

Evolución del Universo

Ricardo Moreno, Susana Destua, Rosa M. Ros, Beatriz García

Colegio Retamar de Madrid, España

Space Telescope Science Institute, Estados Unidos

Universidad Politécnica de Cataluña, España

Instituto en Tecnologías y Detección de Astropartículas, Argentina



Objetivos

- Demostrar la validez de un modelo.
- Comprender qué es la expansión del Universo
- Comprender que no hay un centro del Universo
- Comprender la Ley de Hubble
- Analizar cómo se detecta la materia oscura



Presentación

Este Taller trata sobre:

- El Origen del Universo: Big Bang.
- Las Galaxias: no se “mueven” a través del espacio, es el espacio el que se dilata.
- La Constante de Hubble: $v = H \cdot d$
- No hay un centro del Universo, como no hay un país central.
- El Fondo de microondas.
- Las lentes gravitacionales.



Modelos, predicciones, verificación: Experimento del mantel



Predicción: si tiramos rápido de un mantel en una mesa servida, nada de lo que hay sobre la mesa caerá. Si verificamos, la predicción se cumple.

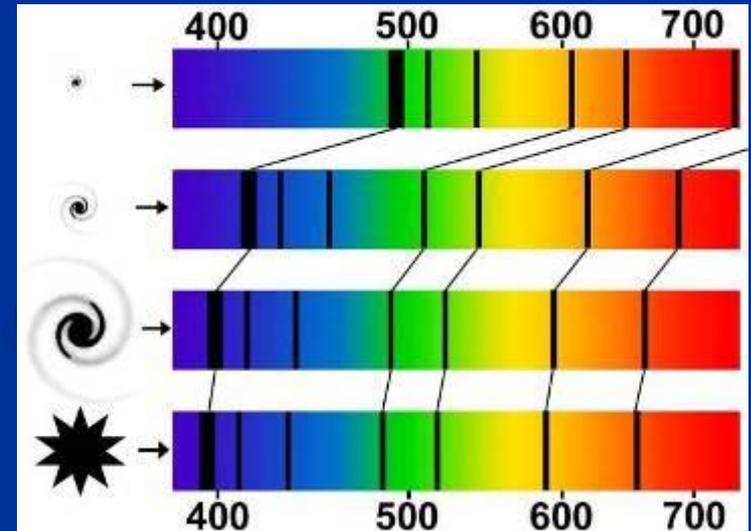
El experimento funciona porque la física es una disciplina que permite predecir lo que va a suceder: Si se tira rápido del mantel, no hay tiempo para que las fuerzas de fricción actúen sobre los objetos y por eso no se caen.

La física que se ha desarrollado en la Tierra es la que los astrónomos aplican al resto del universo.



Corrimiento al rojo 1/3

- La luz dispersada de cada elemento presenta líneas: es el espectro, propio de cada elemento.
- Al observar la luz de las galaxias, se observa que las líneas se desplazan hacia el rojo, y que cuanto más lejos está la galaxia, tienen mayor corrimiento.
- Se interpreta como consecuencia de su movimiento de alejamiento de nosotros.



Corrimiento al rojo 2/3

- Las galaxias cercanas tienen movimientos relativos pequeños e irregulares: la *Gran Nube de Magallanes* +13 km/s, la *Pequeña* -30 km/s, *Andrómeda* -60 km/s, M 32 +21 km/s.
- En el cúmulo de *Virgo*, (50 millones de a.l.), todas se alejan de nosotros a velocidades entre 1.000 y 2.000 km/s.
- En el supercúmulo de *Coma Berenice*, (300 millones de a.l.) las velocidades son entre 7.000 y 8.500 km/s.



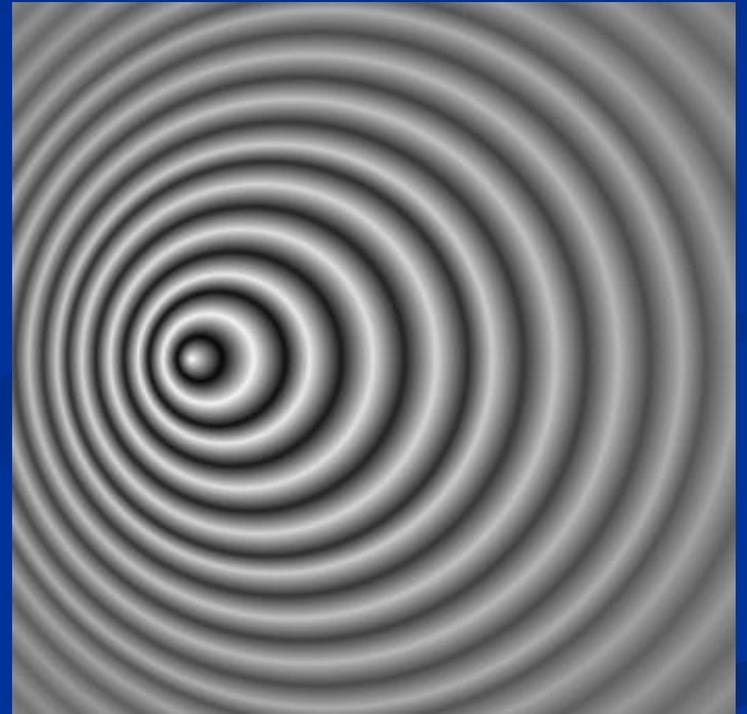
Corrimiento al rojo 3/3

- Pero en la dirección opuesta, M 74 se aleja a 800 km/s y M 77 a 1.130 km/s.
- Si apuntamos a galaxias más lejanas y débiles, la velocidad de recesión es aún mayor: NGC 375 se aleja a 6.200 km/s, NGC 562 a 10.500 y NGC 326 a 14.500 km/s.
- Miremos hacia donde miremos, todas, excepto las muy cercanas, se alejan de nosotros.



Efecto Doppler

- Una ambulancia, una moto, un tren que se acerca lo oímos con un sonido más agudo que cuando se aleja.
- Agudo → la onda se acorta
- Grave → la onda se alarga



Actividad 1: Efecto Doppler



- El Efecto Doppler se puede oír haciendo girar en un plano horizontal un reloj despertador.
- Cuando se acerca al espectador, la λ se acorta y el sonido es más agudo.
- Cuando se aleja, la λ se alarga y el sonido es más grave.
- Pasa igual en el sonido de una carrera de motos, una ambulancia, un tren...

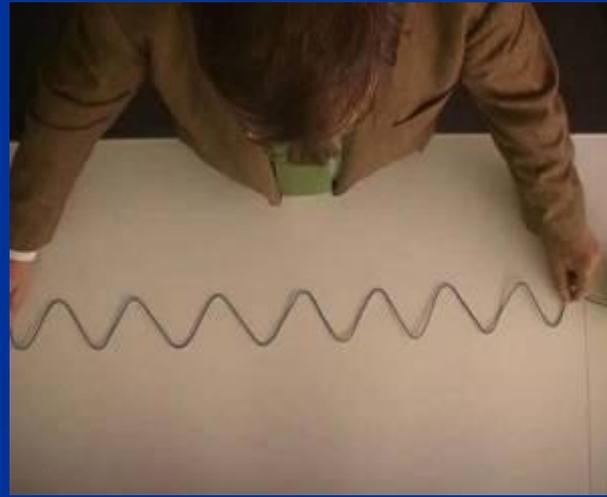


- Ese es el efecto Doppler debido al desplazamiento. Pero no es el que tienen las galaxias con la expansión.



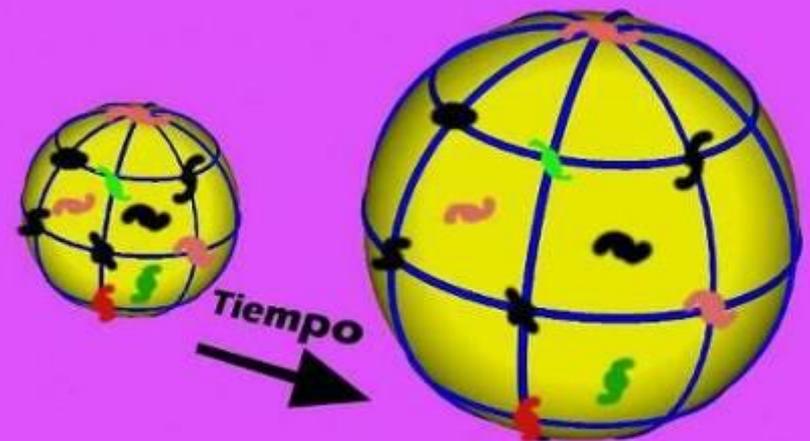
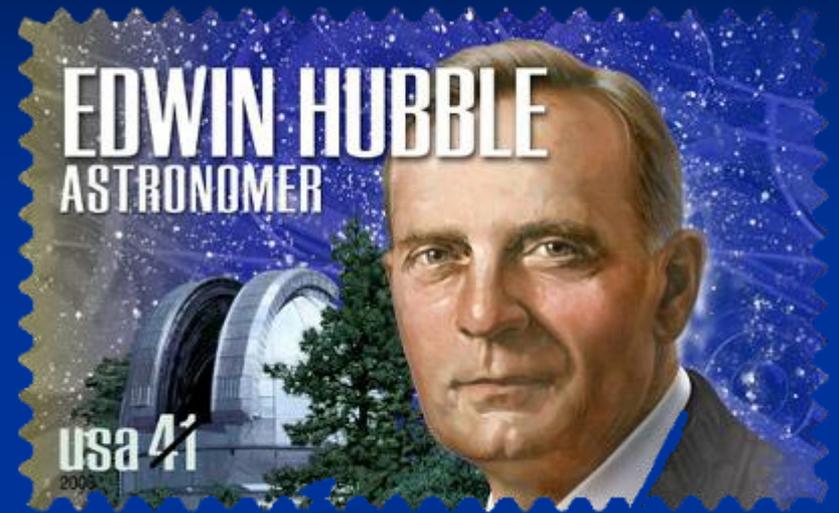
Actividad 2. Estiramiento de los fotones

- El Universo, al expandirse, “estira” los fotones que hay en él.
- Se puede hacer un modelo de ese estiramiento con un cable semirrígido, del que se usa en las instalaciones eléctricas empotradas de las casas.
- Cuanto más tiempo dura el viaje del fotón, más estiramiento sufre.



Ley de Hubble

- En 1930, Edwin Hubble se dio cuenta de que las galaxias más distantes se alejan más deprisa.
- Ley de Hubble: $v = H_0 \cdot d$
- No se mueven a través del espacio: es el espacio el que las arrastra.



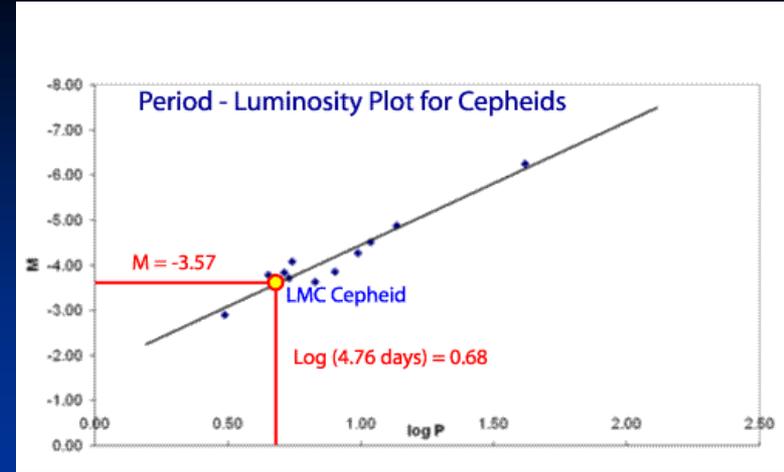
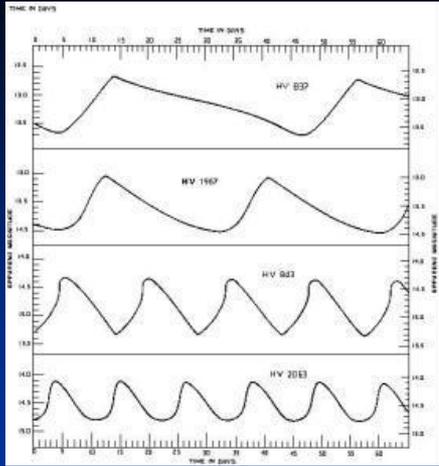
Actividad 3: El Universo en una goma



Actividad 4: El Universo en un globo



- La distancia entre las “galaxias” aumenta con la expansión.
- Las galaxias no se mueven a través del globo.



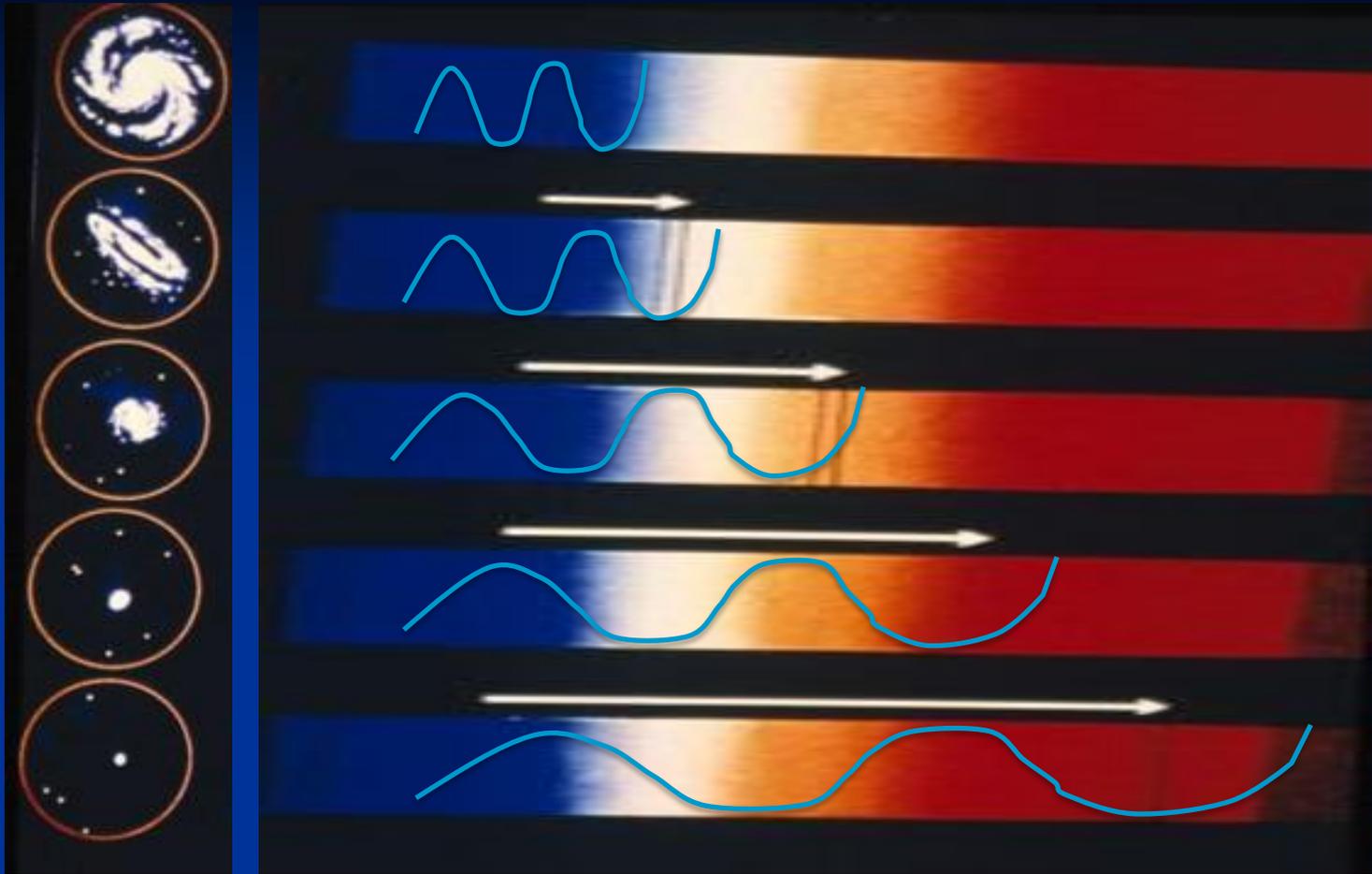
1) La distancia a las galaxias cercanas se deduce por la relación período -luminosidad de variables Cefeidas

- En la curva de luz se calcula el período P
- En la relación periodo-luminosidad se obtiene la magnitud absoluta M
- Se calcula la distancia $d=10^{(m-M+5)/5}$ pc

Para determinar distancias de galaxias más lejanas se usa un tipo de supernova , todas de brillo similar.



Expansión del Universo



2) La velocidad de recesión se mide en el espectro

$$v = (\Delta \lambda / \lambda) * c$$

Expansión de Universo

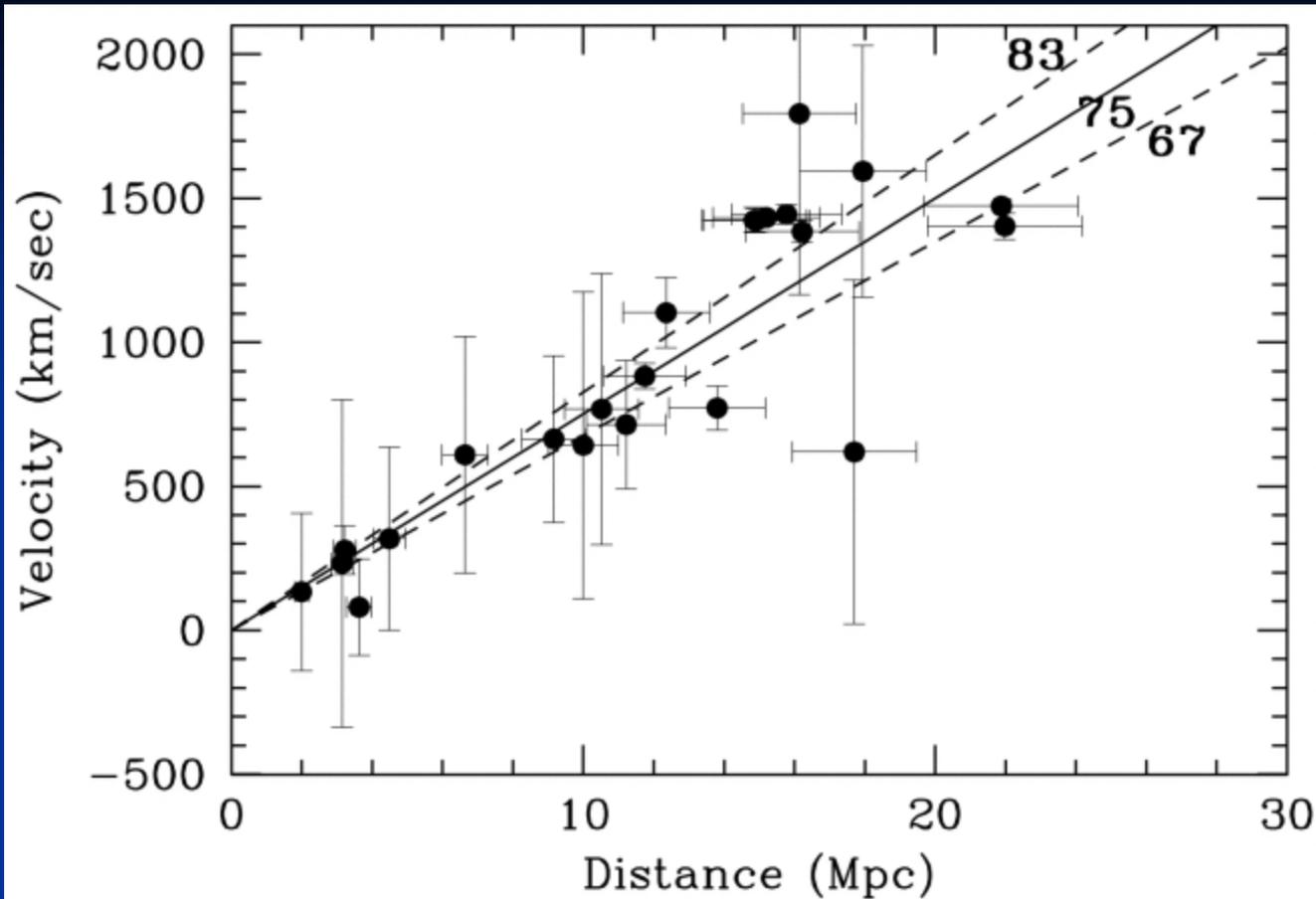
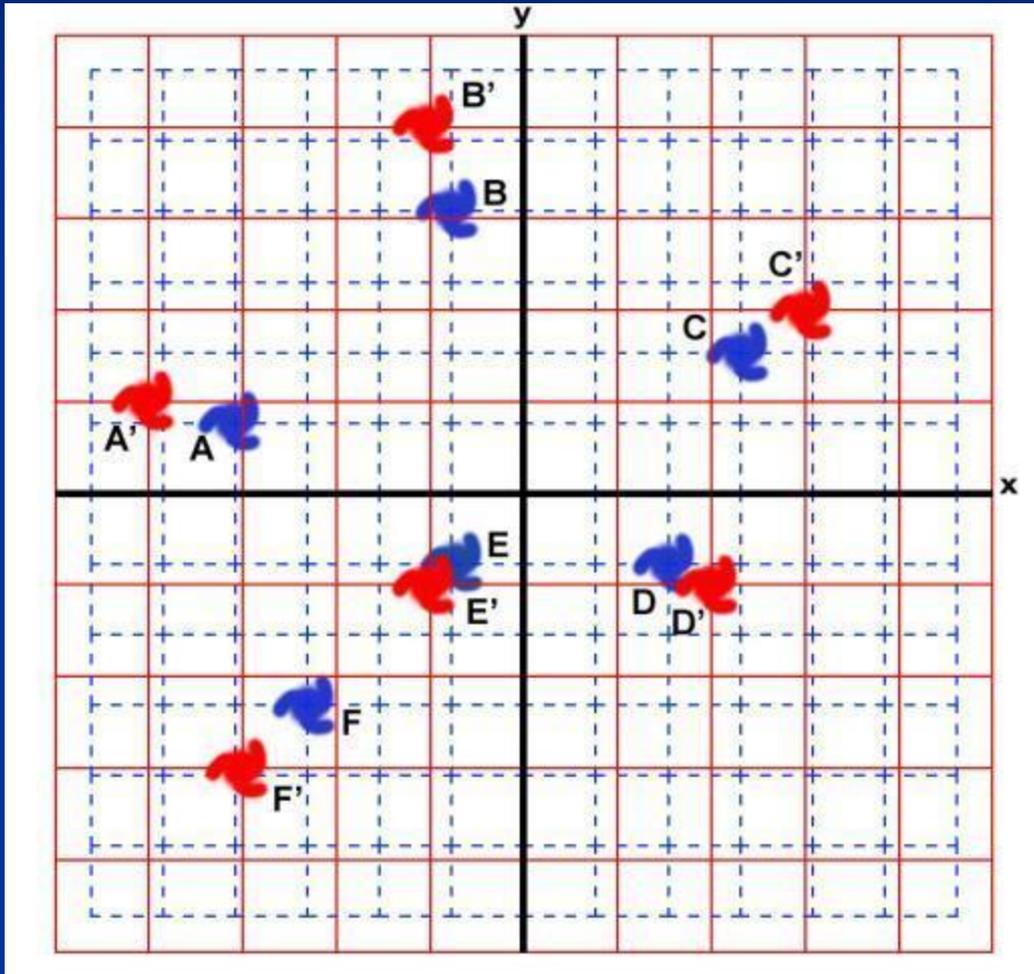


Fig. 1 from Freedman et al, 2001, ApJ, vol 553, p47.

3) La constante de Hubble es la pendiente de la recta: $v = H_0 \cdot d$, siendo H_0 la tasa de expansión del Universo: $H_0 = 72 \text{ km/s/Mpc}$

Actividad 5: Cálculo de la constante de Hubble

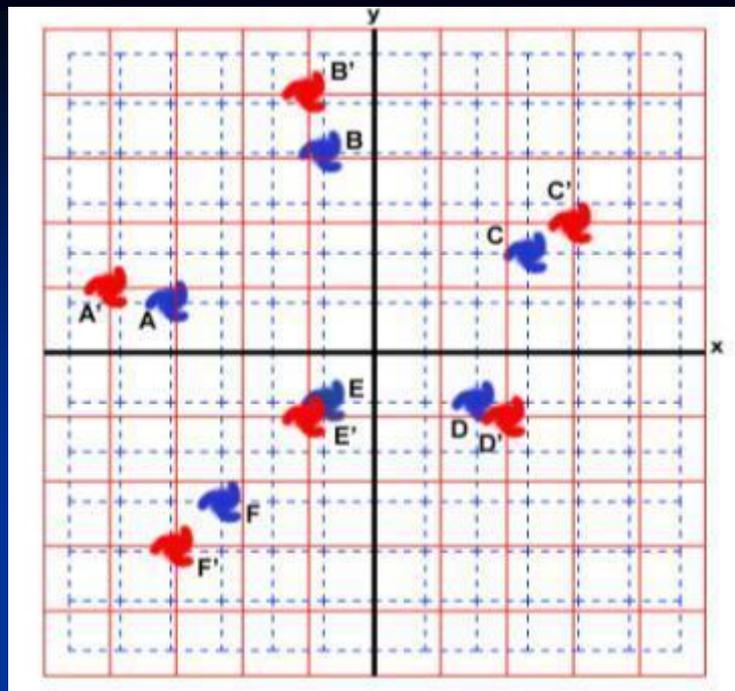


Azul = Universo
antes de expandirse

Rojo = Universo
después de
expandirse

Actividad 5: Cálculo de la constante de Hubble

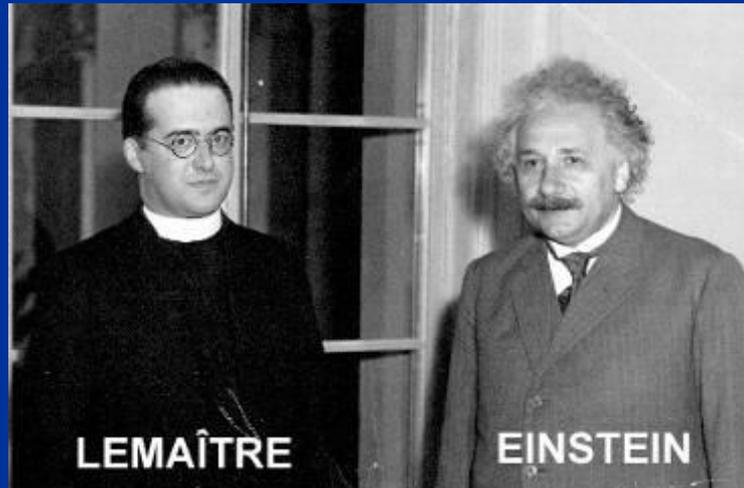
<i>Galaxia</i>	<i>Coordenadas x,y</i>	<i>d=distancia al origen</i>	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
<i>A</i>					
<i>A'</i>					
<i>B</i>					
<i>B'</i>					
<i>C</i>					
<i>C'</i>					
<i>D</i>					
<i>D'</i>					
<i>E</i>					
<i>E'</i>					
<i>F</i>					
<i>F'</i>					



Galaxia	Coordenadas x,y	d =distancia al origen	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A	(-4, 1)				
A'	(-4, 1)				
B	(-1, 4)				
B'	(-1, 4)				
C	(3, 2)				
C'	(3, 2)				
D	(2, -1)				
D'	(2, -1)				
E	(-1, -1)				
E'	(-1, -1)				
F	(-3, -3)				
F'	(-3, -3)				

Big Bang

- Si vamos hacia atrás, hubo un momento en que todo estaba unido: Universo en expansión.
- Georges Lemaître, resolviendo las ecuaciones de la relatividad, llegó a un Universo en expansión que empezó como un “huevo cósmico”.



Big Bang

- Nombre de Big Bang: gran explosión.
- Fred Hoyle se lo puso despectivamente, por sus prejuicios antirreligiosos: le sonaba demasiado a la idea de un Creador.
- S&T hizo un concurso para cambiar el nombre. 12.000 propuestas. Ninguna fue mejor.



Big Bang

- ¿Antes del Big Bang? No sabemos nada.
- ¿Qué lo produjo? ¿por qué ocurrió? ¿por qué tiene estas leyes físicas?
- La Física trata de cómo funcionan las cosas que existen, no de por qué existen.
- La Física estudia la materia desde que existe (desde el Big Bang), no antes, ni estudia la razón o finalidad del por qué existe. Esas son cuestiones filosóficas, religiosas, no científicas.
- 2 errores: hacer religión desde la ciencia, y hacer ciencia desde la religión. Cada una tiene su campo, su método, su forma de ver la compleja realidad.



Big Bang

- ¿Fluctuación del vacío cuántico?
- Vacío no es la nada, existe.
- ¿Múltiples Universos?: indemostrable por definición. Teoría acientífica.

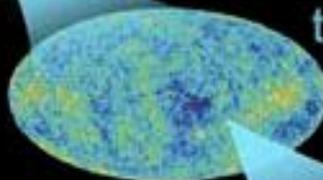


Evolución del Universo

Gran explosión



tras una pequeña
fracción de segundo

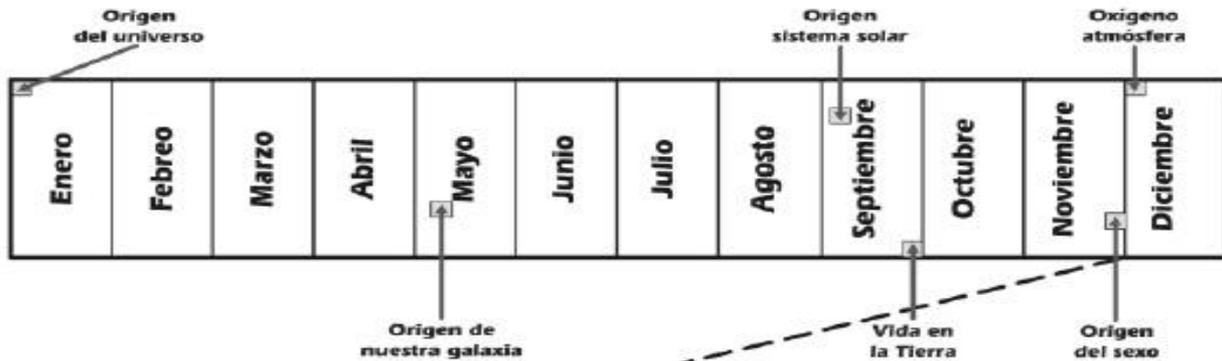


tras 300000 años

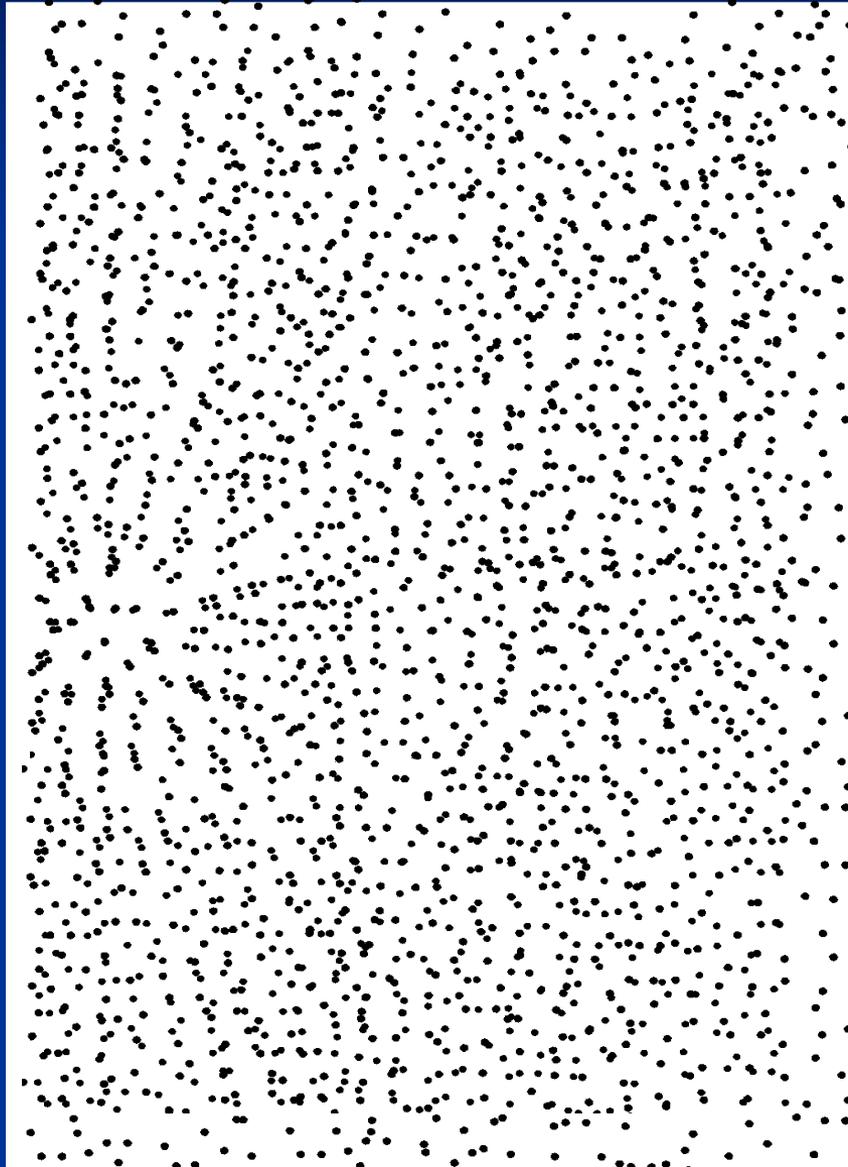


tras 13700 millones de años

Desarrollo del Universo



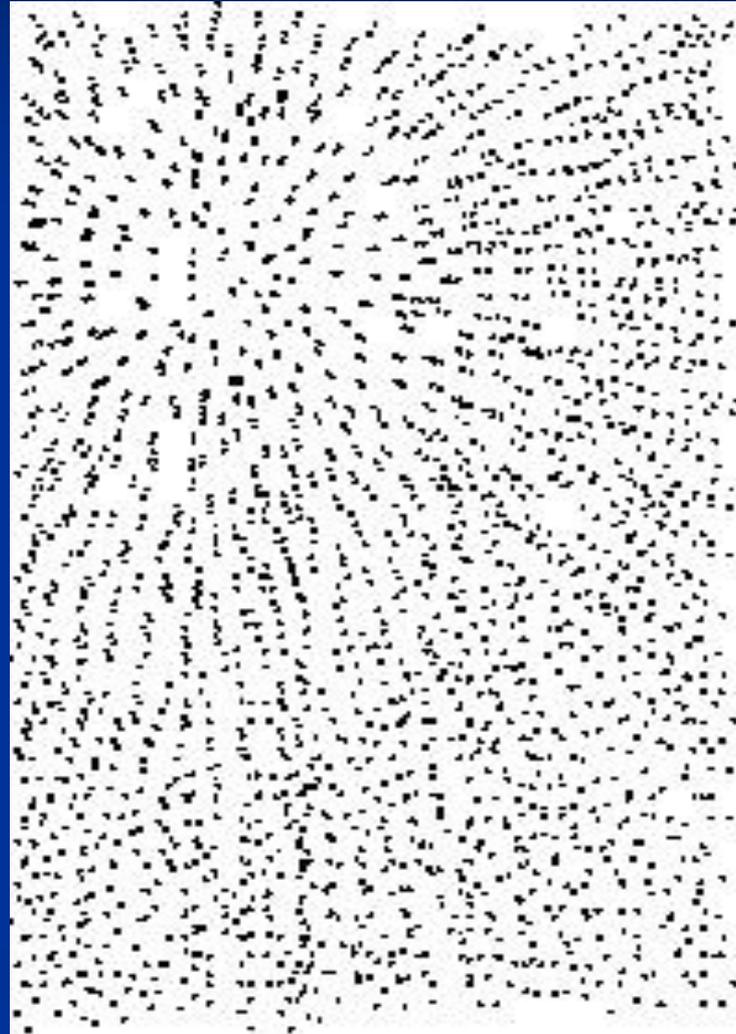
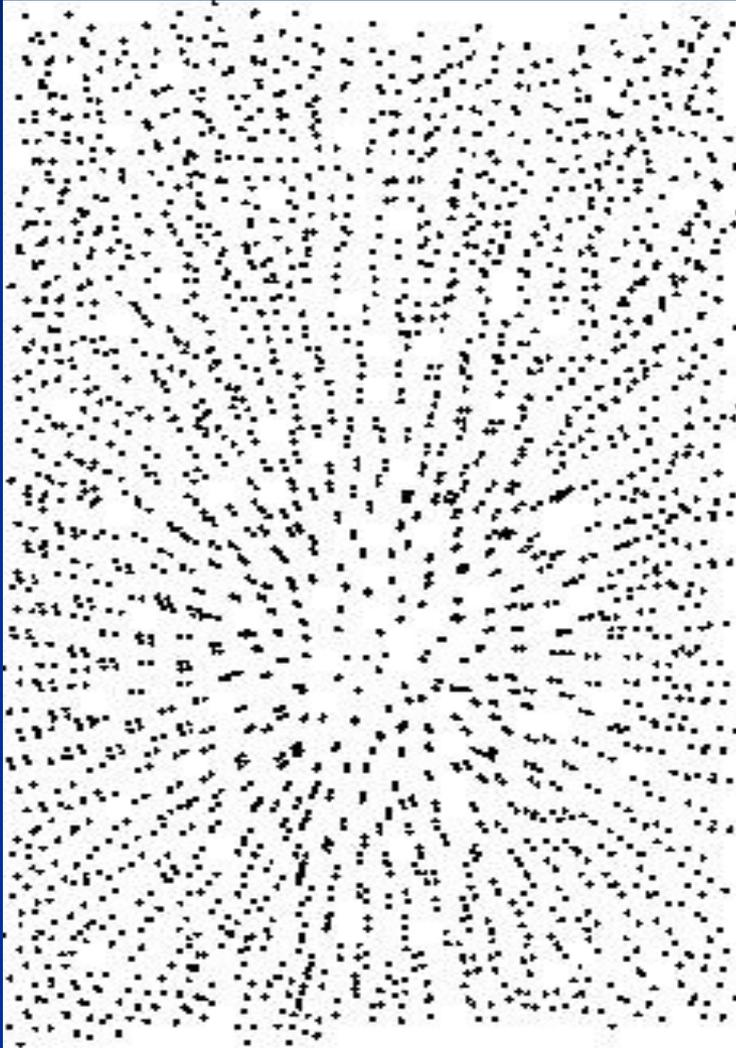
Actividad 6: No hay un centro de expansión



100%

105%

Actividad 6: No hay un centro de expansión



Radiación de fondo de microondas

- Radiación que quedó libre a los 380.000 años después del Big Bang.
- Al pasar el tiempo, la expansión del espacio hizo que se fuese alargando su longitud de onda.
- Ahora está en la región de las microondas



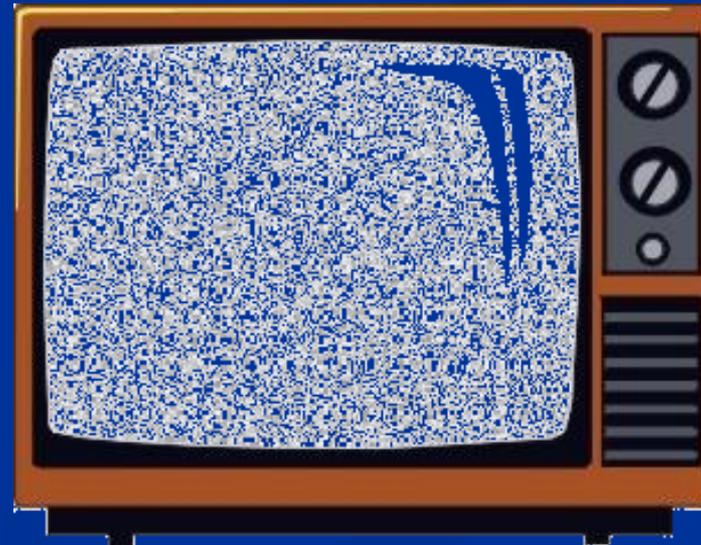
Actividad 7: Radiación cósmica de fondo

- 300.000 años después del Big Bang, los fotones se separaron de la materia y empezaron a viajar libres por el Universo.
- Al expandirse el espacio, fotones ampliaron su longitud de onda, actualmente es $\lambda=2$ mm, equivalente a $T = 2,7$ K = -270 °C.



Actividad 7: Radiación cósmica de fondo

- Podemos detectarla con un TV analógico. En un canal vacío, uno de cada diez puntos procede de esa radiación de fondo.



Materia oscura: Tabla de giro que compensa la atracción gravitacional terrestre

Los agujeros negros no se ven, pero sabemos que están allí porque su atracción gravitacional obliga a girar a los grupos estelares en torno de ellos.

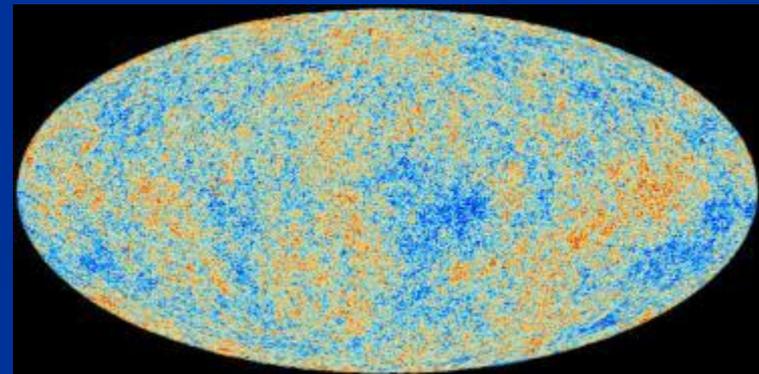
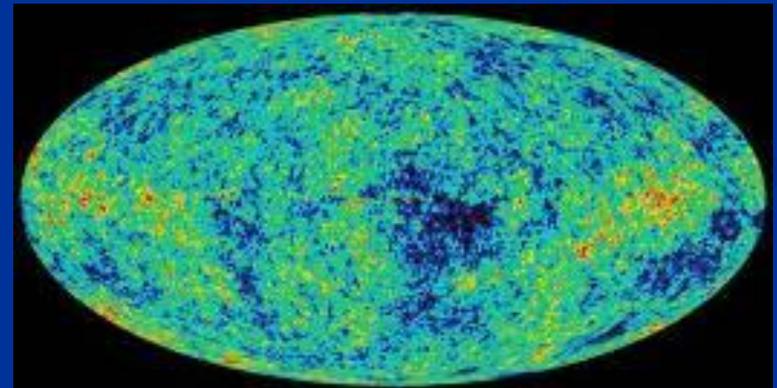
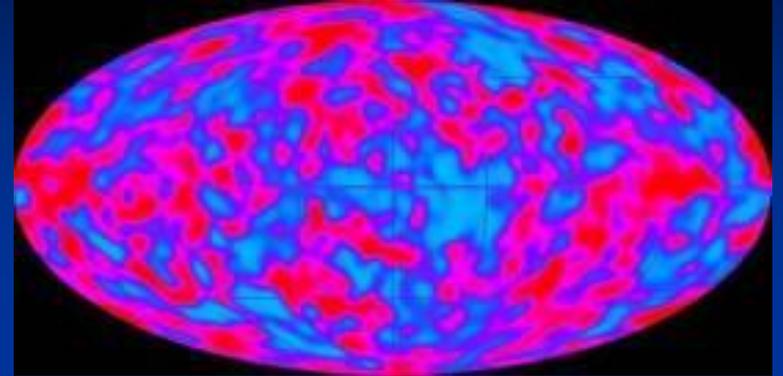


Aunque la materia oscura es invisible, una manera de detectarla es observando el comportamiento de los astros que están cercanos.



Radiación de fondo de microondas

- El COBE, el WMAP y el PLANCK hicieron un mapa del cielo de esa radiación, cada vez con más detalle, de las pequeñas diferencias entre unas zonas y otras: eran los grumos de donde surgirían las galaxias.



Otra manera de detectar la materia oscura: lente gravitacional



La masa de una lente gravitacional actúa como una lente óptica al distorsionar el espacio que la rodea y desviar la luz de un objeto distante.



Lentes gravitacionales

- La luz sigue siempre el camino más corto.
- Si la superficie es curva, la línea es curva.

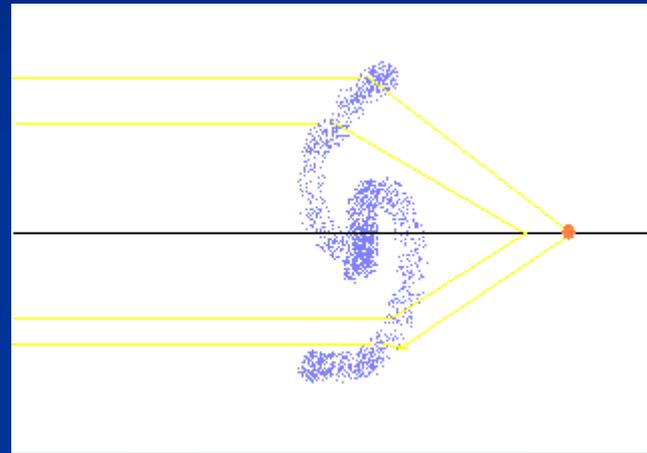
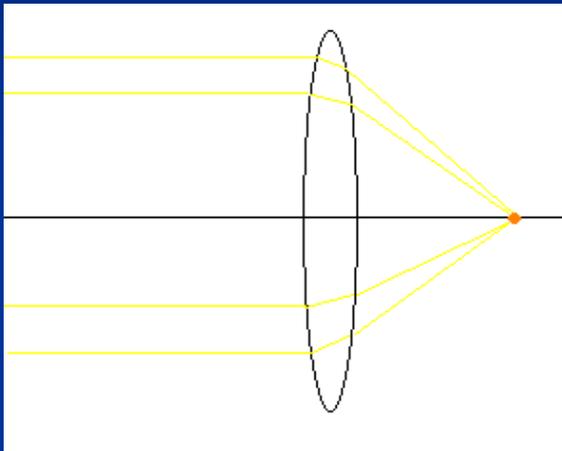


¿Por qué se desvía la luz al pasar cerca de una masa?

- Si hay una masa en el espacio, éste se curva y el camino más corto entre dos puntos es una curva.
- Se da una situación similar sobre el globo terrestre.

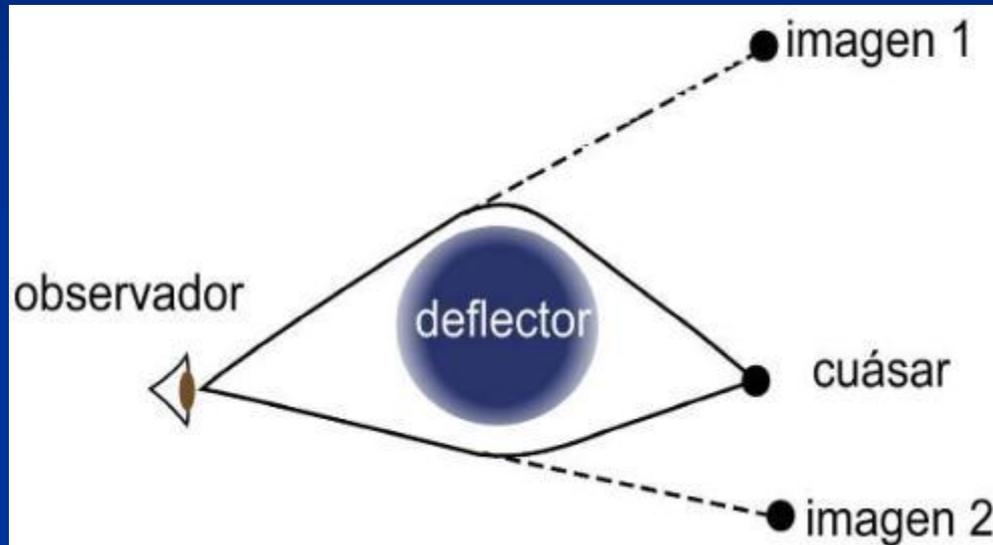


Cómo trabajan las lentes gravitacionales



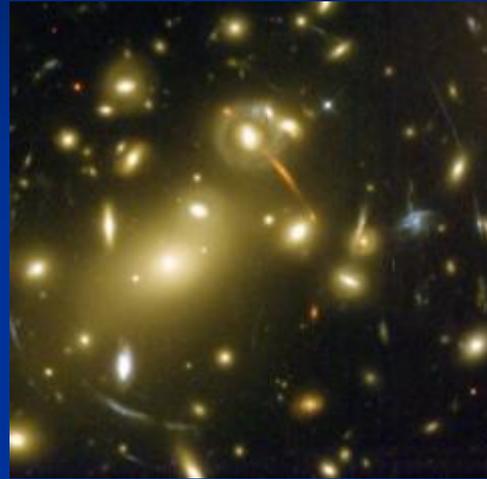
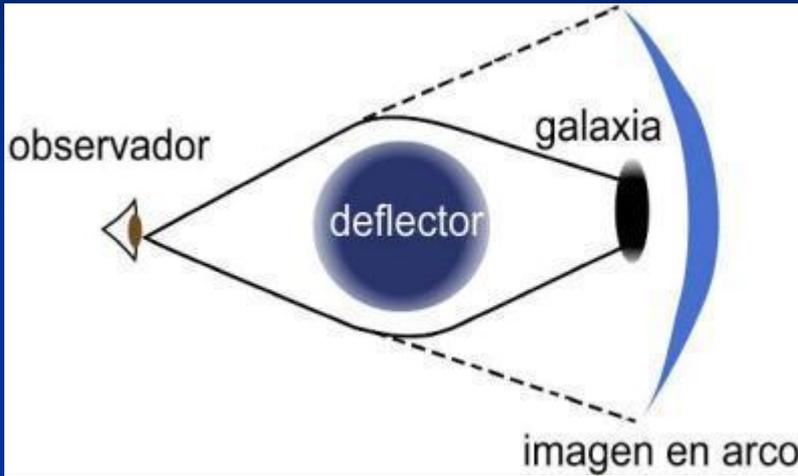
- Para una lente óptica convexa, la lente enfoca los rayos de luz paralelos en un punto: el foco.
- Para lentes gravitacionales, los rayos de luz se enfocan en una línea en lugar de un punto... este hecho introduce diversas distorsiones en las imágenes.

Cambios de posición y multiplicación



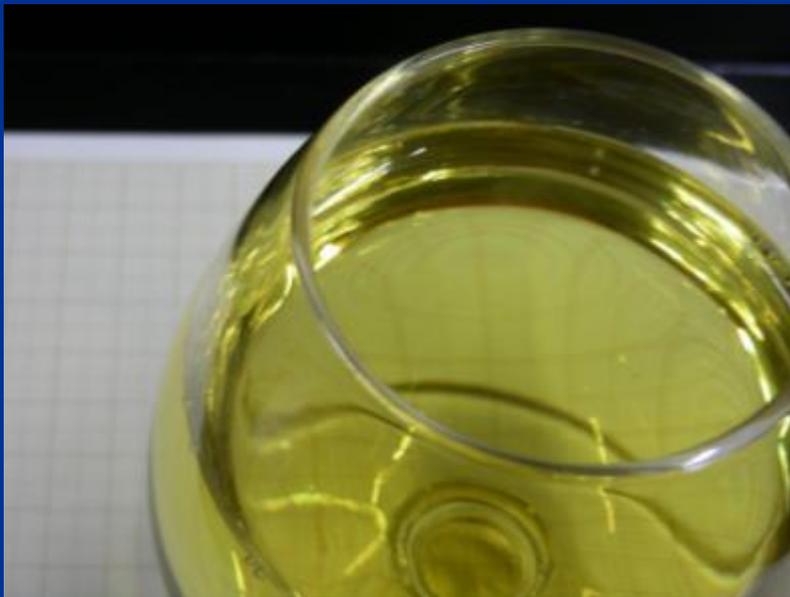
- La deflexión motiva dos posiciones aparentes de la estrella, galaxia o cuásar que está detrás.
- Las lentes gravitacionales no son perfectas, las mayores, pueden producir imágenes múltiples.

Deformación



- Si el cuerpo deflectado es un objeto extenso las imágenes obtenidas son varios arcos brillantes.
- Si el sistema de lentes es perfectamente simétrico, los rayos convergen y el resultado es un anillo.
- Si el cuerpo deflectado es una estrella o un cuásar la imagen obtenida es un punto, a veces múltiple.

Actividad 8: Simulación de la deformación del espacio



Copa con vino blanco sobre papel milimetrado: observamos a través del vino, podemos ver la deformación.

Si fijamos una linterna y nos movemos lentamente observando a través de la copa de vino, reproducimos imágenes similares a las de lentes gravitacionales.



Este simple modelo muestra que “la materia” puede reproducir distorsiones en las imágenes observadas a “través” de ella.



Fragmento de arco

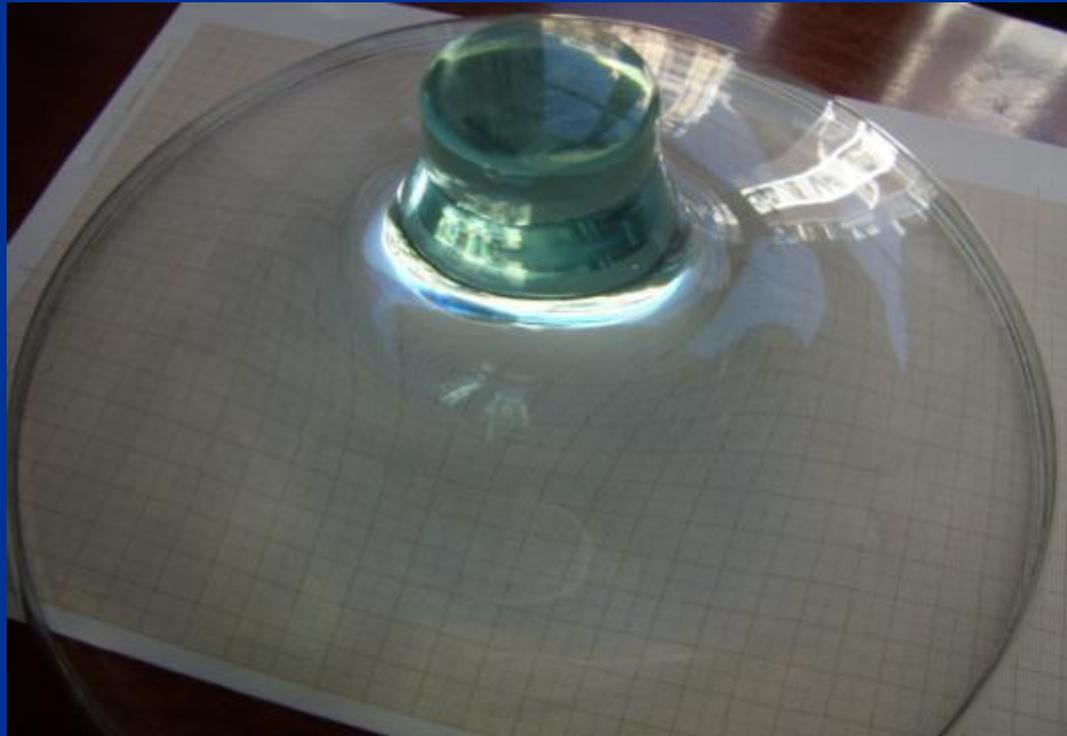


Figura amorfa



Cruz de Einstein

Situando la base de una copa sobre papel milimetrado, también podemos ver la deformación.



También se puede cortar el pie de la copa y mirar a su través.





+



=



Fragmento de arco



Cruz de Einstein



Anillo de Einstein

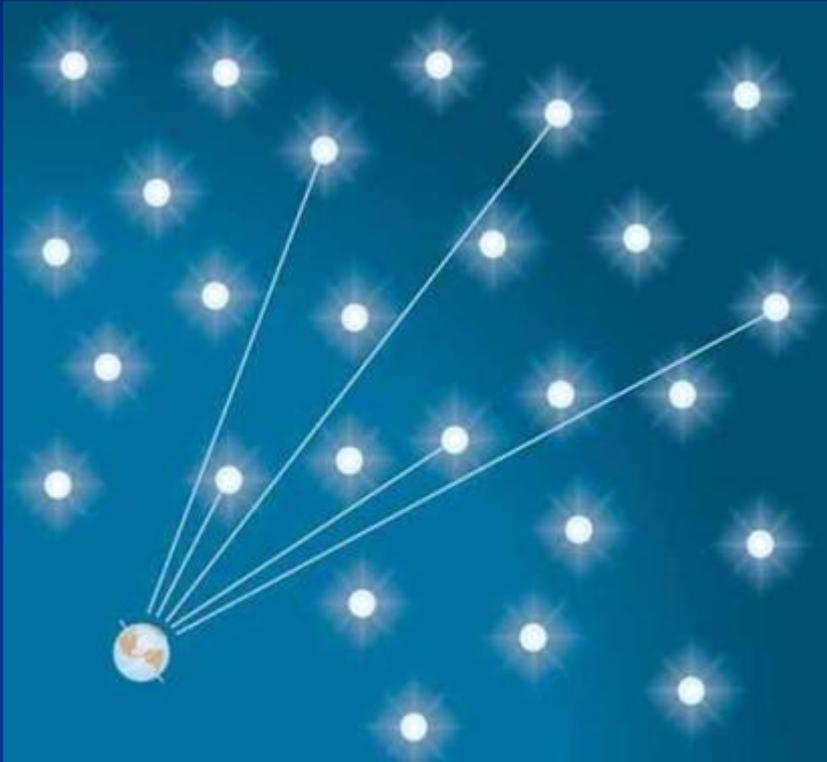
¿Por qué es oscura la noche?

Olbers planteó que si:

1. El Universo tiene una extensión infinita.
2. El número de estrellas se distribuye uniformemente a lo largo del Universo.
3. Todas las estrellas tienen una luminosidad similar en todo el Universo...



Oscuridad de la noche



Un Universo infinito tendr a un número infinito de objetos y deber a ser brillante en la noche



¿Por qué es oscura la noche?

Entonces:

1. Cualquier punto del cielo se vería con luz, no negro, ya que al final habría una estrella distante.
2. El n° de estrellas en cada “capa de cebolla” del cielo es proporcional a r^2 , y su luz inversamente proporcional a r^2 , luego cada capa aportaría una cantidad de luz constante a la Tierra. Si hay infinitas capas, el cielo se vería luminoso.



¿Por qué es oscura la noche?

Fallos:

- Las estrellas se ven más rojizas (menos luminosas) cuanto más lejanas, por la expansión.
- Pero sobre todo, el cielo no tiene una extensión infinita, ya que no tiene una edad infinita. No hay infinitas capas de estrellas.

¡La noche puede seguir siendo oscura!



¡Muchas gracias
por su atención!

