

Expansiunea Universului

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

Uniunea Astronomică Internațională

Școala Retamar (Madrid, Spania)

Space Telescope Science Institute (Baltimore, SUA)

Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania)

ITeDA și Universitatea Tehnologică Națională (Argentina)



Obiective

- Să înțelegem ce înseamnă expansiunea Universului
- Să înțelegem că nu există un centru al Universului
- Să înțelegem Legea Hubble-Lemaître
- Să înțelegem cum poate fi detectată materia întunecată



Prezentare

Acest atelier explică:

- Originea Universului: Big Bang
- Galaxiile nu se "mișcă" prin spațiu ci spațiul este cel care se extinde
- Constanta lui Hubble: $v = H \cdot d$
- Nu există un centru al universului
- Radiația cosmică de fond



Modele, predicții, verificare: experiment cu fața de masă



Predicție: dacă tragem foarte repede o față de masă, nici un obiect aflat deasupra ei nu va cădea de pe masă. Dacă putem să verificăm afirmația, atunci predicția noastră este corectă.

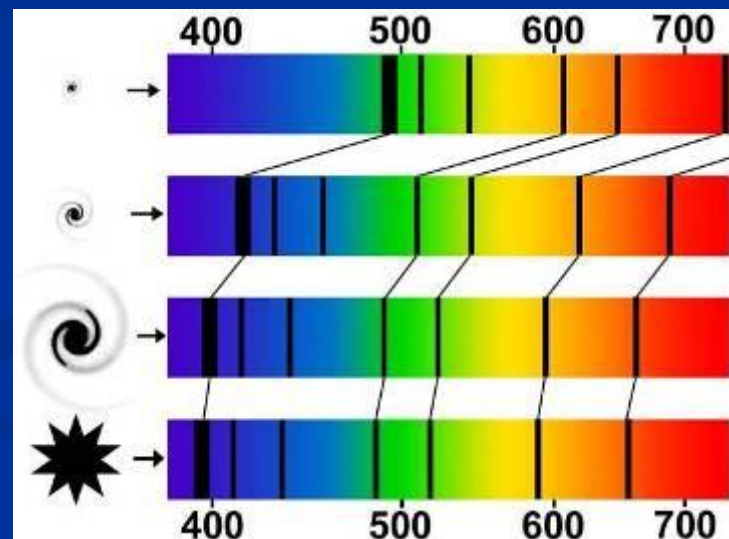
În acest experiment forțele de frecare nu au timp să acționeze asupra obiectelor de pe masă ce au inerție. Astfel se explică de ce ele nu cad. Experimentul reușește pentru că fizica este o știință care prezice ce se va întâmpla.

Fizica pe care o dezvoltăm pe Pământ este aceeași cu aceea pe care o aplicăm pentru restul Universului.



Deplasarea spre roșu

- Lumina este absorbită de fiecare element chimic diferit. Spectrul de absorbție al luminii prezintă linii caracteristice pentru fiecare element chimic.
- Când observăm lumina ce vine de la galaxii, constatăm că liniile sunt deplasate spre capătul roșu al spectrului. Cu cât o galaxie este mai îndepărtată, cu atât deplasarea spre roșu este mai mare.



- Acest fenomen este interpretat ca rezultat al mișcării de îndepărtare al galaxiilor față de noi.

Deplasarea spre roșu

- Galaxiile din apropiere au mișcări relativ mici și neregulate: Marele Nor al lui Magellan +13 km/s, Micul Nor al lui Magellan -30 km/s, Andromeda -60 km/s, M 32 +21 km/s.
- În roiul Fecioara, (50 de milioane de a.l.), toate galaxiile se îndepărtează de noi la viteze între 1000 și 2000 km/s.
- În constelația Coma Berenice (300 de milioane de a.l.), vitezele sunt între 7.000 și 8 500 km/s.



Deplasarea spre roșu

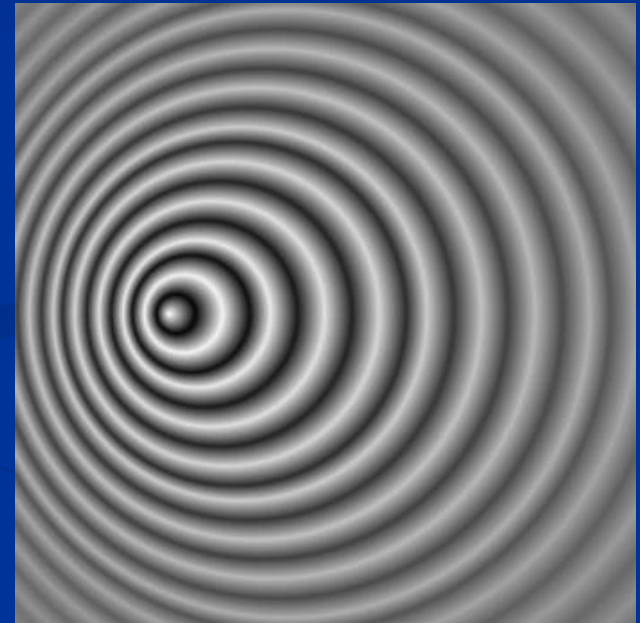
- În direcția opusă, M 74 se îndepărtează cu 800 km/s și M 77 se apropie cu 1130 km/s.
- Dacă observăm galaxii îndepărtate și slabe, viteza este chiar mai mare: NGC 375 se îndepărtează cu 6200 km/s, NGC 562 cu 10500 km/s și NGC 326 cu 14500 km/s.
- Indiferent de direcția în care facem observația, toate galaxiile, cu excepția celor foarte apropiate, se îndepărtează de noi.



Efectul Doppler

Ca în exemplul cu fața de masă, putem aplica alte principii ale fizicii pentru studiul Universului.

- Dacă o ambulanță, o motocicletă, un tren se apropie, vom auzi un sunet mai înalt/ascuțit. Atunci când se îndepărtează de noi vom auzi un sunet mai grav.



- Sunet mai înalt \rightarrow lungimea de undă scade
- Sunet mai grav \rightarrow lungimea de undă crește

Activitatea 1: Efectul Doppler



- Efectul Doppler poate fi pus în evidență prin rotirea unui ceas cu alarmă, în plan orizontal.
- Atunci când ceasul se apropie de ascultător, λ scade și sunetul este mai ascuțit.

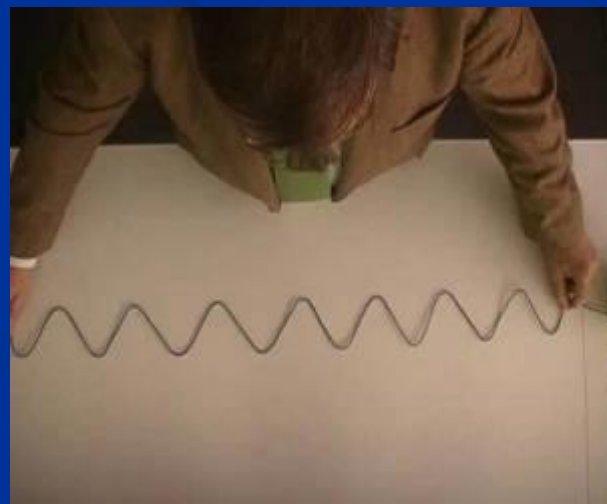


- Când se îndepărtează, λ crește și sunetul este mai grav, frecvența scade.
- Se întâmplă la fel cu sunetul unei motociclete, al unei ambulanțe sau al unui tren.

• În experiment, efectul Doppler se datorează deplasării relative sursă-receptor și este pus în evidență cu sunete. În cazul expansiunii Universului, efectul se produce cu unde electromagnetice.

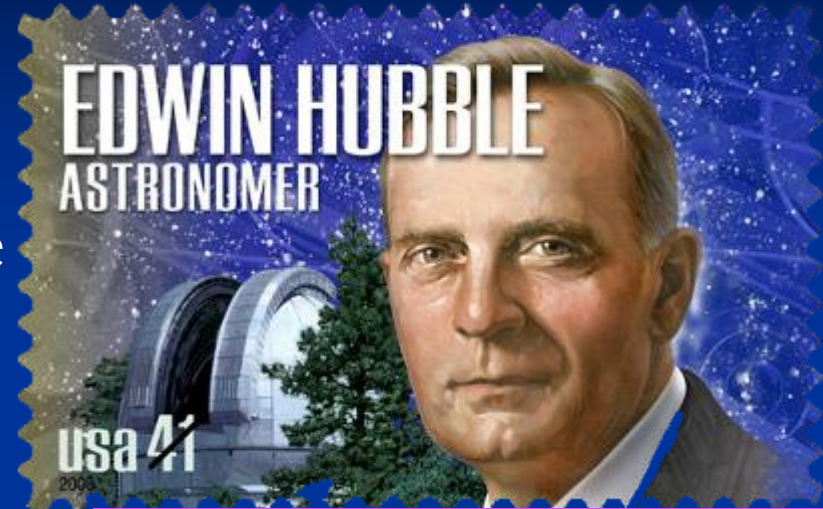
Activitatea 2: "Întinderea" fotonilor

- Universul, atunci când se extinde, "întinde" fotonii din el.
- Puteți face un model al acestei "întinderi" cu ajutorul unui cablu semi-rigid, folosit în instalațiile electrice de acasă.
- Cu cât este mai lungă calea fotonului, cu atât cablul este mai întins.



Legea lui Hubble

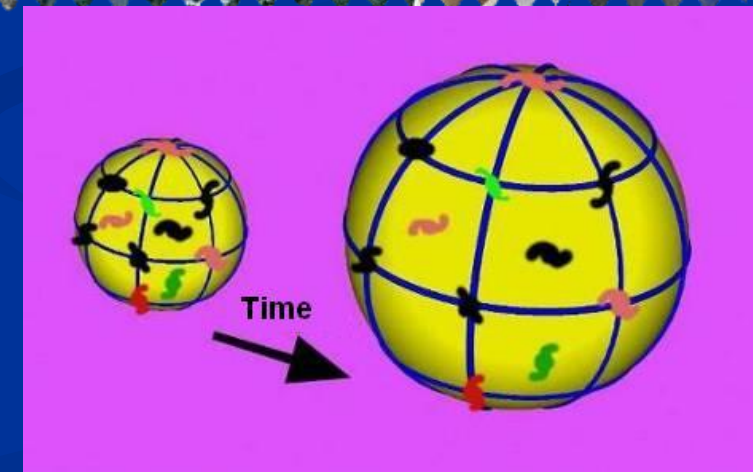
- Între 1920 și 1930, George Lemaître și Edwin Hubble și-au dat seama că galaxiile cele mai îndepărtate se îndepărtează mai repede decât cele mai apropiate.



- Legea Hubble -Lemaître:

$$v = H \times d$$

- Galaxiile nu se deplasează prin spațiu: spațiul este cel care se extinde, trăgând galaxiile.



Activitatea 3: Universul într-o bandă elastică



Activitatea 4: Universul într-un balon

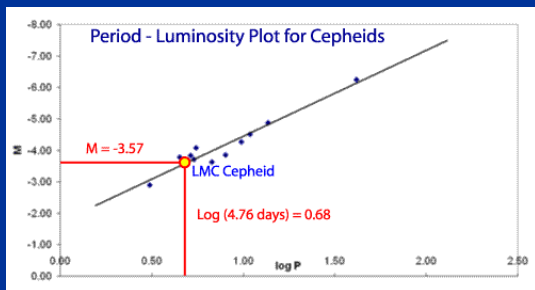
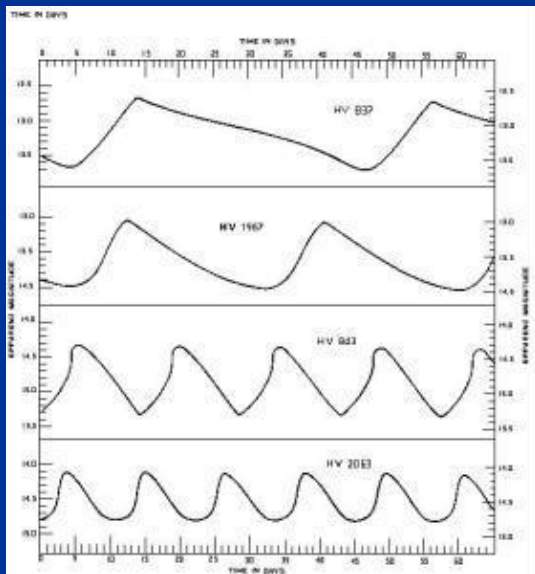


- Distanța dintre galaxii crește, datorită expansiunii.
- Galaxiile nu se deplasează pe balon.
- Dacă am fi în oricare „galaxie” de pe balon, am vedea că celelalte galaxii se îndepărtează de noi.

Expansiunea Universului

1. Distanța până la cele mai apropiate galaxii poate fi obținută din graficul perioadă-luminozitate a Cefeidelor, stele variabile, descoperite de Henrietta Leavitt (Harvard, la începutul sec. XX).

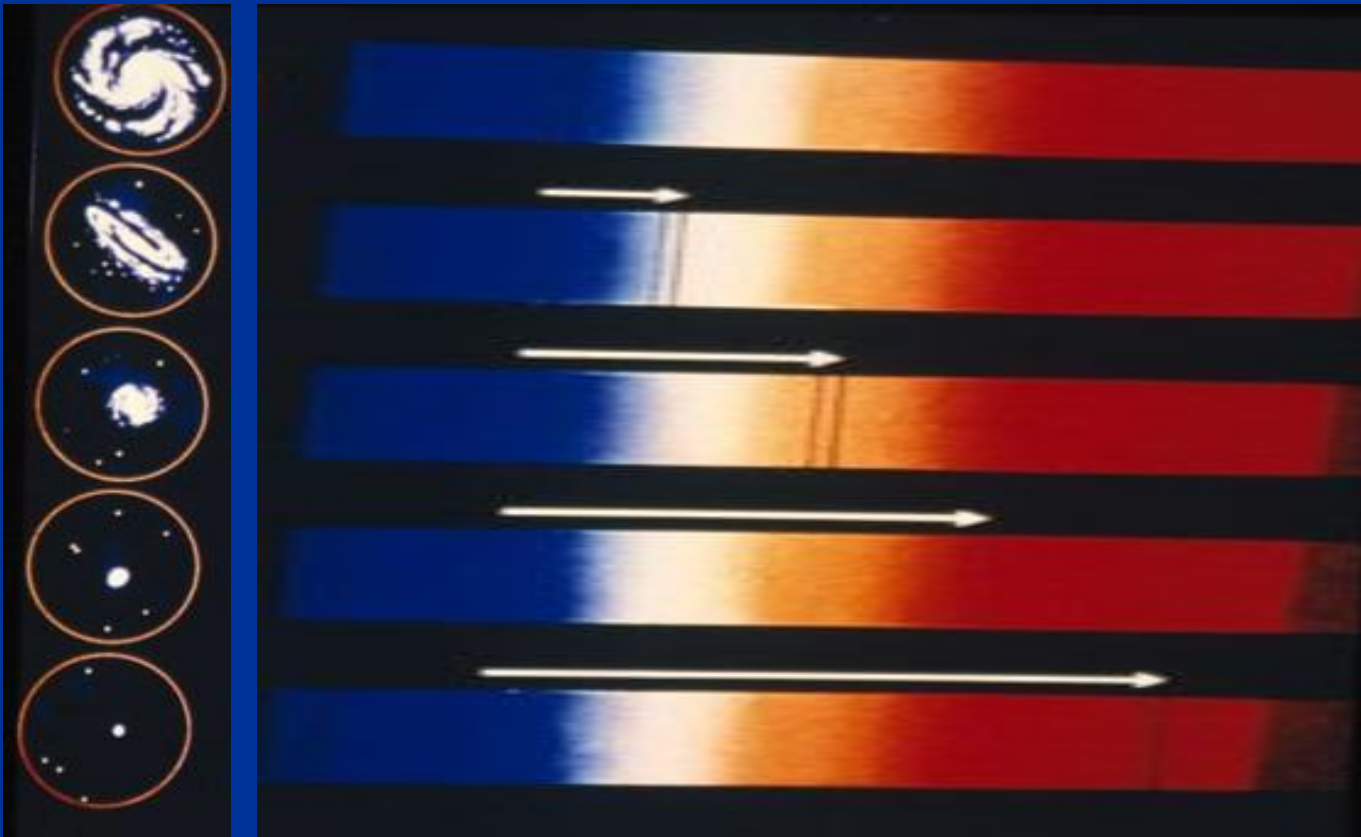
- Din curba de lumină putem obține perioada P
- Din graficul perioada-luminozitate putem afla magnitudinea absolută M
- Cu aceste mărimi putem calcula distanța până la galaxie: $d=10^{(m-M+5)/5}$ pc
- Pentru a determina distanțele până la cele mai depărtate galaxii, astronomii pot folosi un tip special de supernovă (tip Ia), care are picuri de luminozitate similare.



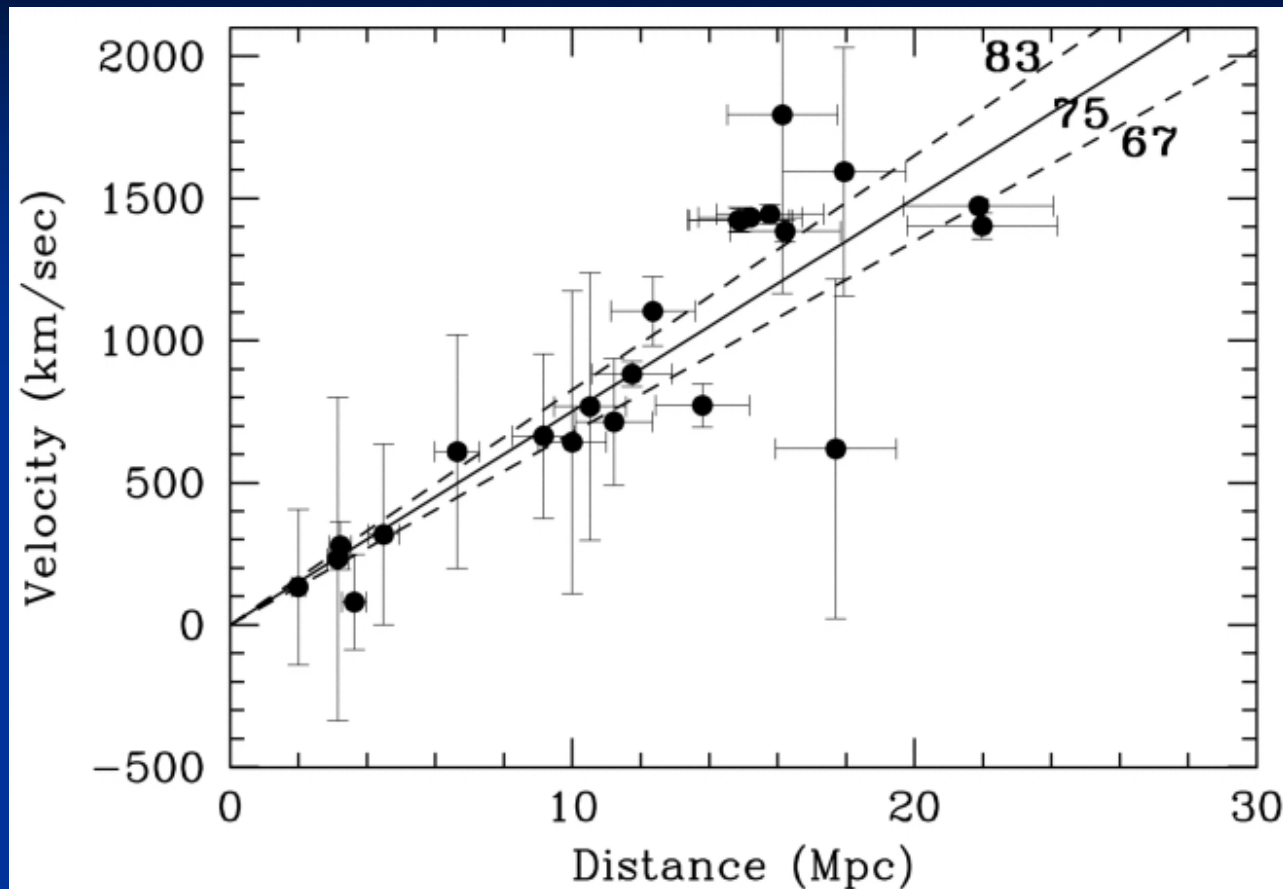
Expansiunea Universului

2) Viteza de recesiune este calculată din deplasarea liniilor de absorbție din spectru, utilizând ecuația:

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



Expansiunea Universului

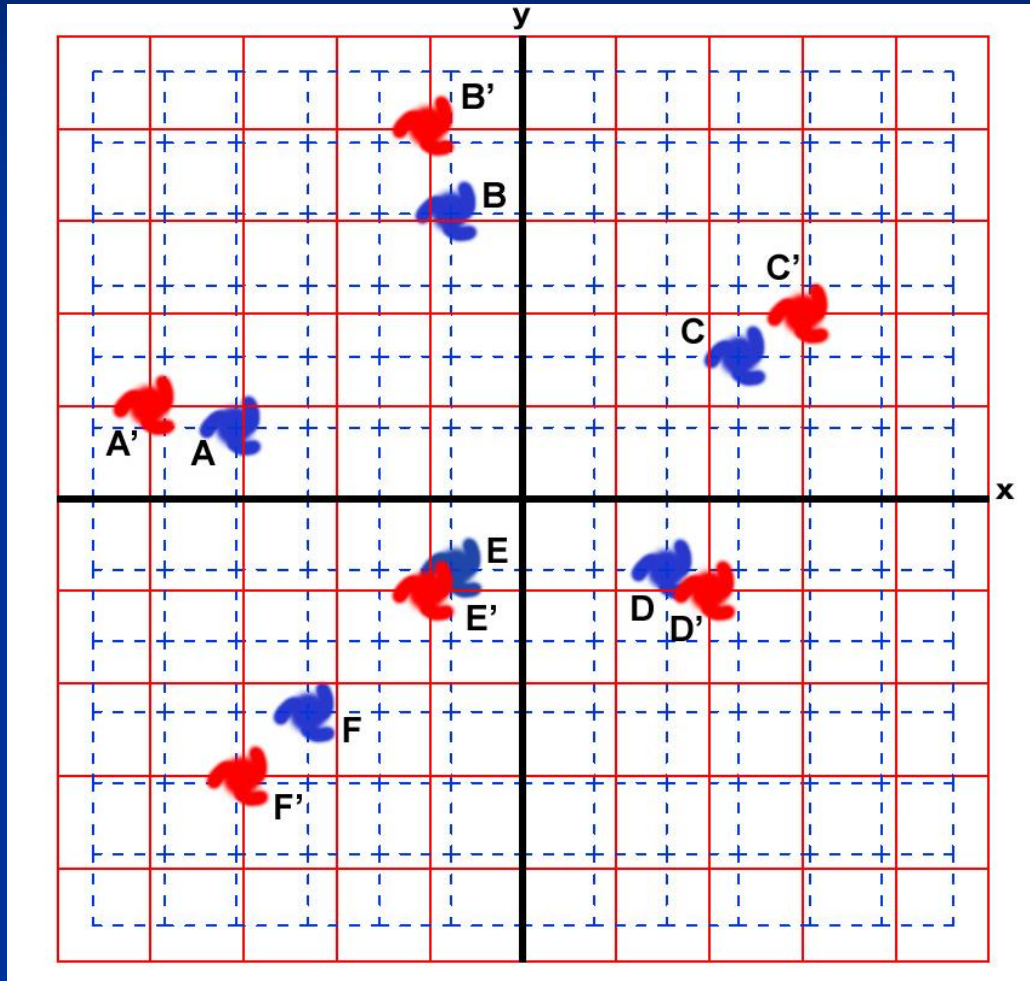


din Freedman și colab, 2001, APJ, vol. 553, p47.

3) Constanta lui Hubble este panta graficului funcției

$v = f(d)$. H_0 este rata de expansiune a Universului și are valoarea $H_0 = 72 \text{ km/s/Mpc}$

Activitatea 5: Calcularea constantei Hubble-Lemaître

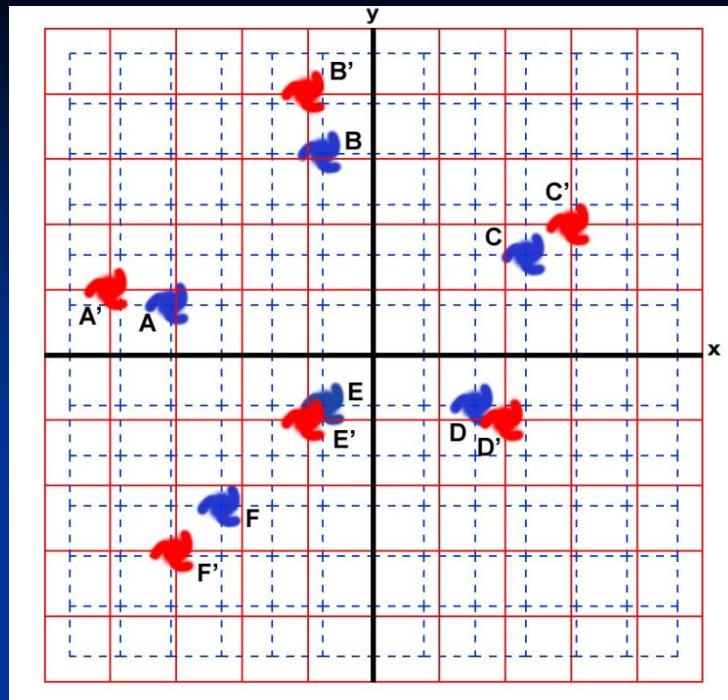


**Albastru = Univers
înainte de
expansiune**

**Roșu = Univers
după expansiune**

Activitatea 5: Calcularea constantei Hubble-Lemaître

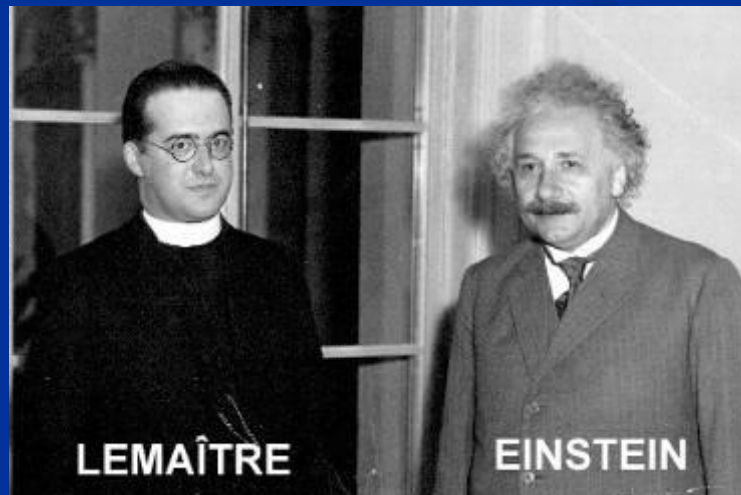
<i>Galaxy</i>	<i>Coordinates x,y</i>	<i>d=distance to origin</i>	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
<i>A</i>					
<i>A'</i>					
<i>B</i>					
<i>B'</i>					
<i>C</i>					
<i>C'</i>					
<i>D</i>					
<i>D'</i>					
<i>E</i>					
<i>E'</i>					
<i>F</i>					
<i>F'</i>					



Galaxy	Coordinates x, y	d =distance to origin	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

- Dacă ne întoarcem în timp, a existat un moment în care totul a fost unit, deci Universul este în expansiune.
- Rezolvând ecuațiile relativității, Georges Lemaître a ajuns la ideea unui univers în expansiune, care a început ca un "ou cosmic".



Big Bang

- Numele de Big Bang: explozie mare.
- Fred Hoyle, care avea anumite prejudecăți anti-religioase, a considerat că numele pare prea apropiat de cel al unui Creator.
- S & T a făcut un concurs pentru redenumire. Au fost 12.000 de propuneri. Nici una nu a fost mai bună.



Big Bang

- Înainte de Big Bang? Nu știm nimic.
- Care a fost cauza? De ce s-a întâmplat? De ce se observă aceleași legi fizice peste tot?
- Fizica explică cum funcționează lucrurile existente, dar nu explică de ce ele există.
- Physics studies the matter from its origin (since the Big Bang), not before, nor does it study the reason or purpose of why it exists. These are philosophical and religious questions but not scientific questions.
- Fizica studiază materia de la originile sale (de la Big Bang) și nu dinainte. Fizica nu studiază motivul și scopul existenței materiei. Acestea sunt probleme filosofice și religioase, dar nu științifice.

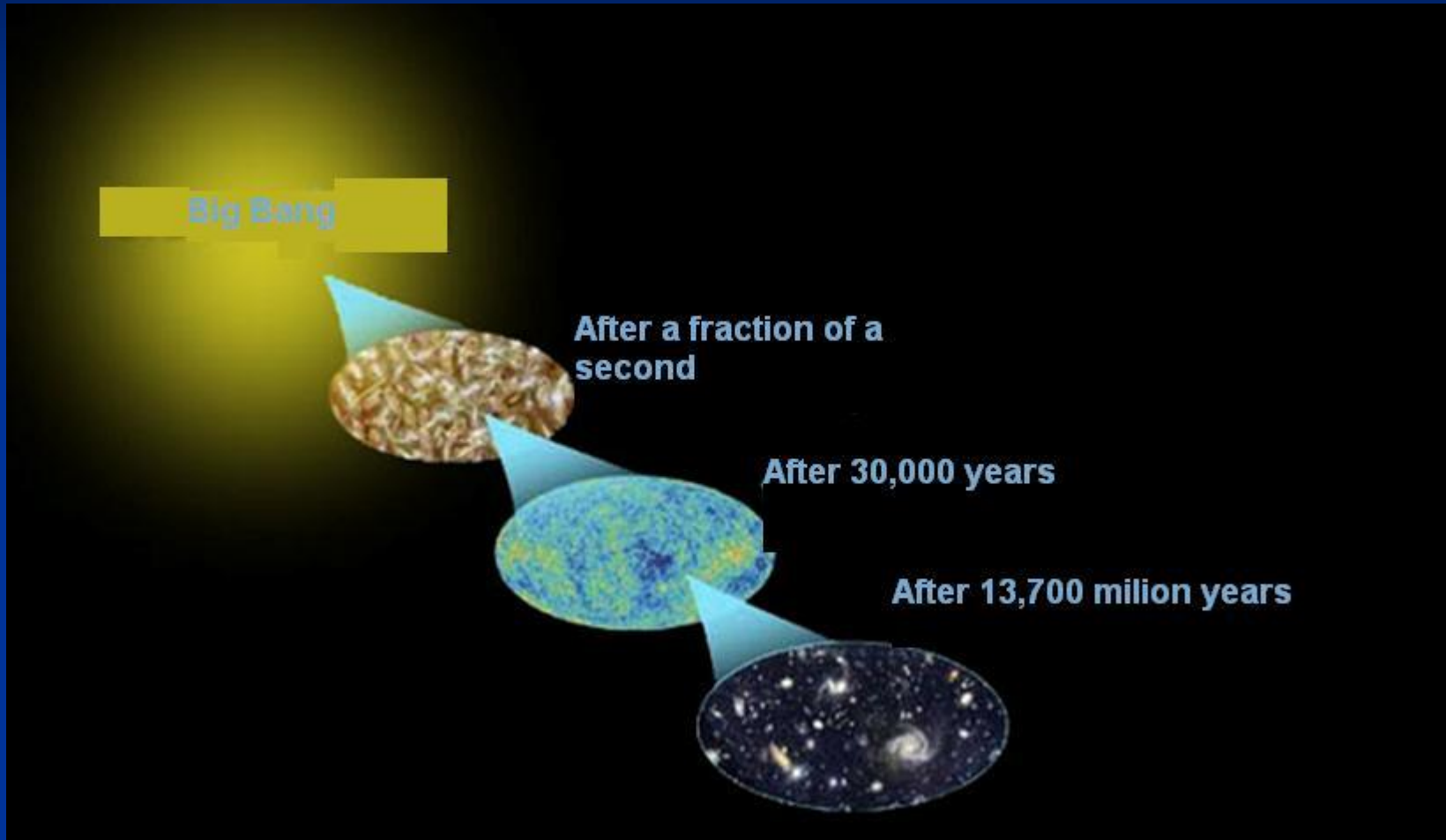


Big Bang

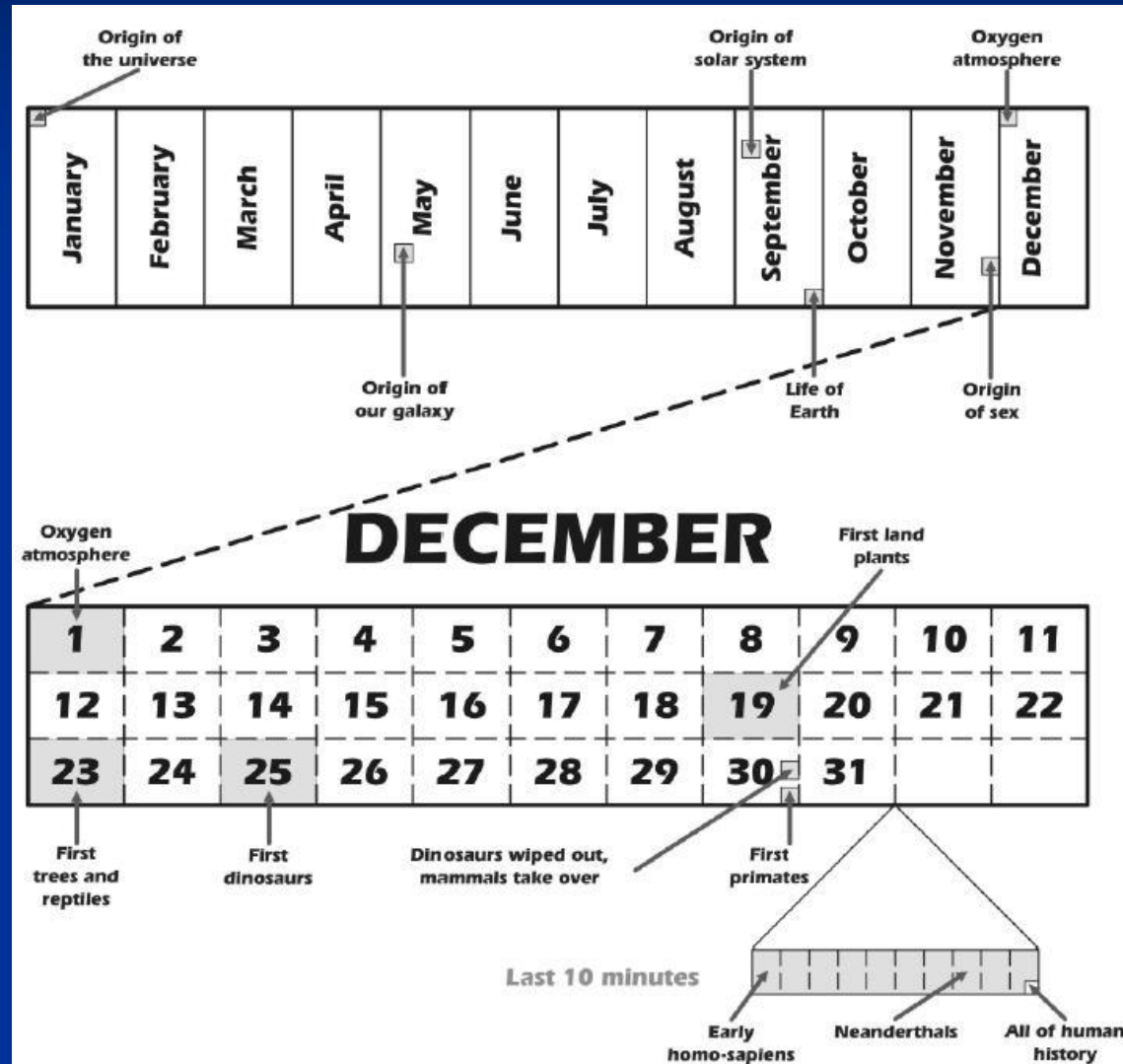
- Fluctuația vidului cuantic?
- Spațiul gol nu este nimic, el există.
- Universurile multiple? Nedemonstrabile prin definiție.



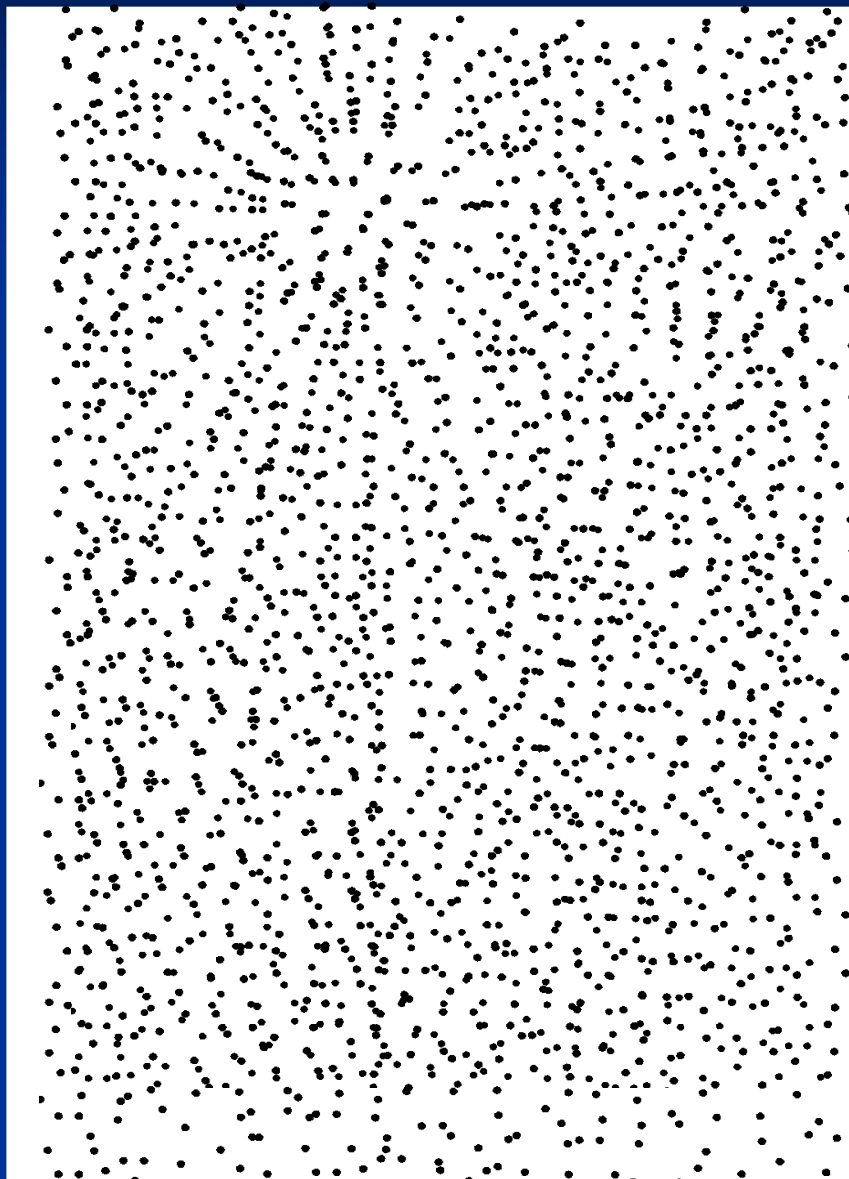
Evoluția Universului



Dezvoltarea Universului într-un an



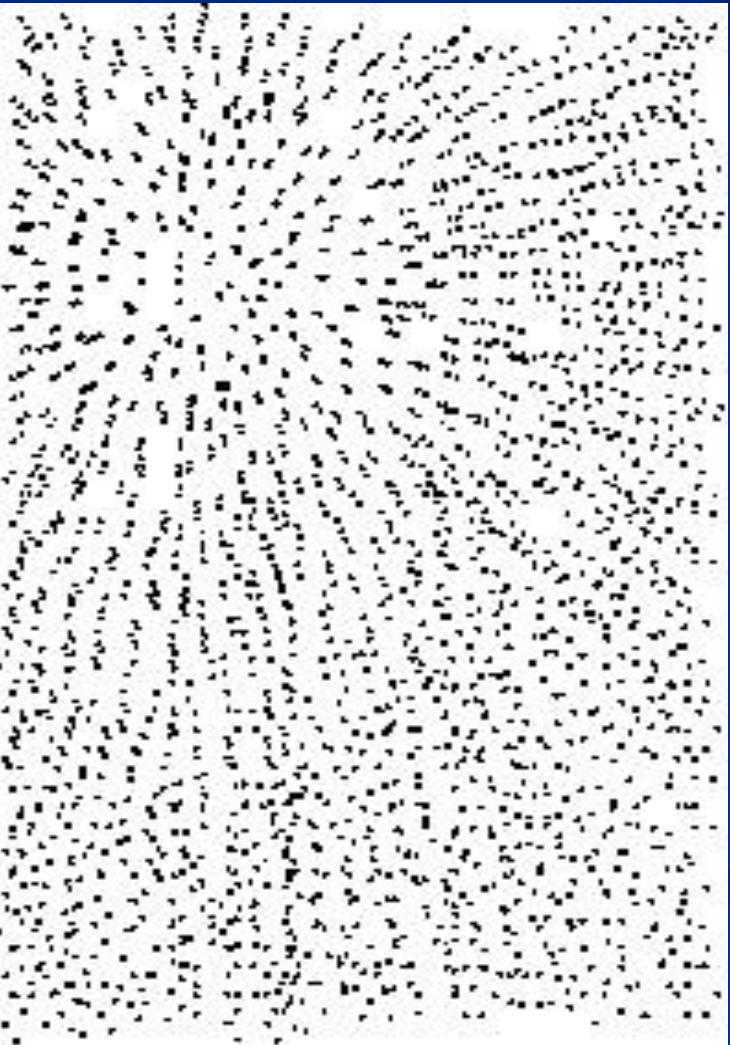
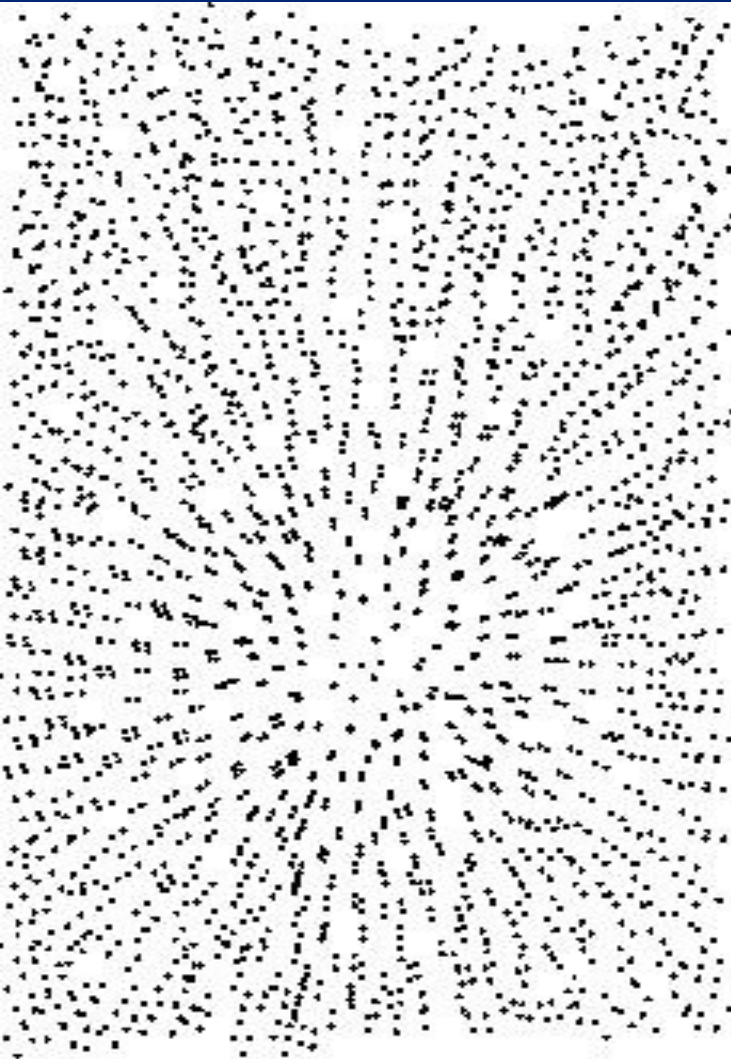
Activitatea 6: Nu există un centru de expansiune



100%

105%

Activitatea 6: Nu există un centru de expansiune



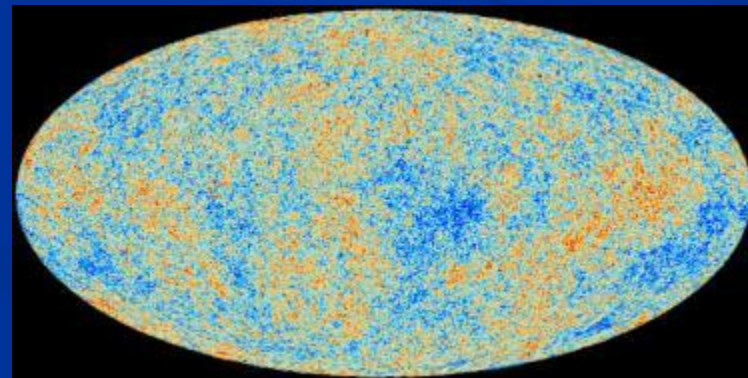
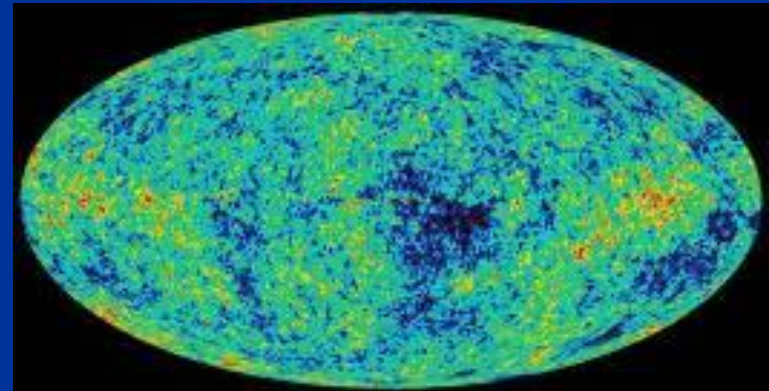
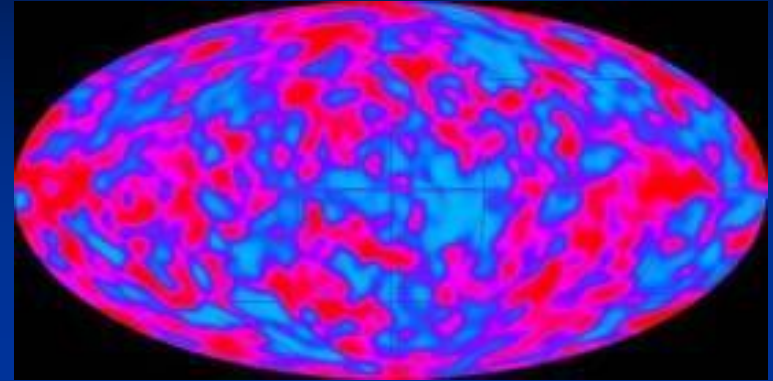
Radiațiile cosmice de fond

- Radiații care au devenit libere la 380000 ani după Big Bang.
- De-a lungul timpului, odată cu expansiunea spațiului, fotonii radiației cosmice de fond și-au mărit lungimea de undă.
- Acești fotoni sunt acum în regiunea microundelor.



Radiațiile cosmice de fond

- Misiunile COBE, WMAP și Planck au făcut o hartă a cerului cu radițiile de fond, de fiecare dată tot mai detaliată. Misiunile au detectat mici fluctuații: amprente ale unor bucăți de materie din care au început să se formeze galaxiile.



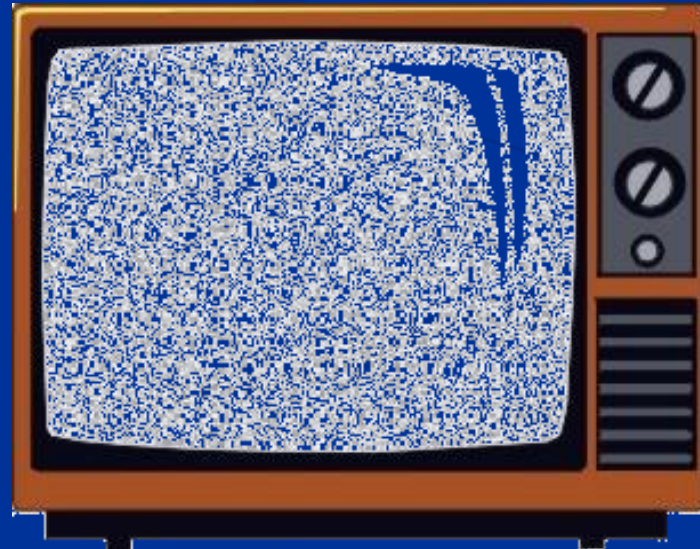
Activitatea 7: Radiația cosmică de fond

- După mai mult de 300000 ani de la Big Bang, fotonii s-au separat de materie și au început să călătorească liber prin univers.
- Odată cu expansiunea spațiului, fotonii și-au mărit lungimea de undă, ajungând în prezent la $\lambda = 2 \text{ mm}$, corespunzătoare la $T = 2,7 \text{ K}$, adică $-270 \text{ }^\circ \text{C}$.



Activitatea 7: Radiația cosmică de fond

- Putem detecta radiația cosmică de fond cu un televizor analogic. Pe un canal fără program, unul din zece puncte provine de la radiația cosmică de fond de microunde. Un efect similar poate fi auzit pe banda VHF a unui receptor radio, neacordat pe post.



Materie întunecată: Masa rotitoare care compensează atracția gravitațională terestră

Găurile negre nu sunt vizibile, dar noi știm că ele există pentru că atracția lor gravitațională face ca sistemele stelare să se învârtă în jurul lor.



Cu toate că materia întunecată este invizibilă, un mod de a o detecta este observarea și studierea mișcării brațelor spiralate ale galaxiilor.

Un alt mod de a detecta materia întunecată: lentila gravitațională



Lentila gravitațională acționează ca o lentilă optică, masa ei mare distorsionează spațiul înconjurător și deviază lumina provenită de la un obiect îndepărtat.



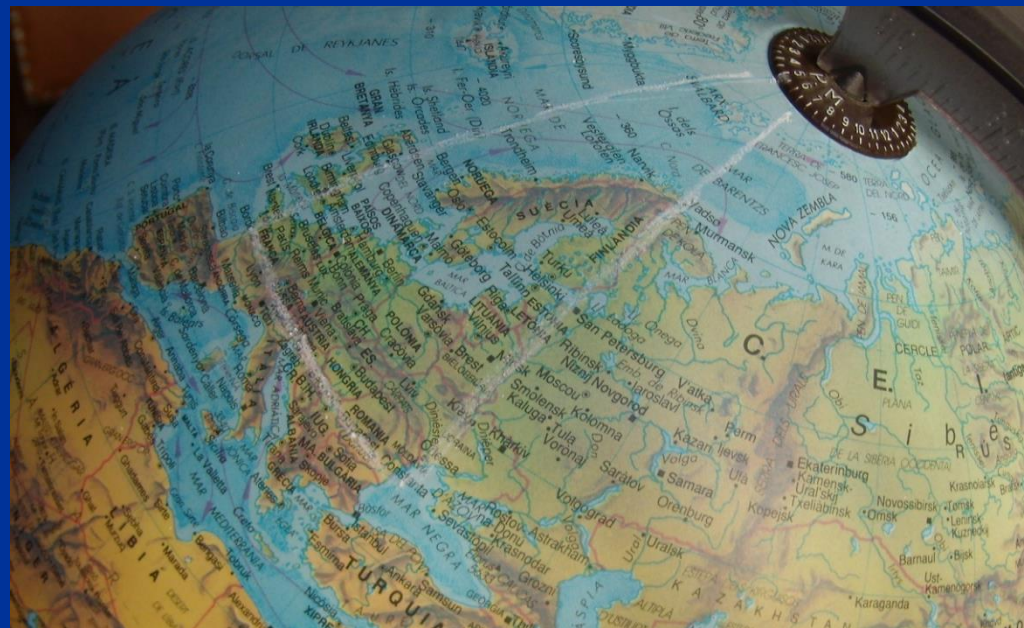
Lentile gravitaționale

- Lumina urmează întotdeauna calea cea mai scurtă posibil
- Dacă suprafața este curbă, linia este curbă

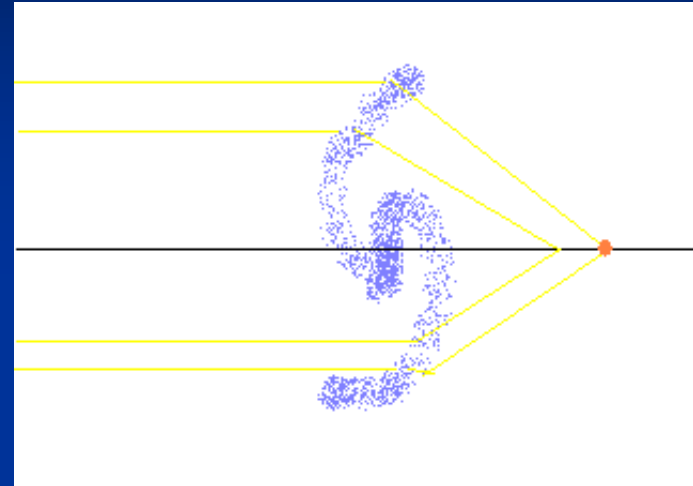
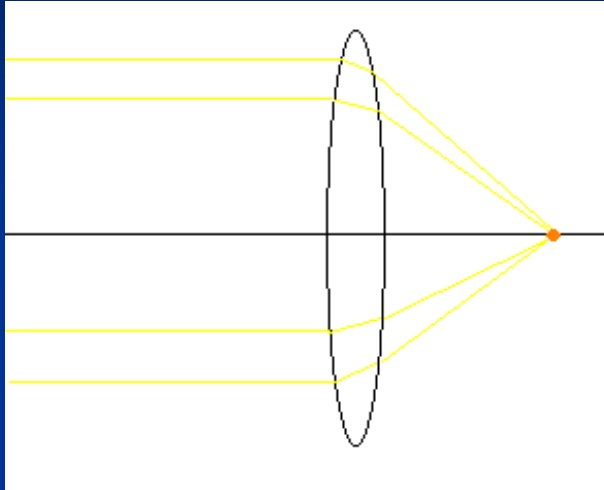


De ce se curbează lumina când trece pe lângă un corp?

- Dacă există o masă, spațiul este curb și cel mai scurt drum între două puncte este o curbă.
- O situație similară poate fi văzută utilizând un glob glob pământesc.

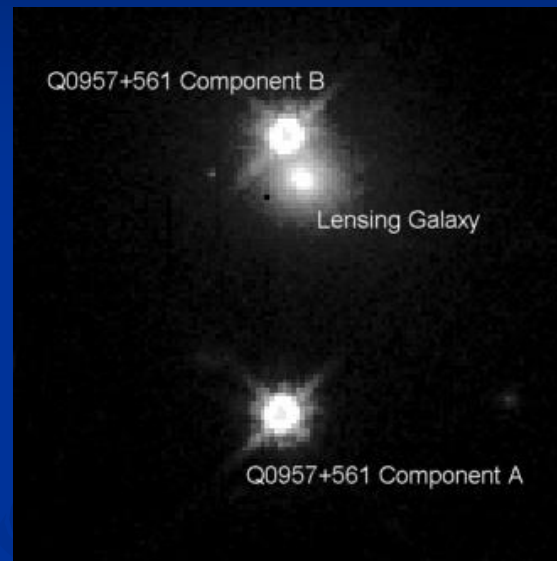
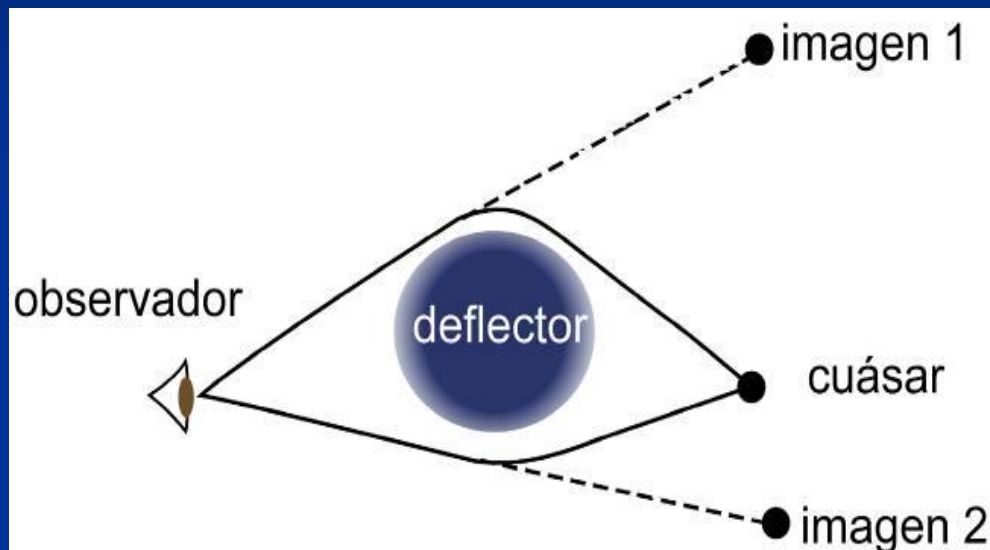


Cum acționează lentilele gravitaționale?



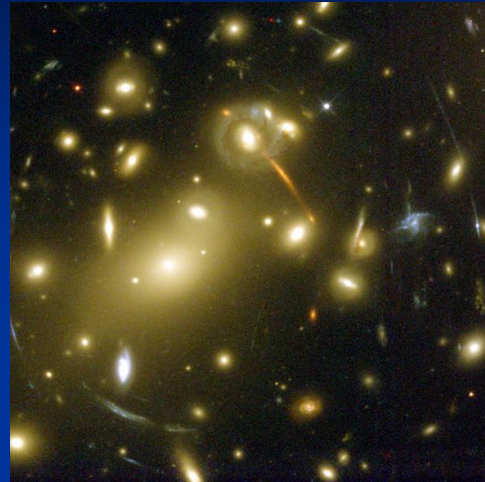
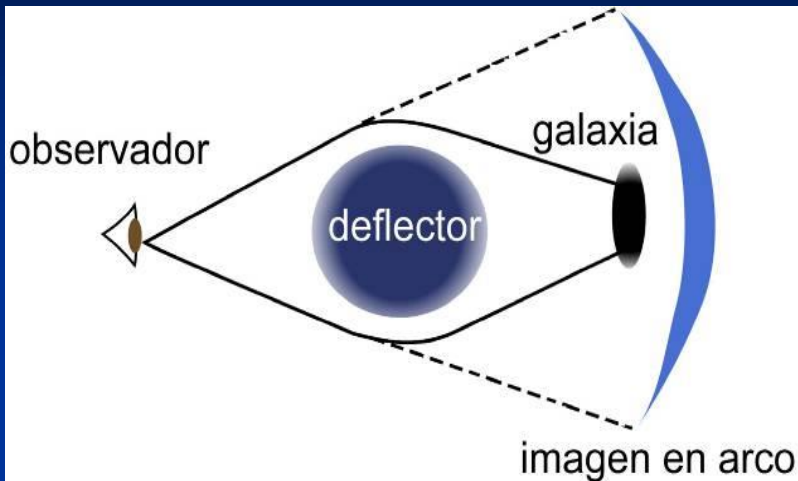
- O lentilă convergentă focalizează un fascicul paralel de lumină într-un punct: în focar.
- O lentilă gravitațională (o galaxie, un grup/roi de galaxii) focalizează lumina pe o linie în loc de un punct; acest lucru poate introduce distorsiuni în imagine.

Schimbări de poziție și multiplicare



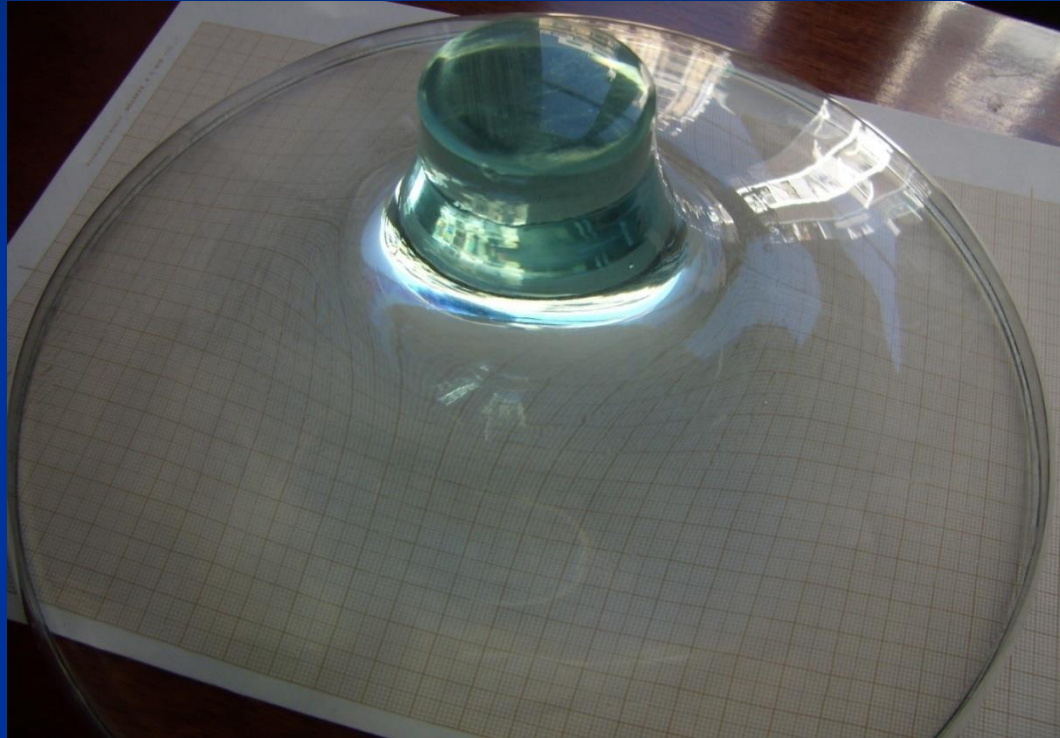
- Devierea produce poziția aparentă a stelelor, galaxiilor sau quasarilor
- Lentilele gravitaționale nu sunt perfecte, cele mai mari pot produce mai multe imagini.

Devierea



- În cazul în care corpul deviator este un corp astronomic extins, imaginile rezultate sunt un set de arcuri luminoase.
- Dacă sistemul lentilă este perfect simetric, razele converg și rezultă un inel – Inelul lui Einstein.
- Dacă acel corp deviator este o stea sau un quasar, imaginea este un punct.

Activitatea 8: Simularea de deformare cu baza unui pahar spart



- Dacă punem baza unui pahar de sticla pe hârtie milimetrică, putem vedea deformarea.

Activitatea 8: Privind prin "partea de jos a unui pahar de vin"



Taie partea de jos a paharului.



+



=



Fragment de arc

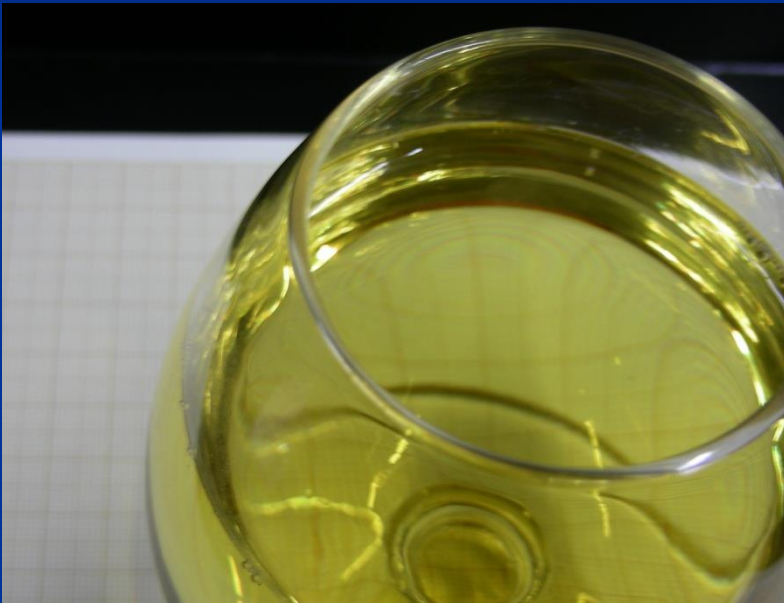


Crucea lui Einstein



Inelul lui Einstein

Activitatea 9: Simularea deformării spațiului, cu un pahar de vin



- Dacă puneți paharul de vin alb pe hârtie milimetrică și vă uitați prin vin, puteți vedea această deformare.

Activitatea 9: Fixați o lanternă și mișcați-o încet în timp ce priviți prin paharul de vin



■ Acest model simplu arată că această "materie" poate produce distorsiuni ale imaginilor privite prin ea.

(Vinul poate fi înlocuit cu alt lichid translucid.)

Activitatea 9: Fixați o lanternă și mișcați-o încet în timp ce priviți prin paharul de vin



Fragment de arc



Figură amorfă



Crucea lui Einstein



Inelul lui Einstein

O temă auxiliară

De ce e întuneric noaptea?

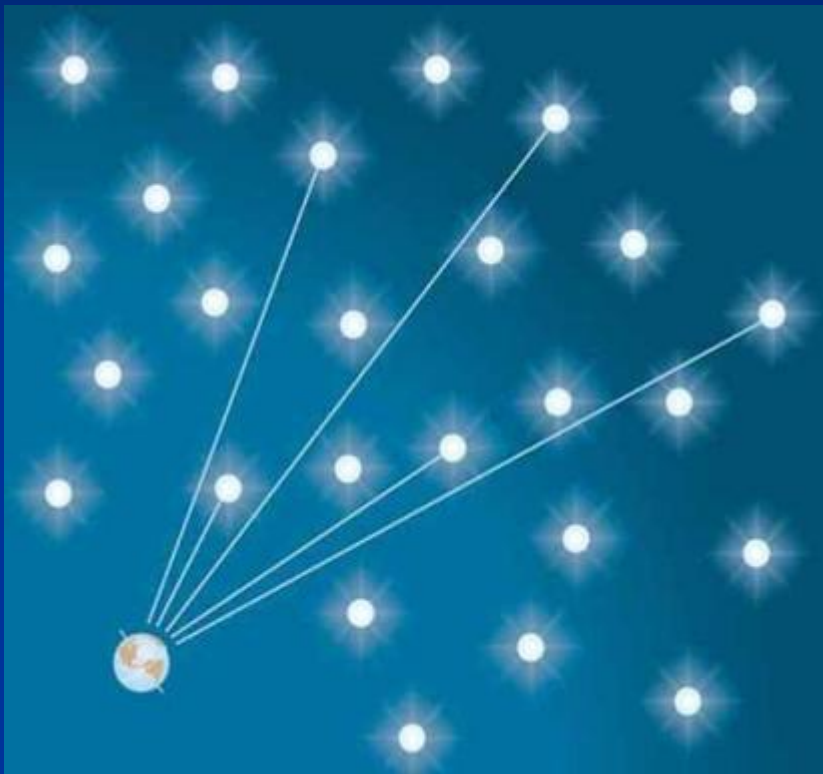
În 1923 Olbers a sugerat că în cazul în care:

- Universul este infinit
 - Stelele sunt uniform distribuite în Univers
 - Toate stelele au o luminozitate similară în Univers
- atunci ...



O temă auxiliară

De ce e întuneric noaptea?



...Un Univers infinit va avea un număr infinit de obiecte și ar trebui să fie strălucitor noaptea

De ce e întuneric noaptea?

Mai mult:

- Orice punct de pe cer va fi luminos, nu negru, atâta timp cât va fi întotdeauna o stea îndepărtată strălucitoare.
- Numărul de stele în fiecare "strat de ceapă" al cerului este proporțional cu r^2 și lumina lor este invers proporțională cu r^2 , deci fiecare strat furnizează aceeași cantitate de lumină spre Pământ. Dacă există un număr infinit de straturi, cerul ar trebui să apară luminos pe timp de noapte.



De ce e întuneric noaptea?

Există erori în acest raționament:

- Stelele sunt cu atât mai roșii cu cât sunt mai îndepărtate din cauza expansiunii universului. Ele sunt mai puțin luminoase din cauza distanței lor.
- Dar mai presus de toate, cerul nu are o vârstă infinită. Nu există straturi infinite de stele.

Edgar Allan Poe a fost acela care a explicat corect fenomenul în eseul lui “Eureka”, publicat în 1848.

Noaptea poate fi întunecată!



Vă mulțumesc foarte
mult pentru atenție!

