¿Lo entiendes o te lo...

6K views • 1 month ago



Cómo la Polarización de la  
Luz Explica el Spin del...

25K views • 1 month ago



Cómo construir un Agujero  
de Gusano | La conjetura...

25K views • 1 month ago



Lo que NADIE te ha  
EXPLICADO sobre el Spin...

18K views • 1 month ago

# Tour

De lo más grande

A lo más pequeño

# Universo Observável

$10^{26} \text{ m}$

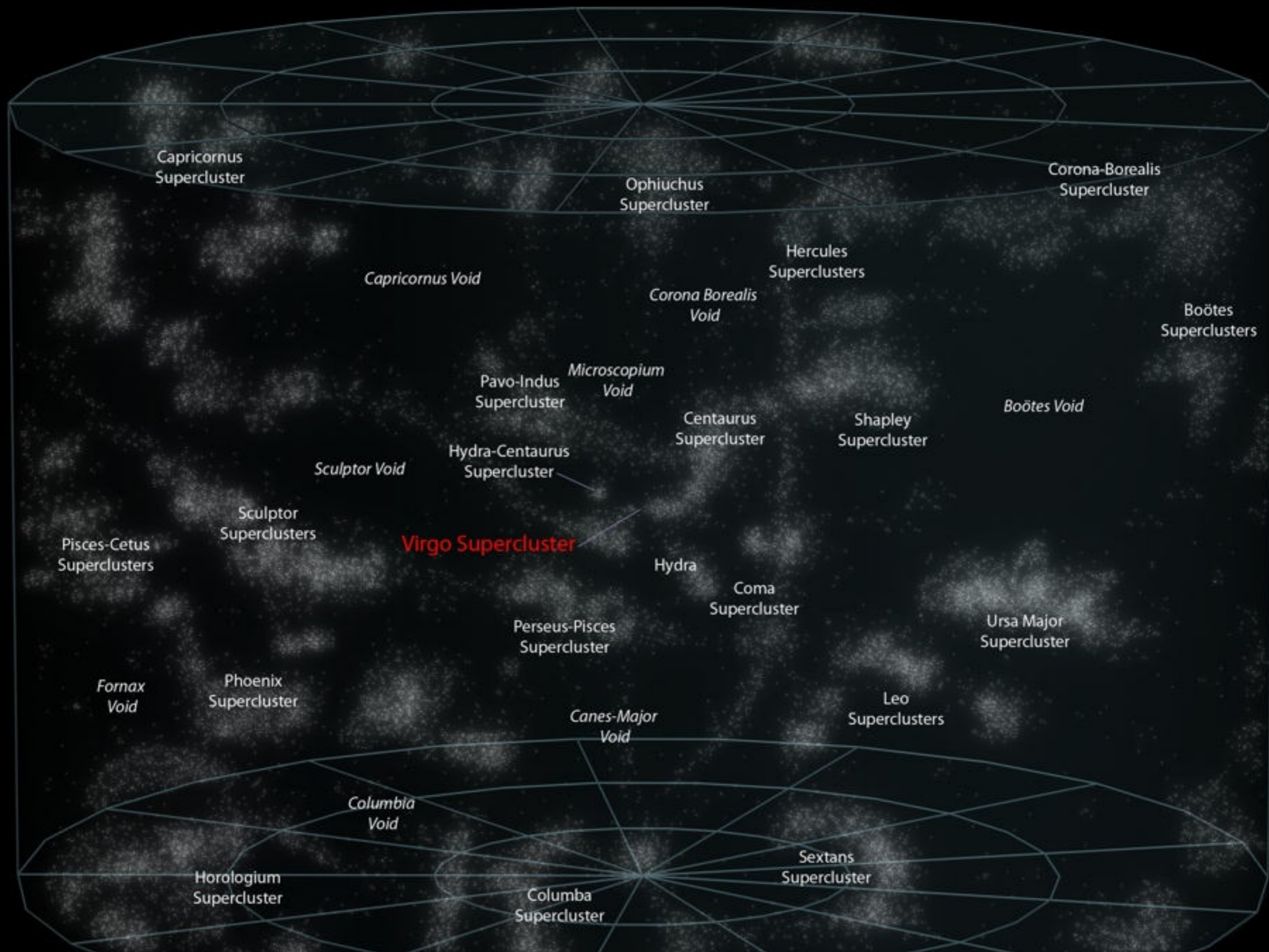
Local Superclusters  
(Virgo Supercluster)

1000 m



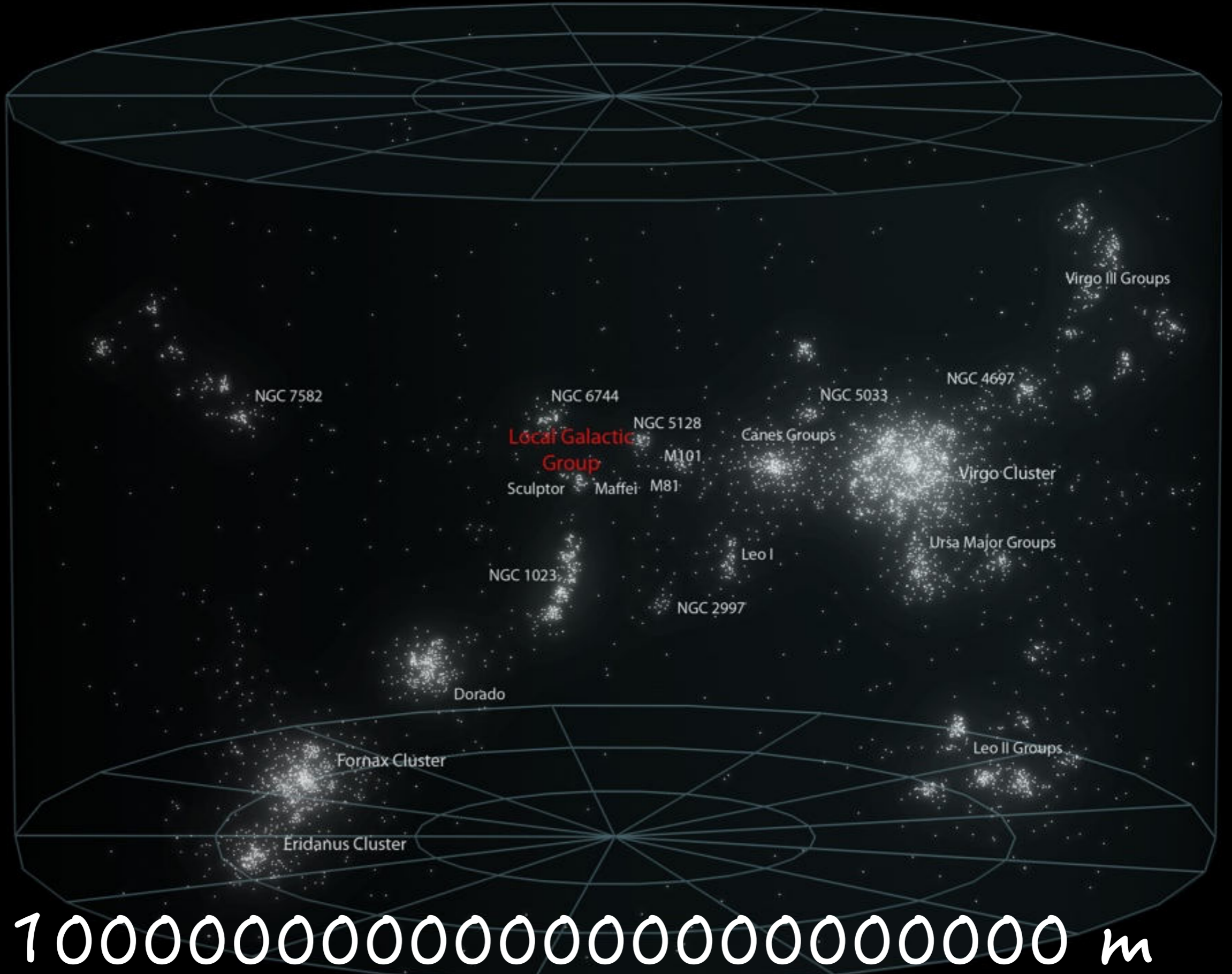


# Supercúmulos Locales

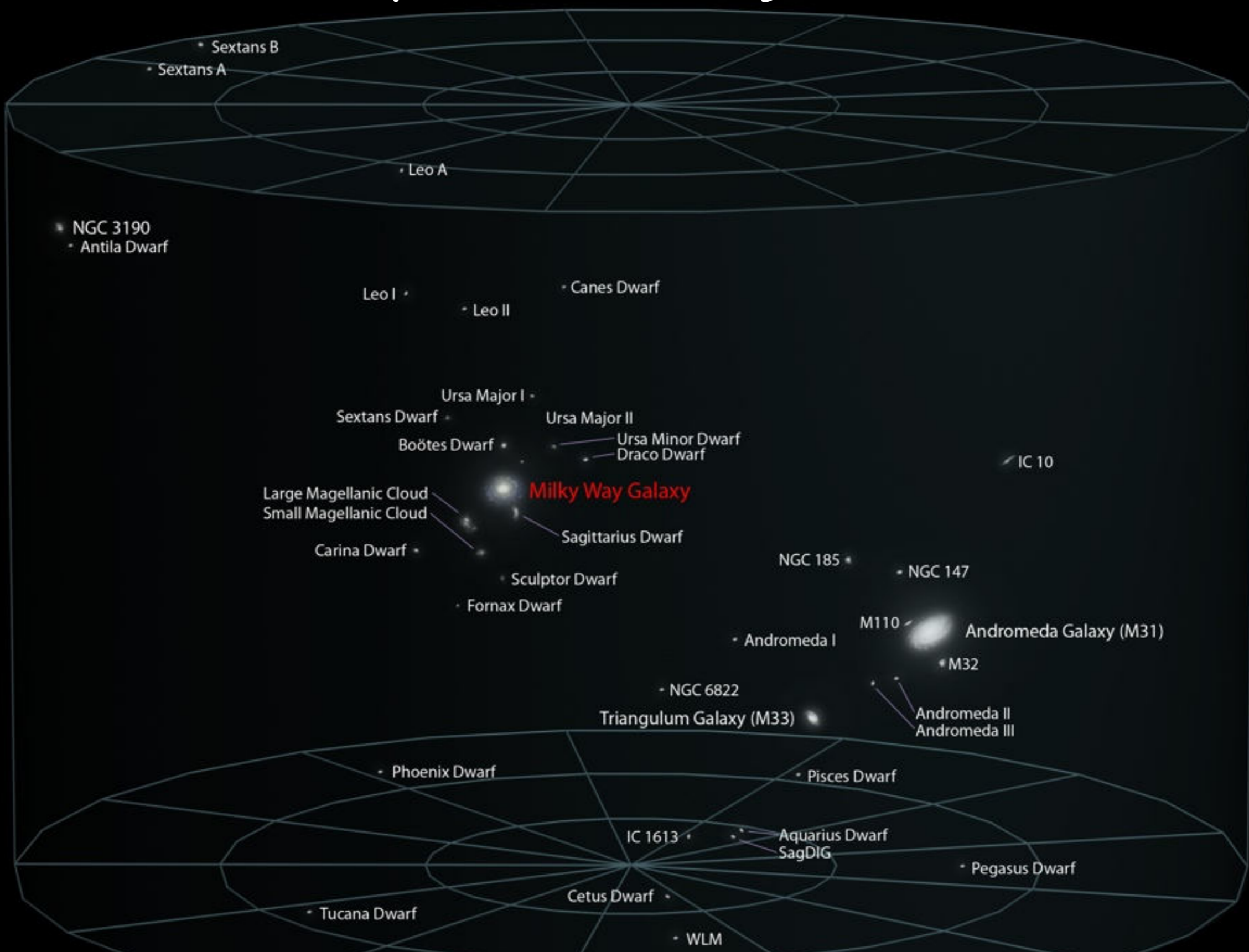


1000000000000000000000000 m

# Supercúmulo Virgo



# Grupo Local de galaxias

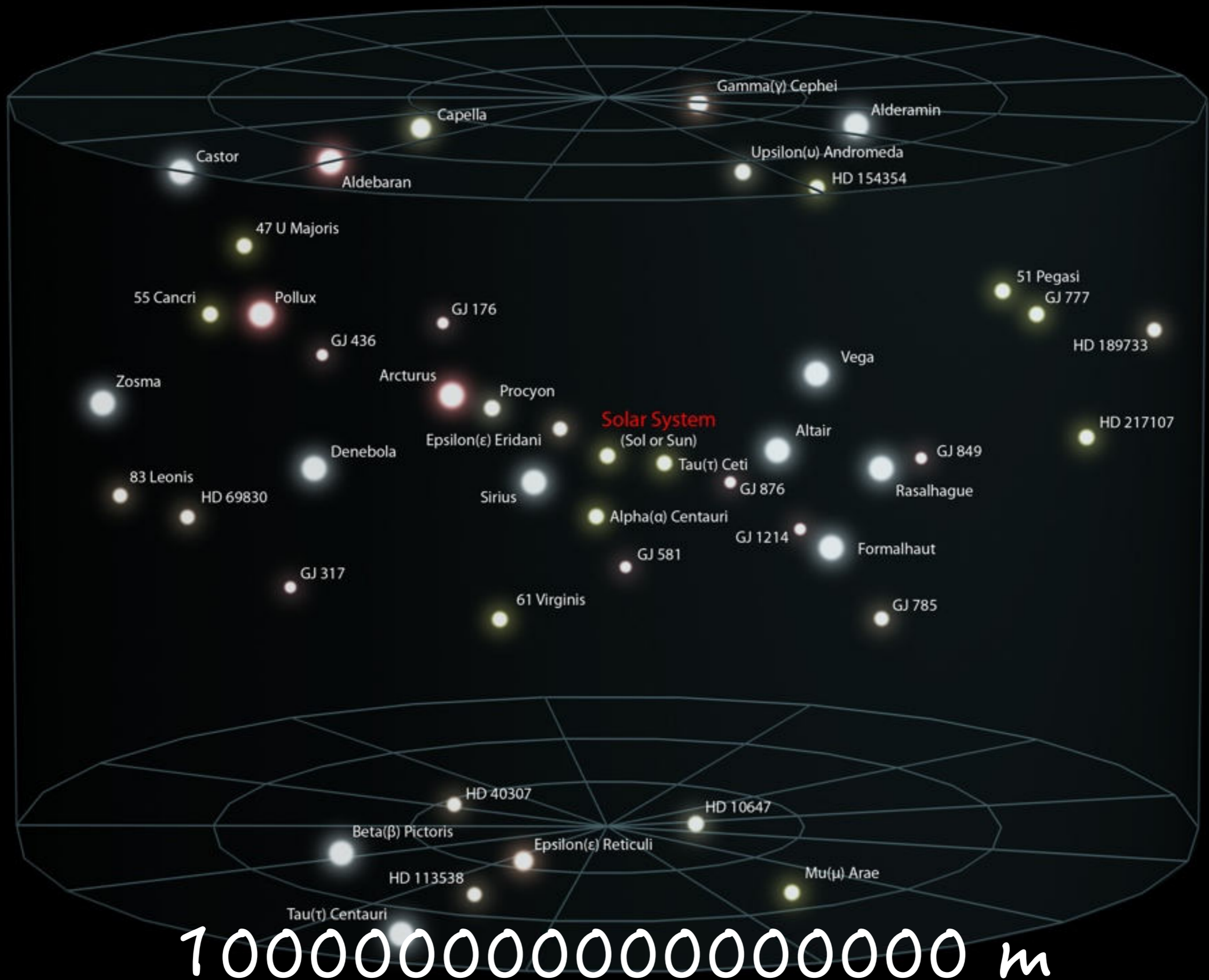


100000000000000000000000000000 m

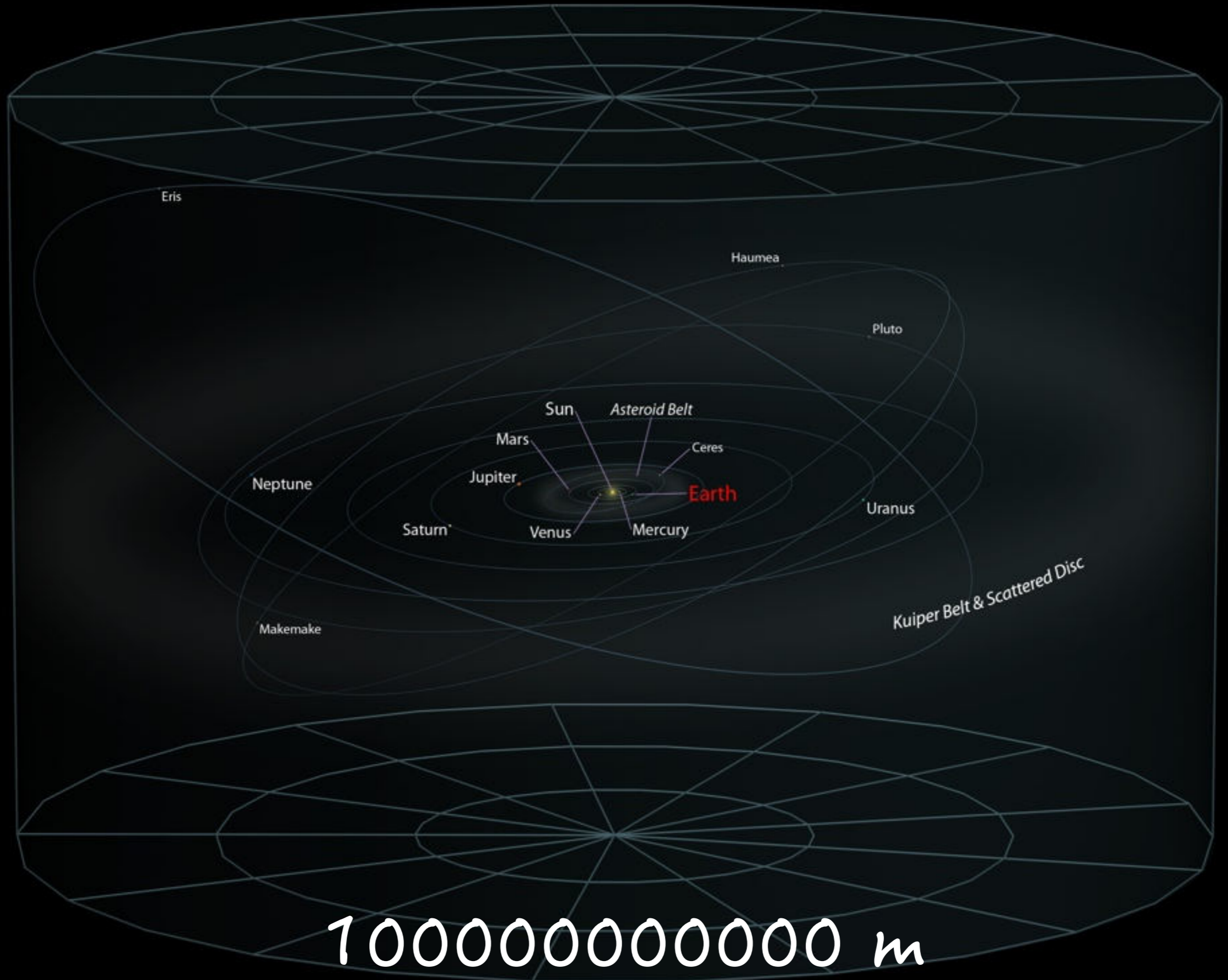
# Via Láctea



# Entorno Interestelar Solar



# Sistema Solar



Tierra



Image Landsat  
Image IBCAO  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

10000000 m

39°49'07.89" N 3°57'23.38" W eye alt 12114.65 km

Google earth



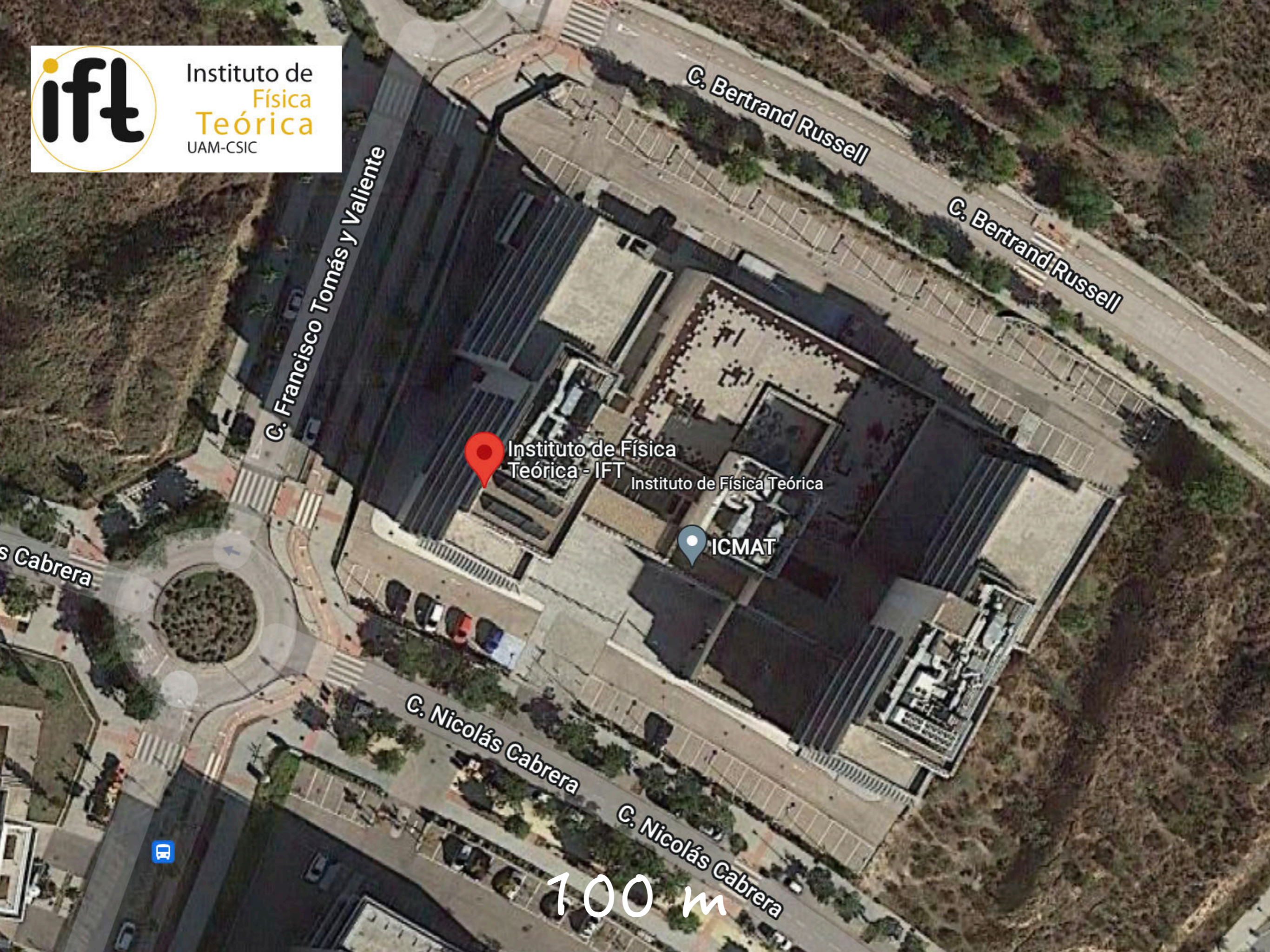


10000000 m



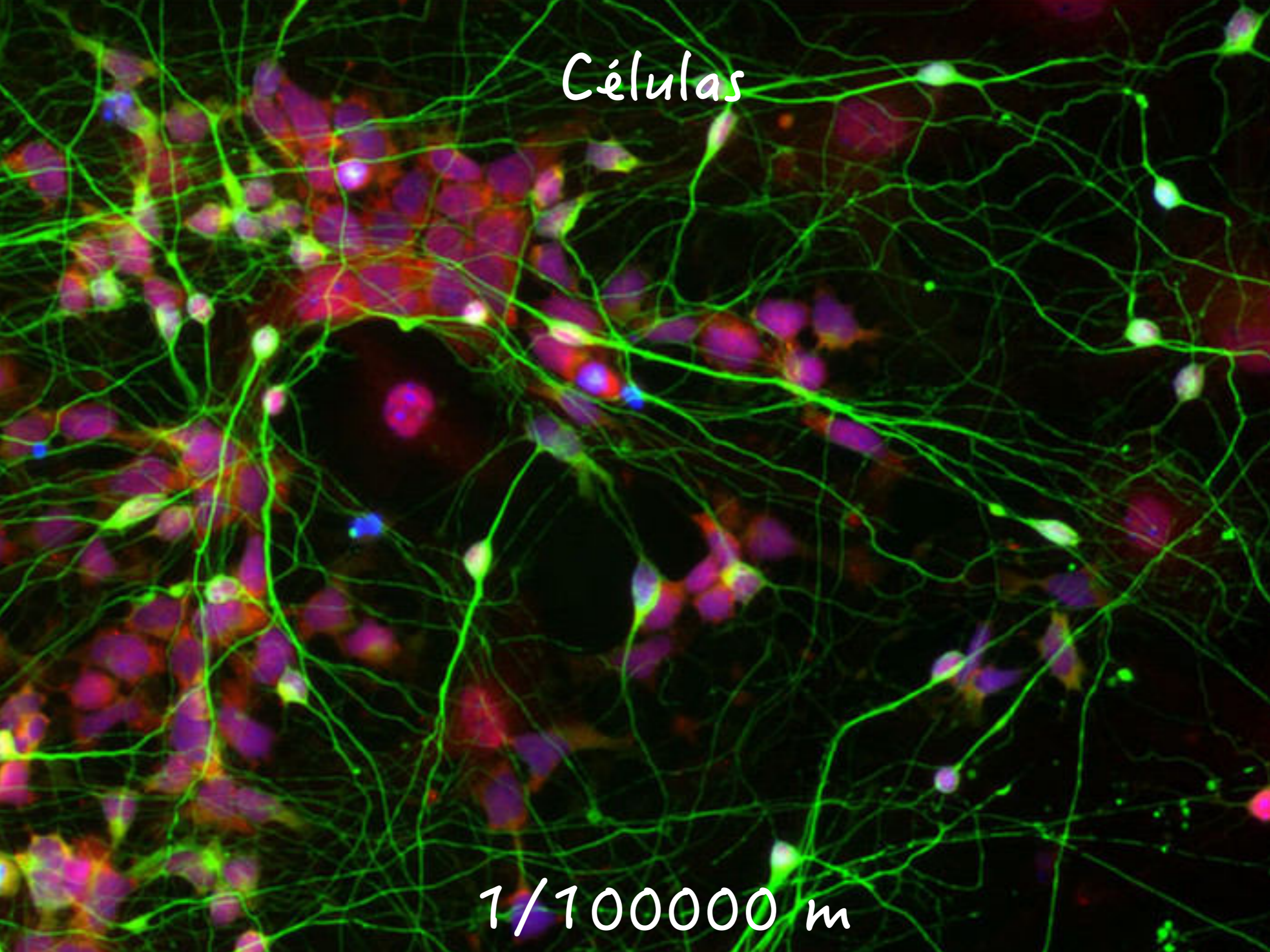


Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC

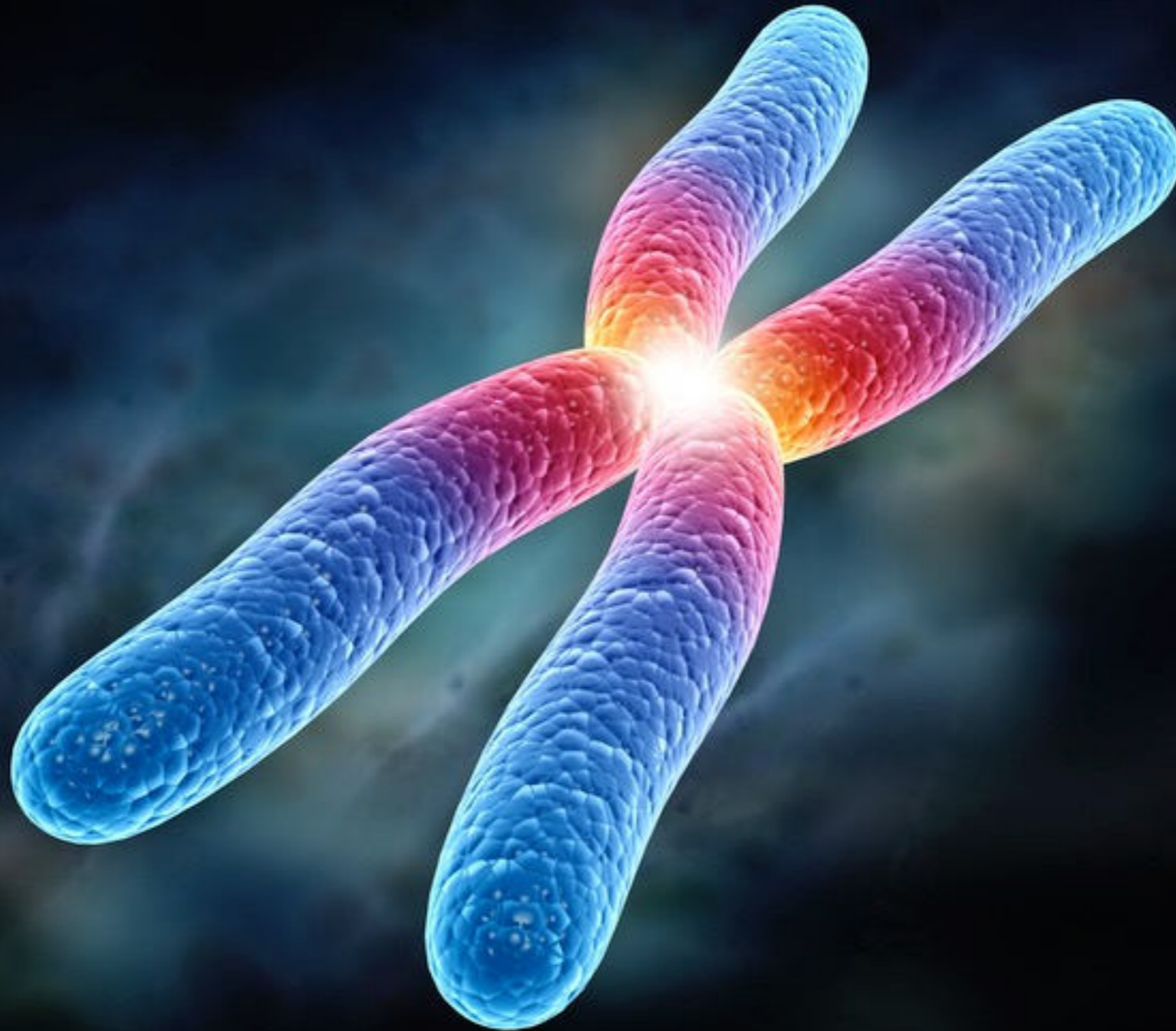


Células

1/100000 m

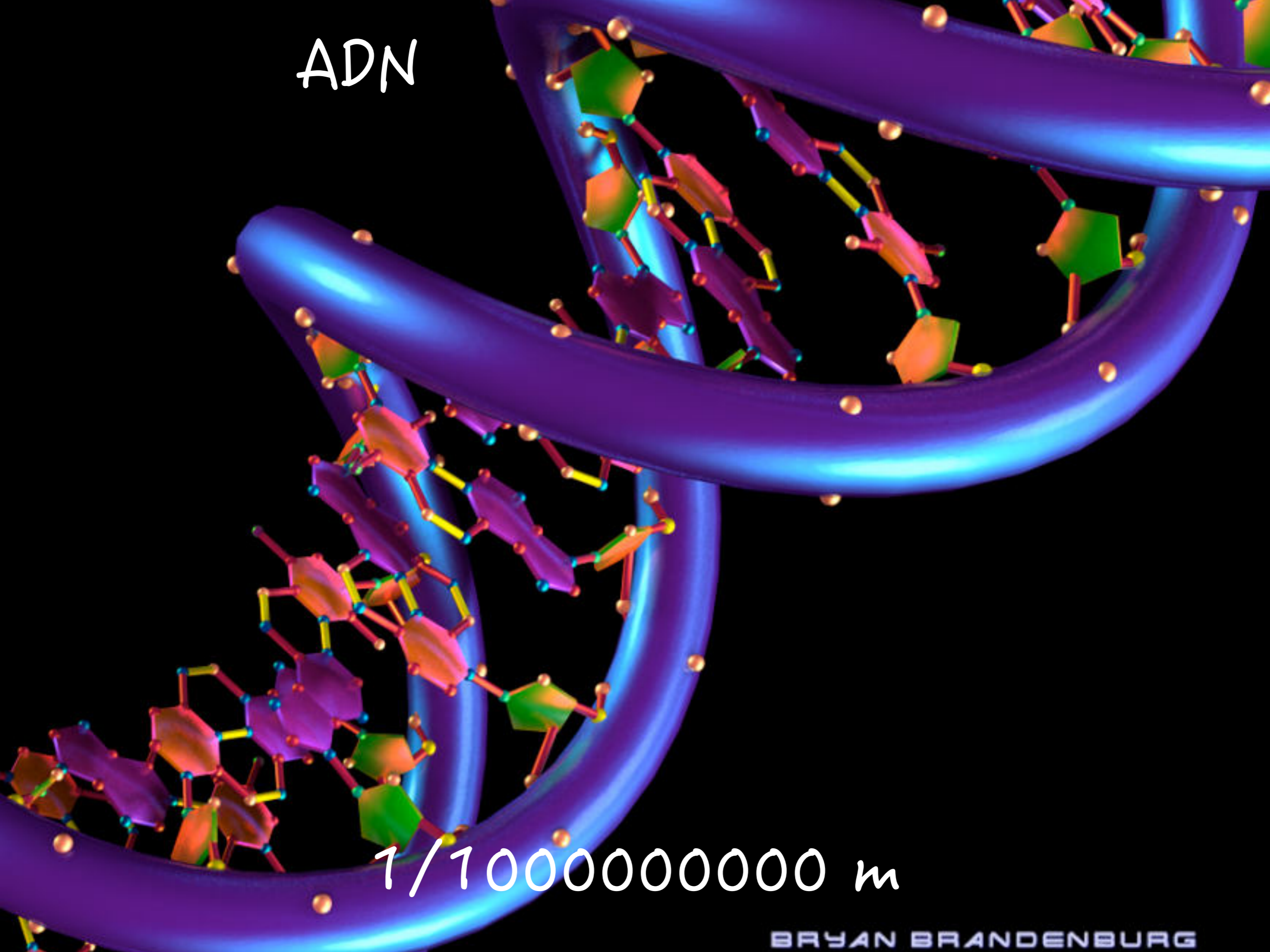


# Cromosoma



$1/10000000$  m

ADN

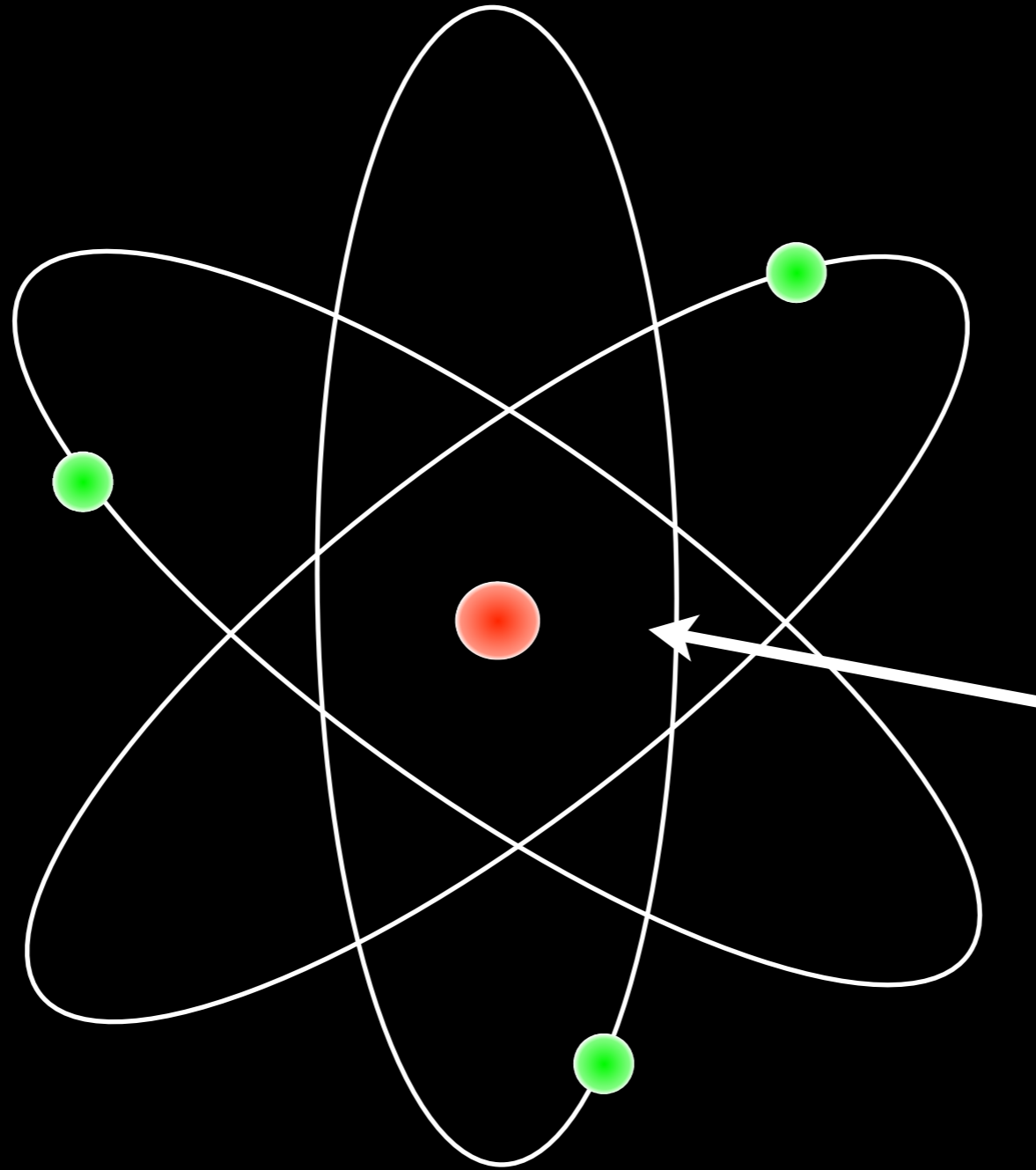


$1/10000000000 \text{ m}$

Átomo

$$\frac{1}{10^{10}} \text{ m}$$

electrón



núcleo  
atómico

$$1/1000000000000 \text{ m}$$

Núcleo Atómico  $\frac{1}{10^{15}} m$   
99,9% de la masa



$1/1000000000000000000000 m$

Núcleo Atómico

99,9% de la masa

$$\frac{1}{10^{15}} \text{ m}$$

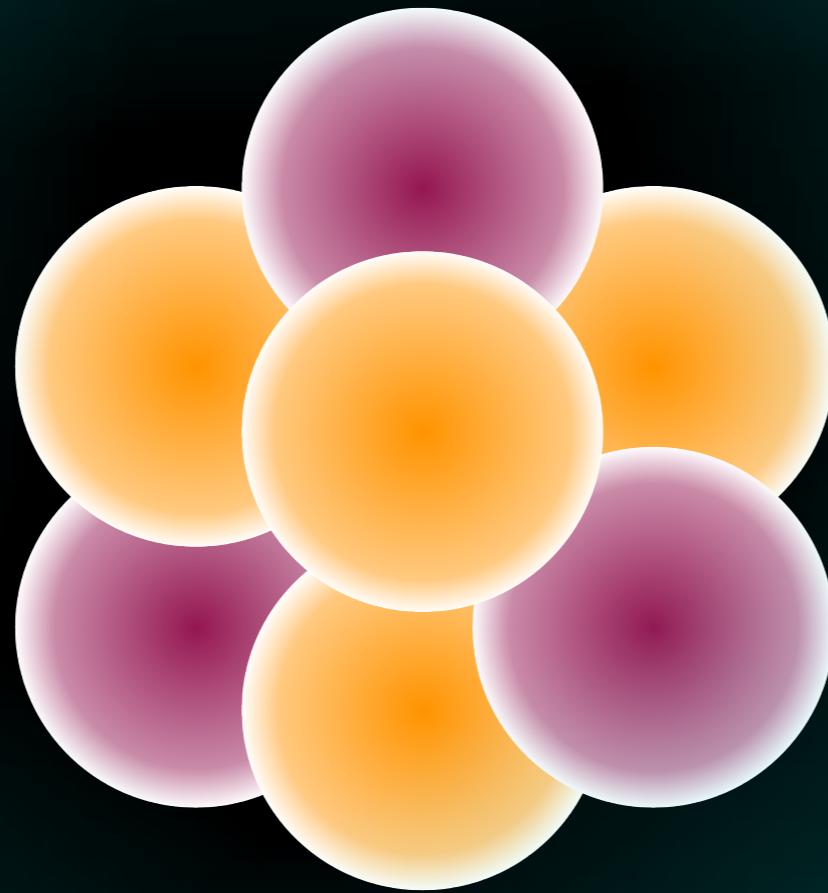


$$1/10000000000000000 \text{ m}$$

Núcleo Atómico

99,9% de la masa

$$\frac{1}{10^{15}} \text{ m}$$



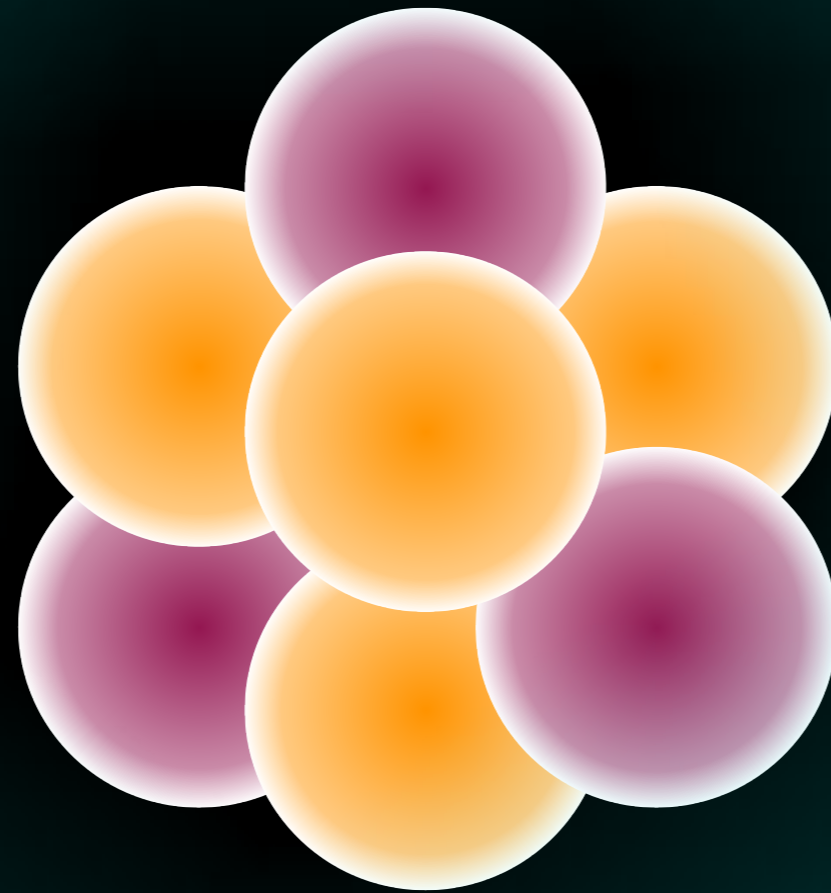
$$1/1000000000000000 \text{ m}$$



# Núcleo Atómico

99,9% de la masa

$$\frac{1}{10^{15}} m$$



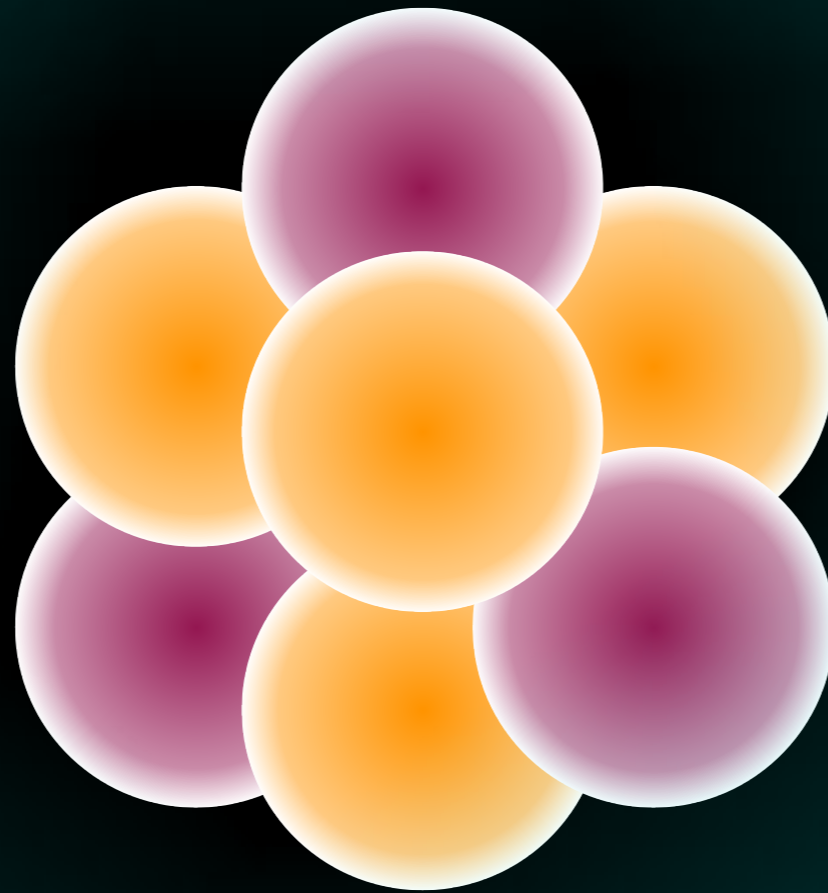
 protón



$$\frac{1}{1000000000000000} m$$

# Núcleo Atómico

99,9% de la masa

$$\frac{1}{10^{15}} \text{ m}$$


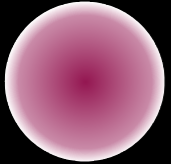
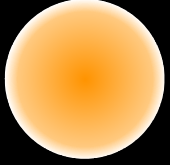


-  protón
-  neutrón

$$1/1000000000000000000 \text{ m}$$

# Tabla periódica de los elementos


<b>H</b> 1,007 Hidrógeno																	<b>He</b> 4,002 Helio
<b>Li</b> 6,941 Litio	<b>Be</b> 9,012 Berilio											<b>B</b> 10,811 Boro	<b>C</b> 12,010 Carbono	<b>N</b> 14,006 Nitrógeno	<b>O</b> 15,999 Oxígeno	<b>F</b> 18,998 Fluor	<b>Ne</b> 20,179 Neón
<b>Na</b> 22,989 Sodio	<b>Mg</b> 24,305 Magnesio											<b>Al</b> 26,981 Aluminio	<b>Si</b> 28,085 Silicio	<b>P</b> 30,973 Fósforo	<b>S</b> 32,065 Azufre	<b>Cl</b> 35,453 Cloro	<b>Ar</b> 39,948 Argón
<b>K</b> 39,098 Potasio	<b>Ca</b> 40,078 Calcio	<b>Sc</b> 44,955 Escandio	<b>Ti</b> 47,867 Titanio	<b>V</b> 50,941 Vanadio	<b>Cr</b> 51,996 Cromo	<b>Mn</b> 54,938 Manganeso	<b>Fe</b> 55,845 Hierro	<b>Co</b> 58,933 Cobalto	<b>Ni</b> 58,693 Níquel	<b>Cu</b> 63,546 Cobre	<b>Zn</b> 65,38 Zinc	<b>Ga</b> 69,723 Galio	<b>Ge</b> 72,64 Germanio	<b>As</b> 74,921 Arsénico	<b>Se</b> 78,96 Selenio	<b>Br</b> 79,904 Bromo	<b>Kr</b> 83,798 Kriptón
<b>Rb</b> 85,467 Rubidio	<b>Sr</b> 87,62 Estroncio	<b>Y</b> 88,905 Itrio	<b>Zr</b> 91,224 Zirconio	<b>Nb</b> 92,906 Níobio	<b>Mo</b> 95,96 Molibdeno	<b>Tc</b> (98) Tecnecio	<b>Ru</b> 101,07 Rutenio	<b>Rh</b> 102,905 Rodio	<b>Pd</b> 106,42 Paladio	<b>Ag</b> 107,868 Plata	<b>Cd</b> 112,411 Cadmio	<b>In</b> 114,818 Indio	<b>Sn</b> 118,710 Estaño	<b>Sb</b> 121,760 Antimonio	<b>Te</b> 127,60 Telurio	<b>I</b> 126,905 Yodo	<b>Xe</b> 131,29 Xenón
<b>Cs</b> 132,905 Cesio	<b>Ba</b> 137,327 Bario	<b>57-71</b> Lantánidos	<b>Hf</b> 178,49 Hafnio	<b>Ta</b> 180,947 Tantalio	<b>W</b> 183,84 Wolframio	<b>Re</b> 186,207 Renio	<b>Os</b> 190,23 Osmio	<b>Ir</b> 192,22 Iridio	<b>Pt</b> 195,084 Platino	<b>Au</b> 196,967 Oro	<b>Hg</b> 200,59 Mercurio	<b>Tl</b> 204,384 Talio	<b>Pb</b> 207,2 Plomo	<b>Bi</b> 208,980 Bismuto	<b>Po</b> (209) Polonio	<b>At</b> (210) Astato	<b>Rn</b> (222) Radón
<b>Fr</b> (223) Francio	<b>Ra</b> (226) Radio	<b>89-103</b> Actínidos	<b>Rf</b> (261) Rutherfordio	<b>Db</b> (268) Dubnio	<b>Sg</b> (271) Seaborgio	<b>Bh</b> (272) Bohrio	<b>Hs</b> (270) Hassium	<b>Mt</b> (276) Meitnerio	<b>Ds</b> (281) Darmstadtio	<b>Rg</b> (280) Roentgenio	<b>Cn</b> (285) Copernicio	<b>Uut</b> (284) Ununtrio	<b>Fl</b> (286) Flerovio	<b>Uup</b> (288) Ununpentio	<b>Lv</b> (293) Livermorio	<b>Uus</b> (294) Ununseptio	<b>Uuo</b> (294) Ununoctio
			<b>La</b> 138,905 Lantano	<b>Ce</b> 140,116 Cerio	<b>Pr</b> 140,907 Praseodimio	<b>Nd</b> 144,242 Neodimio	<b>Pm</b> (145) Prometio	<b>Sm</b> 150,36 Samario	<b>Eu</b> 151,964 Europio	<b>Gd</b> 157,25 Gadolinio	<b>Tb</b> 158,925 Terbio	<b>Dy</b> 162,500 Disprosio	<b>Ho</b> 164,930 Holmio	<b>Er</b> 167,259 Erbio	<b>Tm</b> 168,934 Tulio	<b>Yb</b> 173,054 Yterbio	<b>Lu</b> 174,967 Lutecio
			<b>Ac</b> (227) Actinio	<b>Th</b> 232,038 Torio	<b>Pa</b> 231,036 Protactinio	<b>U</b> 238,0289 Uranio	<b>Np</b> (237) Neptunio	<b>Pu</b> (244) Plutonio	<b>Am</b> (243) Americio	<b>Cm</b> (247) Curio	<b>Bk</b> (247) Berkelio	<b>Cf</b> (251) Californio	<b>Es</b> (252) Einsteinio	<b>Fm</b> (257) Fermio	<b>Md</b> (258) Mendelevio	<b>No</b> (259) Nobelio	<b>Lr</b> (262) Lawrencio

 electrón  
 protón  
 neutrón

Alcalino	Alcalinotérreo	Metales del bloque p	Halógeno	Gas noble
No metal	Metal de transición	Metaloides	Lantánidos	Actínidos


 protón

 neutrón

 electrón

 protón

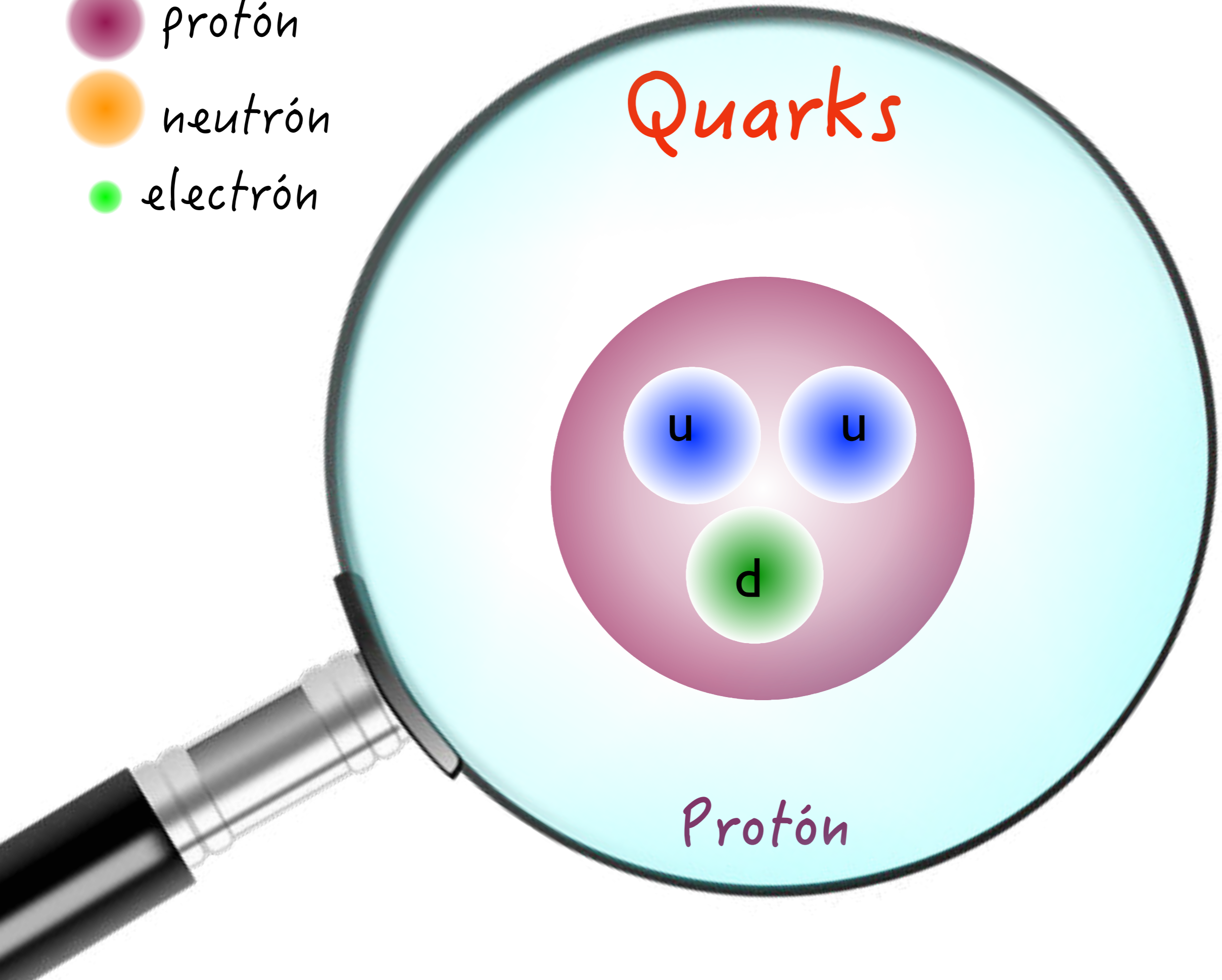
 neutrón

 electrón




Protón

- protón
- neutrón
- electrón



 protón

 neutrón

 electrón

Leptones



Electrón

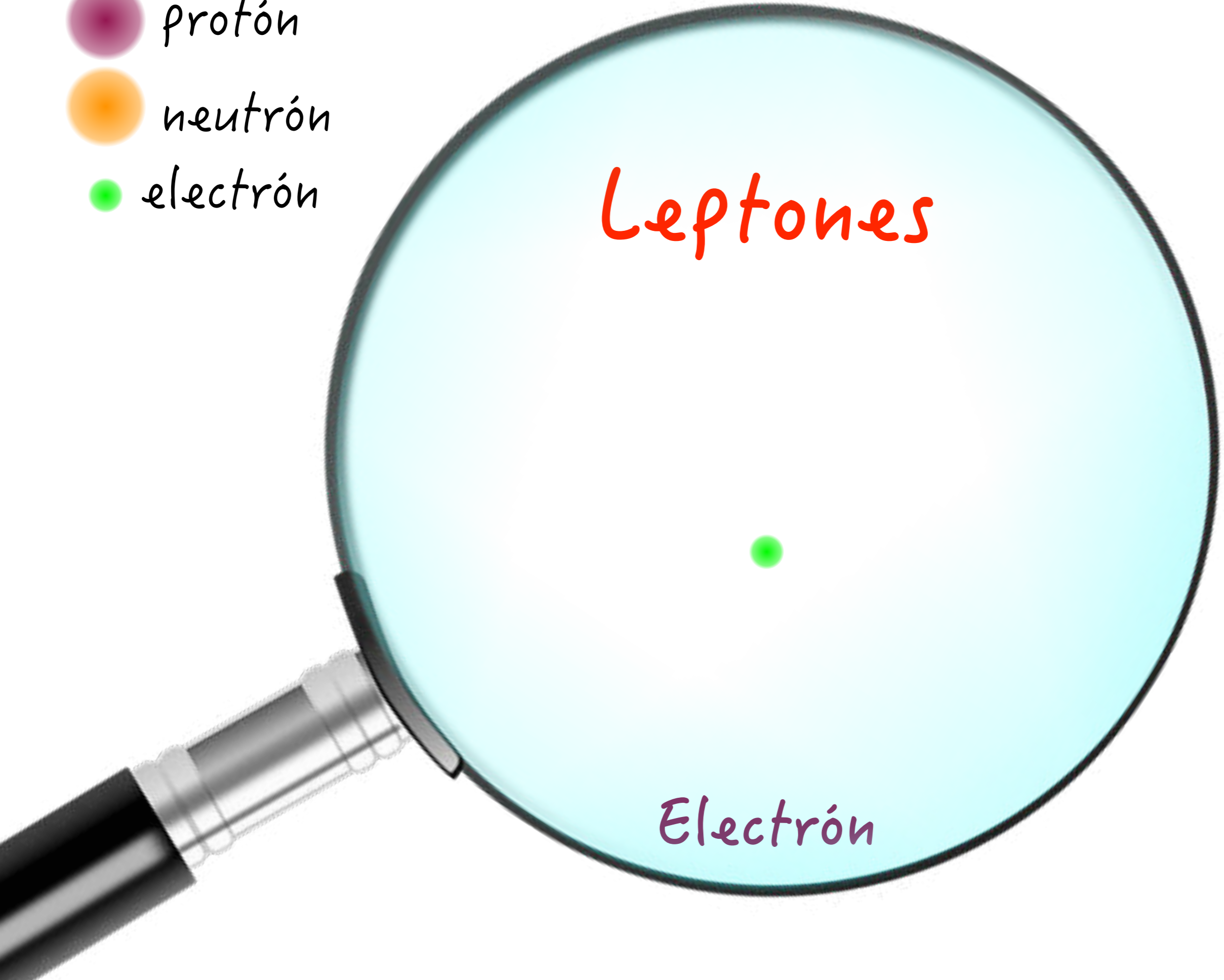
protón

neutrón

electrón

Leptones

Electrón





- electrón
- quarks
- neutrino

+ Leptones

No tiene carga eléctrica



Neutrino

- electrón
- quarks
- neutrino

+ Leptones

No tiene carga eléctrica



Neutrino

# La primera familia de partículas elementales



Up



electrón

"casi" todo está  
hecho con ellas



Down



$\nu_e$

**Materia  
ordinaria**

El Universo es oscuro



El Universo es oscuro

Materia Ordinaria

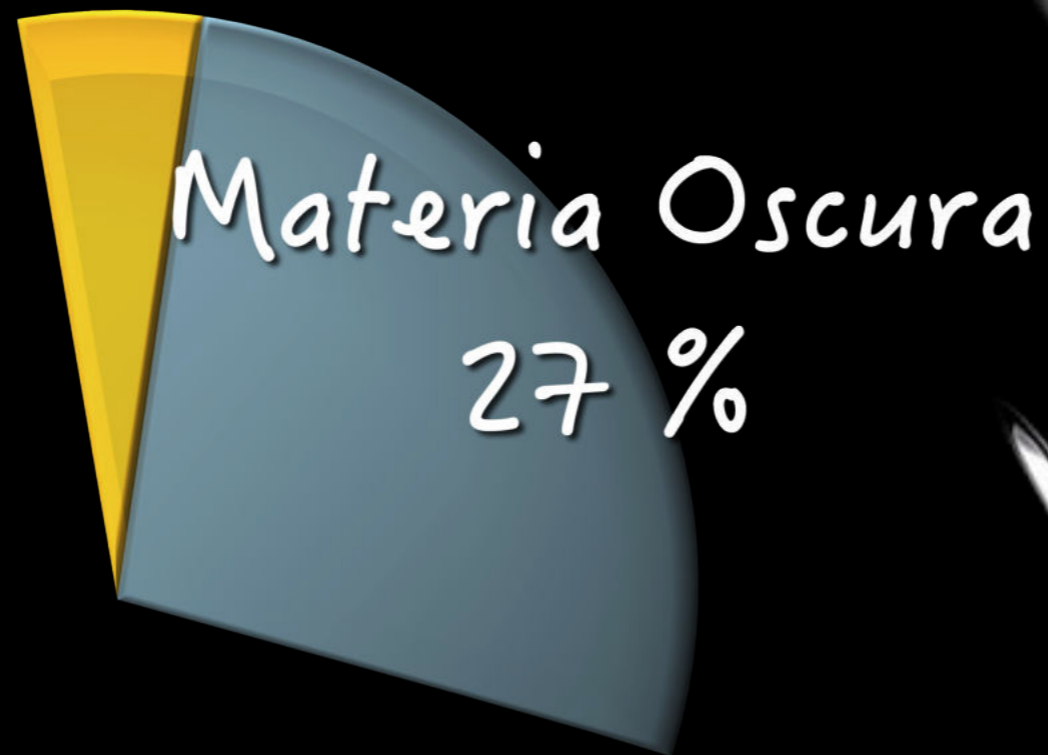
5 %



El Universo es oscuro

Materia Ordinaria

5 %



Materia Oscura

27 %

El Universo es oscuro

Materia Ordinaria

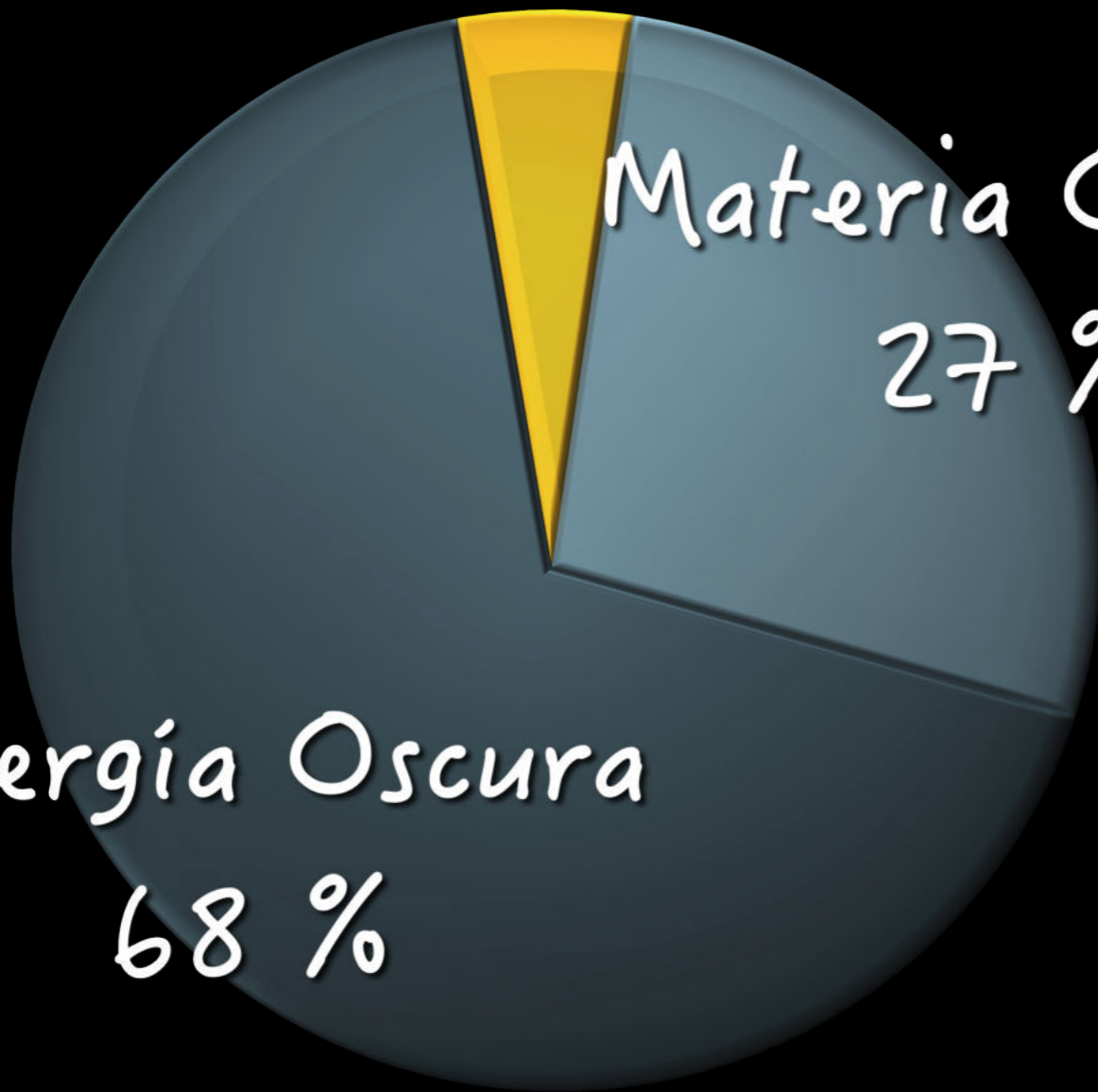
5 %

Materia Oscura

27 %

Energía Oscura

68 %





Materia ordinaria

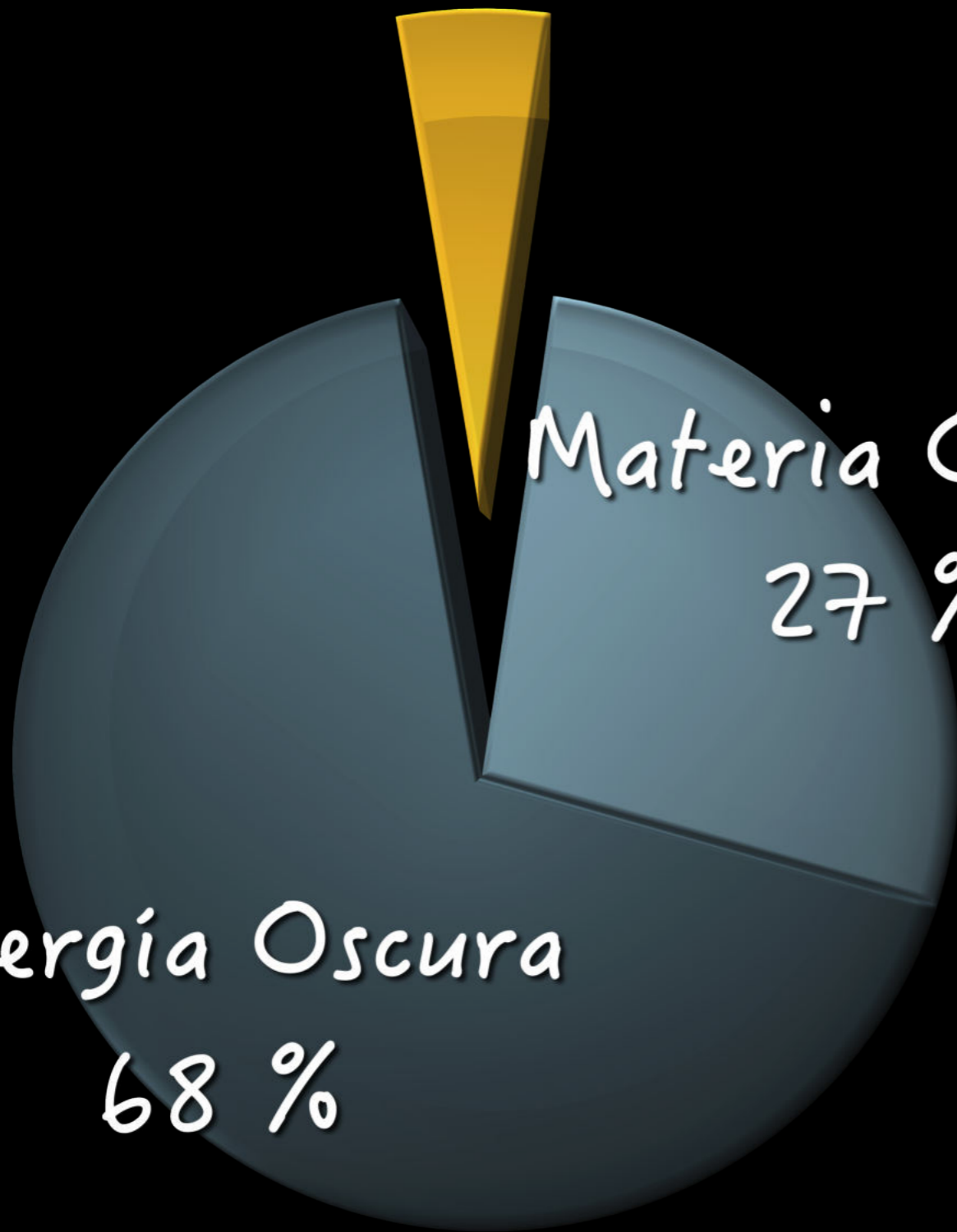
5 %

Materia Oscura

27 %

Energia Oscura

68 %



**¿Qué sabemos  
sobre la materia  
ordinaria?**

# Las tres familias de quarks

# Las tres familias de quarks

Carga eléctrica

$$\frac{2}{3}$$



Up



Charm



$$-\frac{1}{3}$$



Down



Strange



# Las tres familias de leptones



electrón



muón



tau



$\nu_e$



$\nu_\mu$



$\nu_\tau$

# Las tres familias de leptones

Carga eléctrica

-1



electrón



muón



tau

0



$\nu_e$

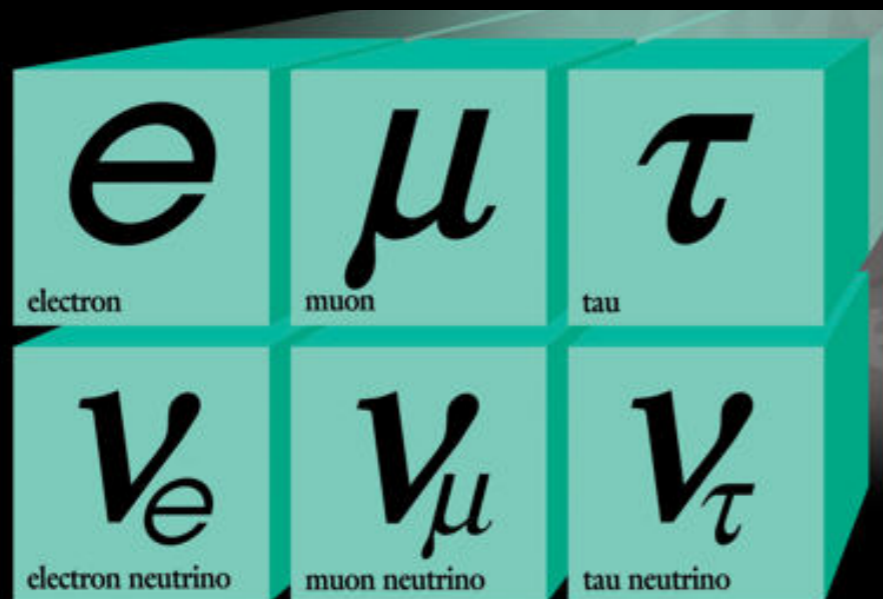
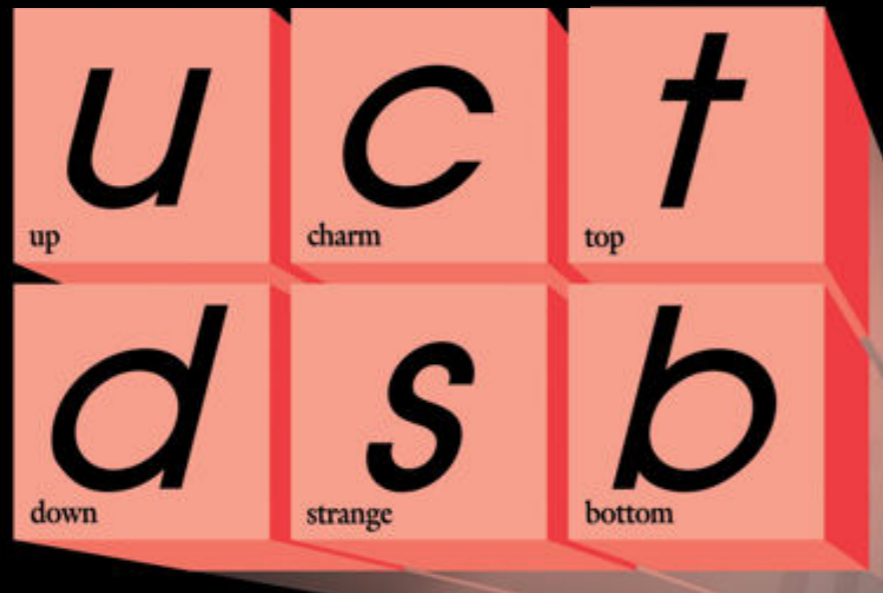


$\nu_\mu$



$\nu_\tau$

# QUARKS



# LEPTONES

**Los portadores  
de la fuerza**



*Las cuatro fuerzas de la naturaleza*

Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Gravedad

Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Gravedad

Electro-magnética

Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Gravedad

Fuerte

Electro-magnética

Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Gravedad

Débil

Fuerte

Electro-magnética

Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Gravedad

Modelo Estándar

Débil

Fuerte

Electro-magnética

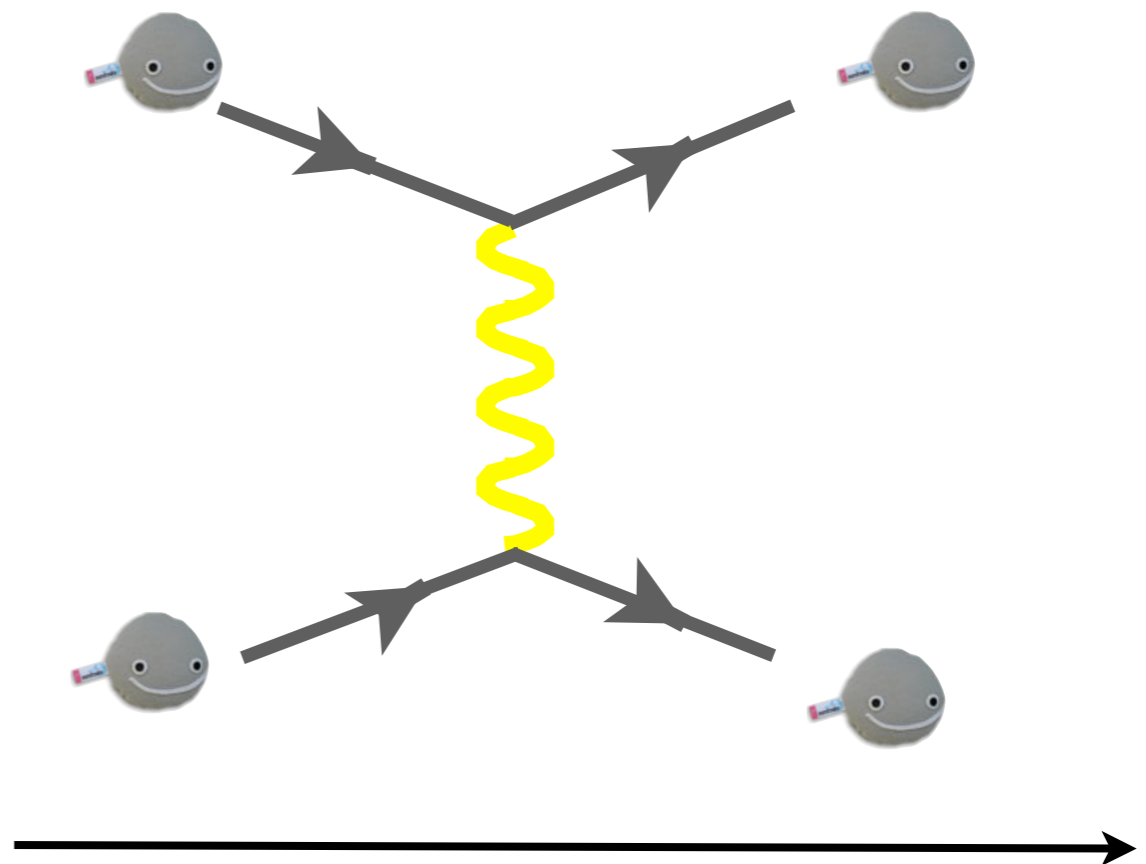
# Los portadores de la fuerza

## Electricidad y magnetismo

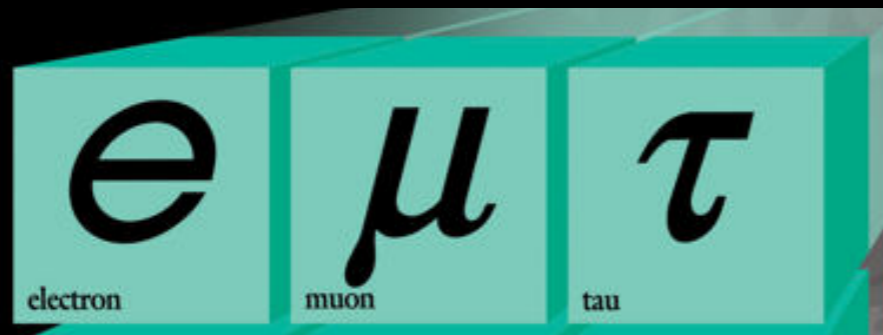
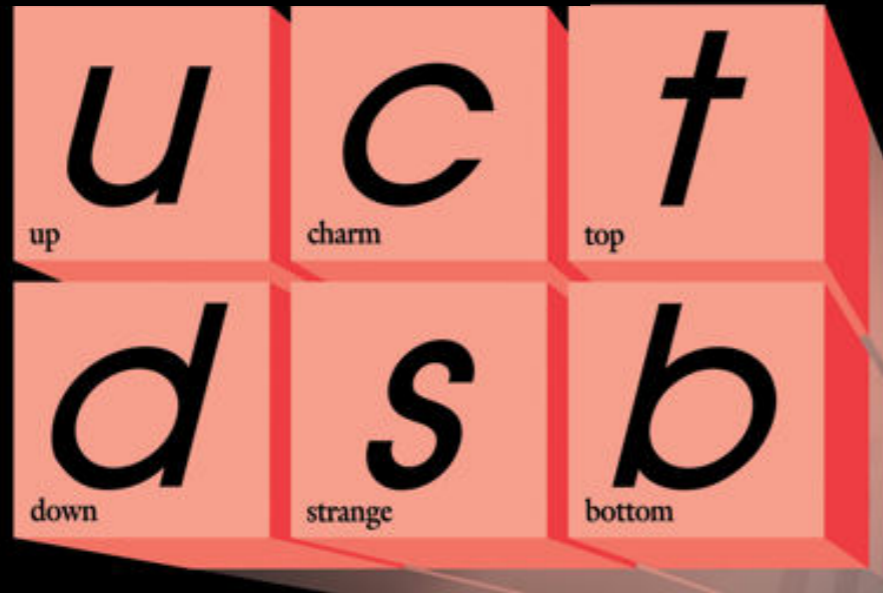
### El fotón

sin masa

Interacción =  
intercambio de fotones

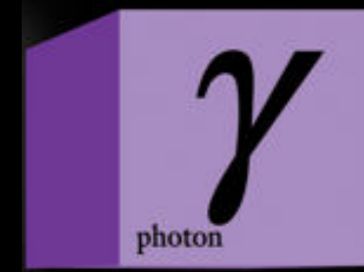


# QUARKS



# LEPTONES

# Interacción electromagnética



# FOTÓN

Portadores de la fuerza



# Los portadores de la fuerza

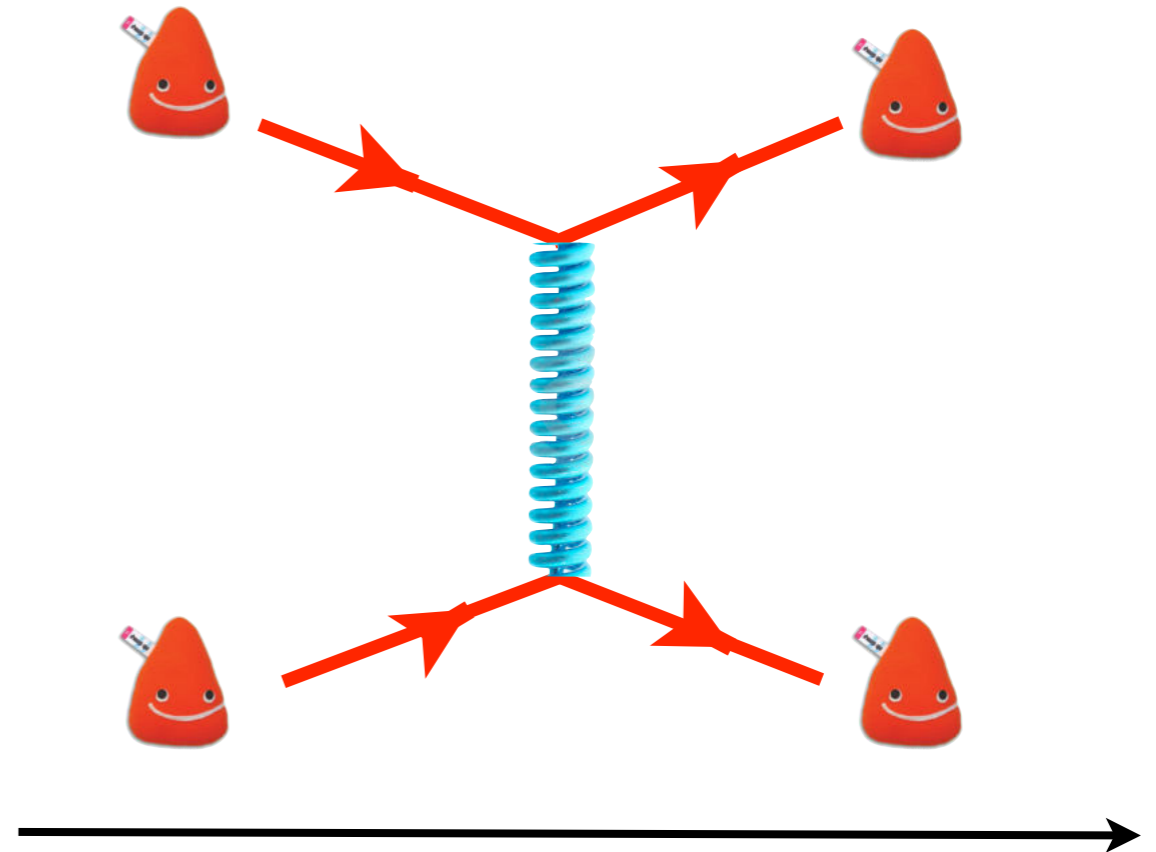
## Interacción fuerte

QCD

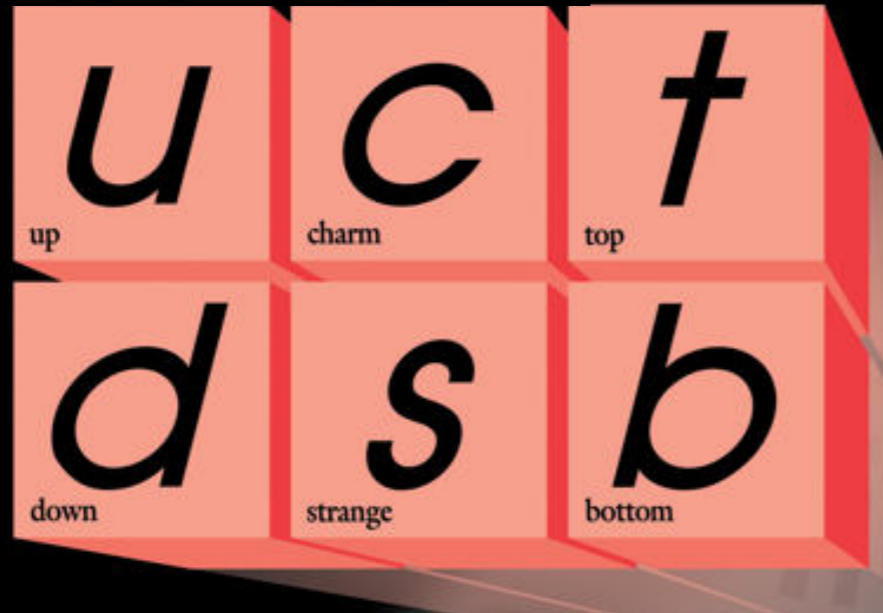
8 gluones

sin masa

Confinan a los quarks  
en protón y neutrón



# QUARKS



Interacción  
fuerte



GLUÓN

Portadores de la fuerza

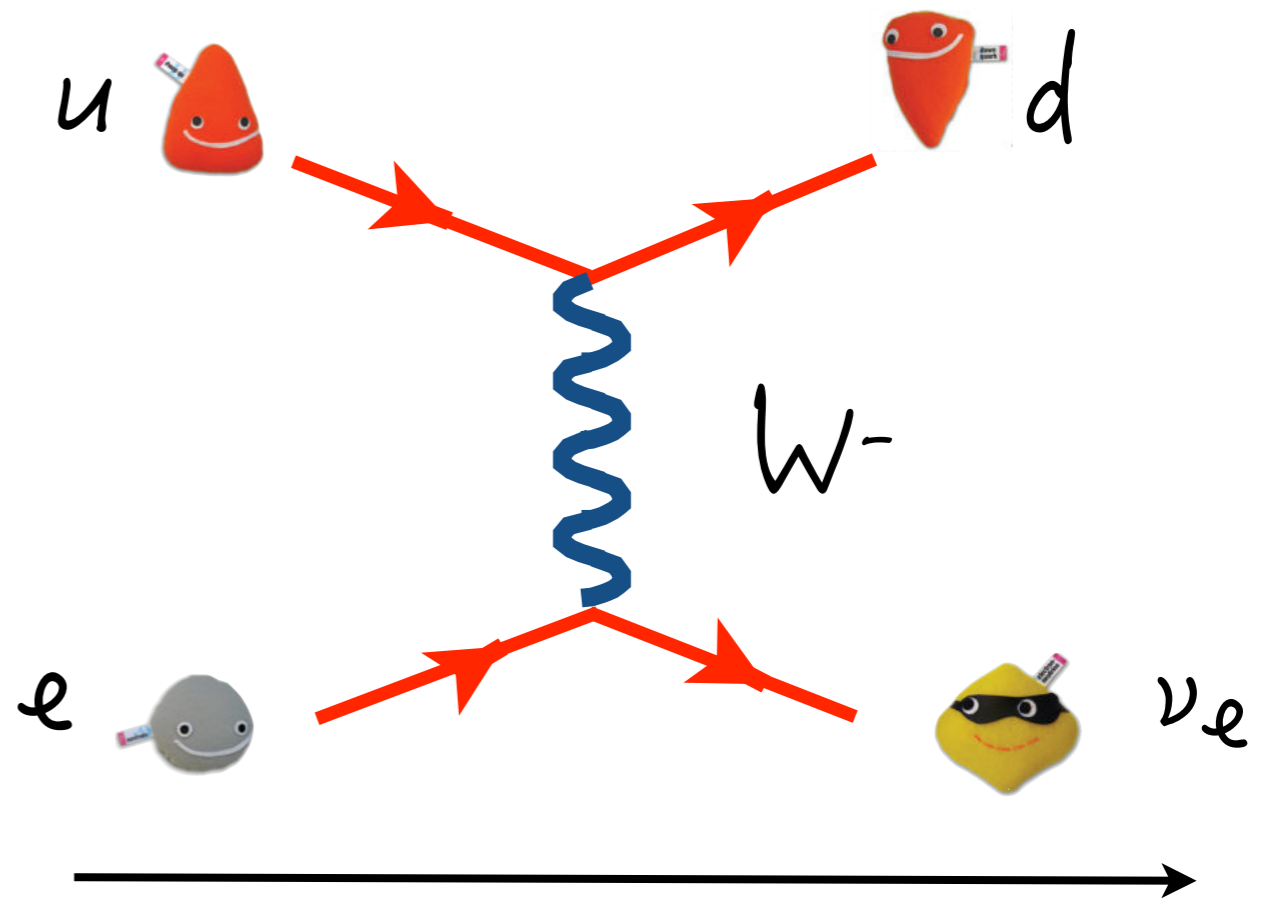
# Los portadores de la fuerza

## Interacción débil

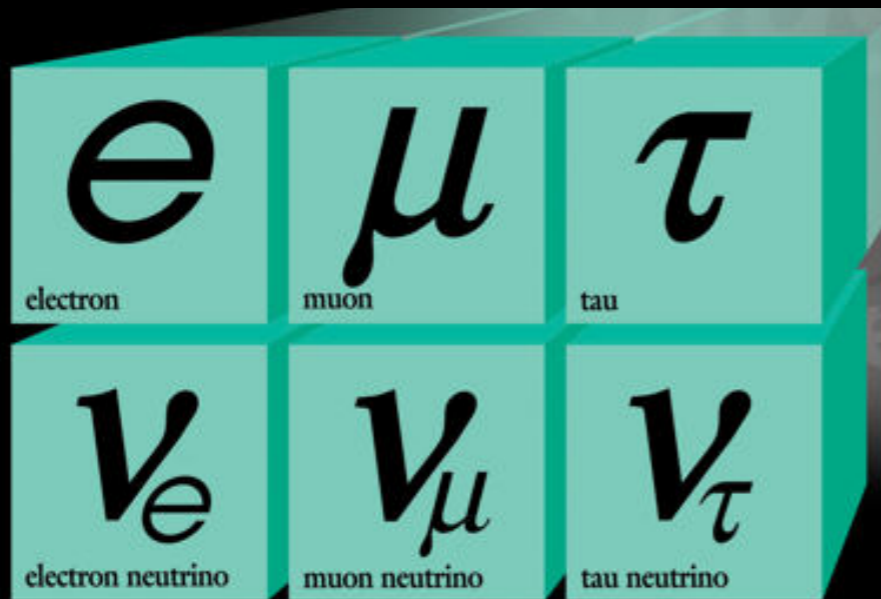
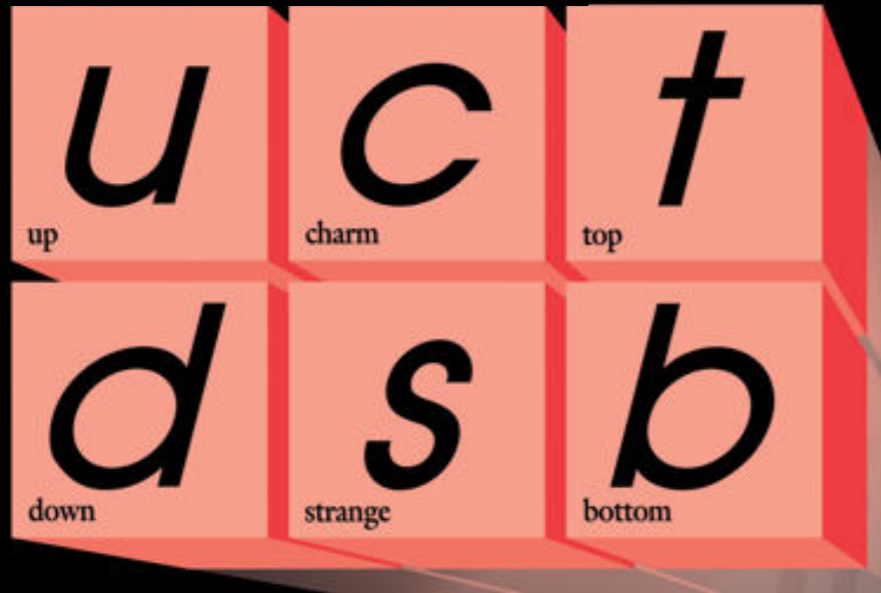
Bosones  $W^+$  y  $Z$

Masivos

Interacción de corto alcance

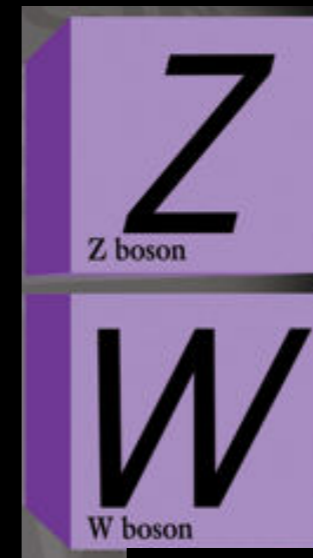


# QUARKS



# LEPTONES

# Interacción débil



# BOSONES

W y Z

Portadores de la fuerza

# Los portadores de la fuerza

## Interacción gravitatoria

El gravitón (?)

sin masa

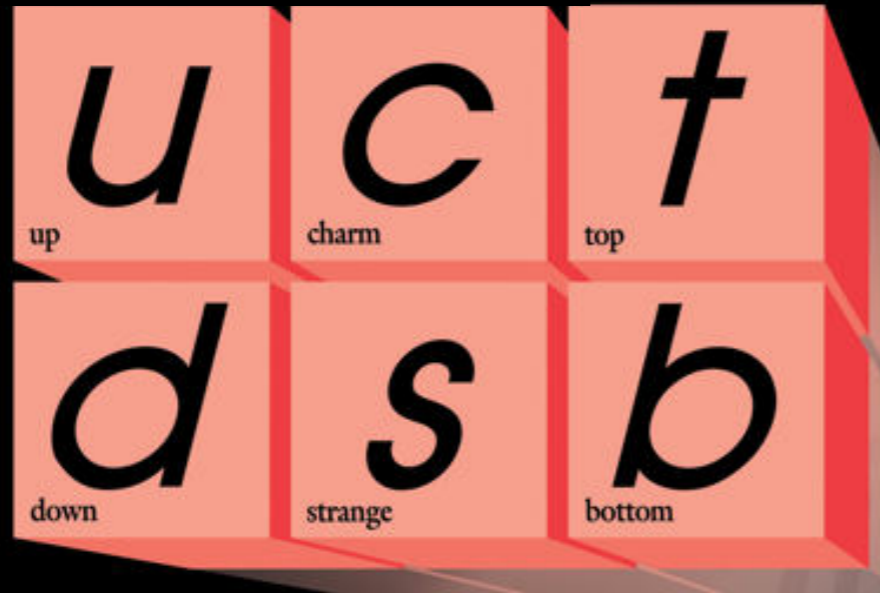
Interacción de largo alcance  
muy débil



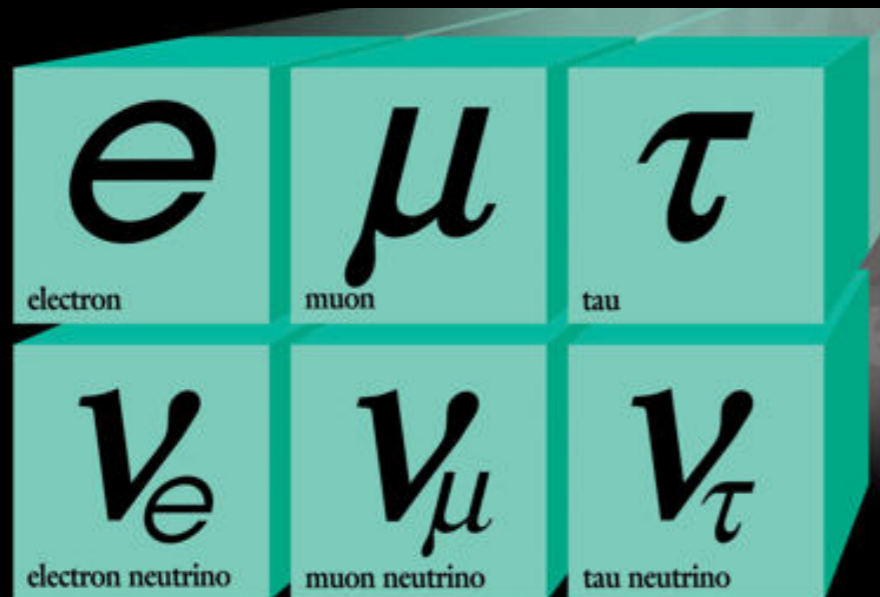
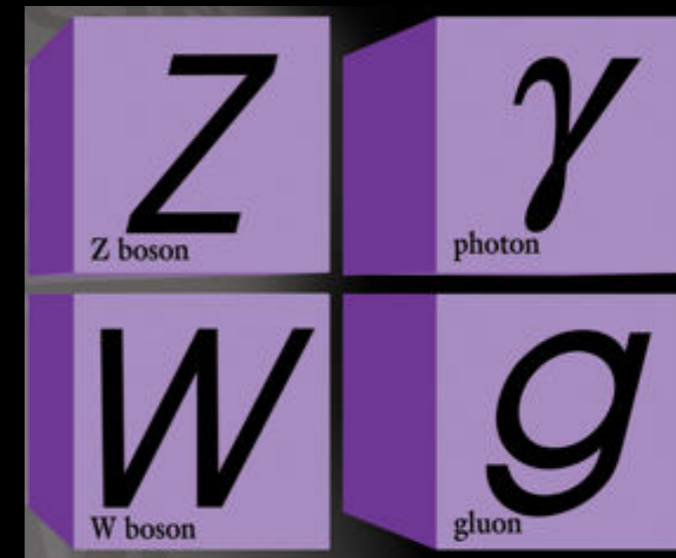
No integrado en el ME

# MODELO ESTÁNDAR

## QUARKS



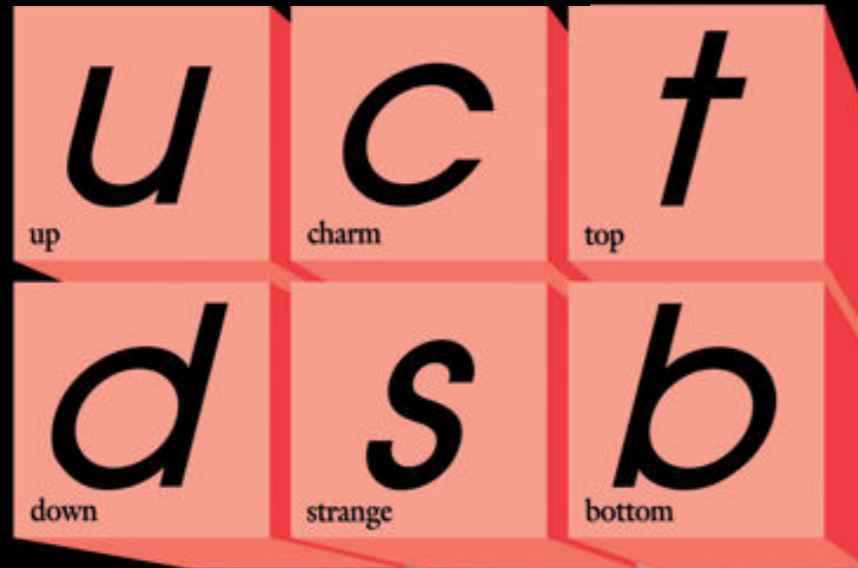
## FUERZAS



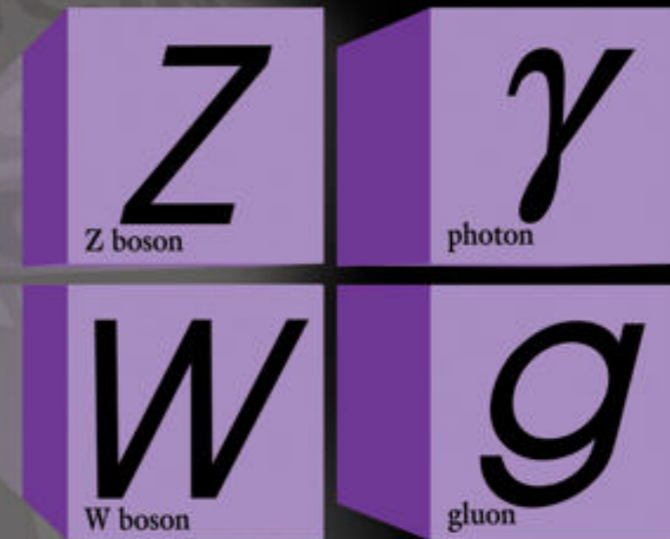
## LEPTONES

# MODELO ESTÁNDAR

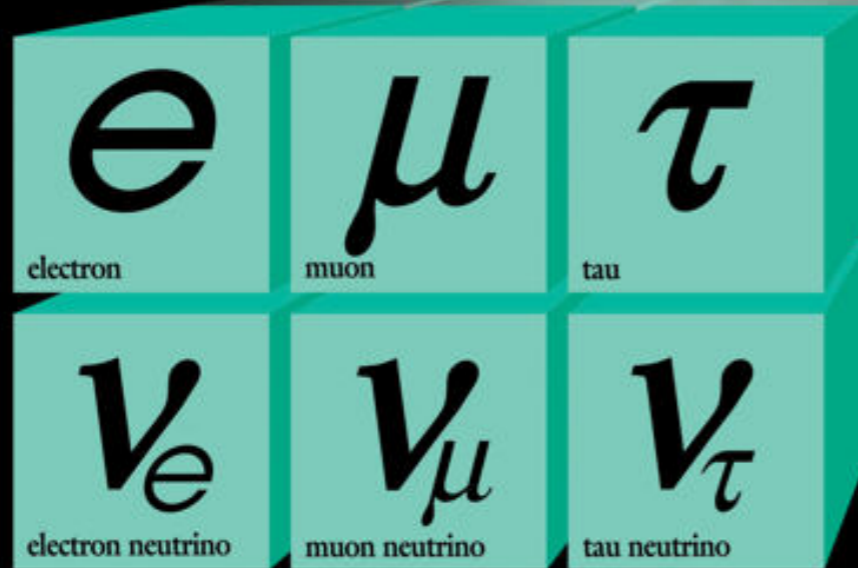
## QUARKS



## FUERZAS



Bosón de Higgs



## LEPTONES

Hace 10 años se descubrió la partícula de Higgs

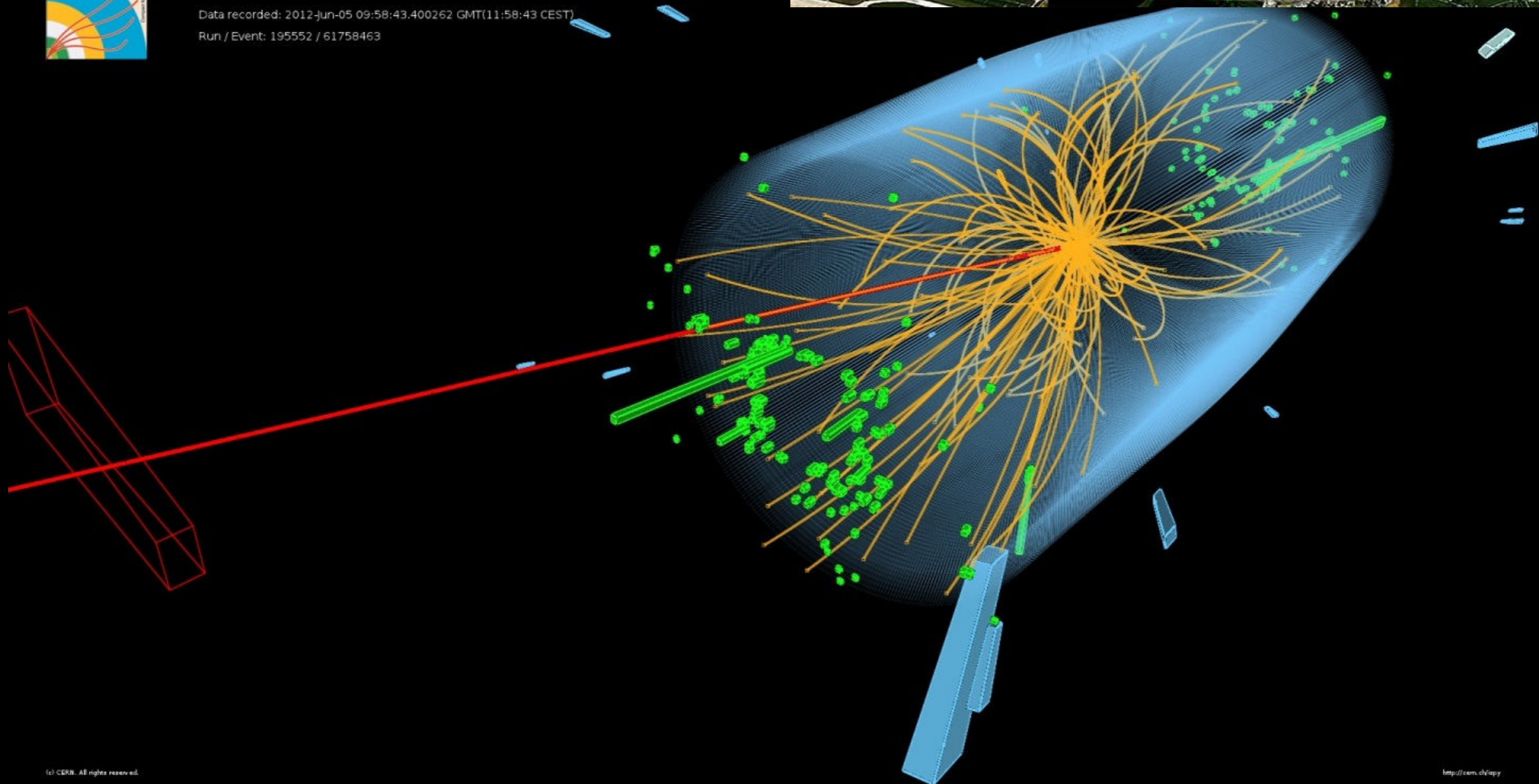
LHC  
gran colisionador  
de hadrones  
CERN  
Ginebra



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-jun-05 09:58:43.400262 GMT(11:58:43 CEST)

Run / Event: 195552 / 61758463





DECEMBER 31, 2012 / JANUARY 7, 2013

# TIME

**Nº5**  
PARTICLE  
PHYSICIST  
**FABIOLA  
GIANOTTI**



Directora general  
del CERN 2016



Portavoz del experimento  
ATLAS, presentó el  
descubrimiento del bosón  
de Higgs en 2012



# El premio Nobel de física 2013



**François Englert**

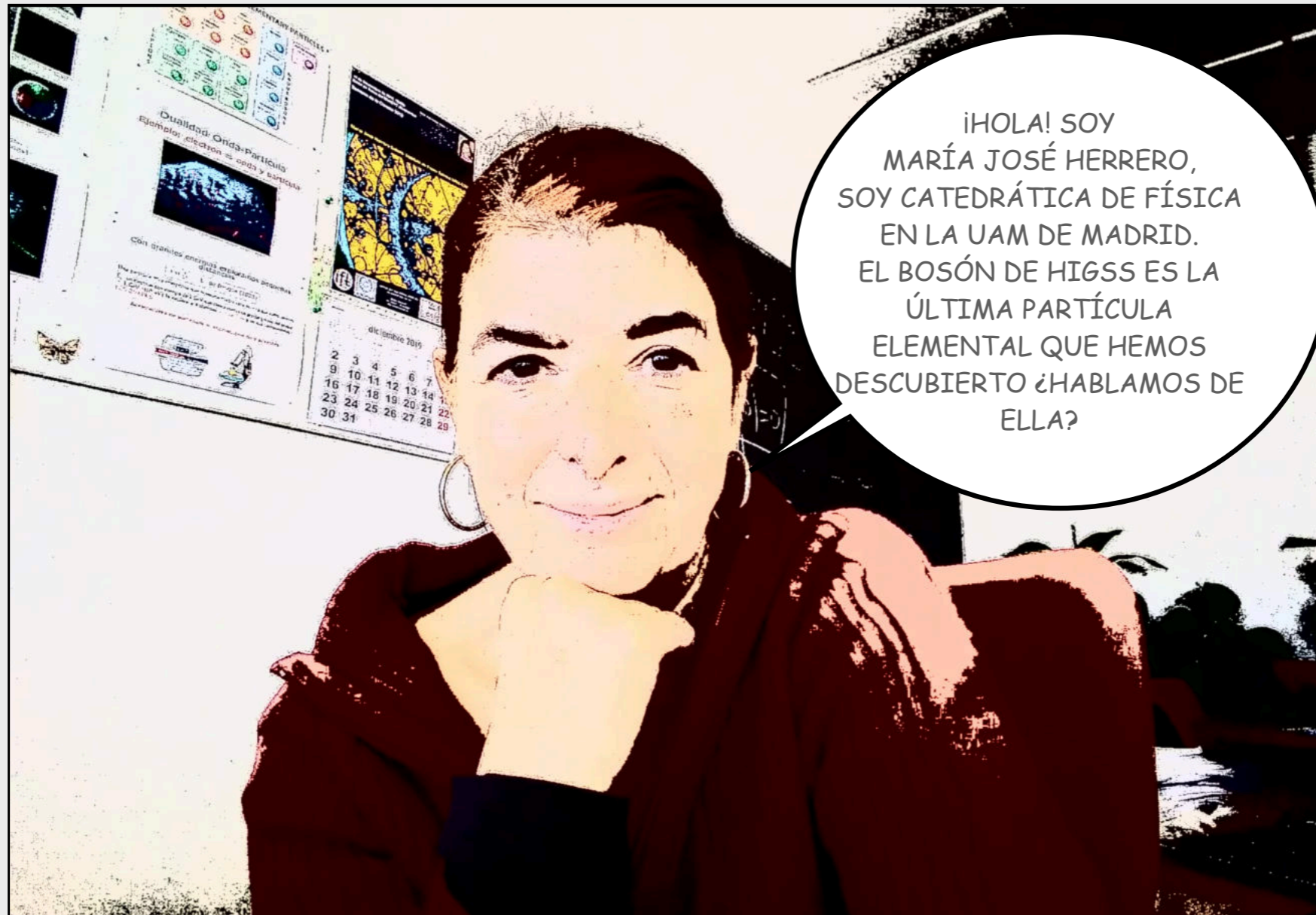


**Peter W. Higgs**

# Maria José Herrero



¿Qué es el bosón de Higgs?

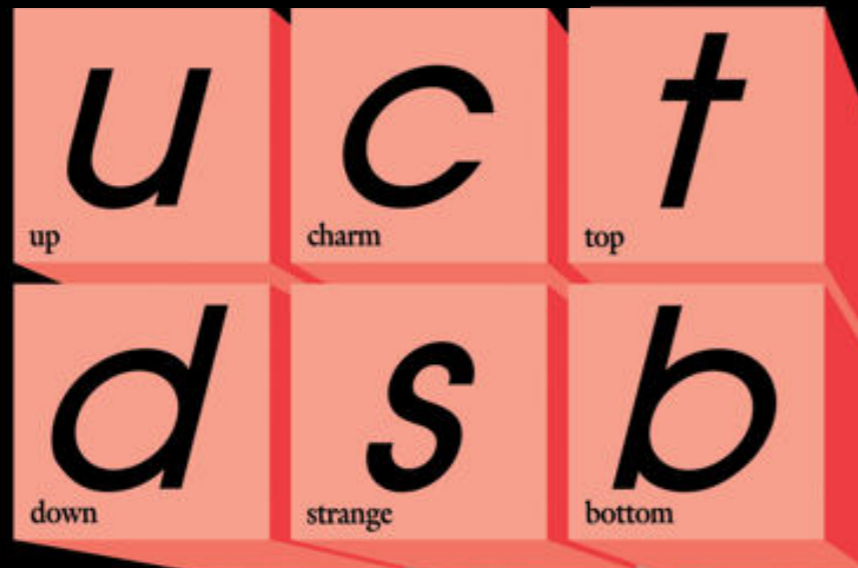


# El bosón de Higgs da masa a las demás partículas

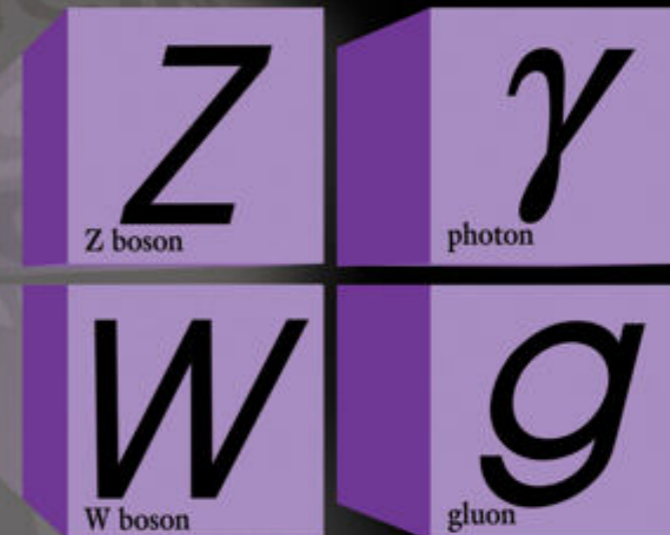


# MODELO ESTÁNDAR

## QUARKS



## FUERZAS



## LEPTONES

**Modelo Estándar =**

**Nueva Tabla Periódica**

**Esta imagen,  
¿es completa?**

**¿Sabemos todo  
sobre el  
Modelo Estándar?**



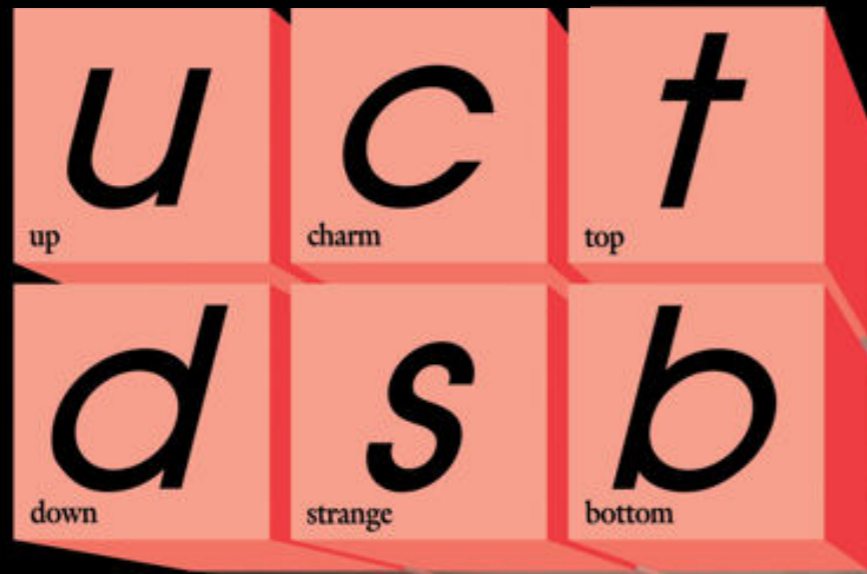
**¿Sabemos todo**

**sobre el**

**Modelo de la Tierra?**

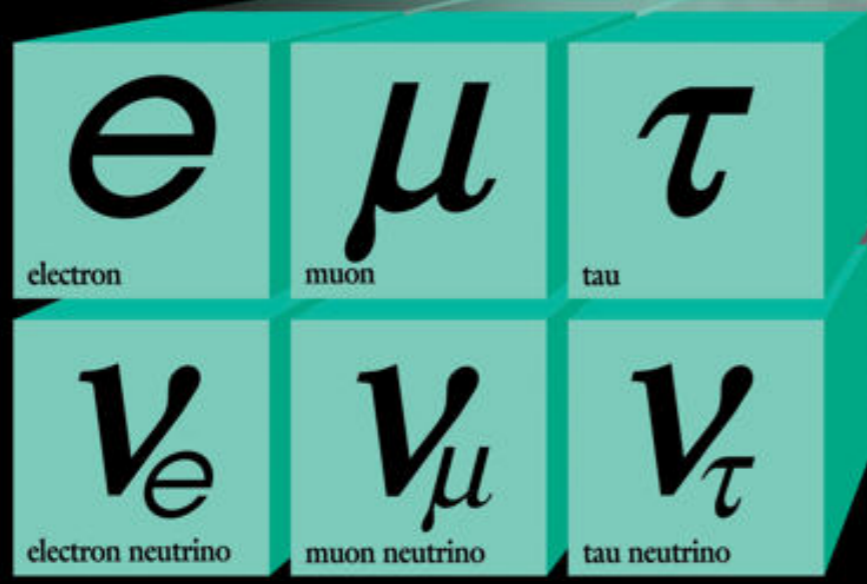
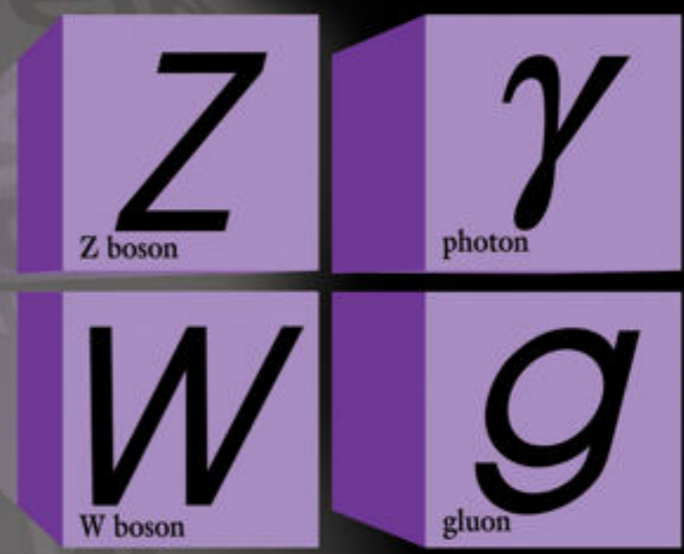
**¡NO!**

# QUARKS



MODELO ESTÁNDAR  
¿Por qué 3 familias?

# FUERZAS



# LEPTONES



Up

P/500



Charm

P



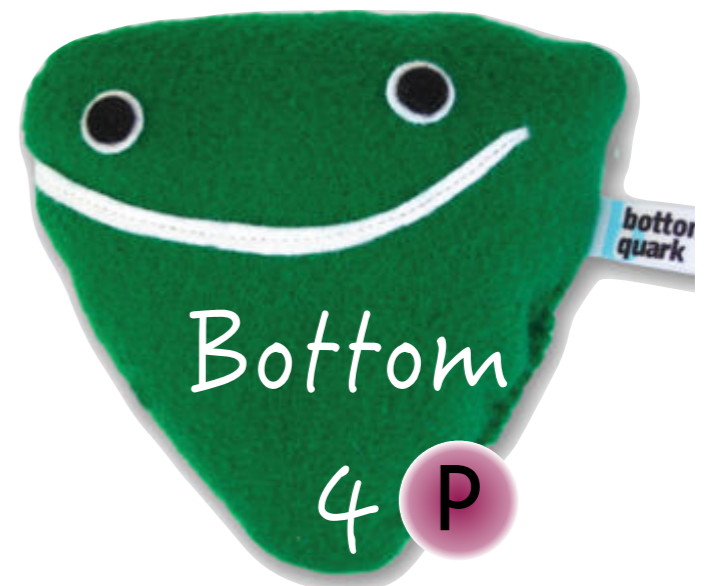
Down

P/200



Strange

P/10



Bottom

4 P

# ¿Por qué las masas son tan distintas?



Up

$\frac{P}{500}$



Down

$\frac{P}{200}$



Charm

$P$



Strange

$\frac{P}{10}$



Top  
 $173 P$



Bottom  
 $4 P$

# También los leptones



electrón

$P/2000$



muón

$P/10$



tau

$2P$

¿Y los neutrinos?

# También los leptones



electrón

$P/2000$



muón

$P/10$



tau

$2P$



$\nu_e$

??

$\neq$



$\nu_\mu$

??

$\neq$



$\nu_\tau$

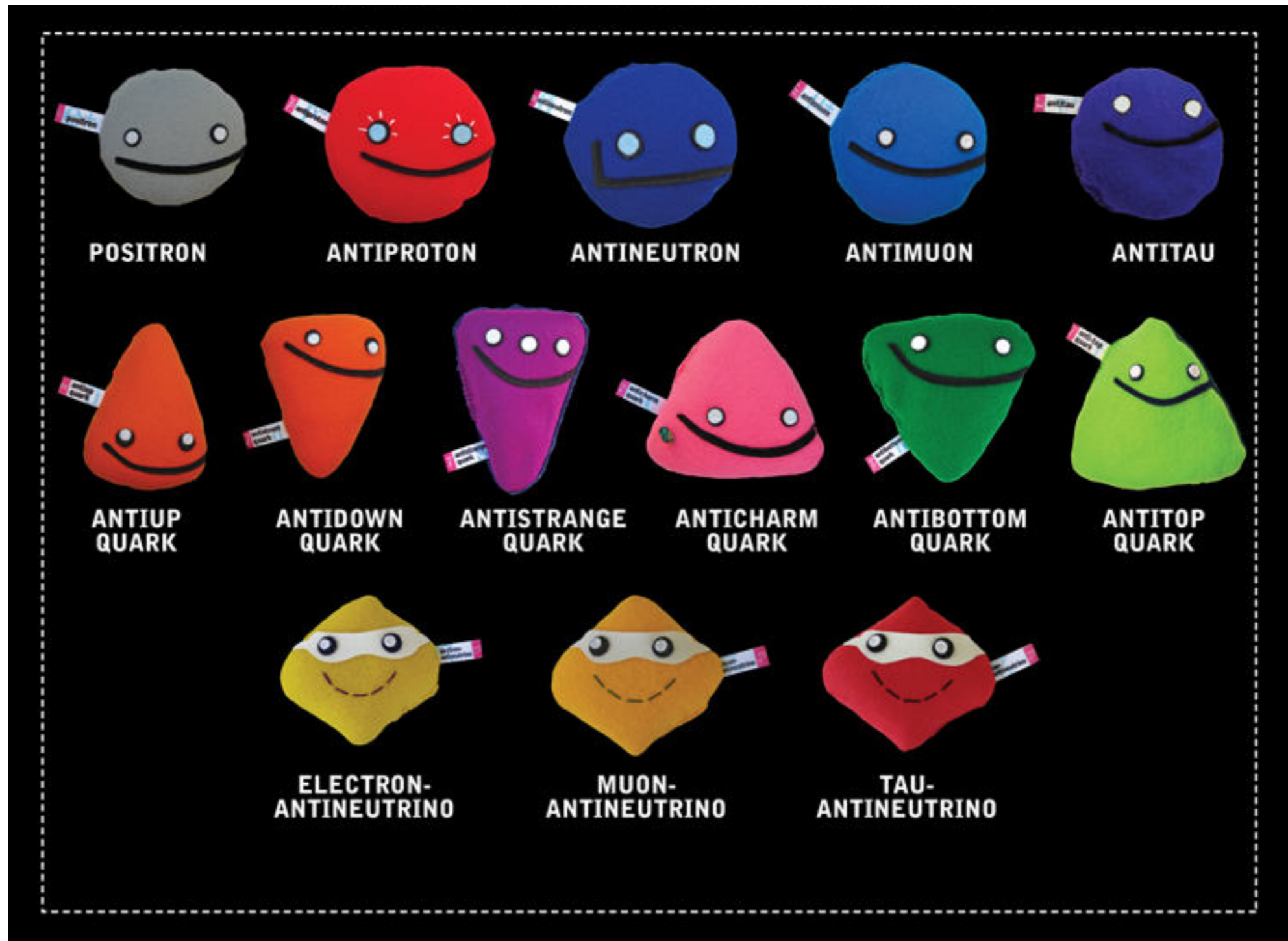
??

# Belén Gavela

## El universo invisible



¿Por qué no estamos hechos de antimateria?





¿Por qué izquierda  $\neq$  derecha?



Chien-Shiung Wu

**Esta imagen,  
¿es completa?**

**Esta imagen,**

**¿es una?**

**i NO!**

El Universo es oscuro



El Universo es oscuro

Materia Ordinaria

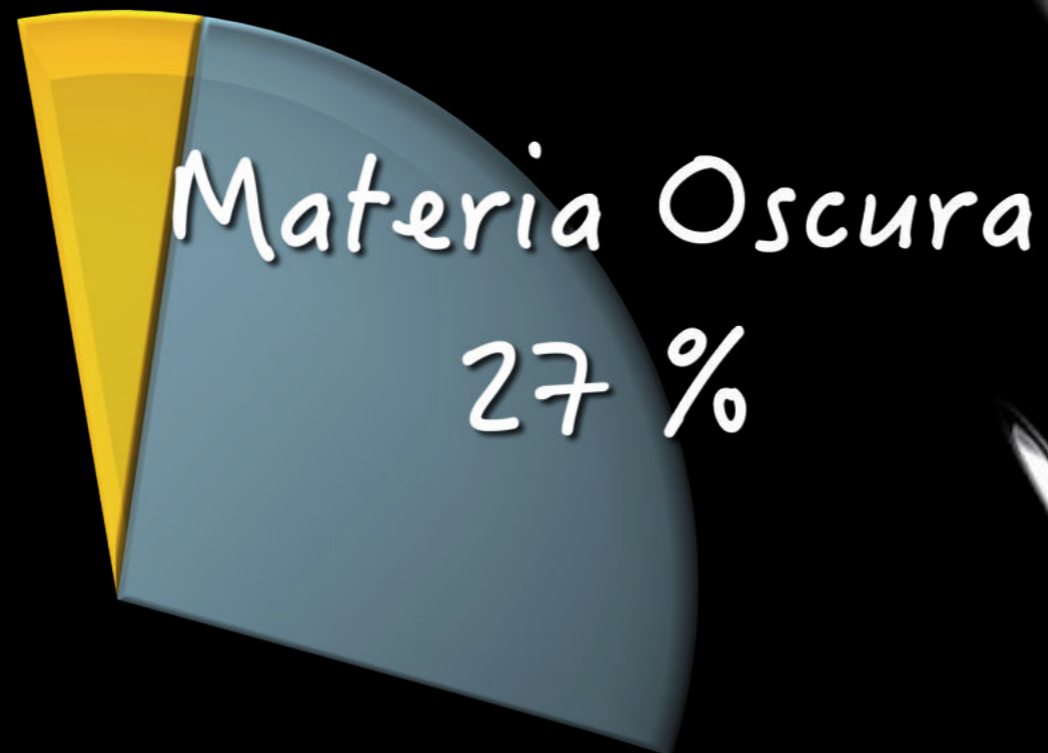
5 %



El Universo es oscuro

Materia Ordinaria

5 %



Materia Oscura

27 %

El Universo es oscuro

Materia Ordinaria

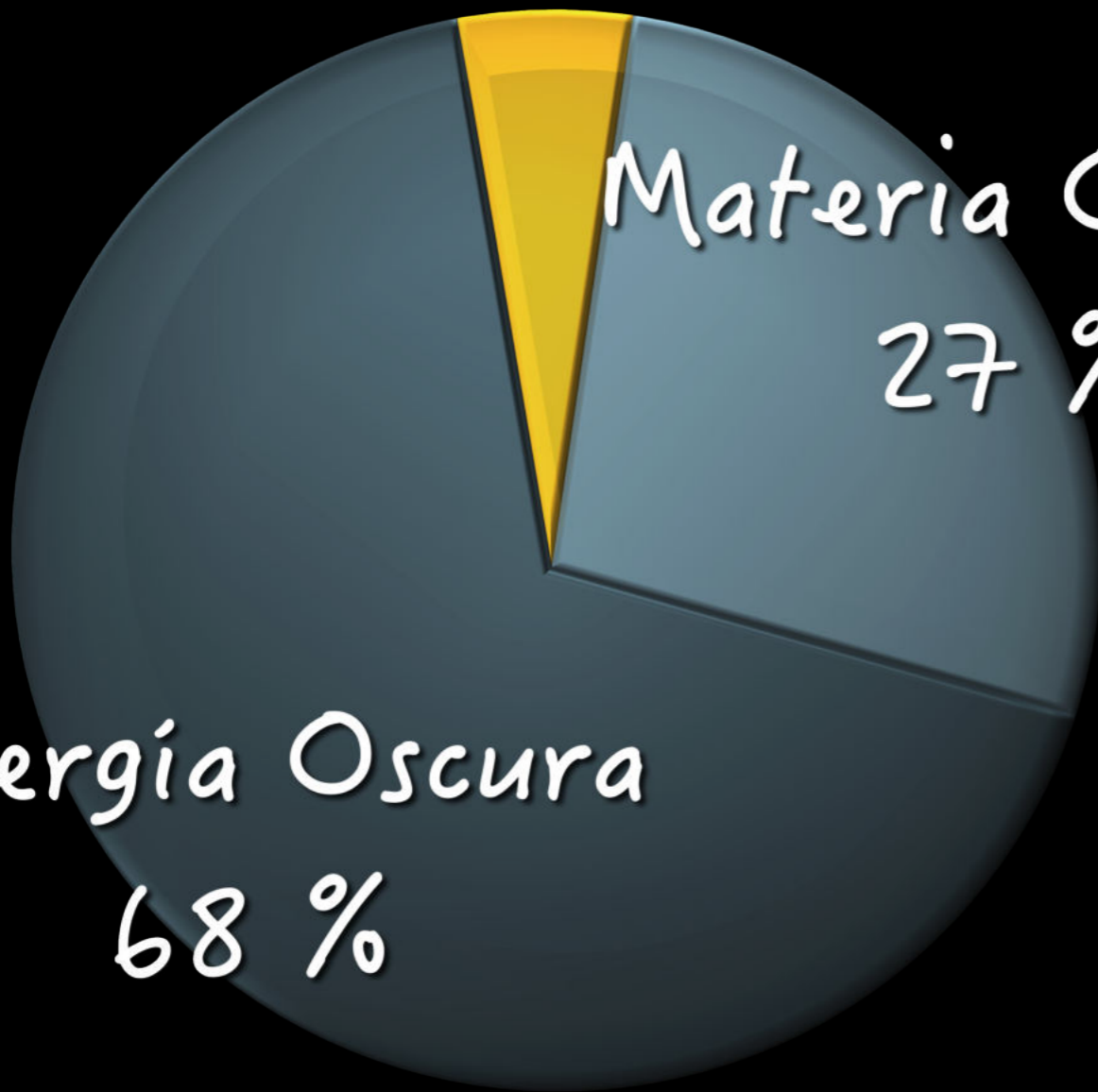
5 %

Materia Oscura

27 %

Energía Oscura

68 %





MISTERIO

SOLO CONOCEMOS EL 5 % DEL CONTENIDO  
ENERGÉTICO DEL UNIVERSO

Materia Ordinaria

5 %





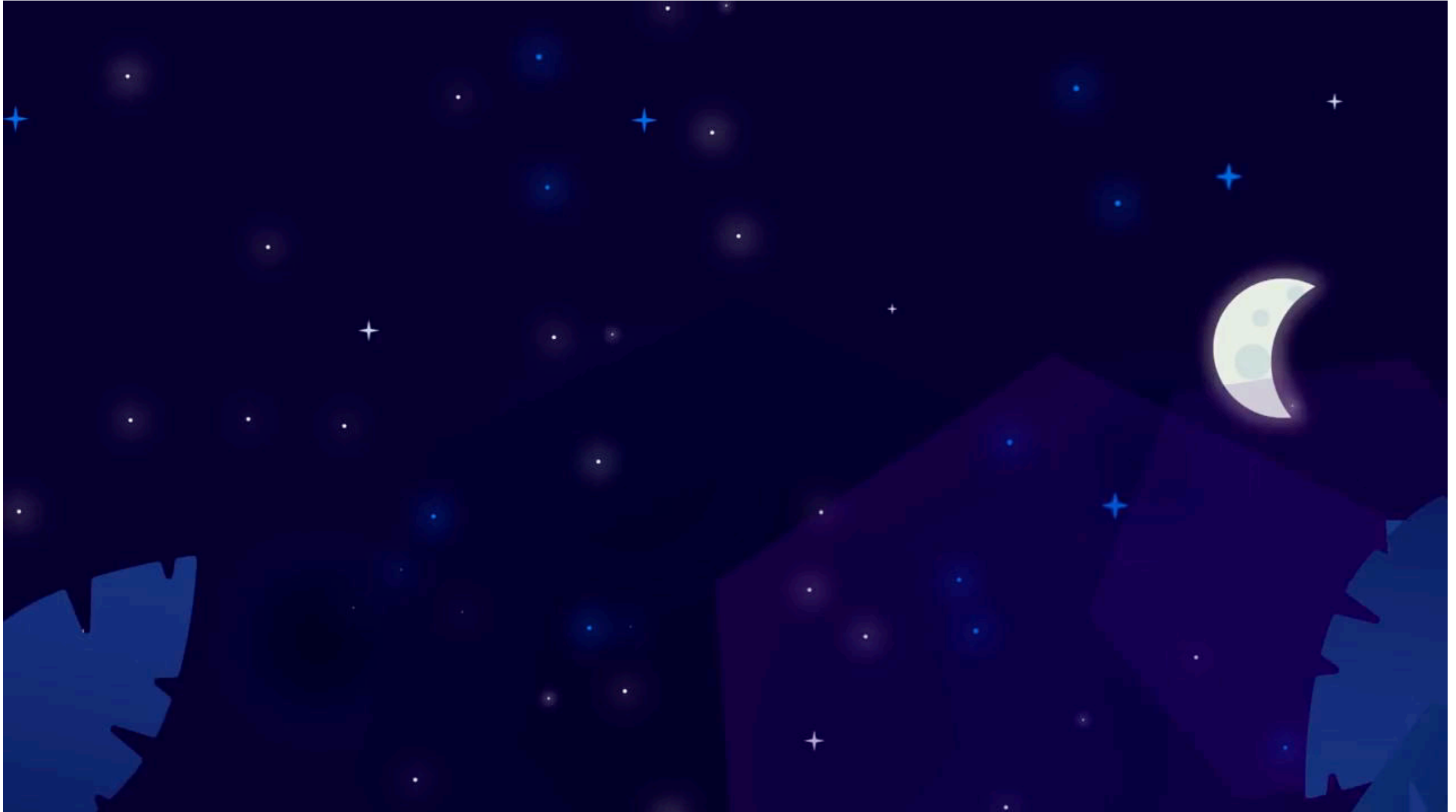
¿QUÉ ES LA  
MATERIA OSCURA?



El origen de la materia oscura

Guillermo Ballesteros

# Vera Rubin y la materia oscura

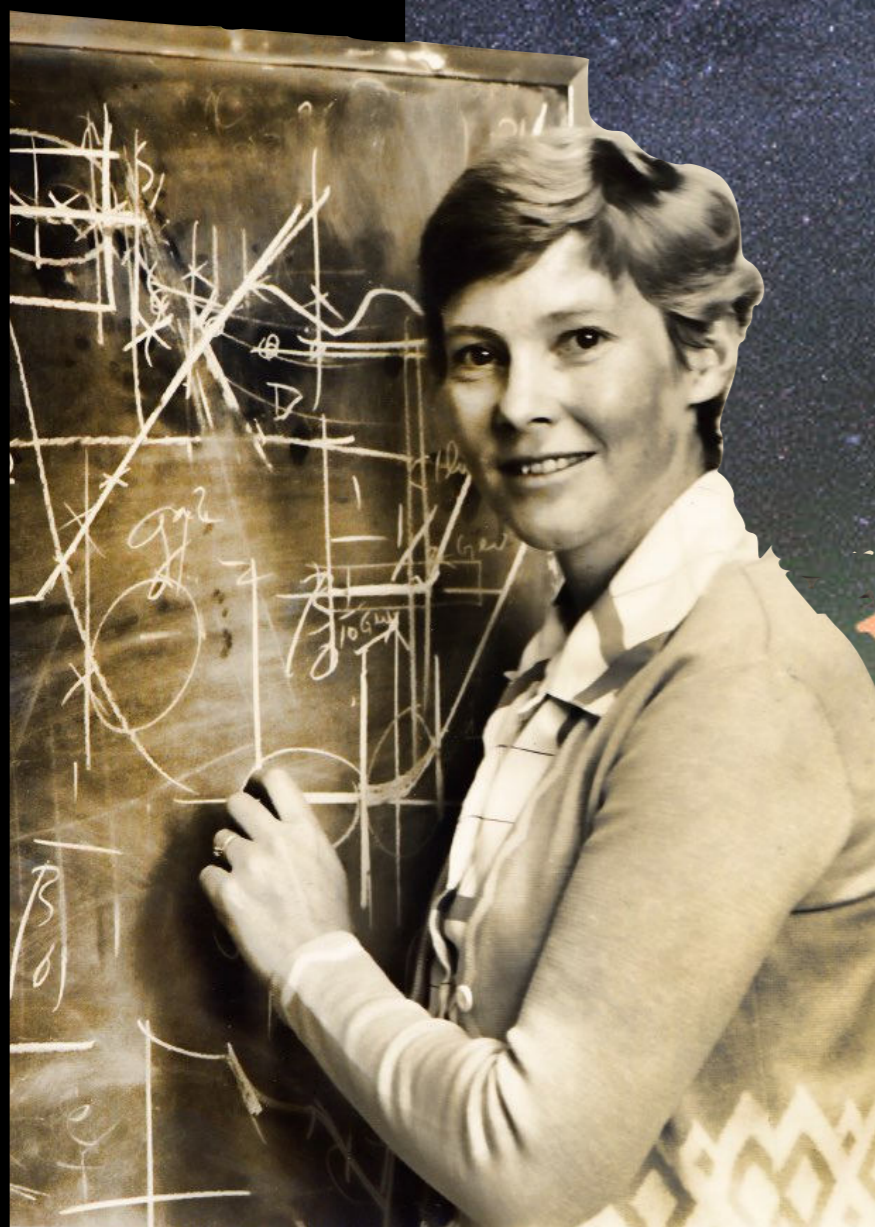


[credit: BBVAOpenMind](#)

# Invisibles18


Dark Matter, Axions and other Elusives

¿Nuevas partículas?



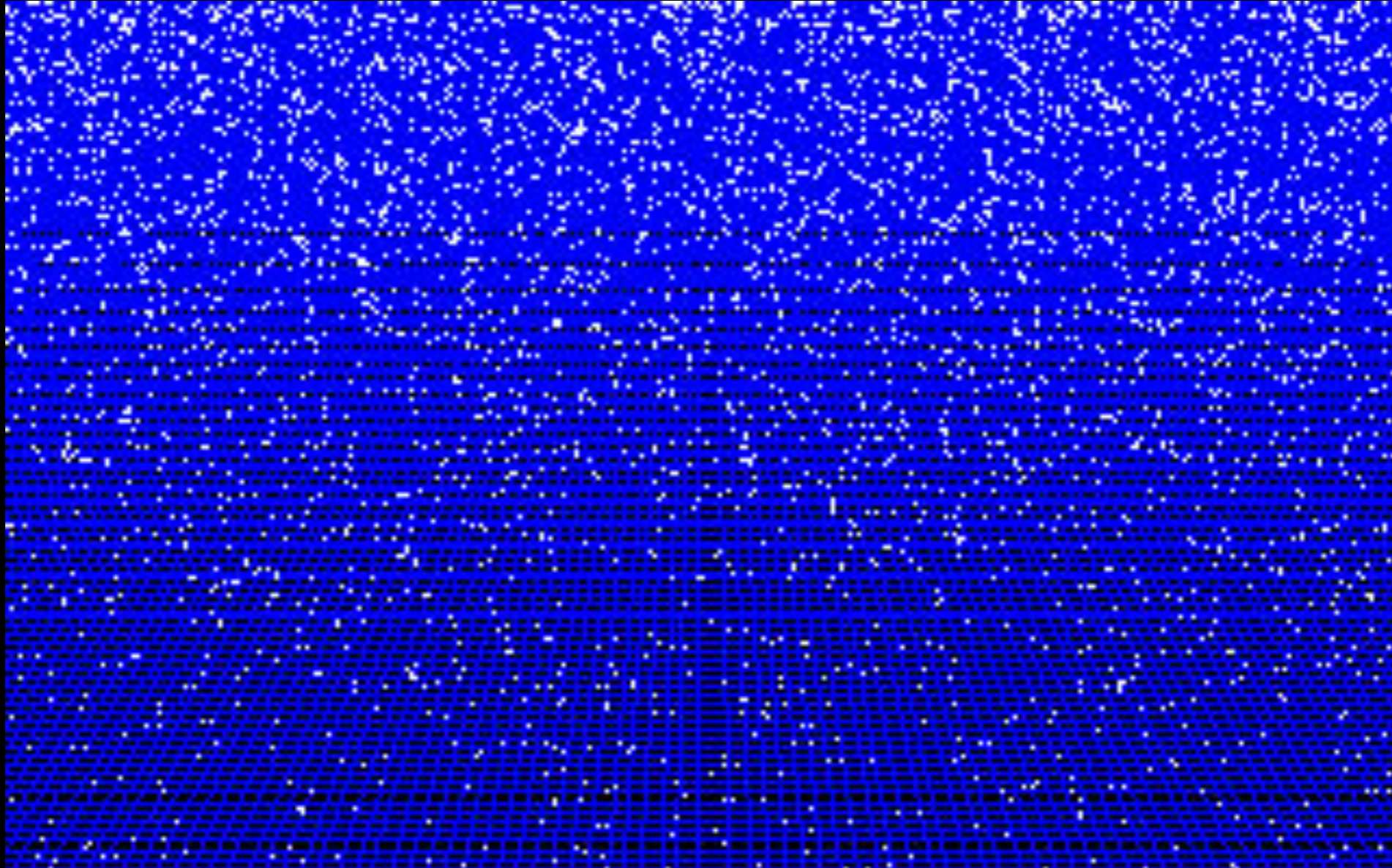
Hellen Quinn



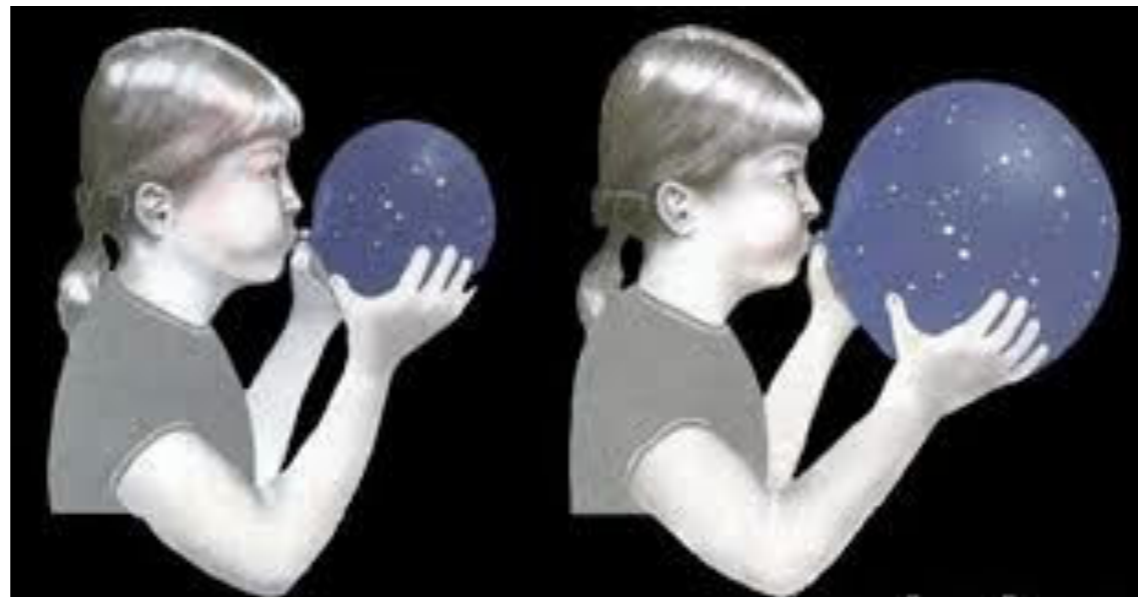


¿QUÉ ES LA  
ENERGÍA OSCURA?

Hace 25 años se descubrió que la expansión del universo ... ¡está acelerando!



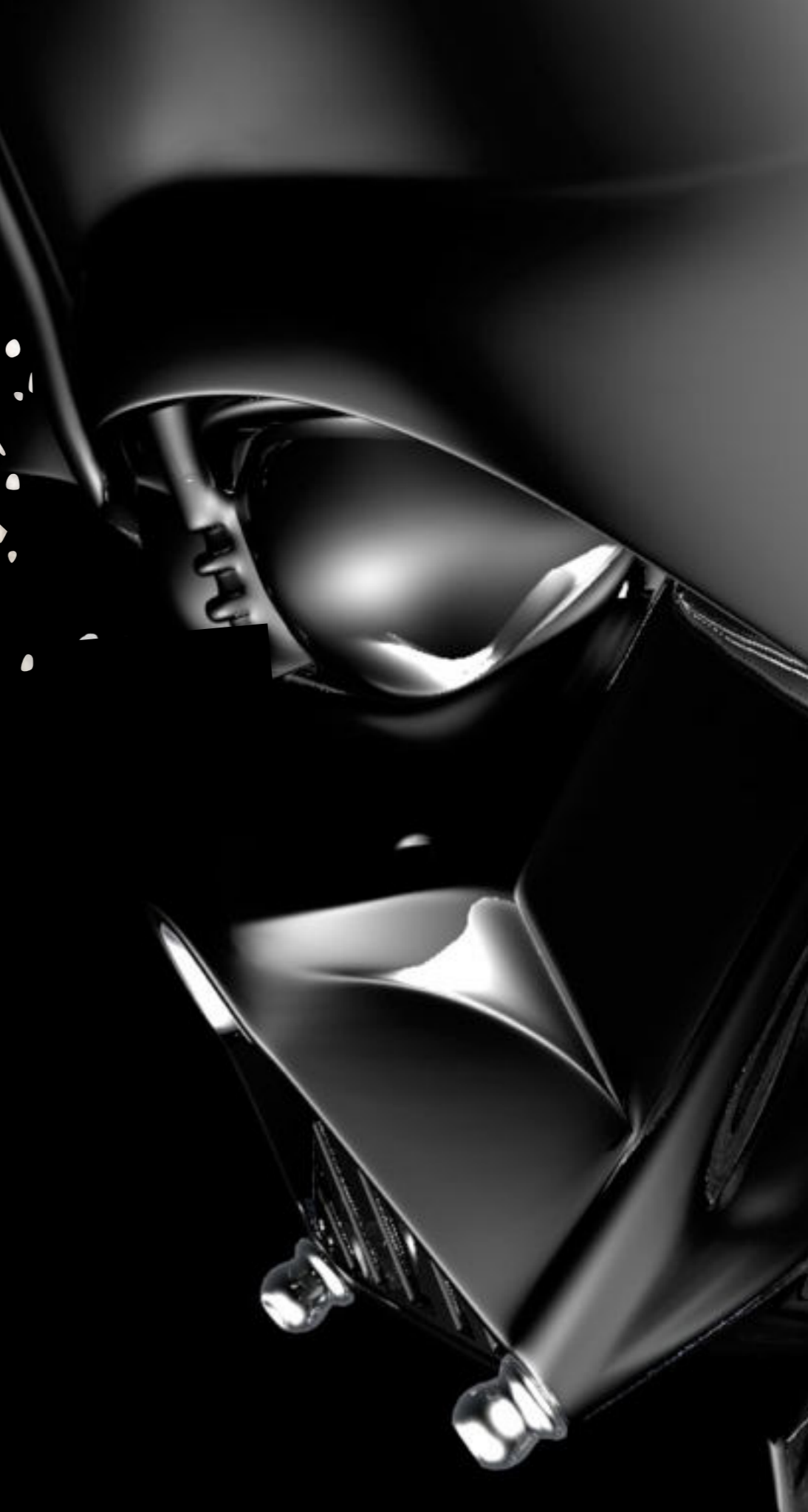
¿ QUÉ ESTÁ ACTUANDO COMO  
MOTOR DE LA EXPANSIÓN ?



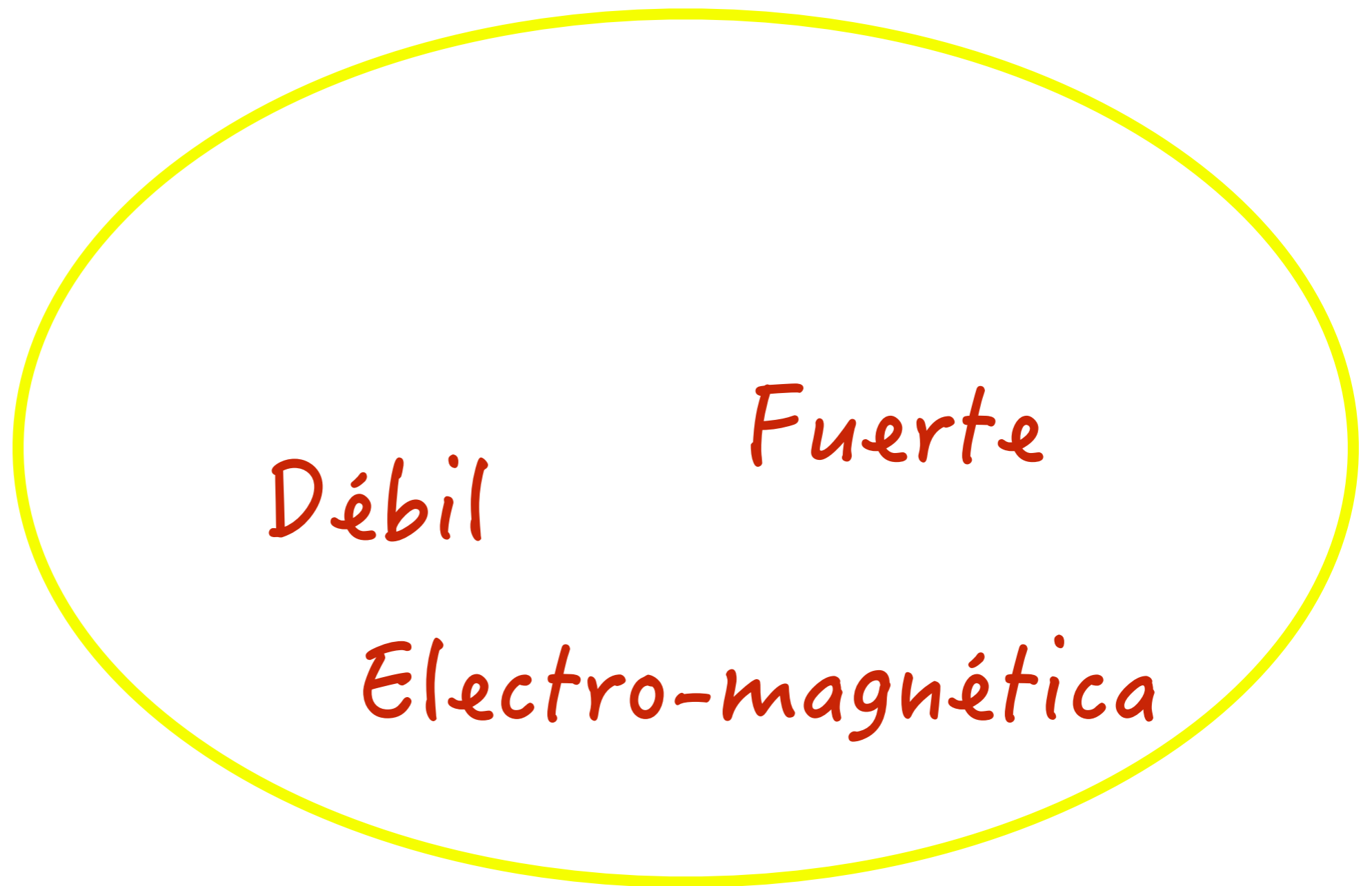
# Energía oscura



Energía Oscura  
69 %



# Las cuatro fuerzas de la naturaleza





# Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Teoría Cuántica

Débil

Fuerte

Electro-magnética

# Las cuatro fuerzas de la naturaleza

Gravedad

Teoría Cuántica

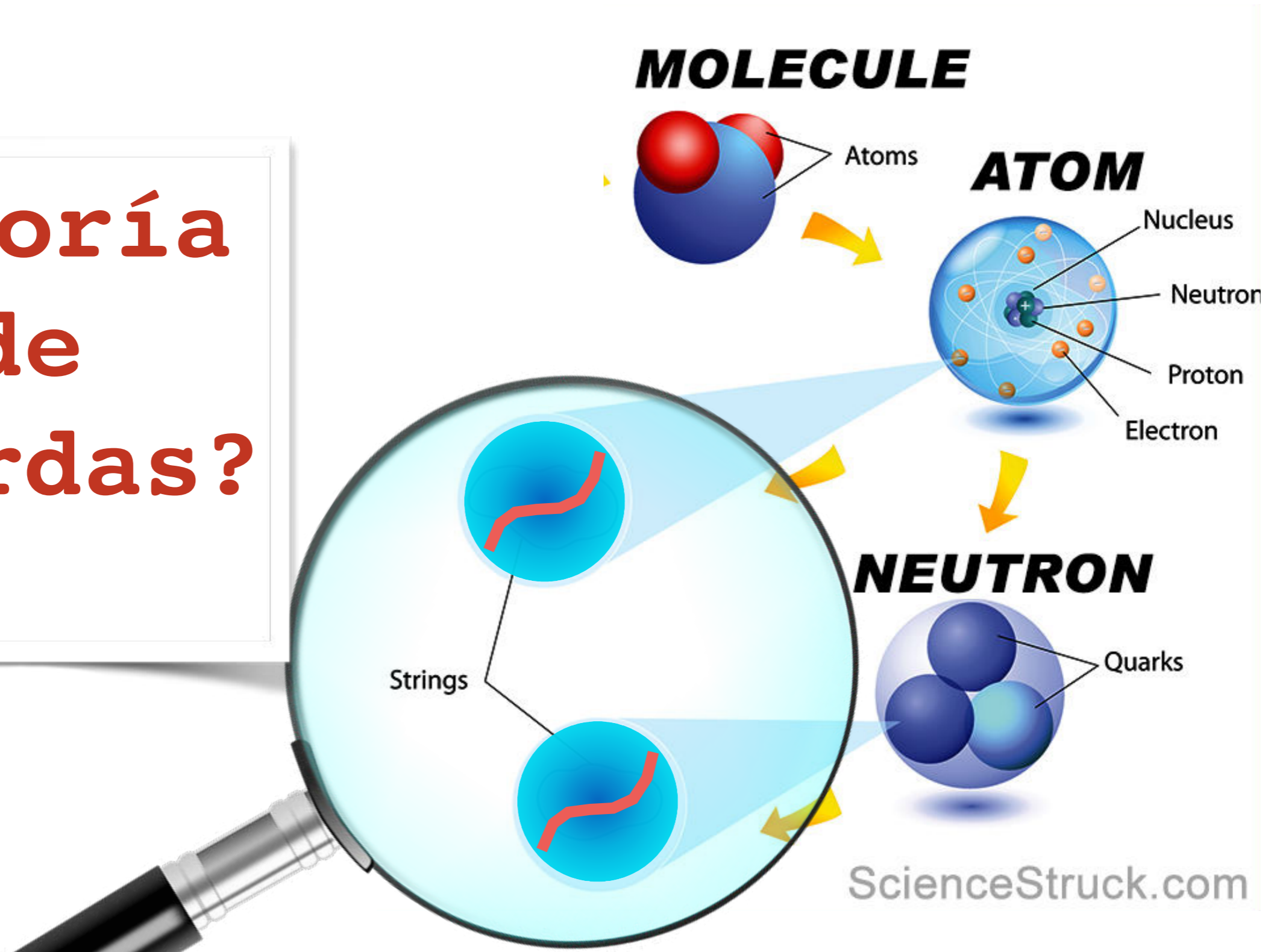
Débil

Fuerte

Electro-magnética

Necesitamos inventar nuevas herramientas

¿Teoría  
de  
Cuerdas?





Instituto de  
Física  
Teórica  
UAM-CSIC

Lo que se acerca: agujeros negros en el  
Universo

María José Rodríguez



Agujeros negros

Event Horizon Telescope 2019

Primera foto de un agujero negro

55M años luz

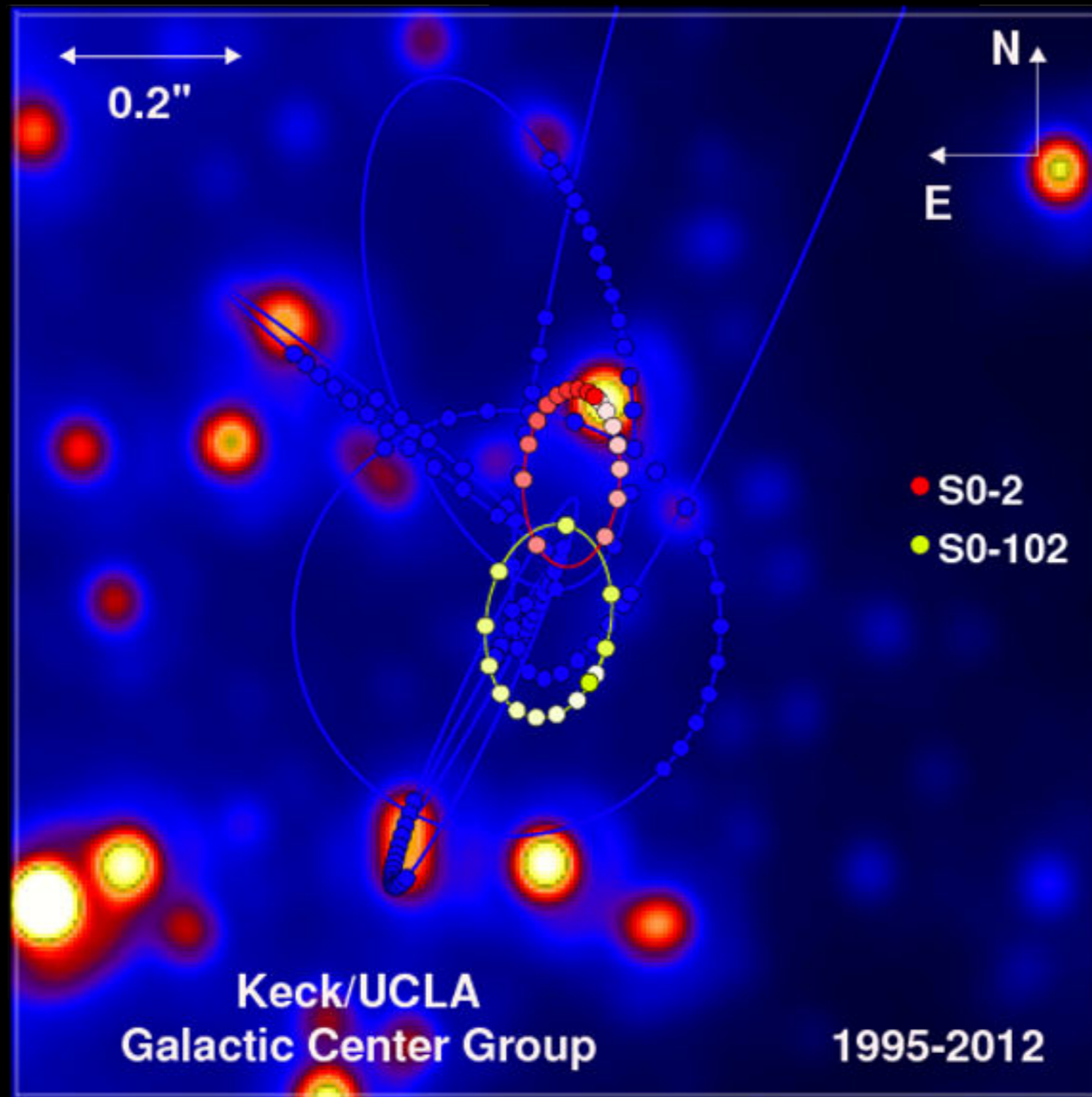
Masa > 6500M masa del sol

Galaxia M87

# Andrea Ghez, premio Nobel de física 2020

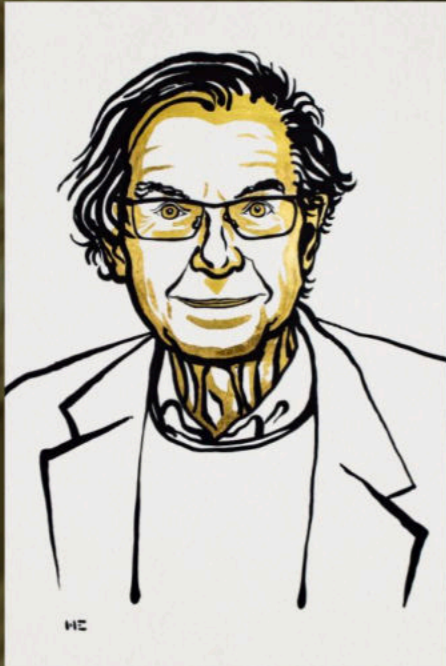


# Sagitario A\*, el agujero negro de la Vía Láctea

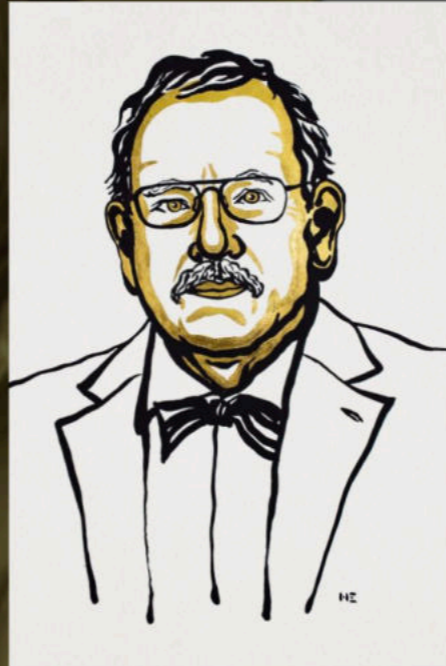


Masa  $\sim 4M$  masa del sol

# El Premio Nobel de Física 2020



[Roger Penrose](#)



[Reinhard Genzel](#)



[Andrea Ghez](#)

[The Nobel Prize in Physics 2020](#)

[Roger Penrose](#)

[Reinhard Genzel](#)

[Andrea Ghez](#)



Hace 7 años se descubrieron las "vibraciones del espacio"  
causadas por una colisión remota de agujeros negros



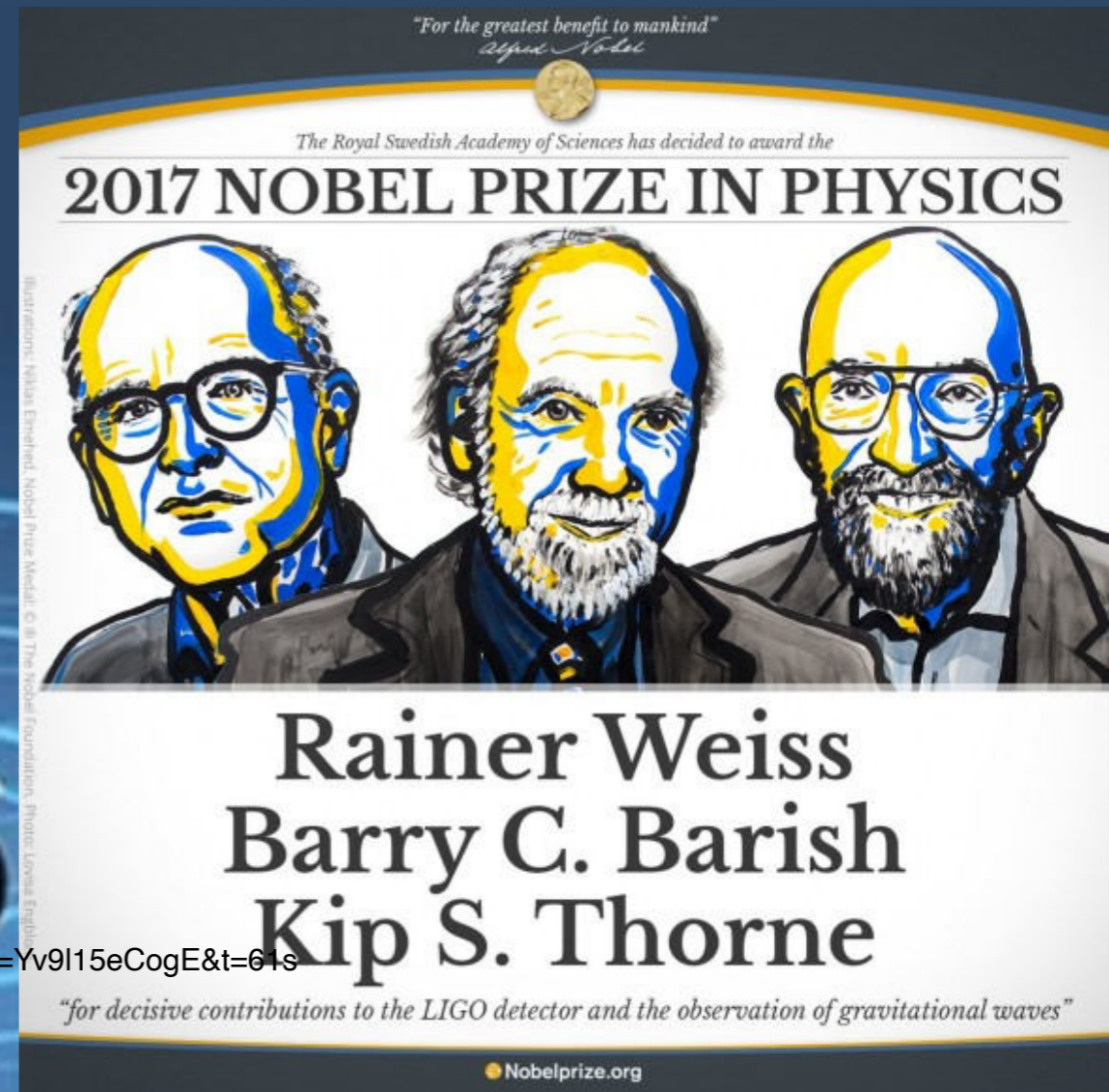
14/09/2015

A 1000 millones de años luz, coalescencia de dos agujeros negros de  $36 + 29$   
masas solares en uno de 62 masas solares

En 2 décimas de segundo se emiten 3 masas solares en energía de ondas  
gravitacionales.

Más de 10 veces la luminosidad de TODAS las estrellas visibles

Ondas gravitacionales



**CONFERENCIA**  
**"EINSTEIN, AGUJEROS NEGROS Y ONDAS GRAVITACIONALES"**  
Prof. Gabriela González  
Ex-Portavoz y Líder Científica del experimento LIGO, el primero en detectar Ondas Gravitacionales  
3 de Junio 2021 18H (CEST)



YouTube: Instituto de Física Teórica IFT

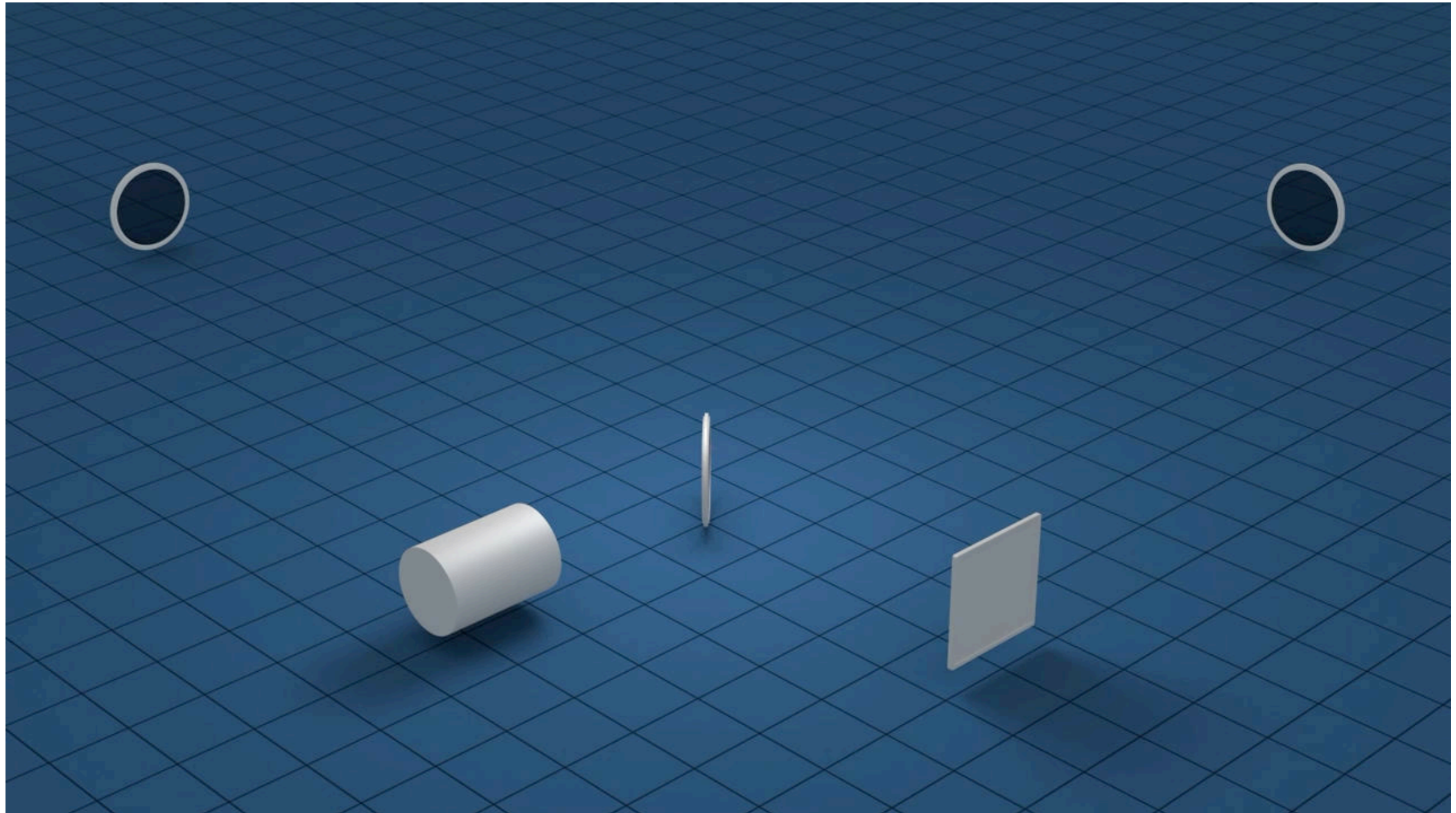


Gabriela González  
Einstein, agujeros negros y ondas gravitacionales



brazos - 4km

$\Delta L \sim 10^{-3}$  diámetro del protón



**Una nueva ventana a la  
exploración del  
Universo.**

**Take away messages**

**El Modelo Estándar de física  
de partículas y cosmología es  
una auténtica proeza**

$$10^{26} \text{ m} \longrightarrow 10^{-15} \text{ m}$$

**El Universo es oscuro**

**Mucho por descubrir aún queda**

**El Universo es oscuro**

**Mucho por descubrir aún queda**

**¡ ¡La búsqueda continúa!!**



We need  
you!

# EMPIRE

COVER 1 of 6

REY  
AND  
BB-8



JANUARY 2016 05.50 \$11.99/USD THE FORCE WILL BE WITH YOU... ALWAYS

STAR  
THE FORCE AWAKENS  
SPECIAL EDITION  
WARS

ift

Instituto de Física Teórica UAM-CSIC

EXCELENCIA SEVERO OCHOA

UAM Universidad Autónoma de Madrid

CSIC

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION

UNION EUROPEA

EUROPEAN UNION