

Visuma izplešanās

Rikardo Moreno, Suzana Deustua,
Rosa Marija Rosa, Beatrise Garsija

Starptautiskā Astronomijas savienība

Colegio Retamat de Madris, Spānija

Kosmiskā teleskopa zinātniskais institūts, ASV

Katalonijas Tehniskā universitāte, Spānija

ITeDA un Nacionālā tehnoloģiju universitāte, Argentīna



Mērķi

- Izpratne par Visuma izplešanos.
- Izpratne, ka Visumam nav centra.
- Habla - Lemētra likuma izpratne.
- Izpratne par to, kā atklāt tumšo matēriju.



Prezentācija

Pārskats par:

- Visuma izcelšanās: Liels sprādziens.
- Galaktikas: tās “nepārvietojas” telpā, telpa ir tā, kas izplešās.
- Habla konstante: $v = H \times d$.
- Visumam centra nav.
- Kosmiskais mikroviļņu fons (CMB).
- Gravitācijas lēcas.



Modeļi, prognozes, pārbaude: Eksperiments ar galdautu



Prognoze: ja mēs ļoti ātri izrausim galdautu, nekas no galda nenokritīs. Ja mēs to spēsīm pārbaudīt, tad mūsu prognoze būs piepildījusies.

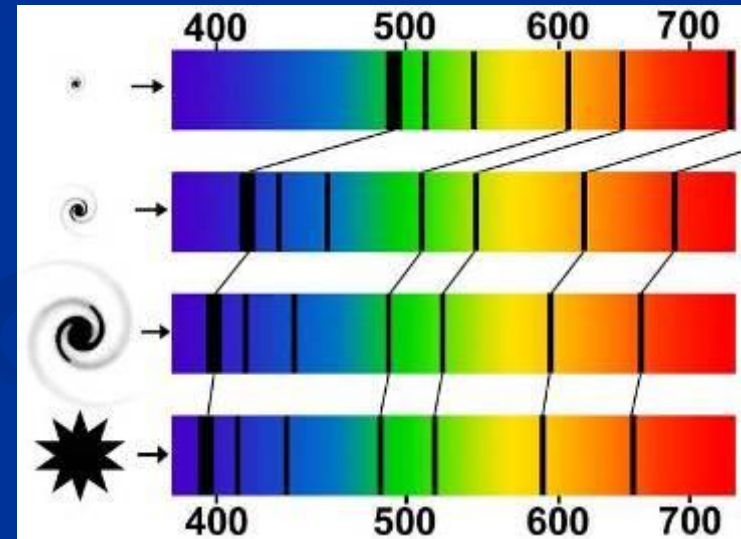
Ja galdautu rauj ātri, berzes spēks nepaspēj iedarboties uz priekšmetiem, kas atrodas uz galda. Tas izskaidro, kāpēc tie nenokrīt. Eksperiments ir sekmīgs, jo fizika ir zinātne, kas paredz, kas notiks.

Fizika, ko mēs izveidojam uz Zemes, ir tā pati, ko mēs izmantojam pārējā Visumā.



Kustība uz sarkano pusi

- Gaismas absorbcija katram ķīmiskajam elementam ir atšķirīga. Gaismas absorbcijas spektrā katram ķīmiskajam elementam ir raksturīgas spektrālīnijas.
- Novērojot galaktiku gaismu, mēs varam redzēt, ka līnijas ir nobīdītas uz spektra sarkano galu. Jo tālāk atrodas galaktika, jo lielāka ir sarkanā nobīde.
- Tas tiek interpretēts kā galaktikas attālināšanās efekts.



Kustība uz sarkano pusi

- Tuvumā esošajām galaktikām ir salīdzinoši neliela un neregulāra kustība: Lielais Magelāna Mākonis +13 km/s, Mazais Magelāna Mākonis -30 km/s, Andromedas galaktika -60 km/s, M32 +21 km/s.
- Jaunavas galaktiku kopā (50 miljonu gaismas gadu attālumā) visas galaktikas attālinās no mums ar ātrumu no 1000 līdz 2000 km/s.
- Berenikes matu galaktiku superkopā (300 miljonu gaismas gadu attālumā) galaktiku ātrums ir no 7000 līdz 8500 km/s.



Kustība uz sarkano pusi

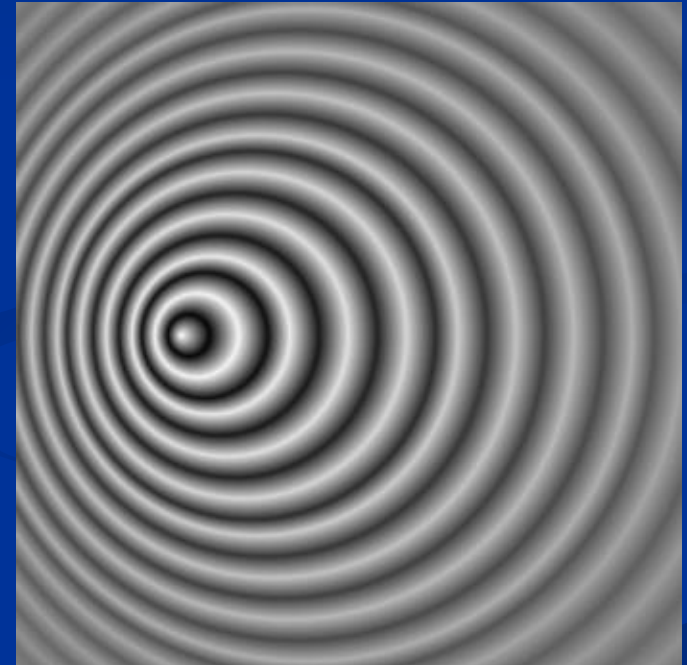
- Pretējā debess pusē M 74 attālinās ar ātrumu 800 km/s un M 77 ar ātrumu 1 130 km/s.
- Ja mēs novērojam tālas un vājas galaktikas, attālināšanās ātrums ir vēl lielāks: galaktika NGC 375 attālinās ar ātrumu 6 200 km/s, NGC 562 — ar ātrumu 10 500 km/s un NGC 326 – ar ātrumu 14 500 km/s.
- Neatkarīgi no virziena, kurā mēs novērojam, visas galaktikas (izņemot ļoti tuvu esošās) attālinās no mums.



Doplera efekts

Tādā pašā veidā kā piemērā ar galdautu, mēs varam pielietot citus fizikas principus Visuma izpētē.

- Ja tuvojas ātrās palīdzības auto, motocikls vai vilciens, mēs dzirdēsim augstāku skaņu. Kad tie attālinās, mēs dzirdam zemāku skaņu.



- Augstāka skaņa → viļņa garums saīsinās
- Zemāka skaņa → viļņa garums pagarinās

1. aktivitāte: Doplera efekts



- Doplera efektu var dzirdēt, rotējot horizontālā plaknē auklā piesietu modinātājpulksteni vai skaņas signālierīci.
- Kad tas tuvojas klausītājam, λ ir mazāks un skaņa ir augstāka.
- Kad tas attālinās, λ ir lielāks un skaņas augstums ir zemāks.
- Tas pats notiek ar motociklu, ātrās palīdzības mašīnu, vilcienu skaņām...

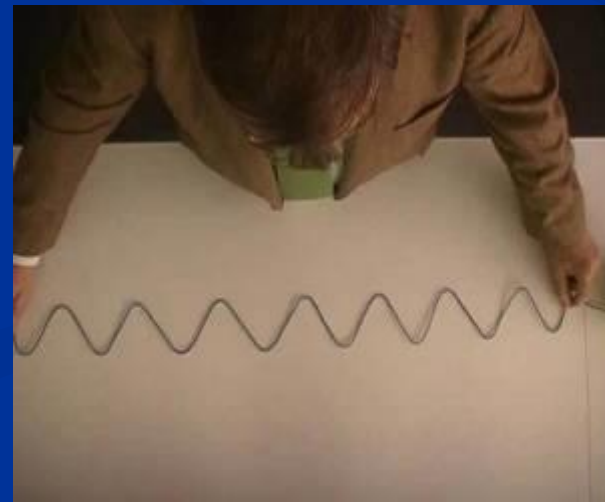


Eksperimentā Doplera efekts ir saistīts ar relatīvo avota-uztvērēja kustību un ir konstatējams ar skaņas augstuma maiņu. Visuma izplešanās gadījumā efekts rodas elektromagnētiskajiem viļņiem.



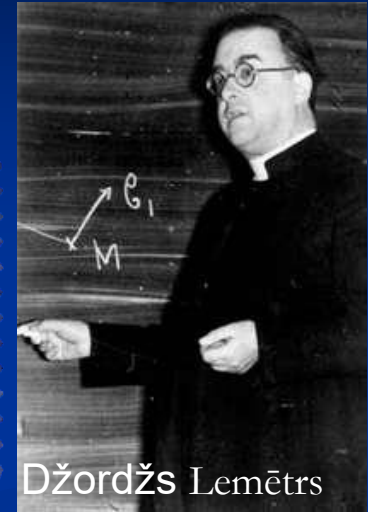
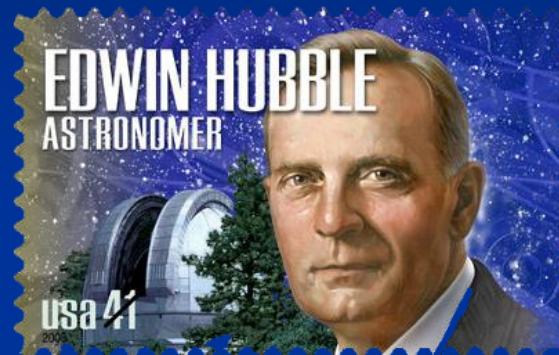
2. aktivitāte: fotonu “stiepšana”.

- ❑ Kad Visums izplešas, tas “izstiepj” tajā esošos fotonus.
- ❑ Jūs varat izveidot šīs izstiepšanās modeli, izmantojot daļēji elastīgu vadu, ko izmanto sadzīves elektroinstalācijā.
- ❑ Jo garāks ir fotona ceļš, jo vairāk tas tiek izstiepts.



Habla - Lemētra likums

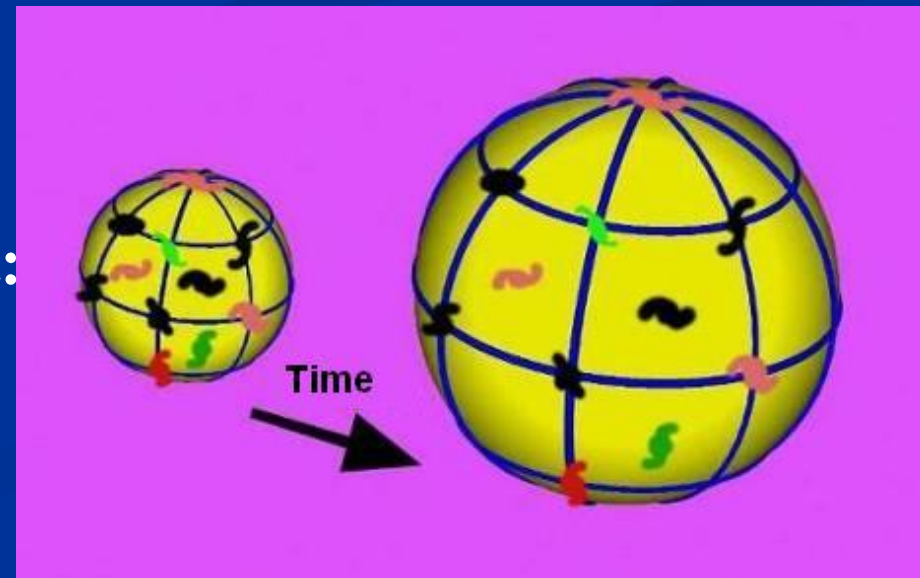
Starp 1920. un 1930. gadu Žoržs Lemētrs un Edvins Habls saprata, ka tālākās galaktikas attālinās ātrāk nekā tuvumā esošās.



Habla-Lemētra likums

$$v = H \times d$$

Galaktikas nepārvietojas telpā: tā ir telpa, kas izplešas, velkot līdzi galaktikas.



3. aktivitāte: Visums kā elastīga lenta



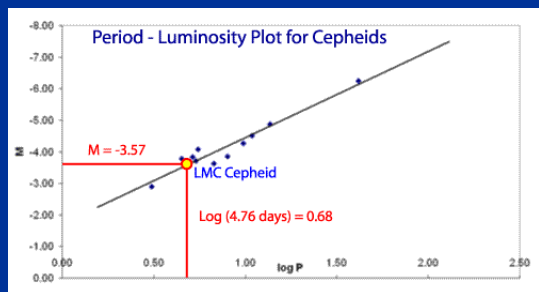
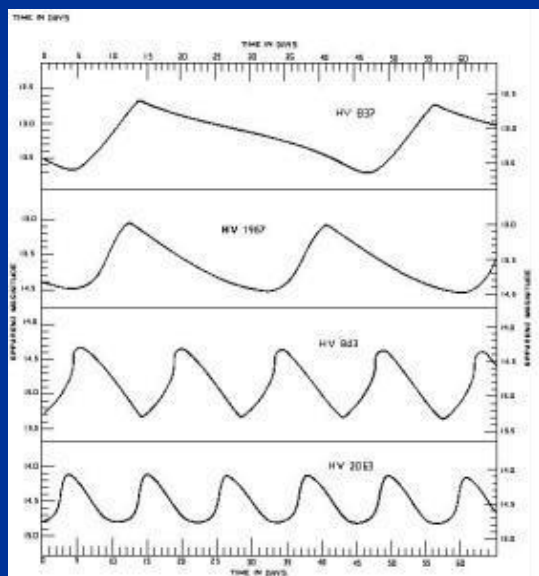
4. aktivitāte: Visums kā balons



- Balonam izplešoties, attālums starp galaktikām palielinās.
- Galaktikas nepārvietojas pa balonu.
- Atrodoties jebkurā balona “galaktikā”, mēs redzam, ka pārējās galaktikas attālinās no mums.

Visuma izplešanās

1) Attālumu līdz tuvākajām galaktikām var noteikt no cefeīdu mainzvaigžņu perioda – starjaudas sakarības (atklāja Henrieta Līvita Hārvardā, 20. gadsimta sākumā)

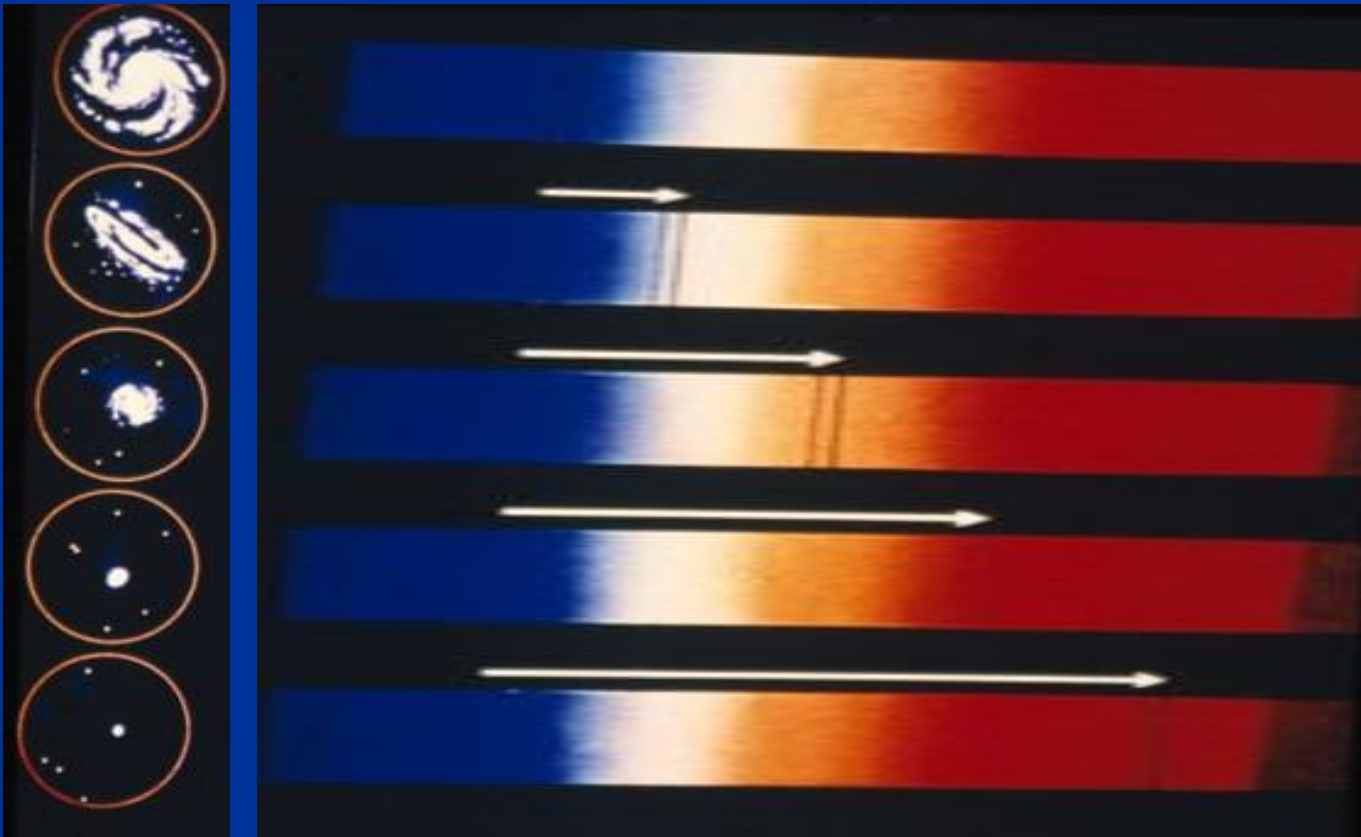


- No gaismas līknes var iegūt periodu P.
- No perioda – starjaudas sakarības var iegūt absolūto spožumu M.
- Ar M un m ir iespējams noteikt attālumu līdz galaktikai $d=10^{(m-M+5)/5}$ parsekos.
- Lai noteiktu attālumu līdz tālākajām galaktikām, astronomi var izmantot noteikta veida pārnovas (Ia tips), kurām ir līdzīgs maksimālais spožums.

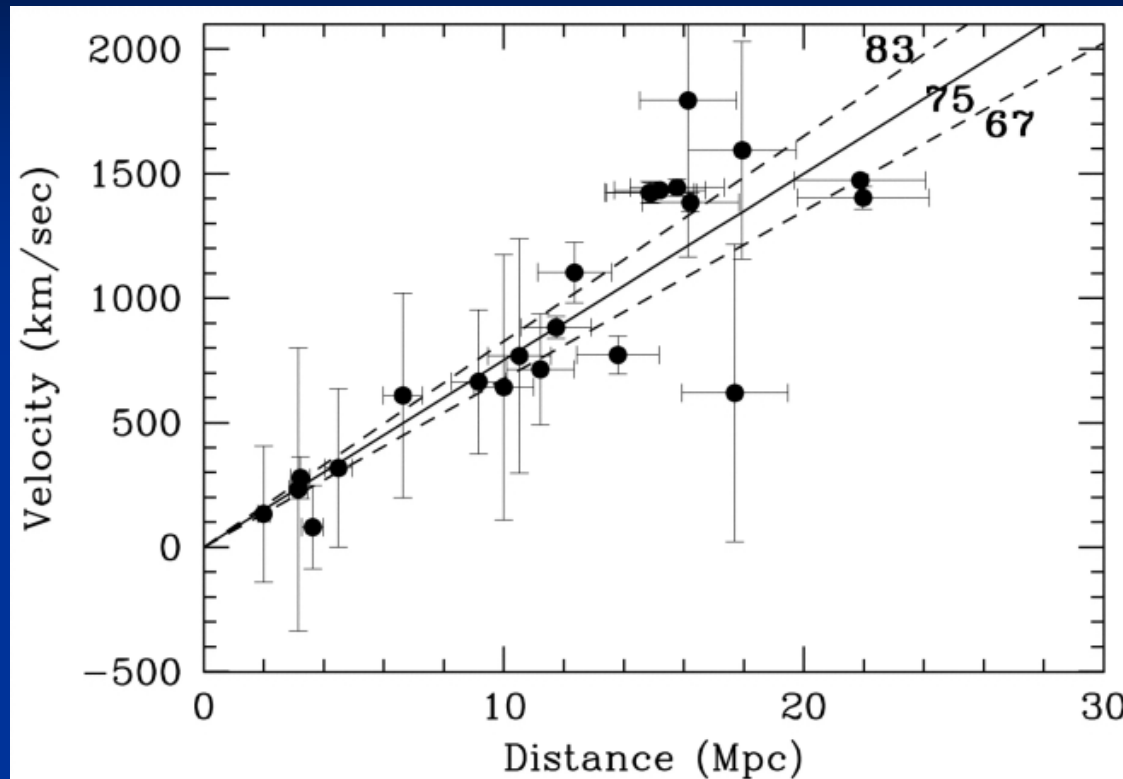
Visuma izplešanās

2) Attālināšanās ātrumu mēra, nosakot absorbcijas līniju nobīdi spektrā un izmantojot vienādojumu:

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



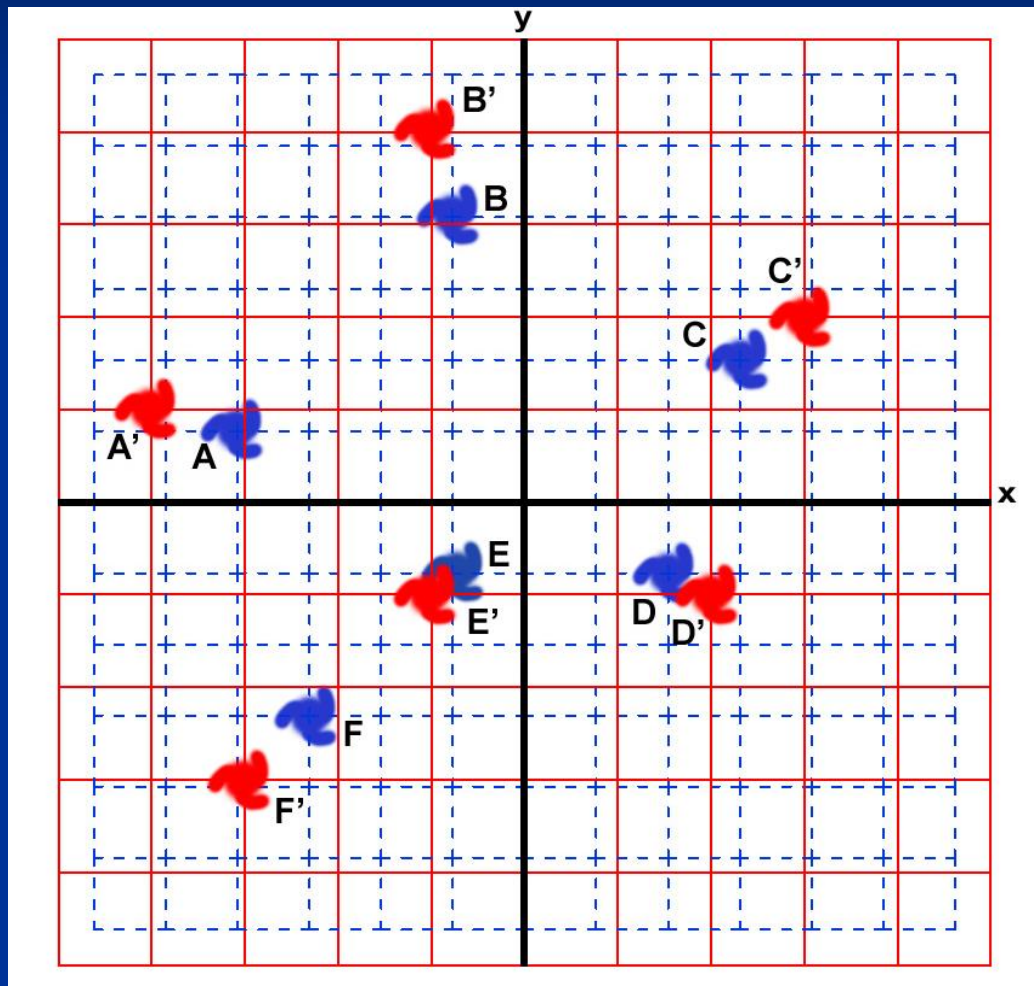
Visuma izplešanās



(no Freedman et al, 2001, ApJ, 553. sēj., 47. lpp.)

3. Habla konstante skaitliski ir vienāda ar funkcijas grafika $v = H_0 \times d$ slīpuma koeficientu, kur H_0 ir Visuma izplešanās ātrums: $H_0 = 72 \text{ km/s} \times \text{Mpc}$.

5. aktivitāte: Habla- Lemētra konstantes aprēķināšana

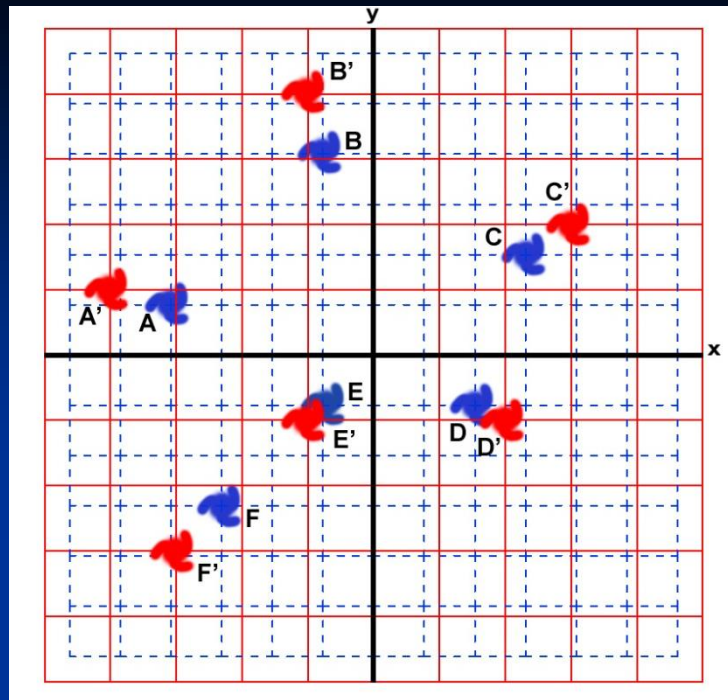


**Zils = Visums
pirms izplešanās**

**Sarkans = Visums
pēc izplešanās**

5. aktivitāte: Habla- Lemētra konstantes aprēķināšana

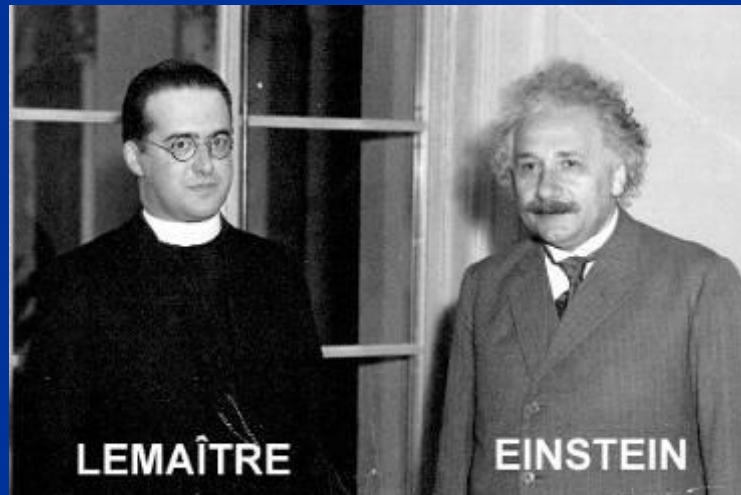
<i>Galaxy</i>	<i>Coordinates x,y</i>	<i>d=distance to origin</i>	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
<i>A</i>					
<i>A'</i>					
<i>B</i>					
<i>B'</i>					
<i>C</i>					
<i>C'</i>					
<i>D</i>					
<i>D'</i>					
<i>E</i>					
<i>E'</i>					
<i>F</i>					
<i>F'</i>					



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)				

Liels Sprādziens

- Ja mēs atgriežamies pagātnē, bija laiks, kad viss atradās vienā punktā – pirms Visuma izplešanās.
- Žoržs Lemētrs, risinot relativitātes teorijas vienādojumus, nonāca pie idejas par Visuma izplešanos, kas sākās kā "kosmiskā ola" .



Liels Sprādziens

- Big Bang tulkojumā: Liels Sprādziens.
- Freds Hoils, kuram bija noteikti anti-religiski aizspriedumi, uzskatīja, ka nosaukums ir pārāk saderīgs ar Radītāja ideju.
- Žurnāls Sky&Telescope organizēja konkursu, lai to pārdēvētu. Bija 12 000 priekšlikumu. Neviens nebija labāks par esošo!



Liels Sprādziens

- Kas bija pirms Lielā Sprādziena? Mēs neko nezinām.
- Kāds bija iemesls? Kāpēc tas notika? Kāpēc visur var novērot, ka darbojas vieni un tie paši fizikas likumi?
- Fizika vēsta par to, kā darbojas esošās lietas, nevis par to, kāpēc tās pastāv.
- Fizika pēta matēriju no tās izcelsmes brīža (kopš Lielā Sprādziena), nevis pirms tam, kā arī nepēta tās pastāvēšanas iemeslu vai mērķi. Tie ir filozofiski un reliģiski jautājumi, bet ne zinātniski jautājumi.

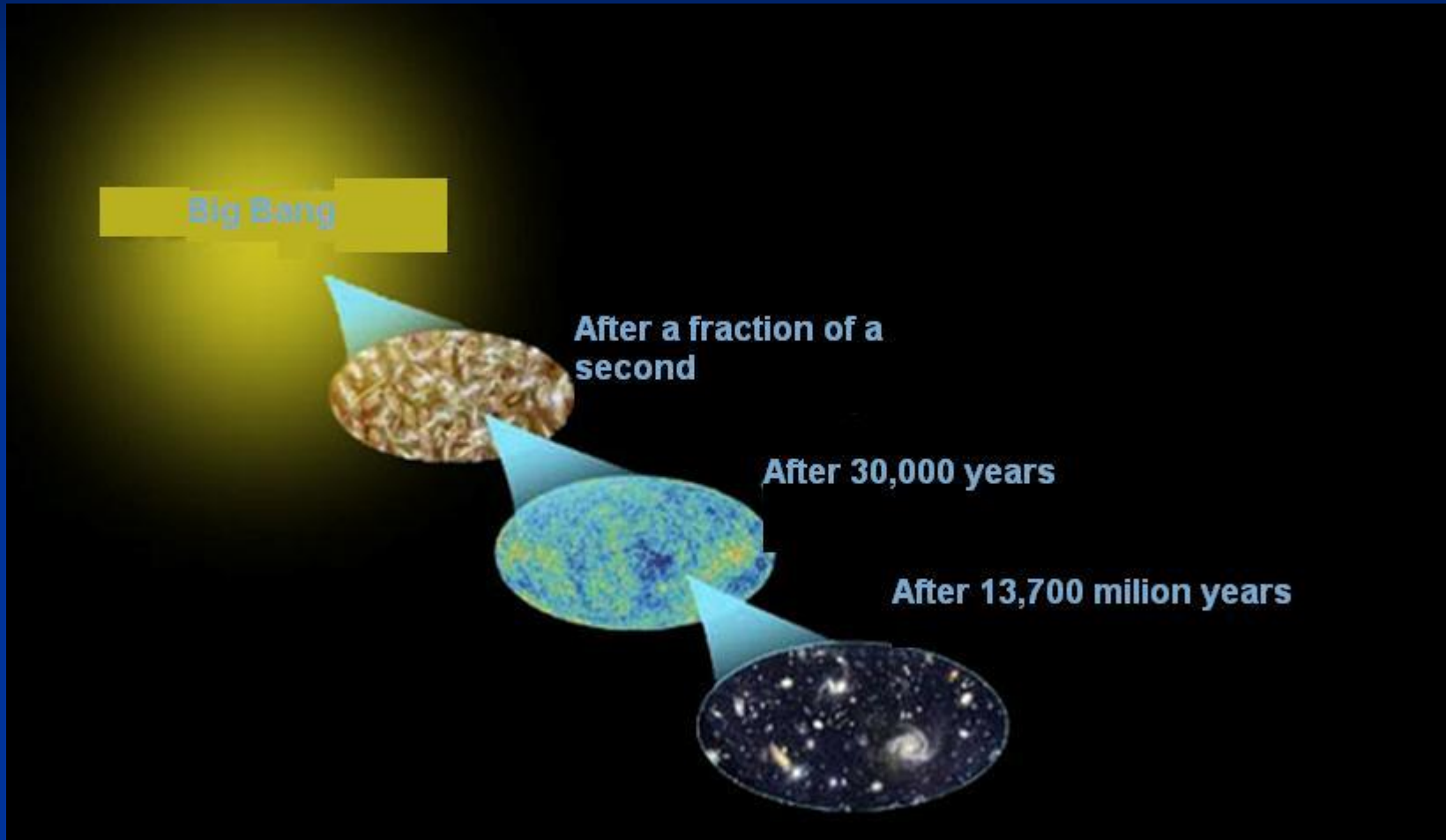


Liels Sprādziens

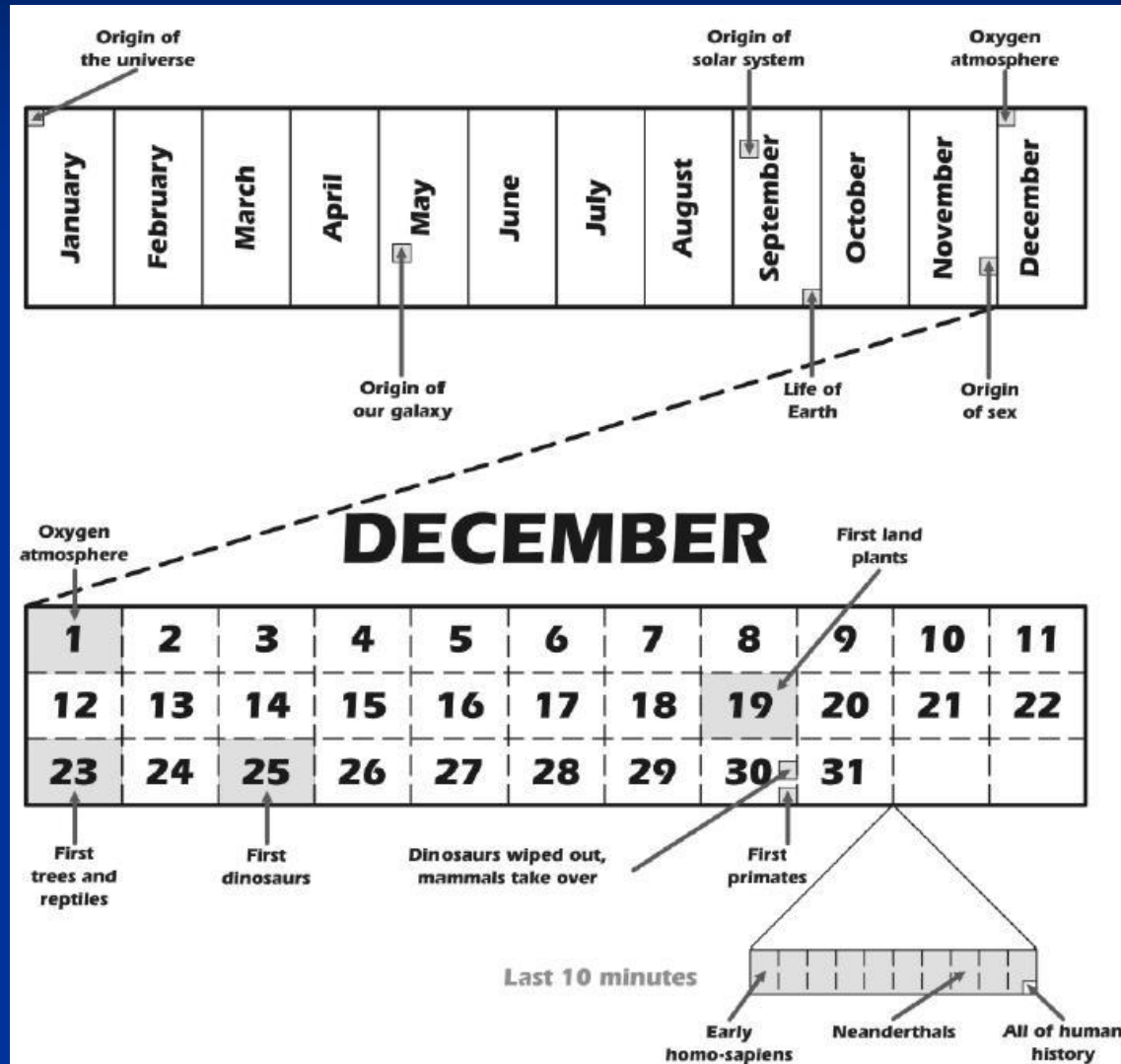
- Kvantu vakuuma svārstības?
- Tukšums eksistē, nav tā, ka tukšuma nav.
- Daudzi Visumi? Nav novērojami pēc definīcijas.



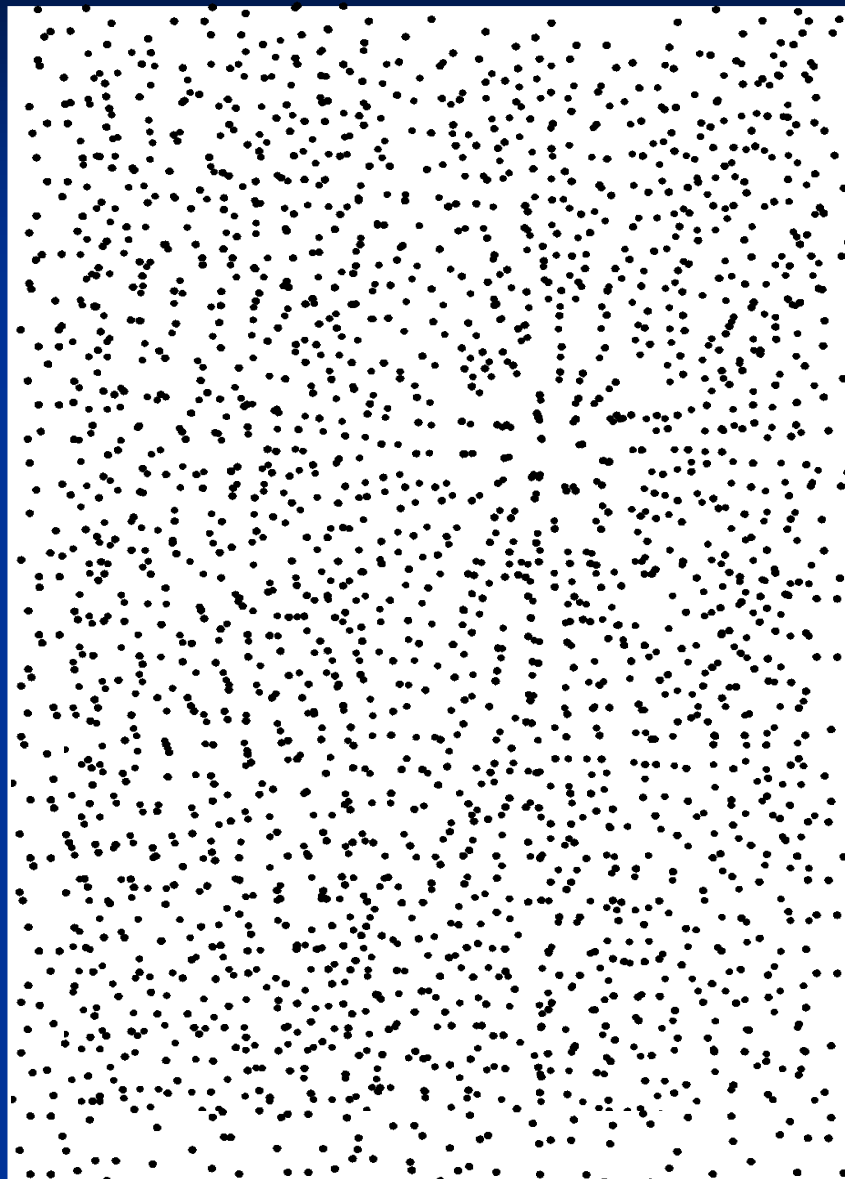
Visuma evolūcija



Visuma attīstība, to iekļaujot vienā gadā



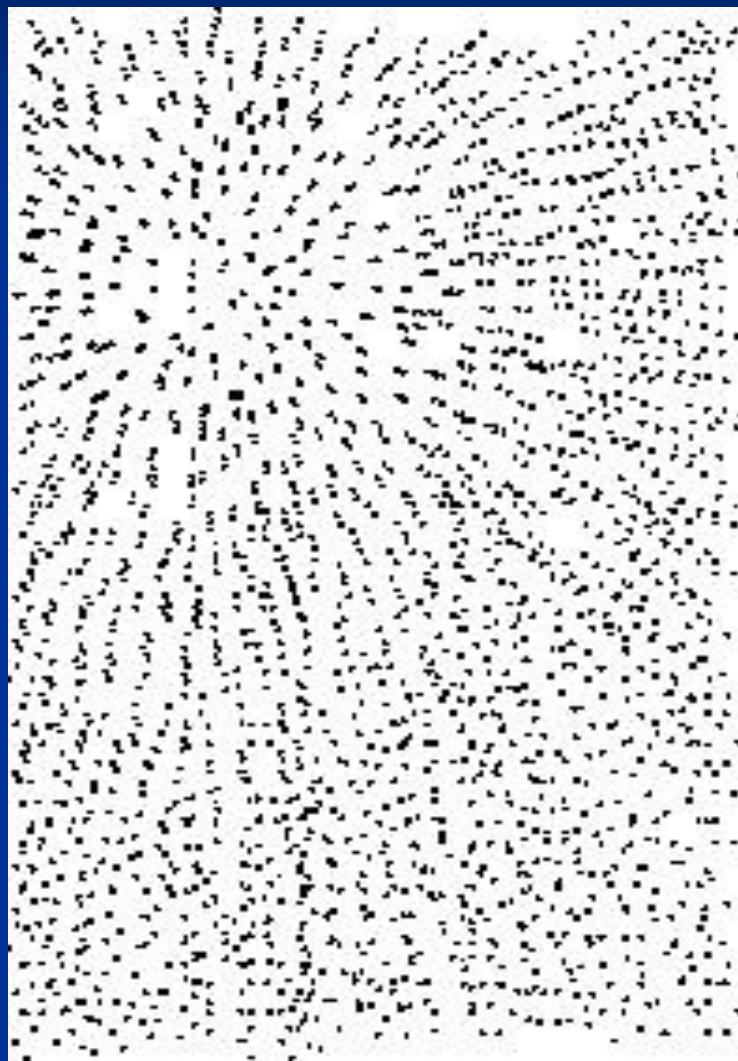
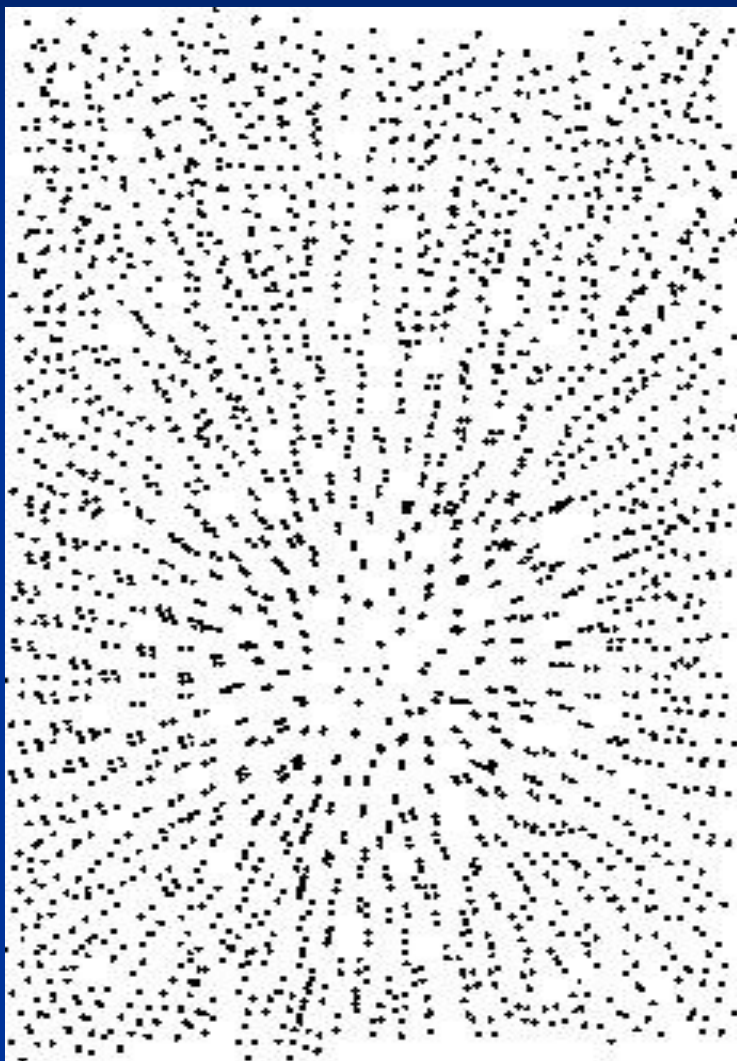
6. aktivitāte: nav izplešanās centra



100%

105%

6. aktivitāte: nav izplešanās centra



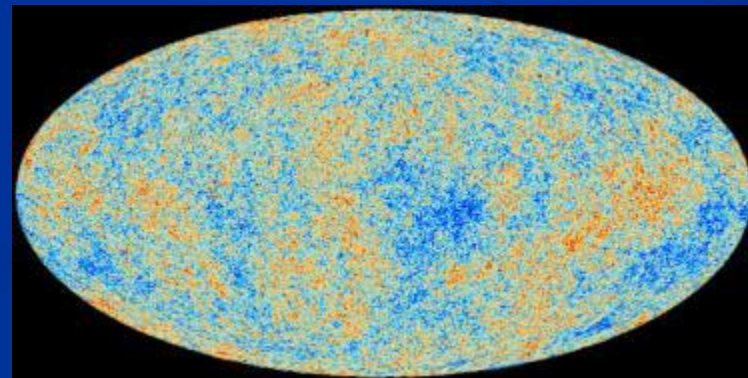
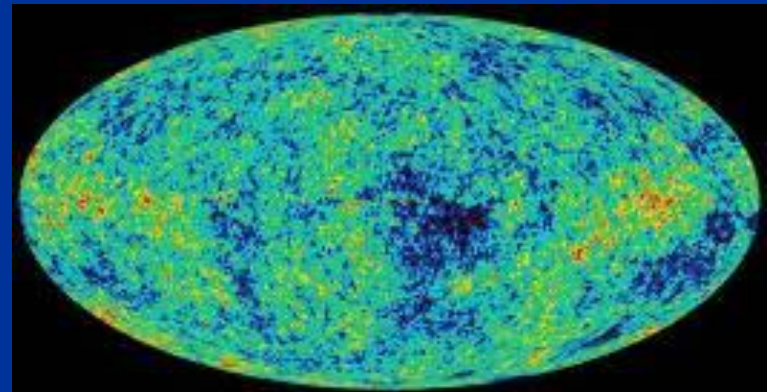
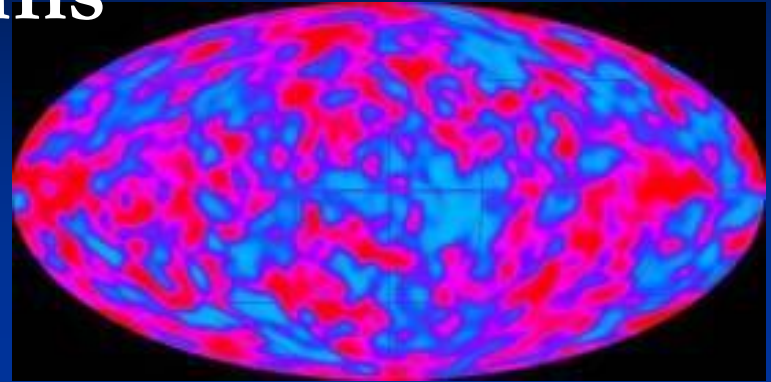
Kosmiskais mikroviļņu fona (CMB) starojums

- Starojums, kas atdalījās no vielas 380 000 gadus pēc Lielā Sprādziena.
- Laika gaitā, telpai paplašinoties, CMB fotoniem palielinājās viļņa garums.
- Tagad tie atrodas mikroviļņu diapazonā.



Kosmiskais mikroviļņu fona (CMB) starojums

- COBE, WMAP un PLANCK misijas izveidoja CMB starojuma debess karti, katru reizi ar detalizētāku informāciju. Viņi atklāja nelielas svārstības, kuru cēlonis ir sīki matērijas sakopojumi, no kuriem sāka veidoties galaktikas.



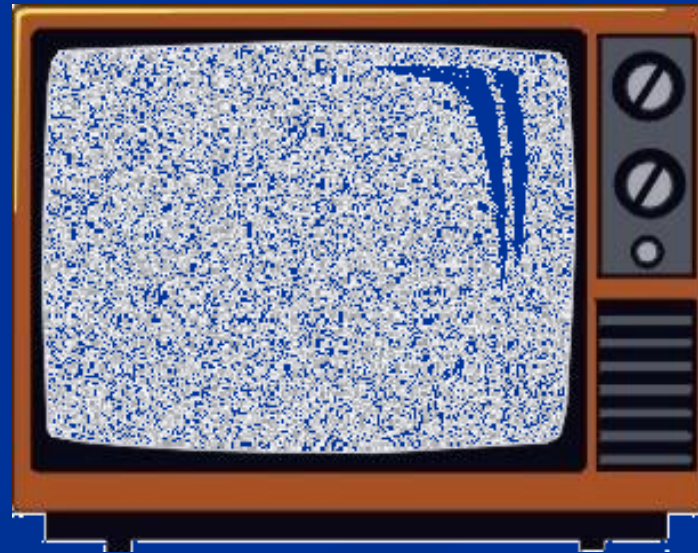
7. aktivitāte: Kosmiskais fona starojums

- Aptuveni 300 000 gadus pēc Lielā Sprādziena fotoni atdalījās no vielas un sāka brīvi ceļot Visumā.
- Izplešoties telpai, fotonu viļņu garums palielinājās, šobrīd $\lambda = 2 \text{ mm}$, kas atbilst $T = 2,7 \text{ K} = -270 \text{ }^\circ\text{C}$.



7. aktivitāte. Kosmiskais fona starojums (CMB)

Mēs varam noteikt CMB ar analogo televizoru. Tukšā kanālā vienu no desmit ekrāna punktiem rada mikroviļņu fona starojums. Līdzīgu efektu var dzirdēt augstas frekvences (VHF) radio, kas ir noregulēts ārpus stacijas.



Tumšās matērijas idejas demonstrējums: rotējošs galdiņš, kas kompensē Zemes gravitācijas pievilkšanos

Melnie caurumi ir neredzami, taču mēs zinām, ka tie pastāv, jo to gravitācijas spēks liek zvaigznēm pārvietoties ap tiem.



Lai gan tumšā matērija ir neredzama, viens no veidiem, kā to atklāt – jānovēro un jāpēta galaktiku spirālزارu kustība.

Vēl viens veids, kā noteikt tumšo matēriju: gravitācijas lēcas



Gravitācijas lēca darbojas līdzīgi kā optiskā lēca, tās masa izkropļo apkārtējo telpu un noliec gaismu, kas nāk no tāla objekta.



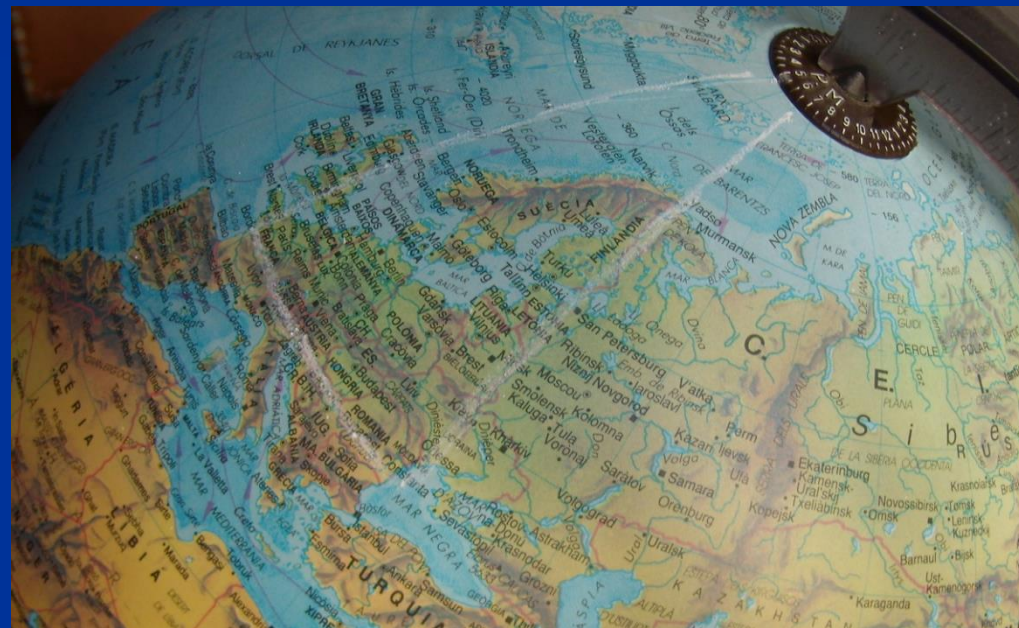
Gravitācijas lēcas

- Gaisma vienmēr iet pa īsāko iespējamo ceļu.
- Ja virsma ir izliekta, ceļš ir izliekts.

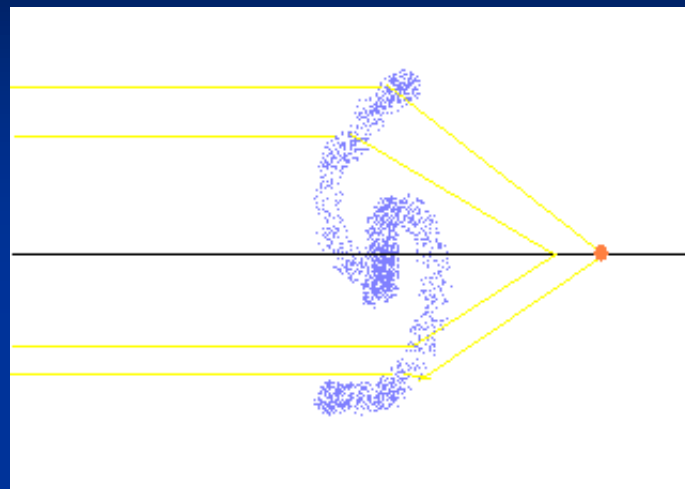
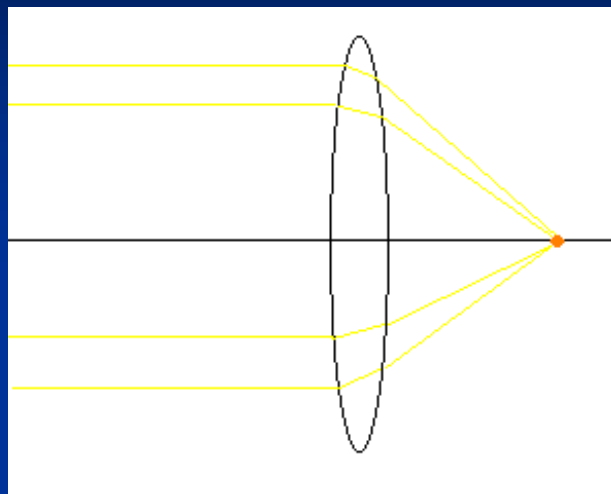


Kāpēc gaismas noliecas, ejot garām ķermenim?

- Ja ir masa, telpa ir izliekta, un īsākais ceļš starp diviem punktiem ir līkne.
- Līdzīgu situāciju var redzēt, izmantojot Zemes globusu.

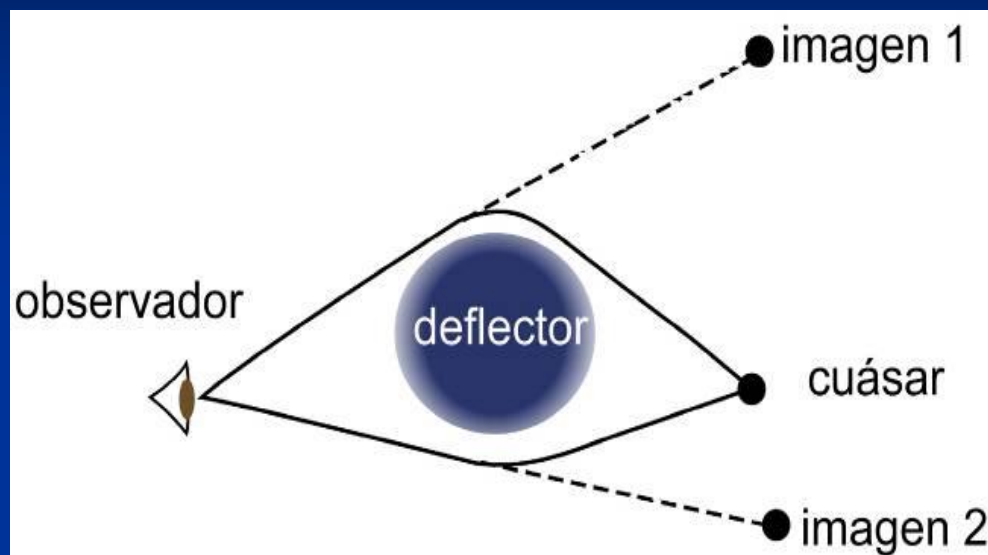


Kā darbojas gravitācijas lēcas?



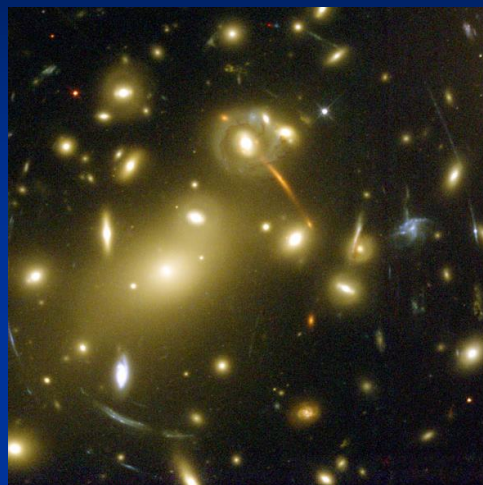
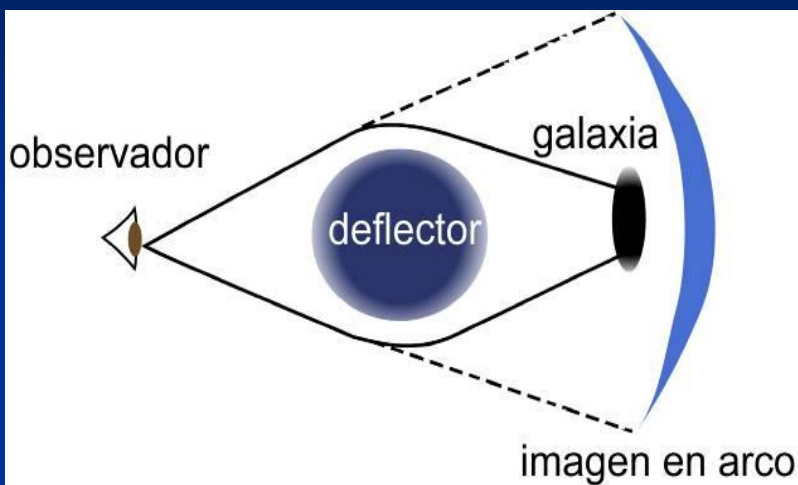
- Izliekta optiskā lēca (savācējlēca) fokusē paralēlus gaismas starus vienā punktā: fokusā.
- Gravitācijas lēca (piem., galaktika vai galaktiku grupa/kopa) fokusē gaismas starus vienā līnijā, nevis punktā; tāpēc rodas vairāki attēla izkropļojumi.

Pozīcijas maiņa un daudzi attēli



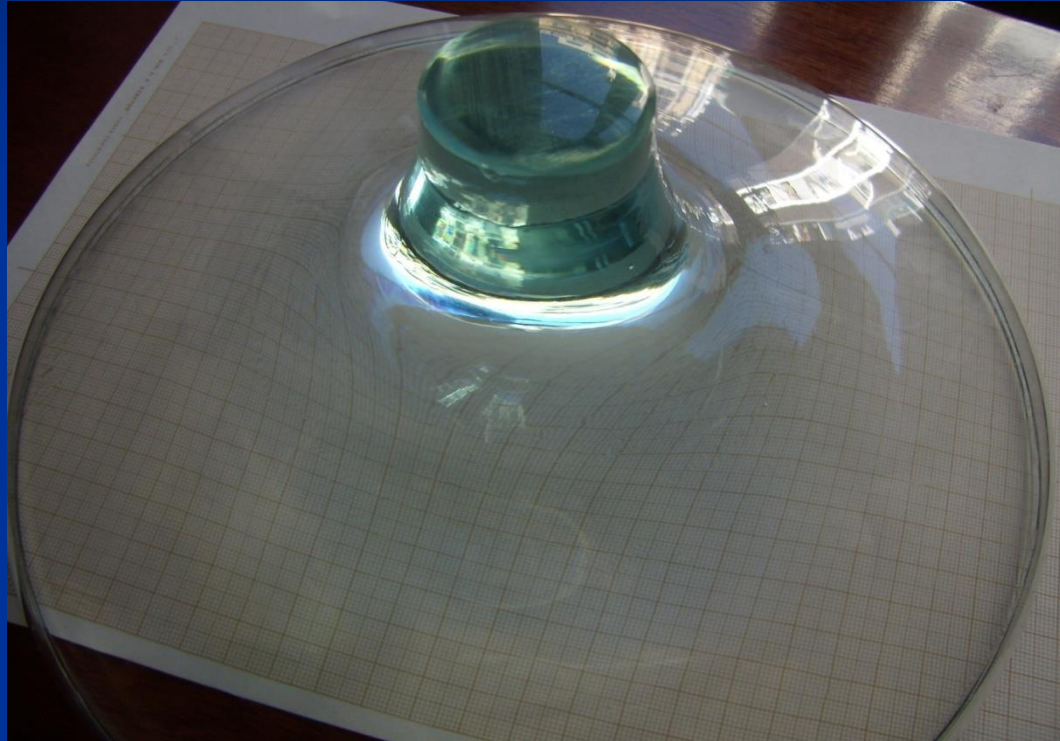
- Novirze maina zvaigznes, galaktikas vai kvazāra šķietamo stāvokli.
- Gravitācijas lēcas nav ideālas, lielākās var radīt vairākus attēlus.

Gaismas noliekšanās



- Ja ķermenis, kas noliec gaismu, ir garena astronomisks objekts, iegūtie attēli ir spilgtu loku kopums.
- Ja gravitācijas lēca ir ideāli simetriska, stari saplūst un veidojas gredzens – Einšteina gredzens.
- Ja ķermenis, kas noliec gaismu, ir zvaigzne vai kvazārs, tad attēls ir punkts.

8. aktivitāte: deformācijas simulācija ar vīna glāzes pamatni



Ja mēs novietojam vīna glāzes pamatni uz milimetru papīra, var redzēt deformāciju.

8. aktivitāte: skatīšanās caur vīna glāzes pamatni



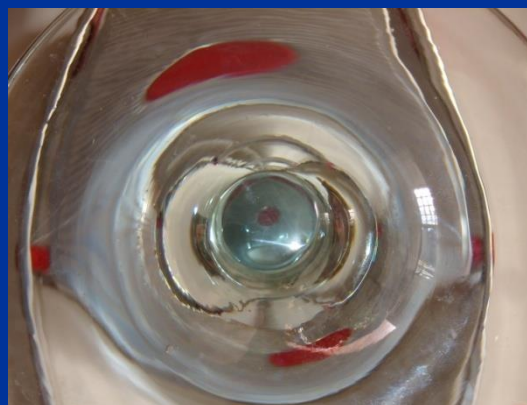
Nogrieziet stikla glāzei pamatni.



+



=



Loka fragments; Einšteina krusts; Einšteina gredzens

9. aktivitāte: Telpas deformācijas simulācija ar vīna glāzi



Uzliekot baltvīna glāzi uz milimetru papīra un skatoties cauri vīnam, var redzēt deformāciju.

9. aktivitāte: nostipriniet lukturīti un lēnām pārvietojiet, skatoties caur vīna glāzi



Šis vienkāršais modelis parāda, ka “matērija” var radīt caur to novēroto attēlu izkropļojumus.

(Vīnu var aizstāt ar citu caurspīdīgu šķidrumu)



9. aktivitāte: nostipriniet lukturīti un lēnām pārvietojiet, skatoties caur vīna glāzi



Loka fragments



Amorfa figūra



Einšteina krusts



Einšteina gredzens

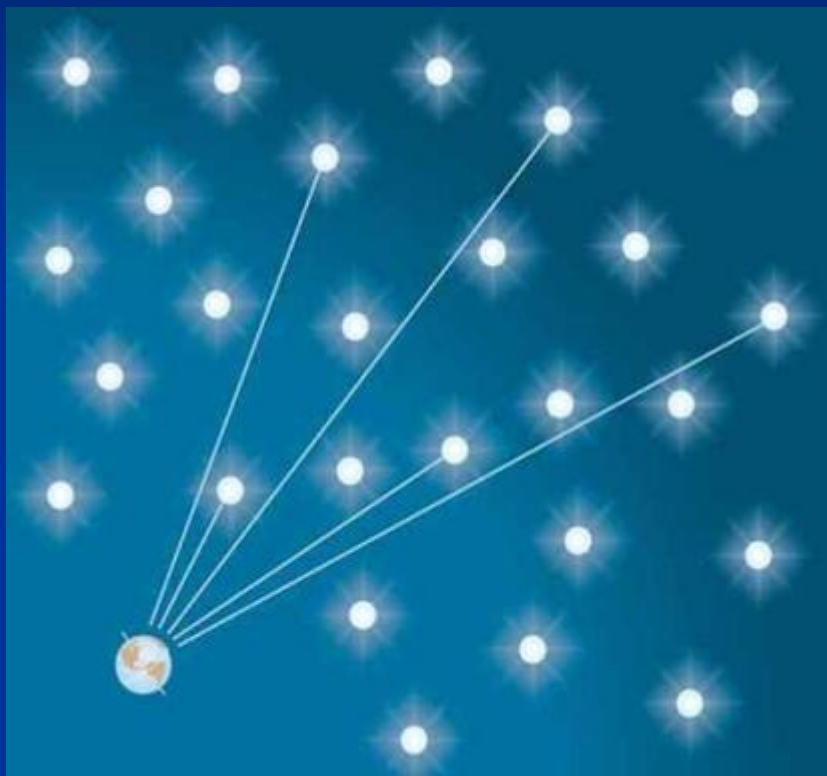
Tēma ārpus darbnīcas: Kāpēc debesis naktī ir tumšas?

1823. gadā Heinrihs Olberss izvirzīja
apgalvojumus:

- Visums ir bezgalīgs.
- Zvaigznes ir vienmērīgi sadalītas visā Visumā.
- Ja visām zvaigznēm ir līdzīga starjauka Visumā, tad...



Tēma ārpus darbnīcas: Kāpēc debesis naktī ir tumšas?



... bezgalīgā Visumā būs bezgalīgi daudz objektu, un debesīm vajadzētu būt gaišām nakts laikā.



Kāpēc debesis naktī ir tumšas?

Tad:

- Jebkurš punkts debesīs būtu gaišs, nevis tumšs, jo vienmēr spīdētu kāda tāla zvaigzne.
- Zvaigžņu skaits katrā debess "sīpolu slānī" ir proporcionāls r^2 , un to gaismas ir apgriezti proporcionāla r^2 , kur katrs slānis nodrošina vienādu gaismas daudzumu uz Zemes. Ja ir bezgalīgs slāņu skaits, debesīm naktī vajadzētu izskatīties gaišām.



Kāpēc debesis naktī ir tumšas?

Bet šajā spriedumā ir kļūdas:

- Zvaigznes izskatās sarkanākas, jo tālāk tās atrodas, pateicoties Visuma izplešanās procesam. Tās ir mazāk spožas, jo atrodas ļoti tālu.
- Bet galvenais, Visumam vecums nav bezgalīgs. Nav bezgalīgu zvaigžņu slāņu.

Edgars Alans Po bija viens no tiem, kas pareizi izskaidroja šīs parādības, viņa eseja “Eureka”, publicēta 1848. gadā.

Nakts debess var būt tumša!



Liels paldies
par uzmanību!

