

EL UNIVERSO OSCURO



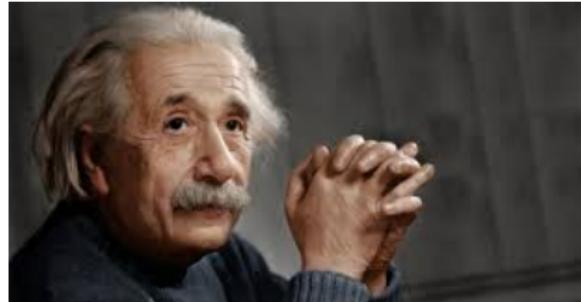
Juan Barbosa
Seminario Avanzado

INTRODUCCIÓN



Torsten Boker y col. "A Hubble Space Telescope census of nuclear star clusters in late-type spiral galaxies. I. Observations and image analysis". En: *The Astronomical Journal* 123.3 (2002), pág. 1389

ESTÁTICA Y DINÁMICA



En 1917 Albert Einstein publica su teoría de la relatividad general.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (1)$$
$$\Lambda \neq 0 \quad (2)$$

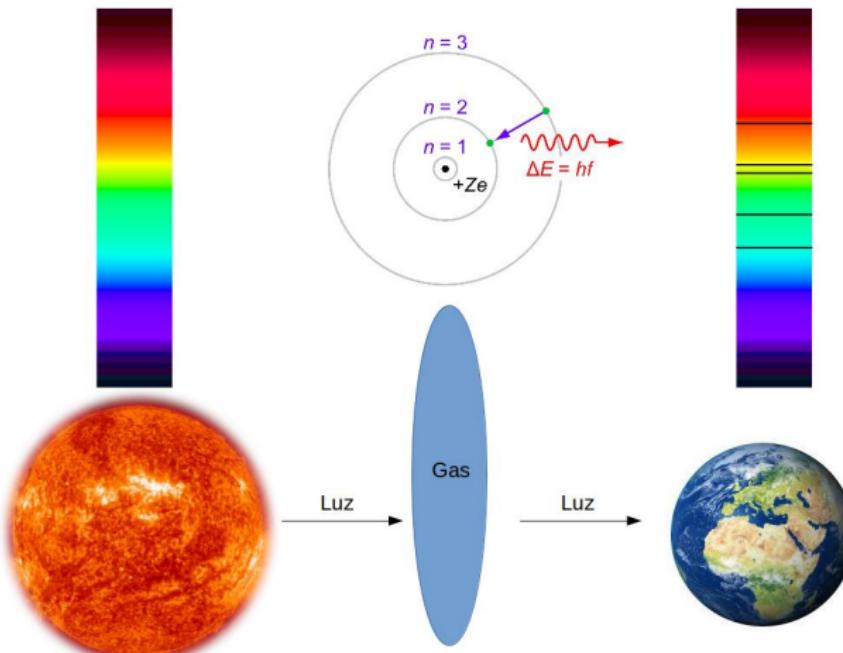


Para 1929 Edwin Hubble había demostrado que el universo estaba en expansión

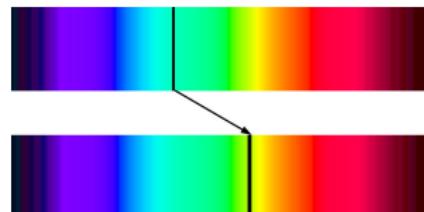
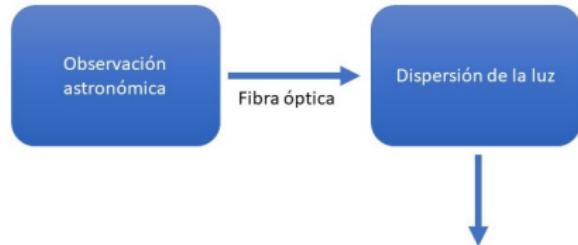
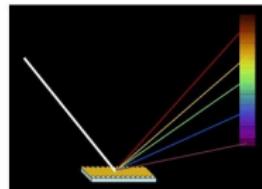
$$cz = H_0 d \quad (3)$$

¿CÓMO SON POSIBLES ESTAS MEDIDAS?

Absorción atómica: para cada átomo un espectro



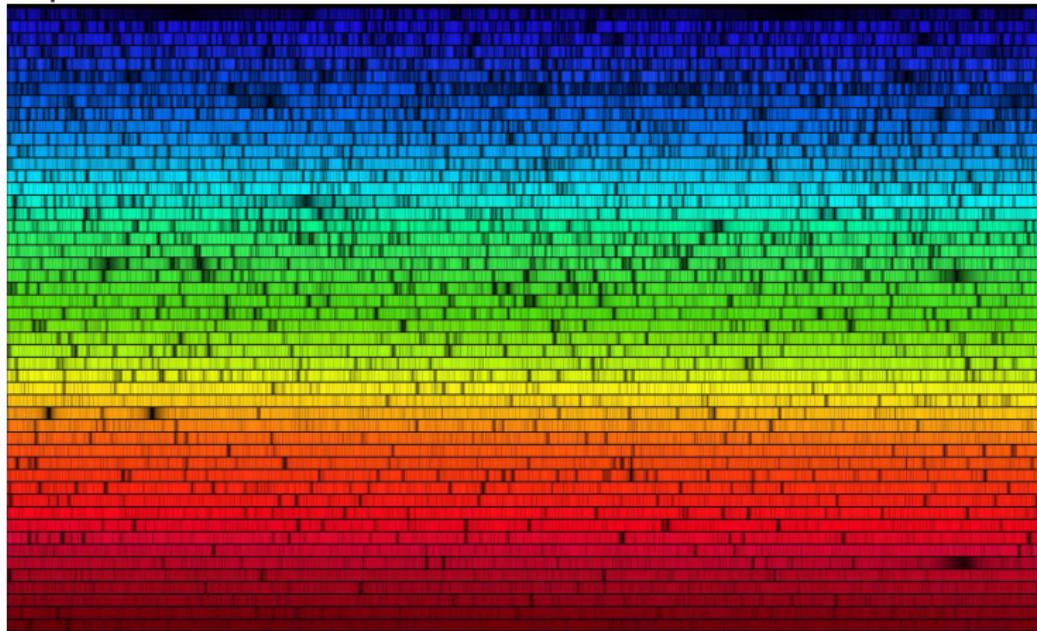
¿CÓMO SON POSIBLES ESTAS MEDIDAS?



$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad (4)$$

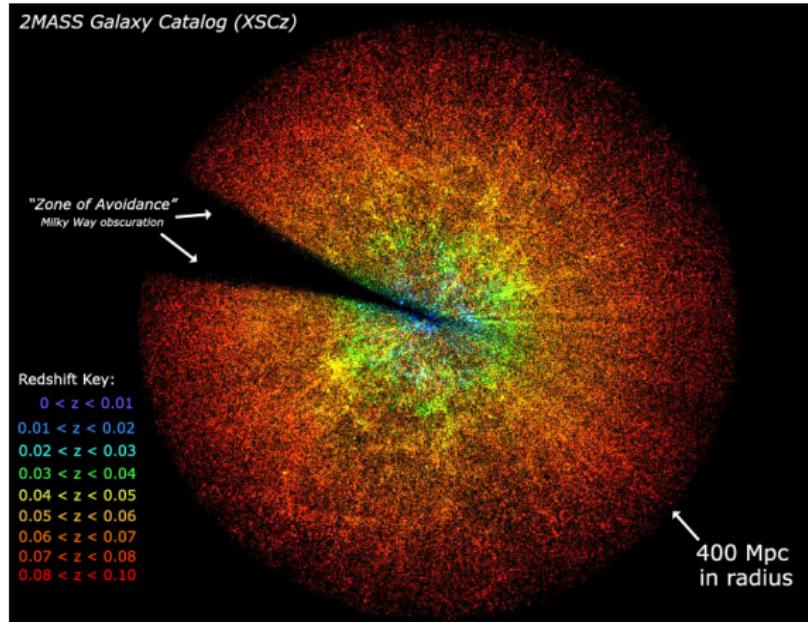
¿CÓMO SON POSIBLES ESTAS MEDIDAS?

Espectro del sol:



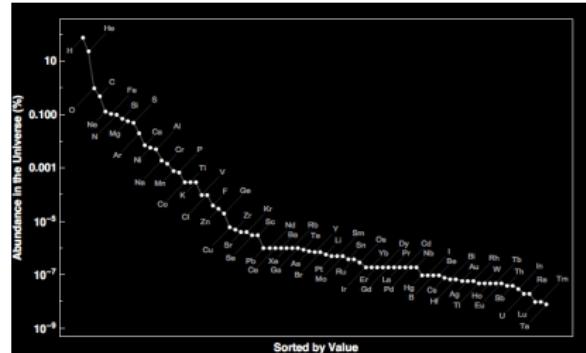
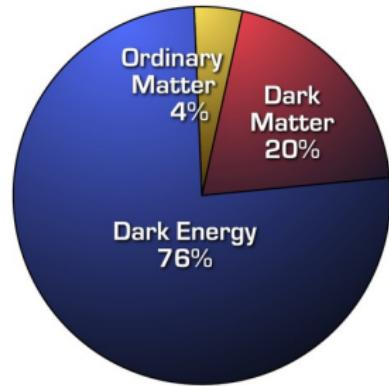
Scott Kenyon. *Solar Spectrum*. 2018. URL:
https://www.cfa.harvard.edu/ssp/stars_planets/solarspectrum.html

RESULTADOS ACTUALES



MF Skrutskie y col. "The two micron all sky survey (2MASS)". En: *The Astronomical Journal* 131.2 (2006),
pág. 1163

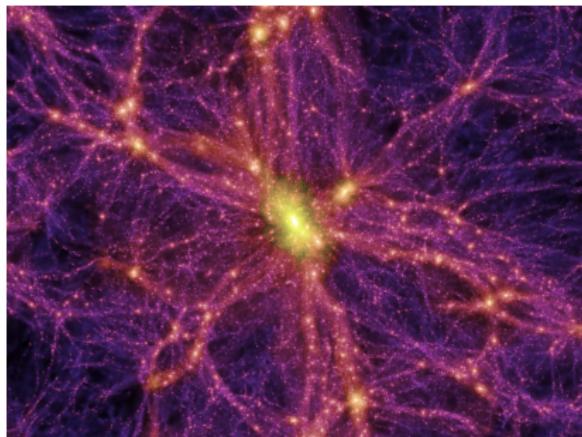
DISTRIBUCIÓN DEL UNIVERSO



Nuestra comprensión de la naturaleza abarca el 4% del universo.

Max Tegmark y col. "Cosmological constraints from the SDSS luminous red galaxies". En: *Physical Review D* 74.12 (2006), pág. 123507

MATERIA OSCURA

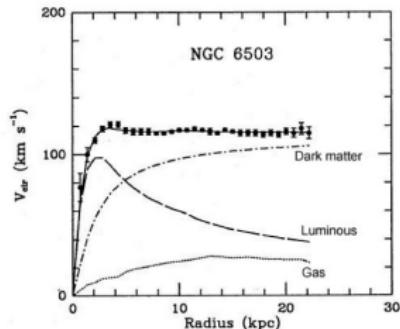
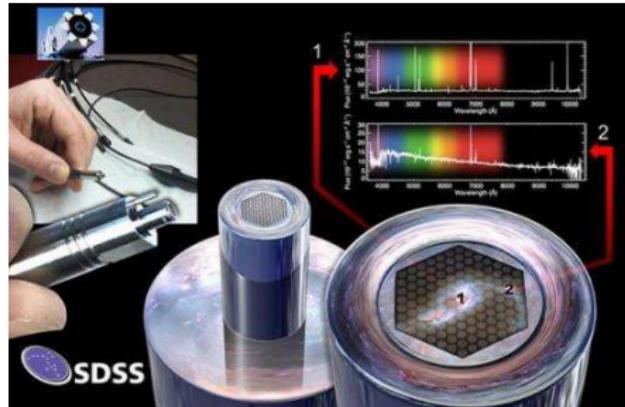


Al igual que con la energía oscura, de la materia oscura sólo se conocen efectos indirectos.

1. Curvas de rotación de las galaxias
2. Lentes gravitacionales
3. Bullet cluster

Julio F Navarro. "The structure of cold dark matter halos". En: *Symposium-international astronomical union*. Vol. 171. Cambridge University Press. 1996, págs. 255-258

ROTACIÓN DE LAS GALAXIAS

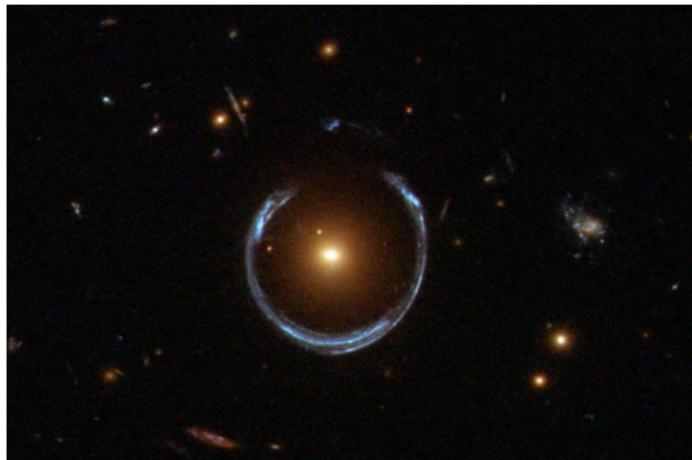


K.G. Begeman, A.H. Broeels, R.H. Sanders. 1991. Mon.Not.RAS 249, 523.

1. Obtención del espectro en distintas regiones de la galaxia
2. Caracterización del efecto Doppler
3. Obtención de las velocidades

$$v = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}} \quad (5)$$

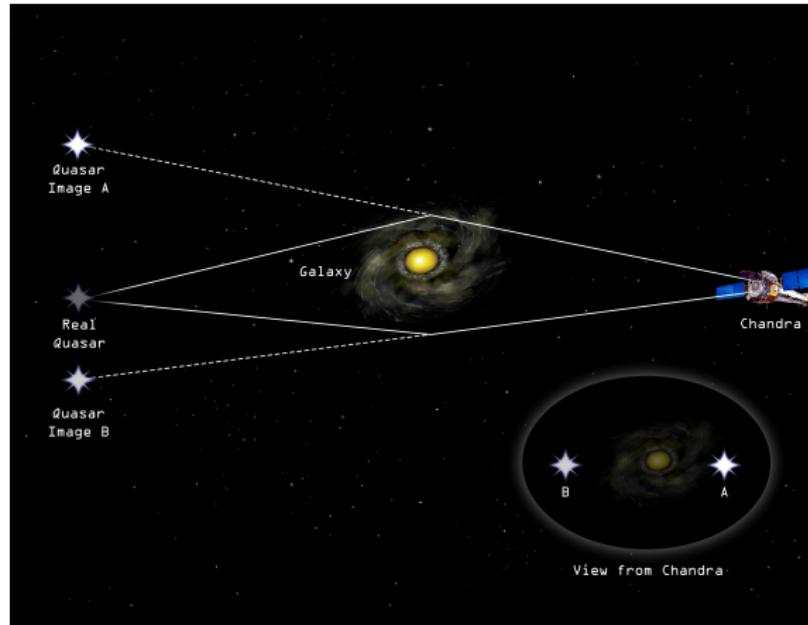
LENTES GRAVITACIONALES



La luz no interactua con la fuerza gravitacional.

- ▶ Objetos altamente masivos curvan el espacio-tiempo, modificando la trayectoria aparente de la luz.
- ▶ Sin embargo al contar la materia luminosa, su masa no es suficiente como para generar tal curvatura.

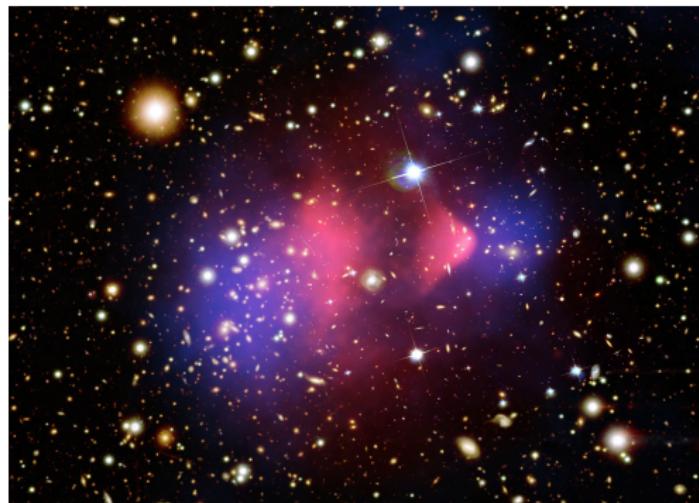
LENTES GRAVITACIONALES



Chandra Digest. *Gravitational Lensing*. 2018. URL:
<http://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/gravitational.html>

BULLET CLUSTER

Colisión de dos clusters de galaxias



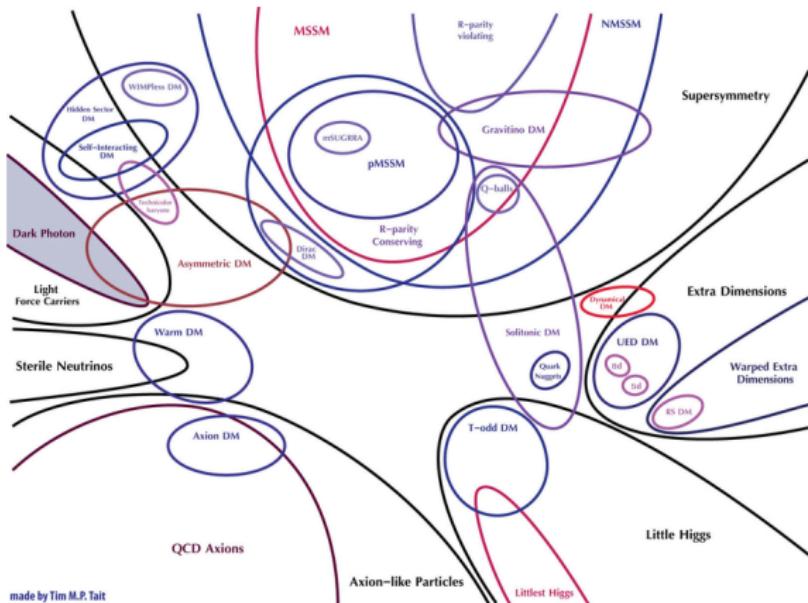
- ▶ **Rosado:** rayos X
- ▶ **Azul:** distribución de masa

Joel R Brownstein y John W Moffat. "The Bullet Cluster 1E0657-558 evidence shows modified gravity in the absence of dark matter". En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 382.1 (2007), págs. 29-47

BULLET CLUSTER

https://www.youtube.com/watch?v=rLx_TXhTXbs

¿QUÉ ES LA MATERIA OSCURA?



Una enorme cantidad de partículas han sido propuestas como candidatas a la materia oscura, sin embargo, ningún experimento ha detectado una de ellas.



GRACIAS