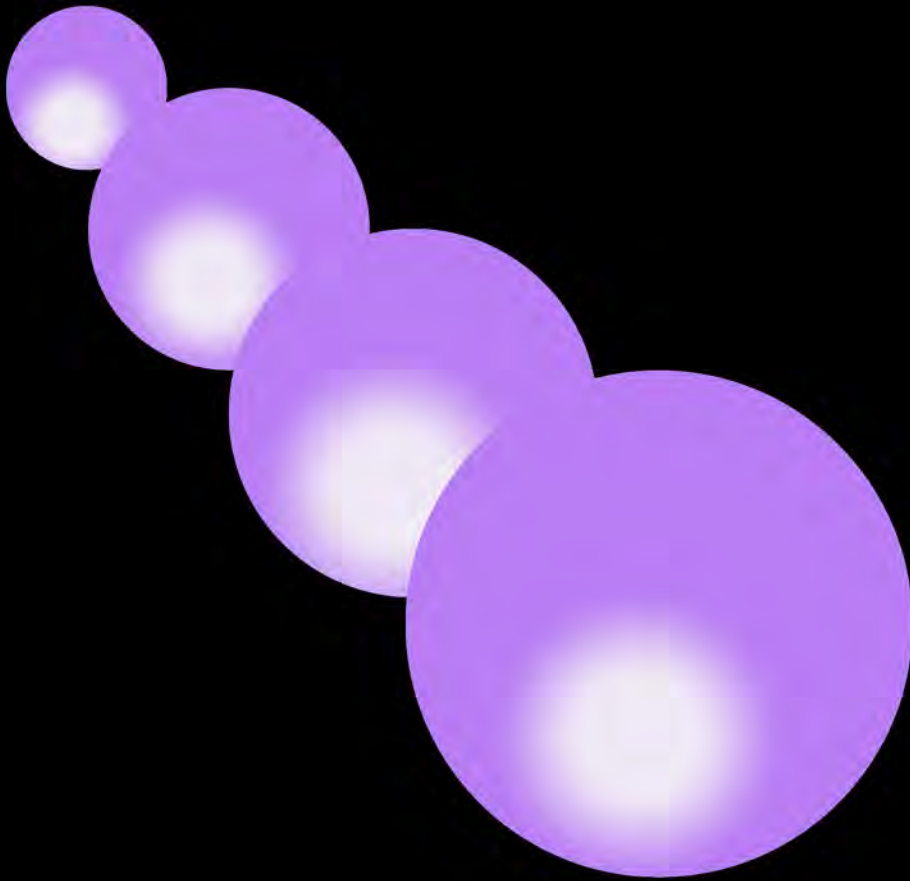


HUBBLEREN LEGEA



Hubbleren legea

Laburpena:

Unitate honetan, Hubbleren legeak zer ondorio kosmologiko dituen azaltzen da, eta hiru jardueraren bidez, Unibertsoa hedatzen ari dela ikusiko dugu.

Edukiak:

Teoria: sarrera

1. jarduera. Unibertsoaren hedapena
2. jarduera. Unibertsoa: goma elastiko bat
3. jarduera. Puzten ari den globoa

Bibliografia

Maila:

DBHko bigarren zikloa eta batxilergoa

Erreferentzia:

Actividades Sencillas de Astrofísica, ApEAren argitalpenak, 5. zk., 2003ko ekaina. *Taller de Astronomía*, Akal Ediciones (Madrid, 1996).

Egileak:

Ricardo Moreno Luquero

Laguntzaileak:

Manuel Baixauli Sanchis

“Con A de Astronomas” ohar-pedagogikoen koordinatzailea

Josefina F. Ling (Santiagoko unibertsitatea)

Itzulpena:

Eusko Jaurlaritzaren Hezkuntza, Unibertsitate eta Ikerketa Saila

Maketazioa:

Surinye Olarte (Bartzelonako Unibertsitateko Astronomia eta Meteorologia Saila)



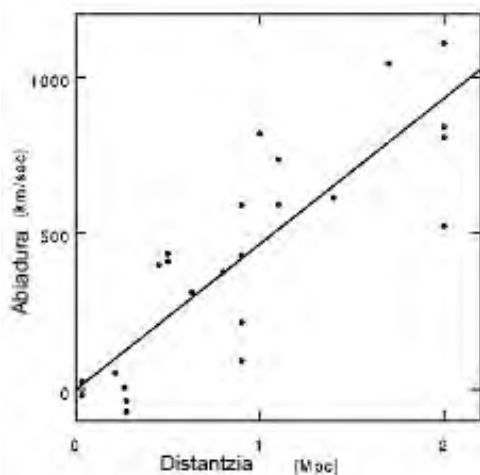
HUBBLEREN LEGEA

Hubbleren legeak kosmologia zientifikoaren hasiera ekarri zuen. Ordura arte ez bezala, Hubbleren behaketen emaitzak kosmologiarekin soilik zeuden lotuta. Gorriranzko lerrakuntzak (z) eta distantziak (D) erlazio lineala zutela konturatu zen Hubble:

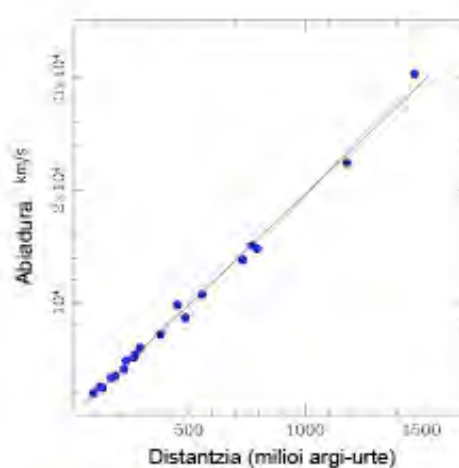
$$c z = H_0 D$$

c = argiaren abiadura, eta H_0 = Hubbleren konstantea, $\text{Km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ moduan idatzi ohi dena.

Gorriranzko lerrakuntza txikiak aztertzeko gutxi gorabeherako formula horrek, zuzenean estrapolatuz gero, esan nahiko luke abiadurak eta distantziak erlazio lineala dutela, edozein distantzia aztertzen dugula ere.



Abiaduraren eta distantziaren arteko erlazioa, 1929ko datuak oinarri hartuta.

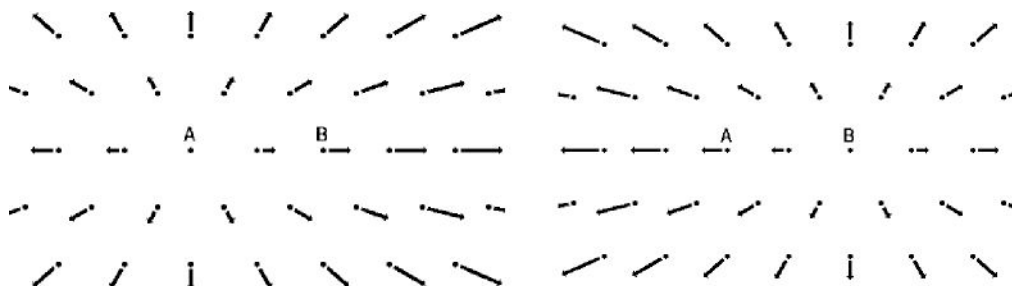


30,000 Km/s ($z = 0.1$) abiadura eta abiadura handiagoak kontuan hartuta, 1996an horrela adierazi zen distantzia. Ikusten denez, erlazioa lineala da, eta hurbilketa handia.

Hori kontuan hartuta, esan genezake unibertsoa hedatzen ari dela. Dena den, formaren lege honek:

$$v = H D$$

abiadurak eta distantziak zer erlazio duten azaltzen duenak (maiz Hubbleren legearekin nahasten da), hainbat ondorio ditu. Lehenik eta behin, erlazio horrek soilik sortzen du hedapen homologoa (hedapen horrek ez du aldatzen unibertsoaren egituren forma). Bigarrenik, erlazio hori bateragarria da Kopernikoko unibertsoan dugun kokaguneari buruz esan zuenarekin; alegia, ez duela axolarik (edo erdipurdikoaren-printzipioa). Behatzaile guztiek, unibertsoan edozein tokitan daudela ere, lege berbera ikusiko dute.



Behatzaile guztiek modu berean ikusten dute unibertsoaren hedapena.

Hirugarrenik, distantzia nahikoa handia bada, objektu bat argiaren abiadura baino azkarrago urrundu daiteke; horrek esan nahi du nolabaiteko **horizonte kosmologikoa** egon behar dela. Horizonte hori azaldu egin behar dugu, baldin unibertso behagarriaren arrazoizko eredu eraiki nahi badugu.

Horizonte hori (**Hubbleren erradioa** deritzona) distantzia jakin batera gertatzen da:

$$D = c/H_0 = 3000 h^{-1} \text{ Mpc}$$

h = asko erabiltzen den zenbaki adimentsionala: $h = (H_0 / 100)$.

Azkenik, denboran atzera eginez gero, pentsa genezake garai batean galaxiak elkarrengandik gertuago zeudela eta, denboran nahikoa atzera joz gero, unibertsoaren dentsitatea hazi eta hazi egingo zela, mugarik gabe. Unibertsoaren hedapen-denbora (**Hubbleren denbora** deritzona) kalkula dezakegu, Hubbleren konstantea alderantzikatuz.

$$t_H = 1/H_0 = 9.78 h^{-1} \text{ G urte}$$

G urte = 10^9 urte = mila milioi urte = 1 eon

Oharrak

Lurretik inguruko galaxietara dagoen **O** distantzia kalkulatzeko, haien itxurazko distira eta teorian duten distira absolutua aldera ditzakegu.

- Edonola ere, Lurretik galaxiara dagoen benetako distantzia izan behar da **O**, eta ez galaxiak guk jasotzen dugun argia igorri zueneko distantzia. Oso zaila da distantzia hori kalkulatzeko.

O distantziaren aldakuntza-ratioa da **y** abiadura.

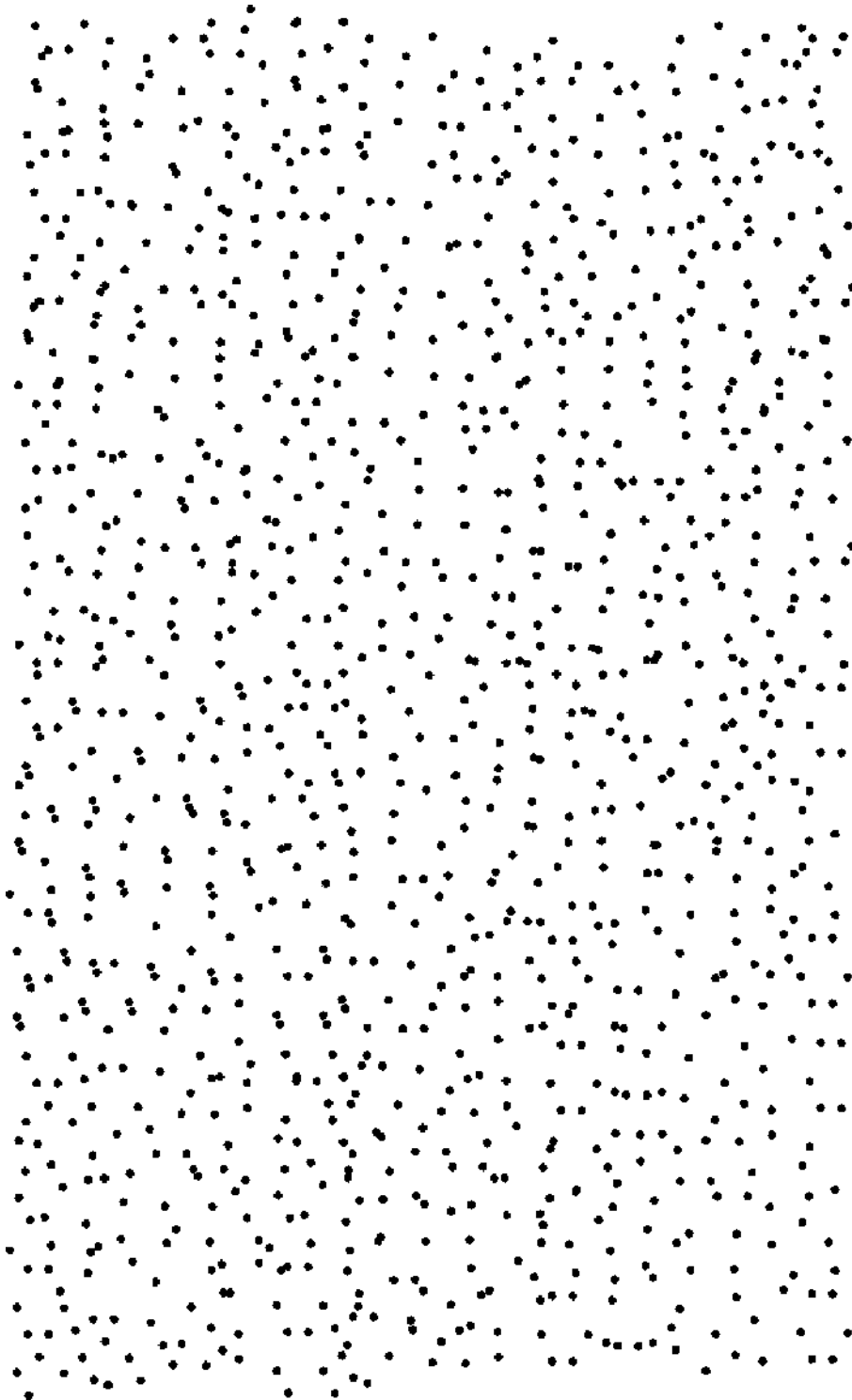
- Gertu samar dauden galaxiak zer distantziara dauden jakiteko, gorriranzko lerrakuntzaren (z) bidez kalkula dezakegu abiadura. Horretarako, $y \approx zc$ formula erabiliko dugu; c = argiaren abiadura. Dena den, unibertsoaren hedapenaren abiadura soilik hartu behar dugu kontuan; galaxien arteko bestelako higidurak (ibilbide-arraroa) baztertu egin behar ditugu.

Grabitazio-loturak dituzten sistemak (esate baterako, galaxiak eta Eguzki Sistema) ez daude Hubbleren legearen mende eta, beraz, ez dira hedatzen.

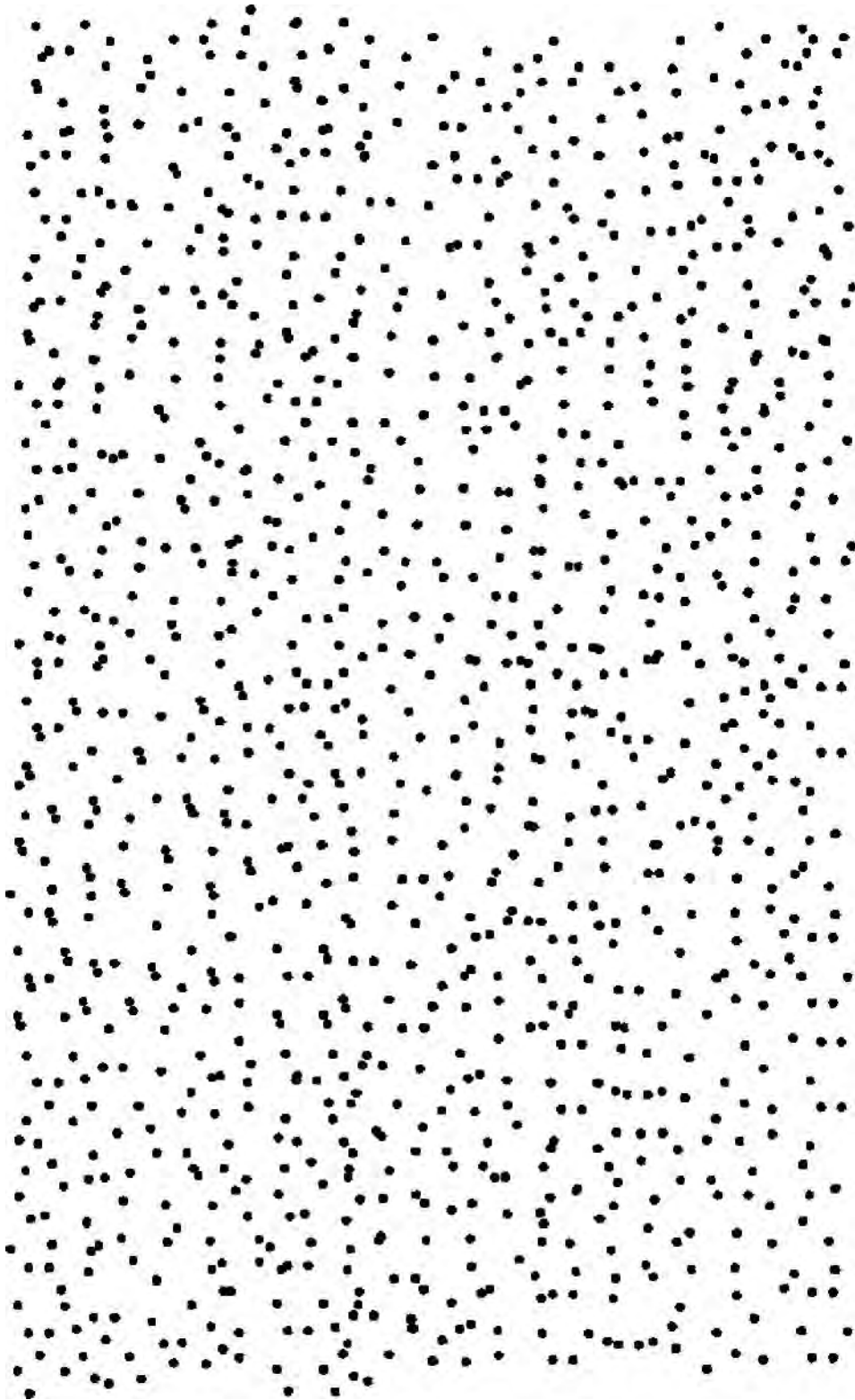
1. jarduera: UNIBERTSOAREN HEDAPENA

Unibertsoaren hedapena irudikatzeko, bi gardenki gainjar ditzakegu: bata, ausaz marraztutako puntuak izango ditu; bestea, berriz, gardenki hori bera izango da, baina pixka bat handitua. Gardenki horien bidez, galaxien banaketa bi dimentsiotan irudikatuko dugu. Beheko irudia handitu gabe (%100) fotokopiatzen badugu gardenki batean eta, gero, %105 handituta fotokopiatzen badugu beste gardenki batean eta bi gardenkiak gainjartzen baditugu, unibertsoaren hedapenaren adierazpen grafiko ezin hobea lortuko dugu.

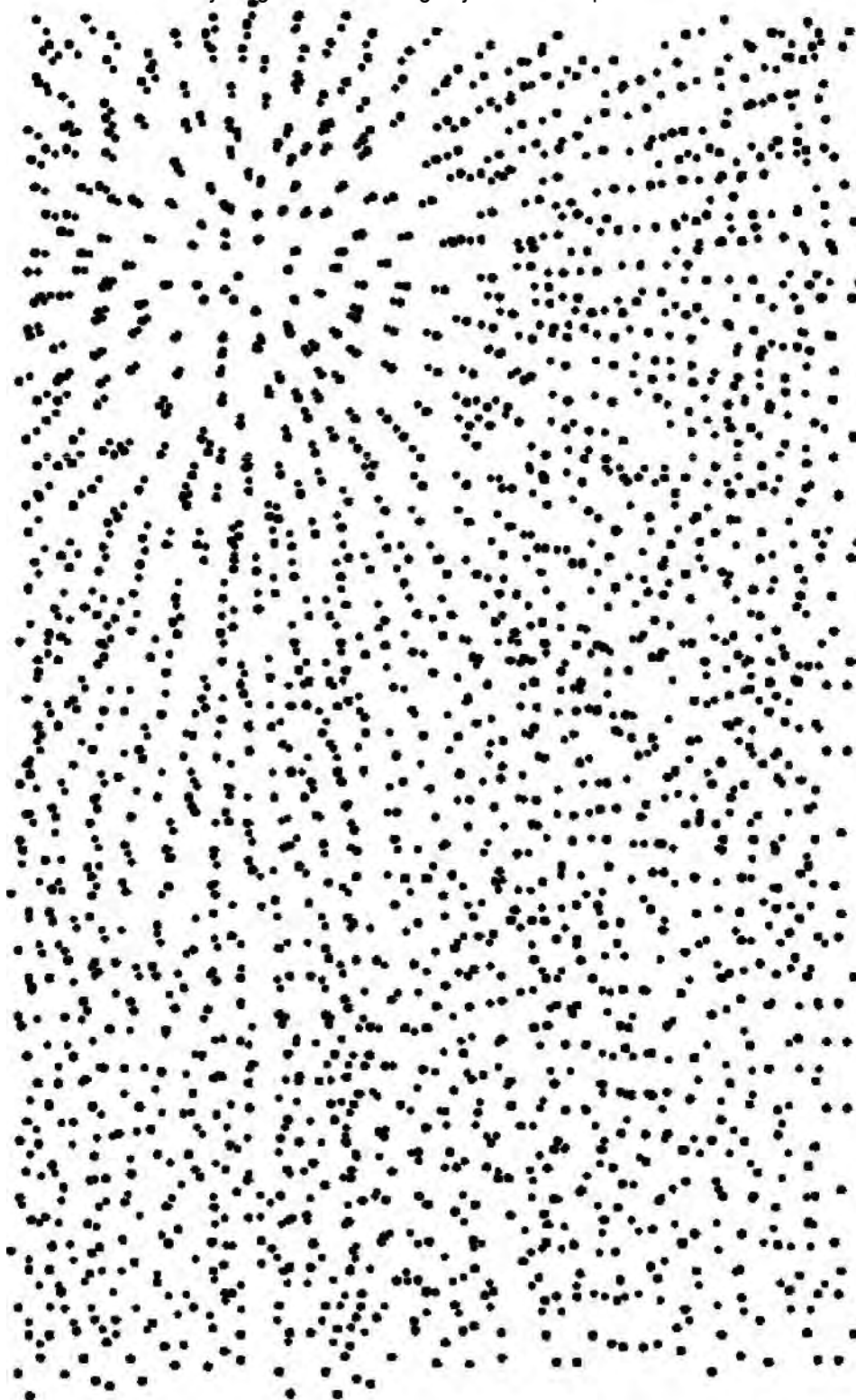
Gainjarri bi gardenkietako puntu bat. Egin hori bera beste puntu batzuekin. Horrela konturatuko gara hedapena norabide guztietan gertatzen dela eta ez dela unibertsoaren erdigunetik soilik gertatzen.



Puntuen irudia, %105 handitua (atzealderik gabe)



Gainjarri gardenkiak eta gainjarri bietako puntu bat:



2. jarduera: UNIBERTSOA: GOMA ELASTIKO BAT

Helburuak:

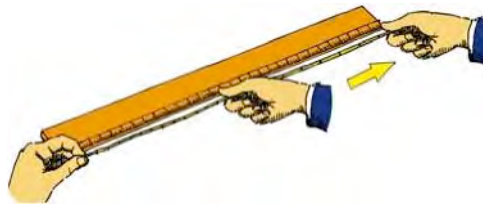
Helburua Unibertsoaren hedapenaren eredu bat egitea da.

Materiala:

- 20 cm-ko goma elastiko bat
- erregela bat
- arkatz markatzaile bat
- guraizeak

Prozedura:

Hartu arkatz markatzailea eta egin markak goman 1 cm-ko tartea utziz. Marka bakoitzak galaxia bat adieraziko du. Aukeratu marka bat, gure galaxia izan dadin (ez du zertan lehenengo marka izan).



Jarri goma erregelaren ondoan. Jarri gure galaxiari dagokion marka 3 cm-ren markaren alboan. Beste galaxiak bat etorriko dira 1, 2, 4 eta 5 cm-ren markekin.

Luzatu goma: gure galaxiak 3 cm-ren markan jarraitu behar du, baina hurrengo 5 cm-ren markaren gainean jarri behar dugu. Galaxia horretatik gurera dagoen distantzia bikoiztu egin da: lehen 1 cm bat zegoen; orain, berriz, 2 cm daude. Zer gertatu da gainerako galaxietatik gurera dagoen distantziarekin? Distantzia guztiak bikoiztu egin dira: 2 cm-ra zegoena, 4 cm-ra dago; 3 cm-ra zegoena, 6 cm-ra dago; etab. Hori gure galaxiatik ezkerrera eta eskuinera dauden galaxiekin gertatzen da.

Demagun goma segundo batean luzatu dela. Horrek ez du esan nahi galaxiak abiadura berean urrundu direnik gure galaxiatik: lehenengoaren abiadura 1cm/s izan da, bigarrenarena 2cm/s, hirugarrena 3 cm/s eta abar.

Grafiko bat egin dezakegu, galaxiak gure galaxiatik zer abiaduran urrundu diren azaltzeko, hasieran zer distantzian zeuden abiapuntutzat hartuta. Konturatuko garenez, zuzen bat osatzen dute. **Hubbleren legearen** eredu bat izango litzateke.

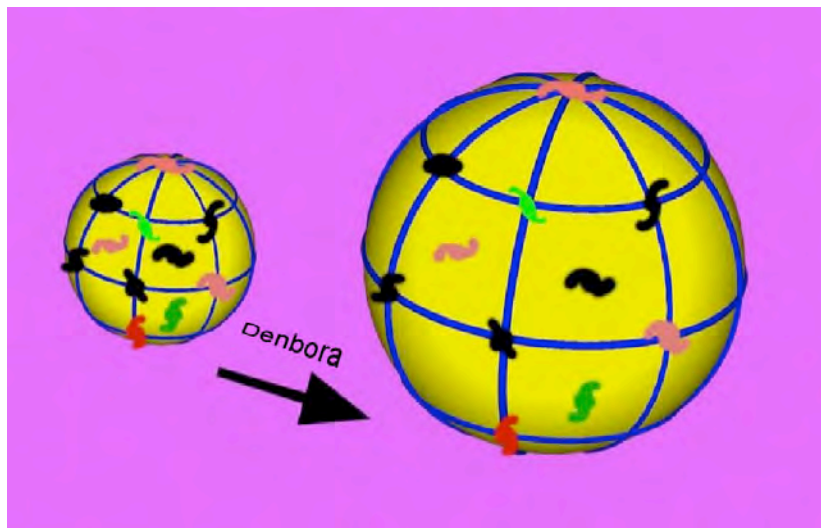
Bestalde, inguruko edozein galaxiatan bizi direnek gure galaxia eta gainerako galaxiak beren galaxiatik urruntzen ari direla ikusiko lukete, guri gertatzen zaigun bezalaxe. Hortaz, ez da beharrezkoa unibertsoaren erdigunean egotea galaxia guztiak gure galaxiatik urruntzen ari direla ulertzeko.

3. jarduera: Puzten ari den globoa

Unibertsoa nola hedatzen ari den ulertzeko, globo bat puztu (edo hustu) dezakegu. Globoan egindako markek galaxien arteko distantzia adierazten dute. Globoak puztu ahala, markek, edo galaxien, arteko tartea handitu egingo da; hots, galaxiak urrundu egingo dira. Galaxien urruntze-abiadura distantziarekiko proportzionala da.

Unibertsoaren bolumena \propto bolumen hori adierazten du globoaren azalak **finitua** da eta, aldi berean, **ez du mugarik**. Demagun unibertsoa esferikoa dela \propto hori esan zuen Einsteinek: norabide berean jarraituko bagenu, abiapuntura iritsiko ginatke.

Esan beharra dago gomarekin eta globoarekin adierazi dugun hedapen-eredua ez dela guztiz zehatza; izan ere, globoko irudiak eta goman arkatz markatzailearekin egindako markak ez bezala, galaxiak EZ dira unibertsoarekin batera hedatzen. Zuzenagoa izango litzateke globoan galaxiak marraztu beharrean goman galaxia itxurako paper pusketak itsastea.



Material osagarria

- <http://www.xtec.cat/~lvallmaj/palau/univers2.htm>
- <http://www.astronomia.net/cosmologia/Hubble.htm>
- *Universo* aldizkaria, 45. zk., 1999ko urtarrila: 40. or. (Bartzelona, Espainia).
- Ricardo Moreno, *Historia Breve del Universo*, Rialp argitaletxea. Madril 1998.
- Ricardo Moreno eta L. Cano, *Experimentos para todas las edades*, Rialp argitaletxea, Madril 2008.
- William K. Hartmann, *Craters!*, NSTA. (Arlington, VA, 1995).
- Lars Broman, Robert Estalella eta Rosa M^a Ros., *Experimentos en Astronomía*, Alhambra Longman argitaletxea, S.A. (Madril 1993).