

Evolució de l'univers

**Ricardo Moreno, Susana Deustua,
Rosa M. Ros, Beatriz García**

Colegio Retamar de Madrid, España

Space Telescope Science Institute, Estados Unidos

Universidad Politécnica de Cataluña, España

ITeDA and Universidad Tecnológica Nacional, Argentina



Objectius

- Comprendre què és l'expansió de l'univers
- Comprendre que no hi ha un centre de l'univers
- Comprendre la Llei d'Hubble-Lamaître
- Analitzar com es detecta la matèria fosca



Presentació

Aquest Taller tracta sobre:

- L'origen de l'univers: el Big Bang.
- Les Galàxies: no es “mouen” a través de l'espai, és l'espai el que es dilata.
- La Constant de Hubble: $v = H_0 \cdot d$
- No hi ha un centre de l'univers, com no hi ha un país central.
- El fons còsmic de microones.
- Les lents gravitatòries.



Models, prediccions, verificació: Experiment de les estovalles



Predicció: si estirem ràpid d'unes estovalles en una taula servida, res del que hi ha sobre la taula caurà. Si ho verifiquem, la predicció es compleix.

L'experiment funciona perquè la física és una disciplina que permet predir el que va a succeir: si es tira ràpid de les estovalles, només fem força sobre les estovalles. La inèrcia manté els objectes on estaven i per això no cauen.

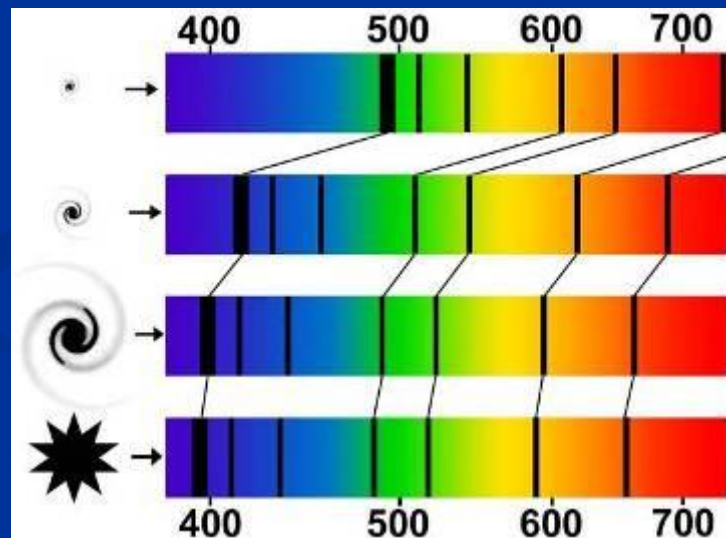
La física que s'ha desenvolupat a la Terra és la que els astrònoms apliquen a la resta de l'univers.



Desplaçament cap al roig 1/3

L'absorció de la llum és diferent per a cada element químic. L'espectre d'absorció presenta línies característiques per a cada element.

- A l'observar la llum de les galàxies, es veu que les línies dels elements es desplacen cap al vermell i que com més lluny està la galàxia, més gran és el desplaçament.
- S'interpreta com a conseqüència del seu moviment d'allunyament de nosaltres.



Desplaçament cap al roig 2/3

- Les galàxies properes tenen moviments relatius petits i irregulars: el *Gran Núvol de Magalhães* +13 km/s, el *Petit Núvol de Magalhães* -30 km/s, *Andròmeda* -60 km/s, M 32 +21 km/s.
- En el cúmul de *Virgo* (50 milions d'a.l.) totes s'allunyen de nosaltres a velocitats entre 1 000 i 2 000 km/s.
- Al supercúmul de *Coma Berenices* (300 milions d'a.l.) les velocitats són entre 7 000 i 8 500 km/s.



Desplaçament cap al roig 3/3

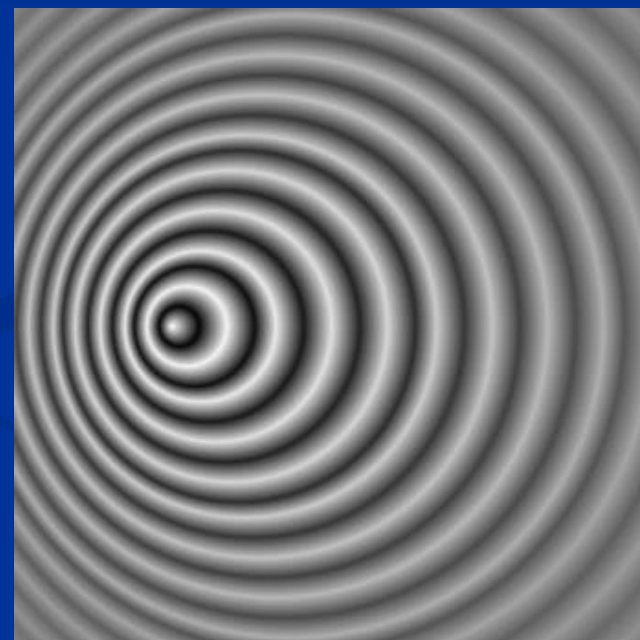
- Però en la direcció oposada, M 74 s'allunya a 800 km/s i M 77 a 1 130 km/s.
- Si observem galàxies més llunyanes i febles, la velocitat de recessió és encara més gran: NGC 375 s'allunya a 6.200 km/s, NGC 562 a 10 500 km/s i NGC 326 a 14 500 km/s.
- Mirem cap a on mirem, totes, excepte les molt properes, s'allunyen de nosaltres.



Efecte Doppler

De la mateixa manera que en l'exemple de les estovalles, podem aplicar altres principis físics a l'estudi de l'univers.

- Una ambulància, una moto, un tren que s'acosta el sentim amb un so més agut que quan s'allunya.
- Agut $\rightarrow$ l'ona s'escurça
- Greu $\rightarrow$ l'ona s'allarga



Activitat 1: Efecte Doppler



- L'efecte Doppler es pot verificar fent girar en un pla horitzontal un despertador.
- Quan s'acosta a l'espectador, la λ s'escurça i el so és més agut. Quan s'allunya, la λ s'allarga i el so és més greu.
- El mateix passa amb el so d'una cursa de motos, una ambulància, un tren...



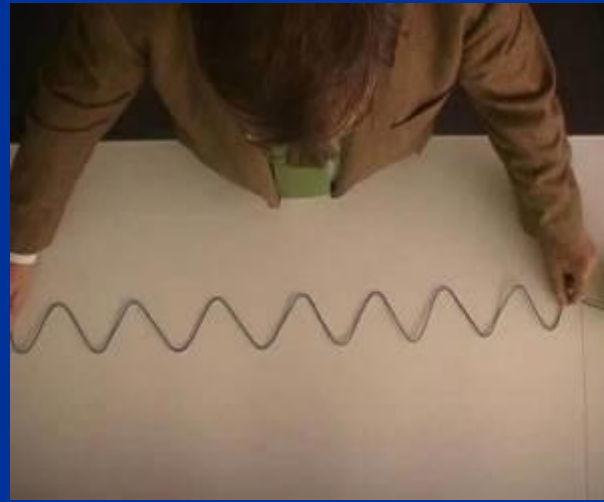
En l'experiment, l'efecte Doppler és al desplaçament relatiu de font-receptor i és ressaltat amb sons.

En el cas de l'expansió de l'Univers, l'efecte es dona amb ones electromagnètiques.



Activitat 2. Estirament dels fotons

- L'univers, a l'expandir-se, "estira" els fotons que hi ha en ell.
- Es pot mostrar aquest estirament amb un cable semirígid com el que s'usa en les instal·lacions elèctriques encastades de les cases.
- Com més temps dura el viatge del fotó, més estirament pateix.



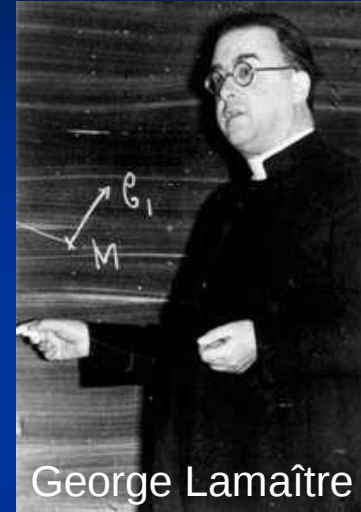
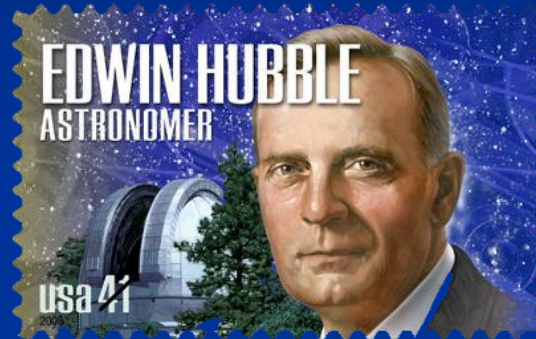
Llei d'Hubble-Lemaître

Entre 1920 i 1930, George Lemaître i Edwin Hubble es van adonar que les galàxies més distants s'allunyen més de pressa.

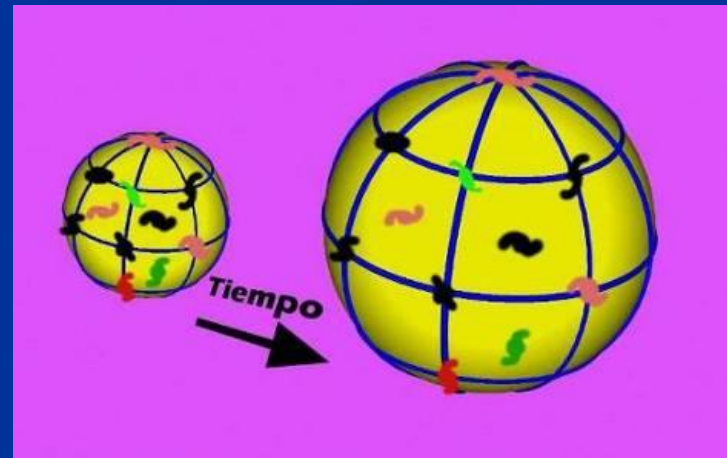
Llei d'Hubble-Lemaître:

$$v = H_0 \cdot d$$

Les galàxies no es mouen a través de l'espai: és l'espai el que les arrossega.



George Lemaître



Activitat 3: L'univers en una goma



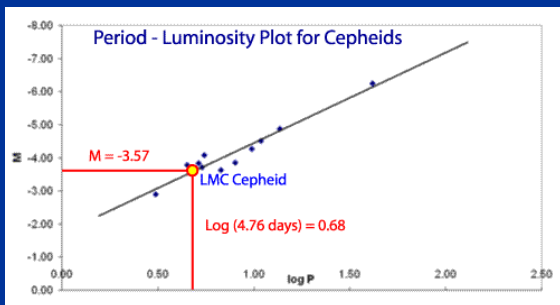
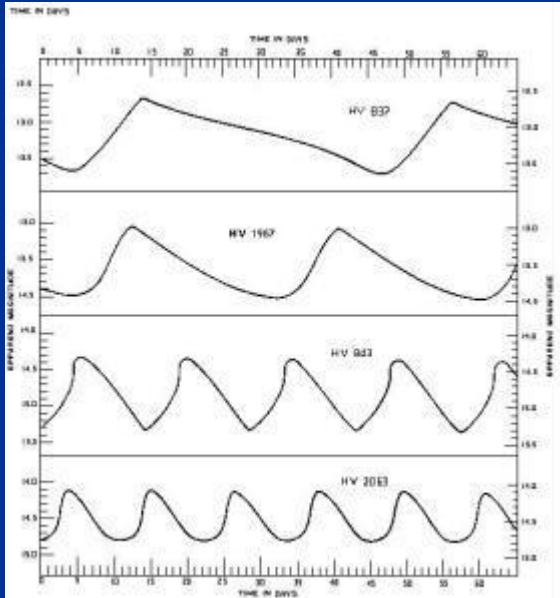
Activitat 4: L'univers en un globus



- La distància entre les "galàxies" augmenta amb l'expansió.
- Les "galàxies" no es mouen a través del globus.
- Situant-nos en qualsevol "galàxia" sobre el globus, veiem que les altres s'allunyen d'ella.

Expansió de l'univers

1) La distància a les galàxies properes es dedueix de la relació període-lluminositat d'estrelles variables Cefeides (descoberta per Henrietta Leavitt, a Harvard, a principis del s. XX)

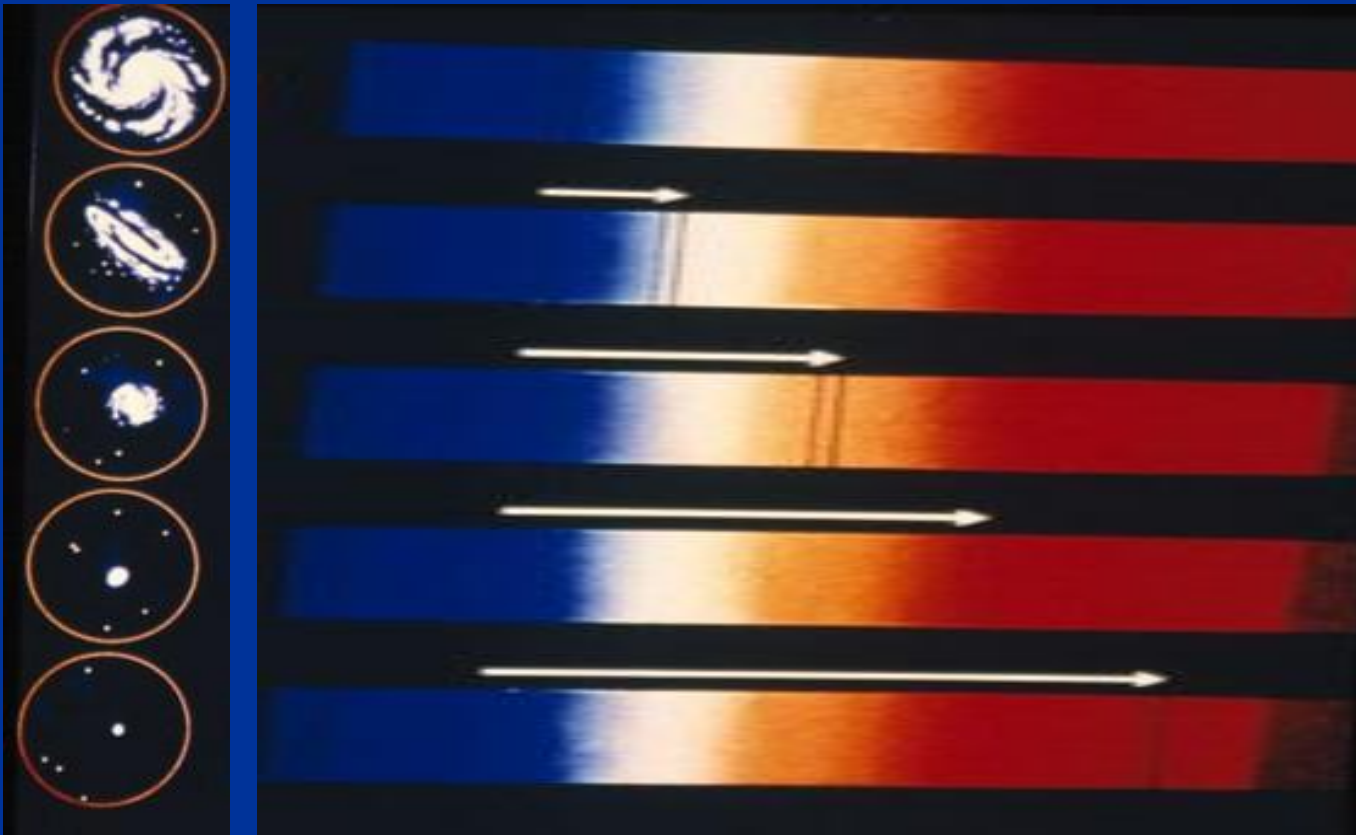


- A partir de la corba de llum s'obté el període P.
- De la relació període-lluminositat s'obté la magnitud absoluta M.
- Sabent m i M es calcula la distància:
$$d \text{ (pc)} = 10^{(m-M + 5)/5}$$
- Per determinar distàncies de galàxies més llunyanes s'usa un tipus de supernova (tipus Ia), totes de brillantor similar.

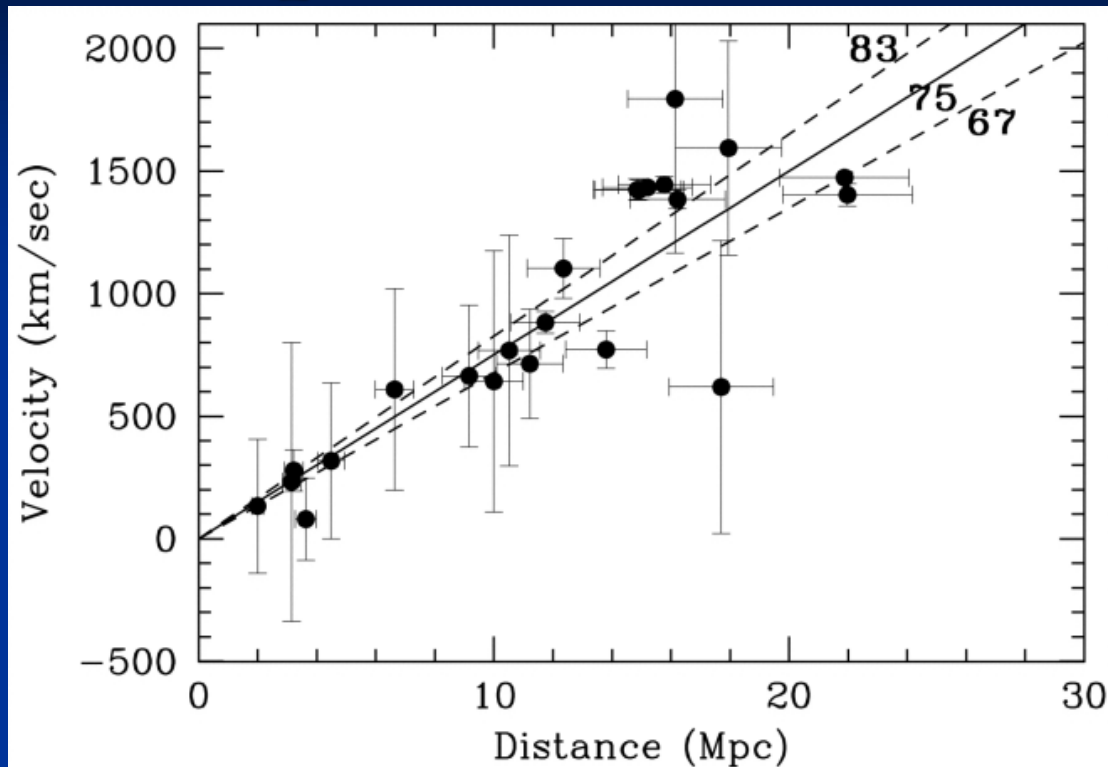
Expansió de l'univers

2) La velocitat de recessió es mesura en l'espectre aplicant l'equació:

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



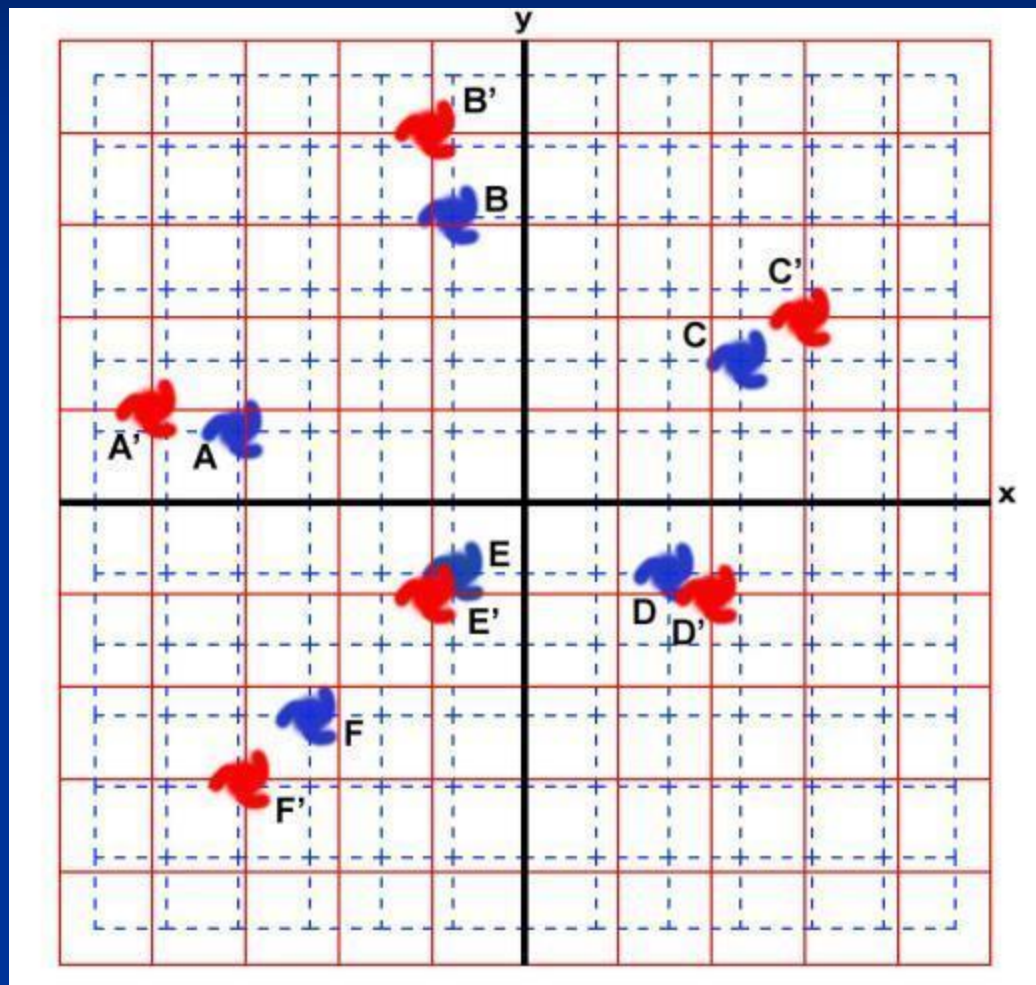
Expansió de l'univers



(Freedman et al, 2001, ApJ, vol 553, p47).

3) La constant d'Hubble-Lemaître és el pendent de la recta: $v = H_0 \cdot d$, sent H_0 la taxa d'expansió de l'univers: $H_0 = 72 \text{ km/s/Mpc}$

Activitat 5: Càlcul de la constant d'Hubble-Lemaître

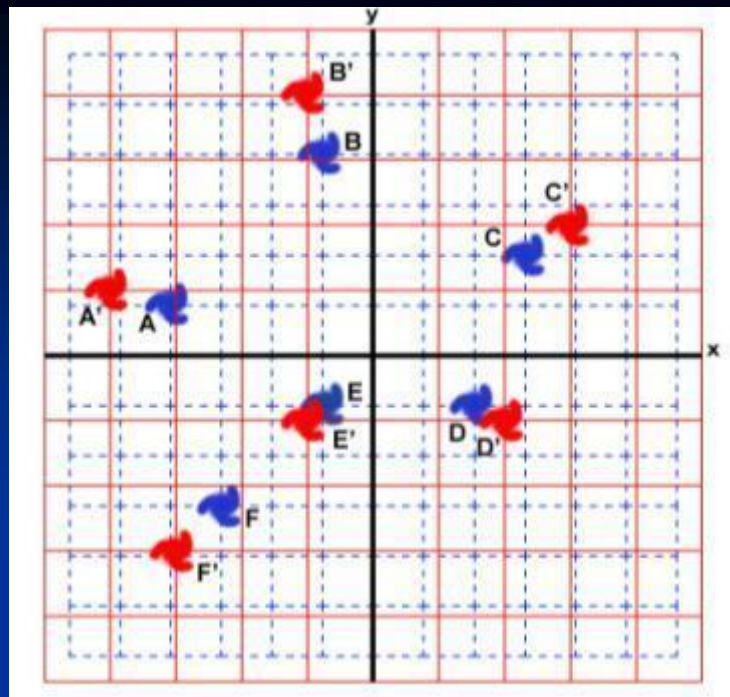


Blau = Univers
abans d'expandir-se

Vermell = Univers
després d'expandir-se

Activitat 5: Càlcul de la constant de Hubble-Lemaître

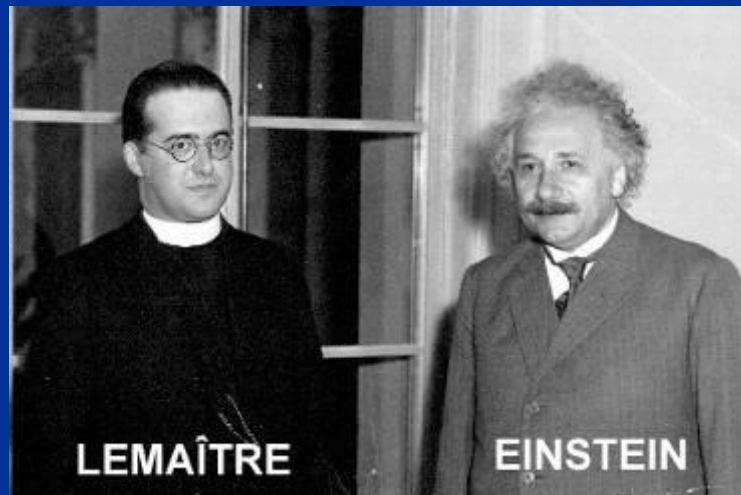
<i>Galaxia</i>	<i>Coordenadas x,y</i>	<i>d=distancia al origen</i>	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
<i>A</i>					
<i>A'</i>					
<i>B</i>					
<i>B'</i>					
<i>C</i>					
<i>C'</i>					
<i>D</i>					
<i>D'</i>					
<i>E</i>					
<i>E'</i>					
<i>F</i>					
<i>F'</i>					



Galaxia	Coordenadas x, y	$d = \text{distancia al origen}$	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 anem cap enrere en el temps, hi va haver un moment en què tot estava unit: univers en expansió.
- Georges Lemaître, resolent les equacions de la Relativitat, va arribar a proposar un univers en expansió que va començar com un "ou còsmic".



Big Bang

- Nom de Big Bang: gran explosió.
- Fred Hoyle l'hi va posar despectivament, pels seus prejudicis antireligiosos: li sonava massa a la idea d'un creador.
- *S&T* va fer un concurs per canviar el nom. 12.000 propostes. Cap va ser millor.



Big Bang

- Abans del Big Bang? No sabem res.
- Què el va produir? Per què va passar? Per què té aquestes lleis físiques?
- La Física tracta de com funcionen les coses que existeixen, no de per què existeixen.
- La Física estudia la matèria des que existeix (des del Big Bang), no abans, ni estudia la raó o finalitat del per què existeix. Aquestes són qüestions filosòfiques, religioses, no científiques.



Big Bang

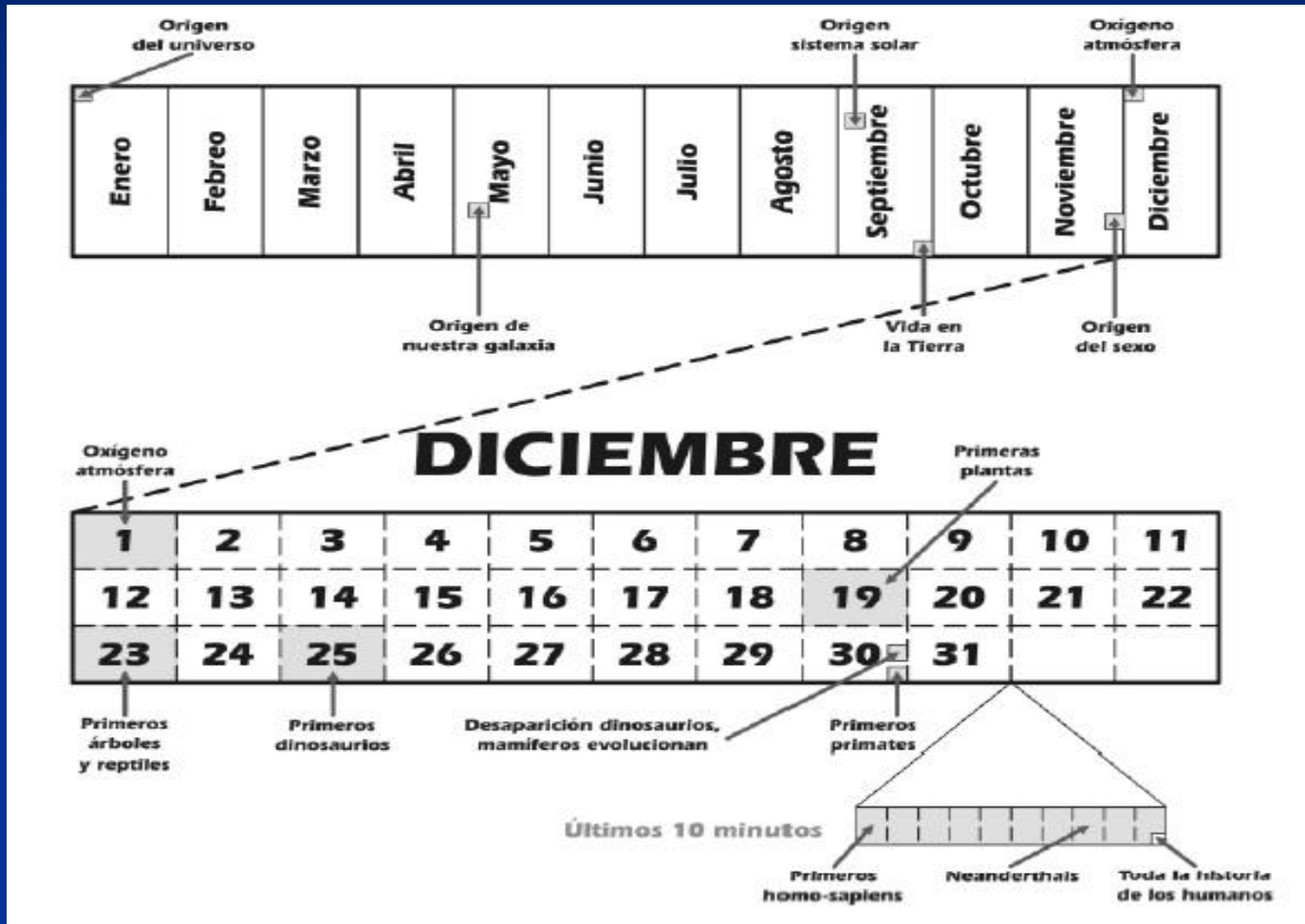
- Fluctuació del buit quàntic?
- Buit no és el no res, existeix.
- Múltiples universos? Indemostrable per definició.



Evolució de l'univers



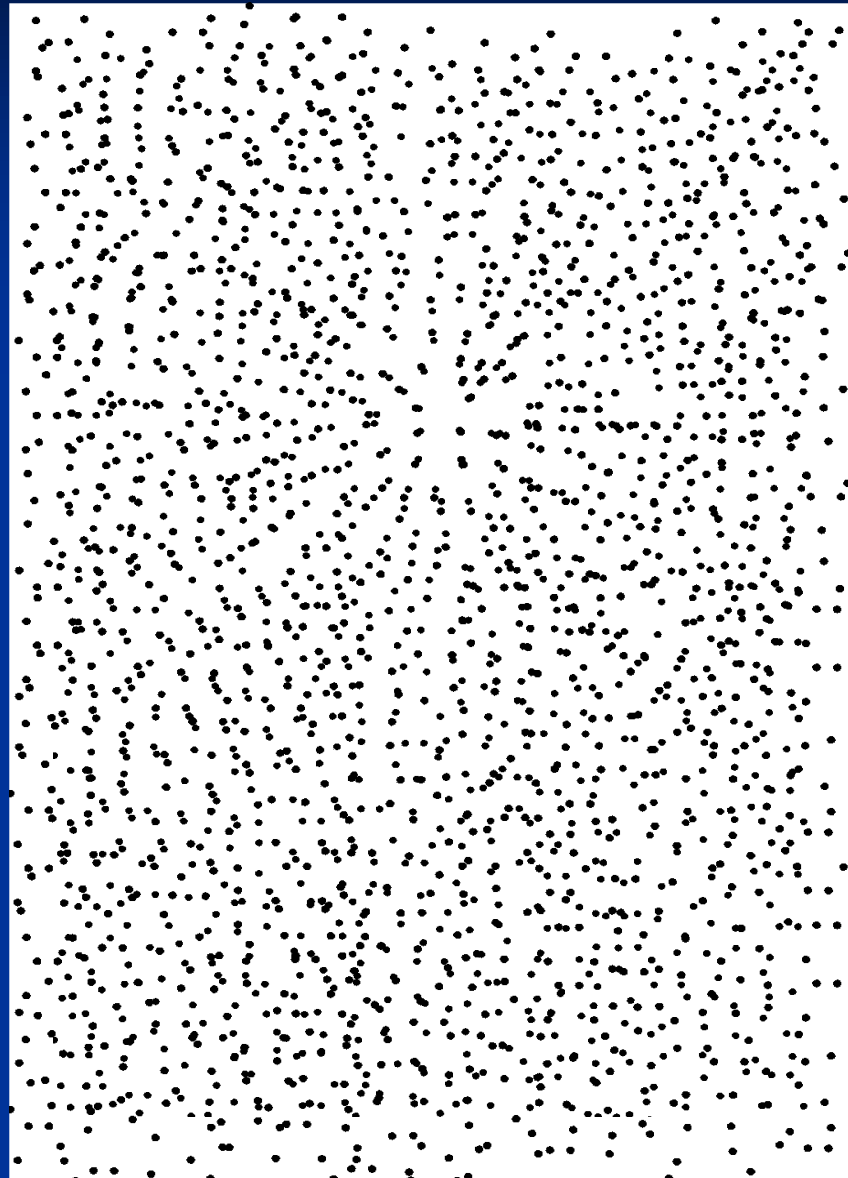
Evolució de l'univers en un any



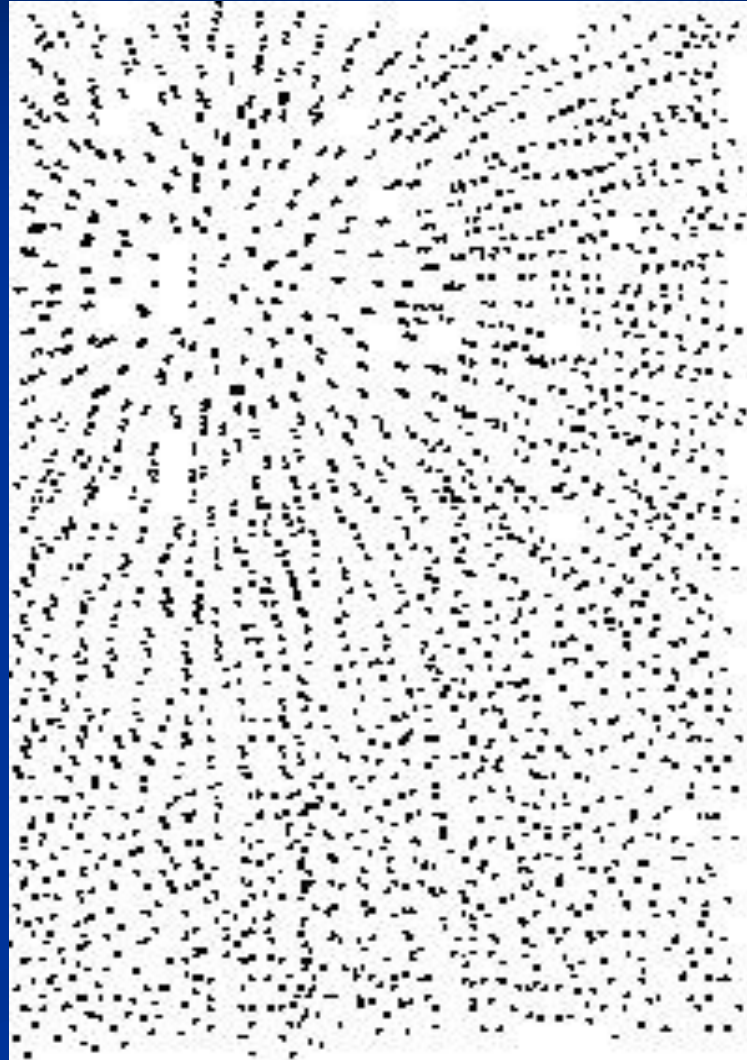
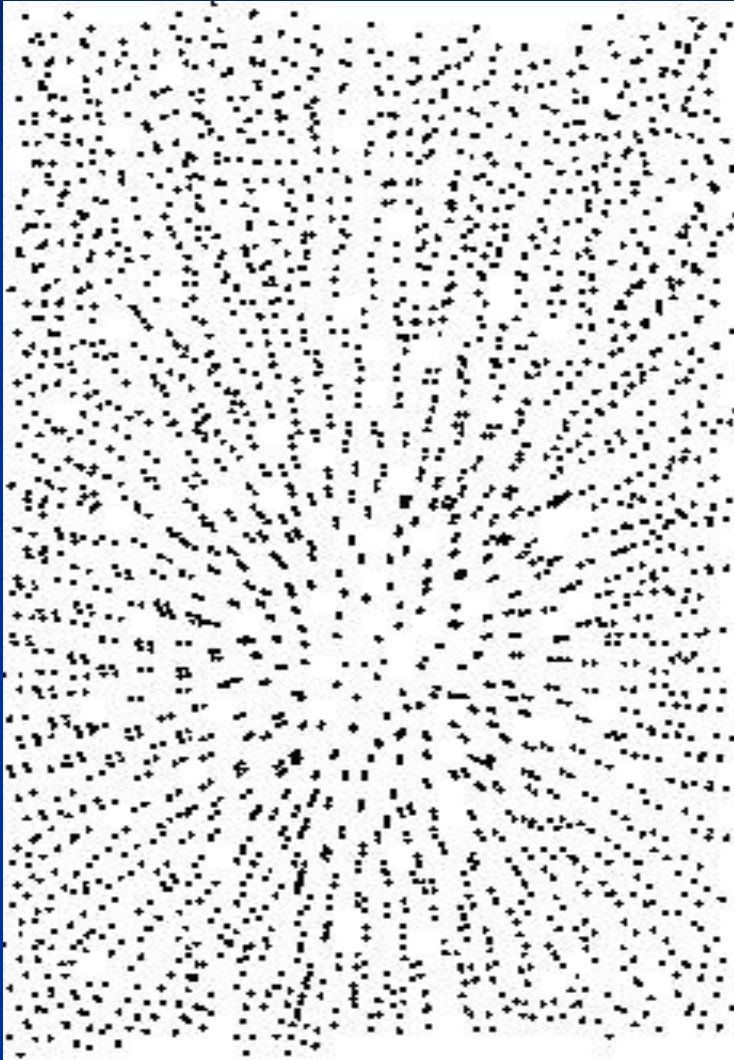
Activitat 6: No hi ha un centre d'expansió

100%

105%



Activitat 6: No hi ha un centre d'expansió



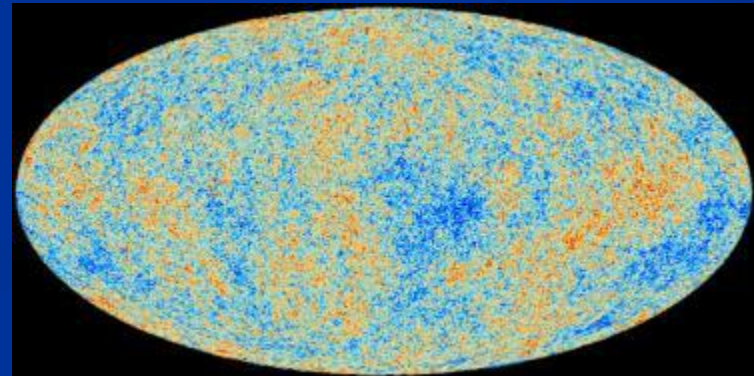
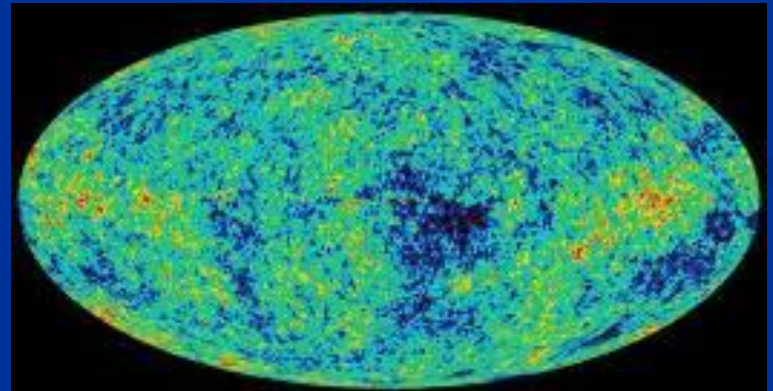
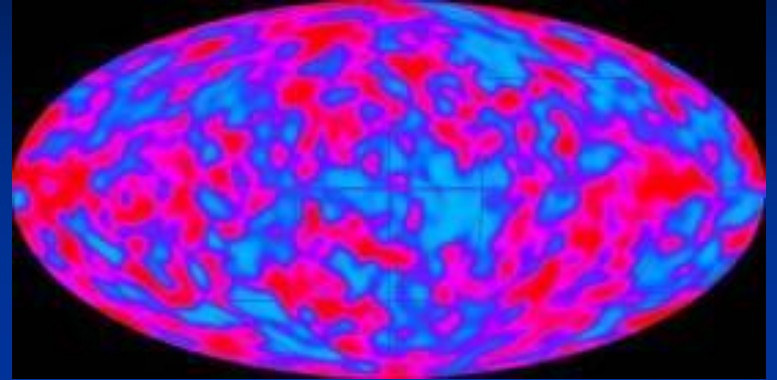
Radiació de fons de microones

- Radiació que va quedar lliure als 380.000 anys després del Big Bang.
- En passar el temps, l'expansió de l'espai va fer que s'anés allargant la seva longitud d'ona.
- Ara és a la regió de les microones



Radiació de fons de microones

- Les sondes COBE, WMAP i PLANCK van fer un mapa del cel d'aquesta radiació, cada vegada amb més detall. Les petites diferències entre unes zones i altres eren els grumolls d'on sorgirien les galàxies.



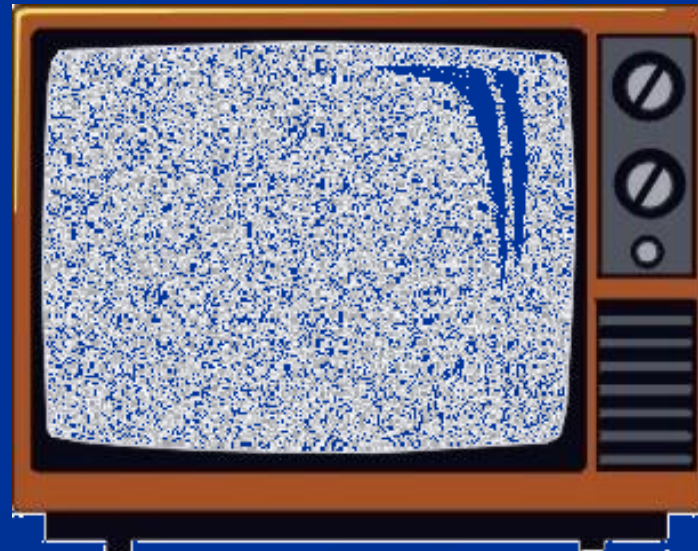
Activitat 7: Radiació còsmica de fons

- 300.000 anys després del Big Bang, els fotons es van separar de la matèria i van començar a viatjar lliures per l'univers.
- A l'expandir-se l'espai, els fotons van ampliar la seva longitud d'ona. Actualment és $\lambda = 2 \text{ mm}$, equivalent a $T = 2,7 \text{ K} = -270 \text{ °C}$.



Activitat 7: Radiació còsmica de fons

- Podem detectar-la amb un TV analògic. En un canal buit, un de cada deu punts procedeix d'aquesta radiació de fons.



Matèria fosca: Taula giratòria que compensa l'atracció gravitacional terrestre

Els forats negres no es veuen, però sabem que hi són perquè la seva atracció gravitacional obliga a girar als estels al voltant d'ells.



Tot i que la matèria fosca és invisible, una manera de detectar-la és observant la seva acció, per exemple en les galàxies.

Una manera de detectar la matèria fosca: lents gravitatòries



La lent gravitatòria actua com una lent òptica. La seva massa distorsiona l'espai circumdant i desvia la llum d'un objecte distant.

Una manera de detectar la matèria fosca: lents gravitatòries.



Lents gravitatòries

- La llum segueix sempre el camí més curt.
- Si la superfície és corba, la línia és corba.

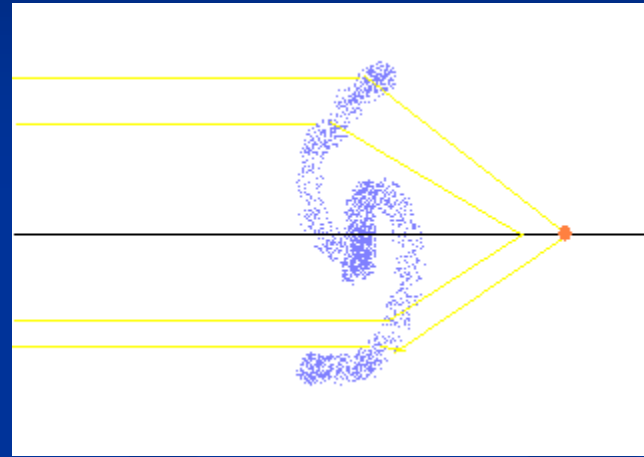
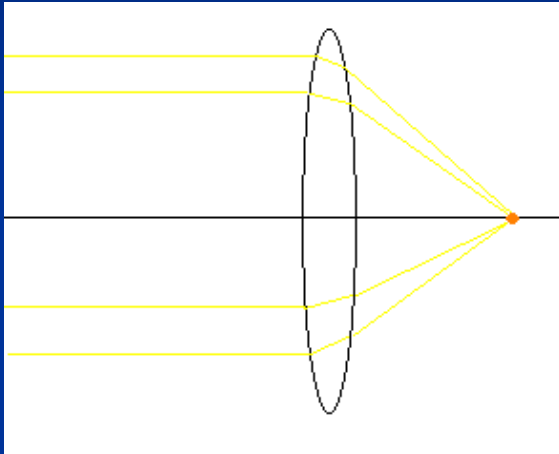


Per què es desvia la llum al passar prop d'una massa?

- Si hi ha una massa en l'espai, aquest es corba i el camí més curt entre dos punts és una corba.
- Es dona una situació similar sobre el globus terrestre.

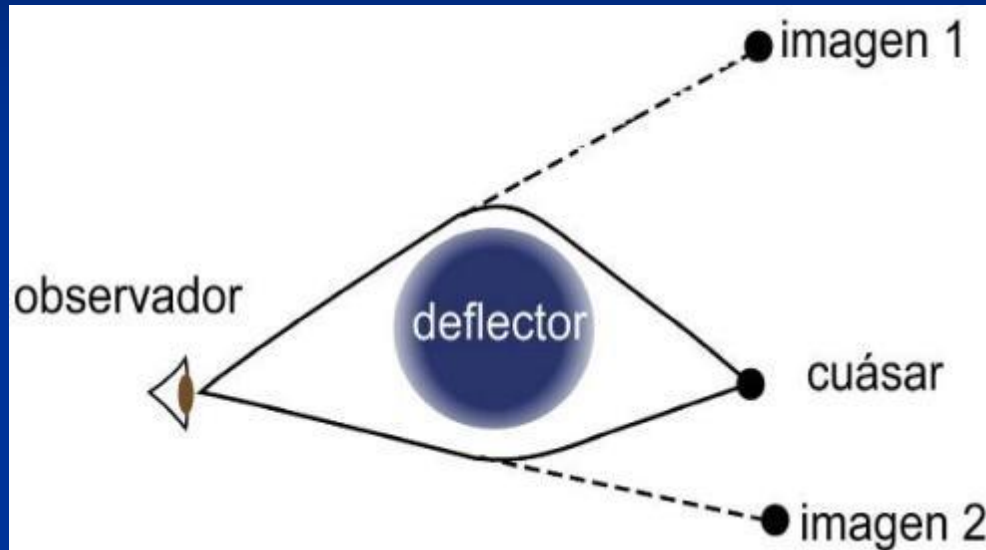


Com treballen les lents gravitatòries?



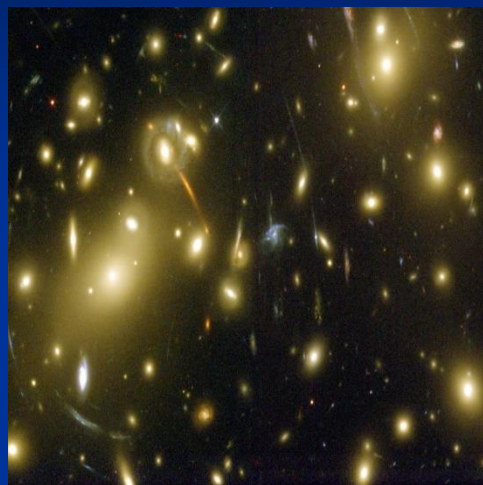
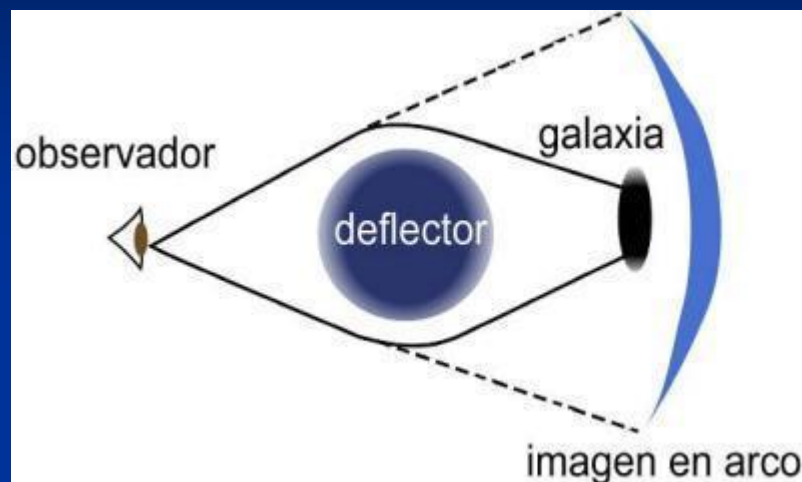
- Una lent òptica convexa enfoca els raigs de llum paral·lels en un punt: el focus.
- Amb una lent gravitatòria, els raigs de llum s'enfoquen en una línia en lloc d'un punt. Aquest fet introdueix diverses distorsions en les imatges.

Canvis de posició i multiplicació



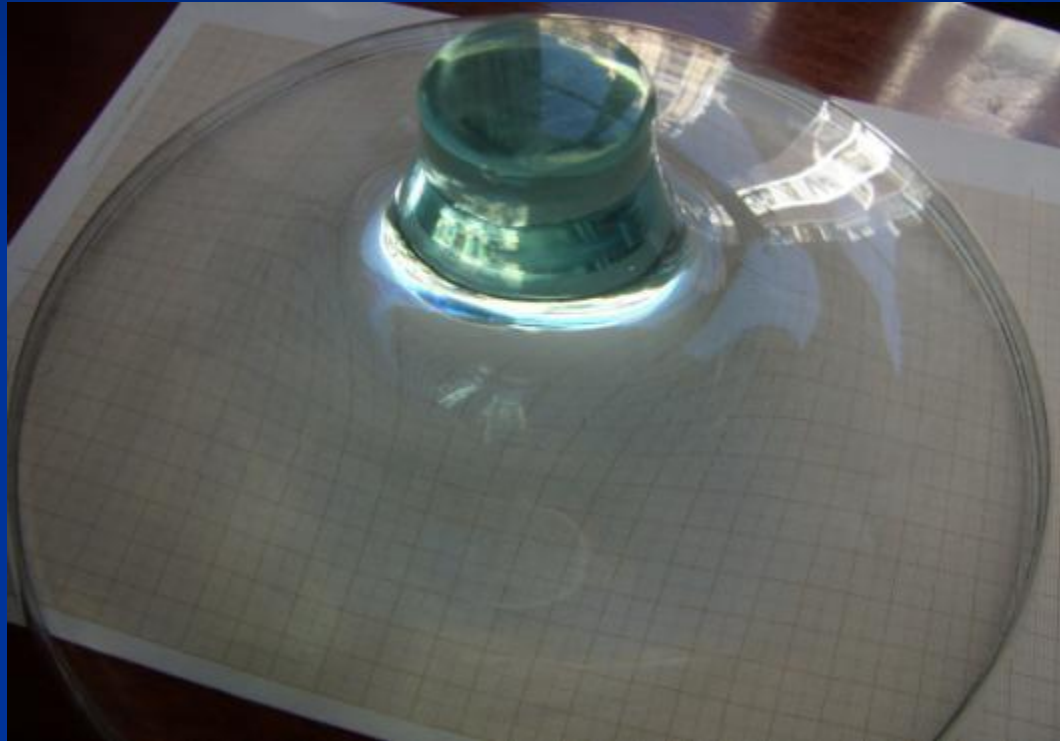
- La deflexió de la llum origina dues posicions aparents de l'estrella, galàxia o quàsar.
- Les lents gravitatòries no són perfectes. Les més grans poden produir imatges múltiples.

Deformació



- Si el cos deflektor és un objecte extens, les imatges obtingudes són diversos arcs brillants.
- Si el sistema de lents és perfectament simètric, els rajos convergeixen i el resultat és un anell.
- Si el cos deflektor és un estel o quàsar, la imatge obtinguda és un punt, de vegades múltiple.

Activitat 8: Simulant la deformació amb la base d'una copa



Si col·loquem la base sobre paper mil·limetrat, també podem veure la deformació.

Activitat 8: Mirant a través d'una "base de copa"



També es pot tallar el peu de la copa i mirar al seu través.



+



=



Fragment d'arc

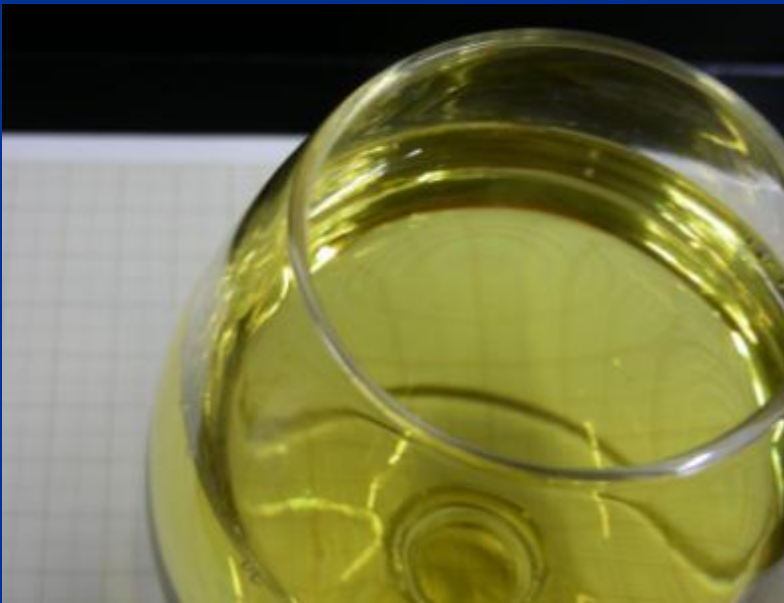


Creu d'Einstein



Anell d'Einstein

Activitat 9: Simulant la deformació de l'espai amb una copa de vi



Copa amb vi blanc sobre paper mil·limetrat: observant a través del vi podem veure la deformació.

Activitat 9: Fixem una llanterna i ens movem lentament observant a través de la copa de vi



Aquest simple model mostra que "la matèria" pot reproduir distorsions en les imatges observades a "través" d'ella.

(El vi pot ser reemplaçat per un altre líquid translúcid)

Activitat 9: Fixem una llanterna i ens movem lentament observant a través de la copa de vi



Fragment d'arc



Figura amorfa



Creu d'Einstein



Anell d'Einstein

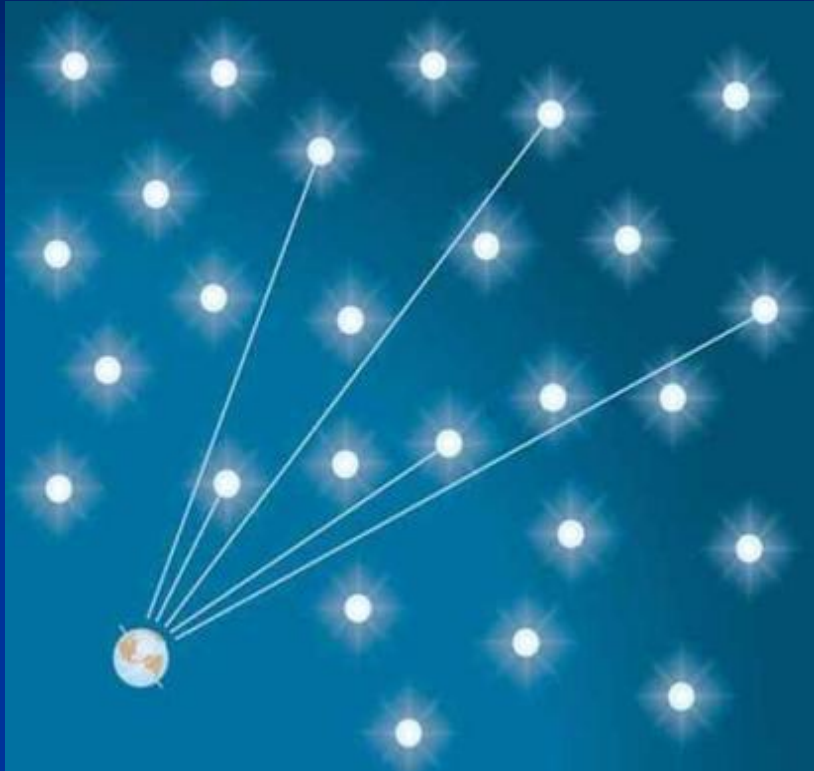
Un tòpic fora de taller: Per què és fosca la nit?

En 1823 Olbers va plantejar que si:

- L'univers té una extensió infinita.
- El nombre de estrelles es distribueix uniformement al llarg de l'univers.
- Totes les estrelles tenen una lluminositat similar en tot l'univers, llavors...



Un tòpic fora de taller: Per què és fosca la nit?



... un univers infinit tindria un nombre infinit d'objectes i la nit hauria de ser brillant.

Per què és fosca la nit?

Llavors:

- Qualsevol punt de el cel es veuria amb llum, no negre, ja que a la fi hi hauria una estrella distant.
- El nombre de estrelles de cada "capa de ceba" del cel és proporcional a r^2 i la seva llum inversament proporcional a r^2 . Llavors cada capa aportaria una quantitat de llum constant a la Terra. Si hi ha infinites capes, el cel es veuria lluminós.



Per què és fosca la nit?

Però, hi ha errors en aquest raonament:

- Les estrelles es veuen més vermelloses com més llunyanes, per l'expansió i menys lluminoses, per la distància.
- Però sobretot, l'univers no té una extensió infinita, ja que no té una edat infinita i per tant no hi ha infinites capes d'estrelles.

Edgar Allan Poe va ser qui ho va explicar correctament en el seu assaig "Eureka", publicat en 1848.

La nit pot ser fosca!



Moltes gràcies per
la seva atenció!

