

Expansiunea Universului

Ricardo Moreno, Susana Deustua

Uniunea Astronomică Internațională, Școala Retamar (Madrid, Spania), Institutul de Știință al Telescopului Spațial (Baltimore, SUA)

Sumar

Acest seminar are 8 activități simple de lucru, în care vom folosi/utiliza conceptele cheie despre expansiunea universului și lentilele gravitaționale. În prima activitate construim un spectroscop să observăm spectrele gazelor. În al doilea, al treilea și al patrulea experimentăm calitativ utilizând întinderea unui elastic, balon și suprafața de puncte respectivă. În a cincea activitate lucrăm cantitativ cu extinderea unei suprafețe și chiar calculăm constanta Hubble pentru acest caz. În a șasea și a șaptea activitate detectăm microundele din radiația de fond, iar în activitatea opt se simulează lentilele gravitaționale.

Obiective

- Să se înțeleagă expansiunea universului;
- Să se înțeleagă că nu există un centru al universului;
- Să se înțeleagă Legea lui Hubble.
- Să se înțeleagă lentilele gravitaționale

Originea Universului

Teoria cea mai acceptată azi legată de originea universului este Big Bang, o explozie uriașă care a determinat expansiunea spațiului. Nu galaxiile se extind ci spațiul dintre galaxii se extinde trăgându-le și pe ele. Din acest motiv, nu putem vorbi despre un centru al universului la fel cum nimeni nu poate vorbi despre o țară care ar reprezenta centrul suprafeței pământului.

Viteza de retragere/departare a unei galaxii este proporțională cu distanța până la noi. Constanta asociată/care le relaționează, se numește constanta Hubble. Legea lui Hubble leagă liniar (direct proporțional) distanța la o galaxie cu viteza ei de îndepărtare.

Prima verificare a teoriei Big Bang a venit odată cu observarea deplasării spre roșu a spectrelor galaxiilor și dovada finală a teoriei a fost detectarea fondului de microunde cosmice.

Deplasarea spre roșu

Dacă în laborator privim cu un spectroscop la lumina ce vine de la un gaz fierbinte, ex. hidrogen, o să vedem niște linii colorate specifice aceluia gaz la o anumită lungime de undă. Dacă facem același lucru cu lumina venită de la o galaxie îndepărtată, o să vedem aceste linii ușor deplasate (fig 1). Se numește deplasare spre roșu deoarece pentru majoritatea galaxiilor liniile se mută spre această culoare.

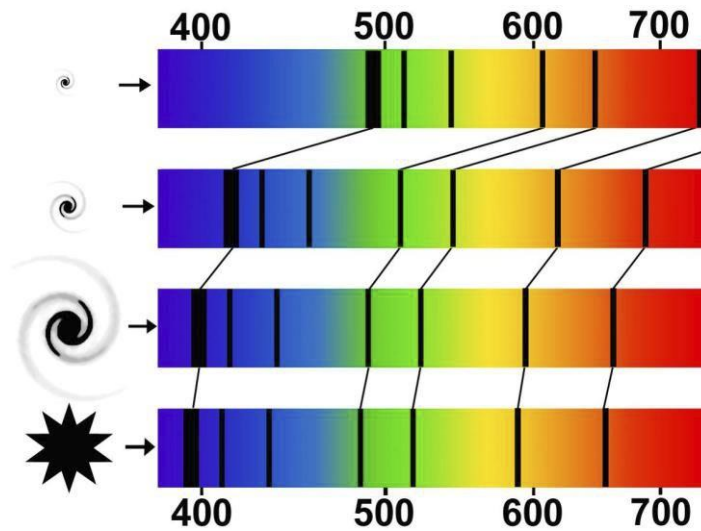


Fig.1:

Fig. 1: Cu cât galaxia este mai îndepărtată , cu atât spectrul se depasează spre roșu, ceea ce ne indică faptul că galaxia se depărtează de noi mai repede.

Deplasarea spre roșu se datorează îndepărtării galaxiei de noi, similar cu o locomotivă a cărei tonalitate sonoră se schimbă când se mișcă spre sau dinspre noi și cu cât deplasarea e mai mare cu atât viteza e mai mare.

Studiind spectrul grupului local de galaxii, am aflat că Norul Mare a lui Magellan se îndepărtează de noi cu 13 km/s și Norul Mic a lui Magellan se retrage cu 30 km/s. Andromeda se mișcă cu 60 km/s spre noi, în timp ce M32 se îndepărtează cu 21 km/s. Cu alte cuvinte, galaxiile învecinate au mișcări relative mici și neregulate.

Dar dacă privim roiul Virgo, la o depărtare medie de 50 milioane ani-lumină, vedem că se îndepărtează cu viteze între 1000 și 2000 km/s. În superroiul Coma Berenice la 300 milioane a.l. depărtare, viteza variază între 7000 și 8500 km/s. Privind în direcția opusă vedem că M74 se îndepărtează de noi cu 800 km/s și M77 cu 1130 km/s. Dacă ne uităm la galaxii din ce în ce mai îndepărtate și șterse, viteza de retragere este și mai mare: NGC 375 se mișcă cu 6200 km/s, NGC 562 cu 10500 km/s și NGC 326 cu 14500 km/s. Toate, mai puțin cele foarte apropiate, se îndepărtează de noi. Sunt oare furioase pe noi?

Activitatea 1: Efectul Doppler

În efectul Doppler lungimea de undă a sunetului variază când sursa se mișcă. Am observat asta la sunetul motocicletelor sau mașinilor într-o cursă: sunetul e diferit când se apropie și când se îndepărtează de noi. Alte exemple familiare sunt: o mașină de pompieri ce trece pe lângă noi, fluierul unui tren în mișcare, etc.

Poți realiza/reproduce fenomenul învărtind într-un plan orizontal o sonerie, de exemplu un ceas cu alarmă. Îl punem într-un săculeț din material pe care îl legăm bine cu o sfoară.(fig. 2a)

Când îl învârtim deasupra capului(fig. 2b), ne dăm seama când se apropie de privitor: λ scade și sunetul este mai înalt; când se îndepărtează de noi λ crește și sunetul este mai bas, cu frecvență joasă. Cel din poziția centrului de rotație nu sesizează acestea.



Fig. 2a: Ceas deșteptator, săculeț și sfoară.



Fig. 2b: Învințim deasupra capului. Spectatorii dintr-o parte vor observa diferența de ton.

Acesta este efectul Doppler datorat deplasării. Dar nu este chiar acela pe care îl prezintă galaxiile odată cu expansiunea. Galaxiile nu se mișcă prin spațiu ci spațiul dintre acestea se extinde.

Activitatea 2: "Alungirea" fotonilor

Universul, când se extinde, "întinde" fotonii din el.

Cu cât este mai mare durata deplasării fotonului, cu atât acesta suferă o alungire/întindere mai mare.

Poți realiza un model al acestei întinderi cu un cablu semirigid folosit în instalațiile electrice ale caselor. Taie un metru de cablu și îndoiaie-l cu mâna formând sinusoide, reprezentând diferite unde.(fig 3a)



Fig. 3a: Faceți unde cu un cablu rigid.

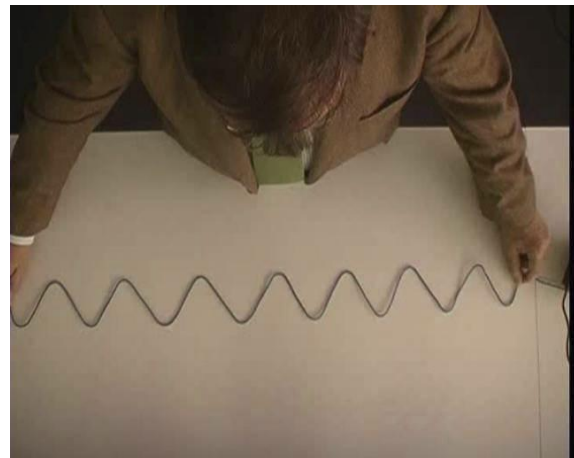


Fig. 3b: Aceleași unde cu o lungime de undă mai mare.

Prinde cablul cu ambele mâini, întinde ușor (fig 3b) și observă că lungimea de undă crește, așa cum apare în radiația ce vine de la o galaxie. Părțile cele mai îndepărtate de noi au mai mult timp pentru întindere și deci deplasare spre roșu (λ mărit).

Legea lui Hubble

Edwin Hubble (fig 4) a fost cel care a studiat aceste date stabilind în 1930 legea care-i poartă numele: cu cât o galaxie este mai departe, cu atât se îndepărtează mai rapid de noi. Aceasta indică faptul că universul se extinde în toate direcțiile astfel încât toate corpurile existente în el se îndepărtează unele de altele. Mișcarea de îndepărtare a galaxiilor pe care o sesizăm nu înseamnă că noi suntem undeva în mijlocul lor: un extraterestru va vedea la fel de oriunde din univers, așa cum se întâmplă într-o explozie de artificii - toate particulele luminoase vor fi împrăștiate prin explozia prafului de pușcă.

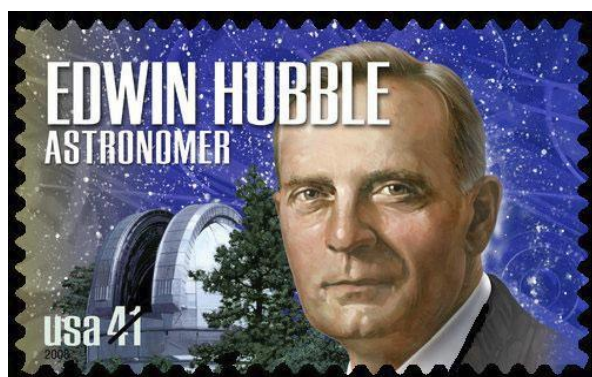


Fig. .4: Edwin Hubble.

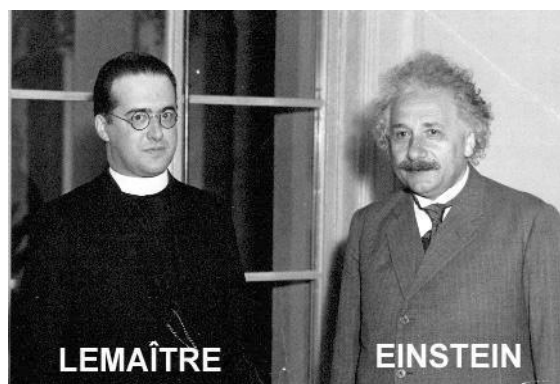


Fig. .5: George Lemaître și Albert Einstein.

Cu toate acestea, modelul real nu este o galaxie ce se mișcă prin spațiu ci spațiul dintre acestea, extinzându-se, trage după el aceste galaxii.

Dacă spațiul se extinde în toate direcțiile, aceasta înseamnă că dacă întoarcem timpul înapoi, la un moment inițial, materia era concentrată undeva unde a început totul.

Așa se explică de ce preotul și astronomul belgian George Lemaître (fig 5) a formulat cel mai răspândit și acceptat model al universului: a existat o mare explozie inițială în care suntem încă implicați. În această expansiune spațiul însuși este cel care se extinde. Pentru a înțelege aceasta, imaginați-vă un balon cu puncte desenate pe suprafața lui, reprezentând galaxiile (fig 6). Pe măsură ce se lărgiște, spațiul dintre puncte va crește. La fel, cu trecerea timpului, spațiul se mărește și substanța conținută se separă.

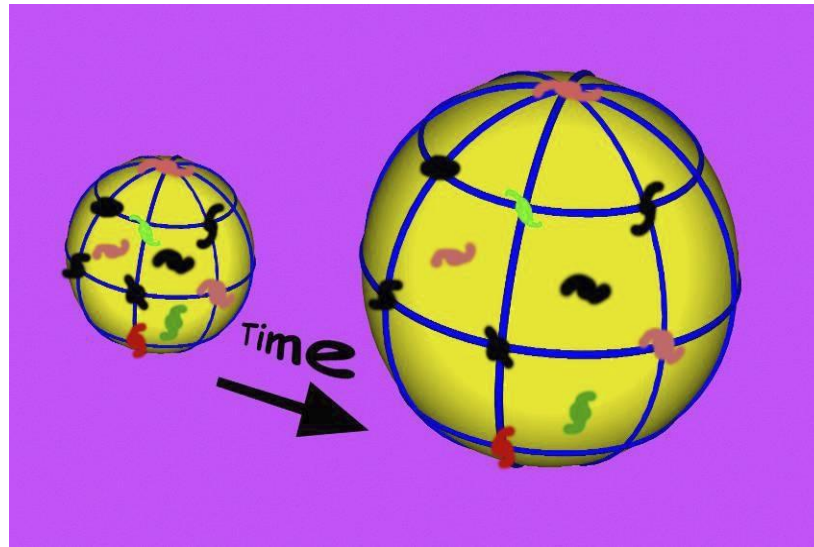


Fig. 6: Cu trecerea timpului , spațiul se extinde, și materia conținută se îndepărtează.

Așadar, viteza de retragere a unei galaxii și distanța până la noi par a fi direct proporționale. Constanta de legătură se numește constanta Hubble. Legea Hubble leagă distanța până la galaxie cu viteza ei de îndepărtare:

$$v=H \cdot d$$

Se poate estima (determina aproximativ) valoarea, cunoscând viteza și distanța câtorva galaxii.

Felul în care o galaxie se depărtează este ușor de determinat cu ajutorul deplasării spre roșu, dar să măsurăm distanța este mai dificil, în special în cazul galaxiilor tot mai îndepărtate. Oamenii de știință nu au căzut de acord asupra valorii constantei Hubble. Folosind o metodă sau alta, valoarea spre care se tinde este între 50 și 100 km/s pe megaparsec. Valoarea acceptată în mod curent este aprox. 70, indicând vârsta Universului ca fiind 13700 milioane ani.

Activitatea 3: Universul într-o bandă elastică

Edwin Hubble a descoperit că toate galaxiile se îndepărtează de noi. Cu cât sunt mai departe , cu atât e mai rapidă mișcarea lor. Așa numita lege a lui Hubble stabilește că viteza de îndepărtare a galaxiei raportată la noi este proporțională cu distanța. Este o consecință logică a universului în expansiune. Și deși toate galaxiile se îndepărtează de noi, aceasta nu înseamnă că noi suntem centrul universului.

Faceți un semn cu un marker la fiecare centimetru pe o banda elastică. Fiecare semn reprezintă o galaxie (A,B,C,...). Galaxia noastră va fi prima.



Fig. 7a: Bandă elastică neîntinsă.

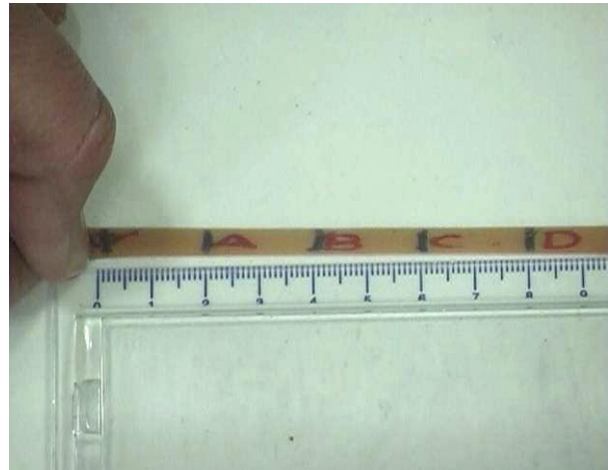


Fig. 7b: Bandă elastică întinsă

Fixați elasticul lângă o riglă (fig. 7a) și puneți galaxia noastră în dreptul diviziunii 0 cm. Celelalte galaxii A, B, C,...coincid cu 1, 2, 3,...cm.

Întindeți banda elastică (fig. 7b) astfel încât galaxia noastră să rămână la 0 cm și următoarea galaxie (A) să fie la semnul de 2 cm. Distanța de la aceasta la noi s-a dublat. Ce s-a întâmplat cu distanța dintre celelalte galaxii B, C, D și a noastră? S-a dublat și ea?

Să presupunem că timpul necesar întinderii elasticului a fost de 1 secundă. Viteza de îndepărtare a celorlalte galaxii este aceeași, sau unele se mișcă mai rapid decât altele?

Cum vede un locuitor al următoarei galaxii galaxia noastră și pe celelalte? Par a se îndepărta toate?

Activitatea 4: Universul într-un balon

Conform teoriei universului în expansiune, există spațiu între galaxii care se mărește. Galaxiile însă nu se măresc, așa cum nici casele noastre nu se măresc. Ceea ce este strâns legat de gravitație nu crește în dimensiuni.

Iată un experiment simplu care poate demonstra aceasta. Folosiți un balon pe care îl umflați puțin la început. Apoi lipiți bucățele de vată pe suprafață (sau monede). Apoi umflați bine balonul. Bucățelele se vor separa unele de altele (fig. 8a și 8b). Unele par că se îndepărtează mai tare decât altele, dar niciuna nu se apropie. Este un exemplu simplu al universului în expansiune.



Fig. 8a: Bobițe lipite pe un balon umflat ușor.

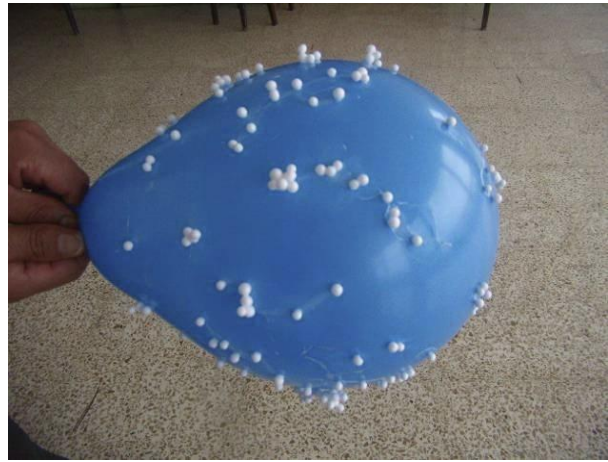


Fig. 8b: Bobițele se îndepărtează când balonul este umflat.

Activitatea 5: Calculul constantei Hubble

Legea lui Hubble spune că viteza unei galaxii este proporțională cu distanța până la noi

$$v=H \cdot d$$

Constanta H se numește constanta Hubble și se poate calcula folosind distanțele și vitezele unor galaxii. Din formula de mai sus:

$$H = \frac{v}{d}$$

Diagrama de mai jos figurează spațiul cosmic, reprezentat de o grilă albastră cu linii punctate, cu noi în centru și câteva galaxii albastre la o anumită distanță de noi. După un timp, să zicem 10 secunde, spațiul s-a dilatat și atât caroiajul (în linii continue) cât și galaxiile sunt reprezentate cu roșu.

Completați tabelul 1 de mai jos. În fiecare rând puneți datele pentru fiecare galaxie. De exemplu, coordonatele sunt calculate cu ajutorul pătratelor albastre (liniile punctate) sau roșii (liniile continue) galaxia A respectiv A', iar distanța d este obținută măsurând lungimea în cm cu rigla începând din centrul galaxiei noastre. Coloana de date Δd se obține prin diferența distanțelor la A' și A. În ultima coloană trebuie să folosim distanța înainte de expansiune (ex. A și nu A') la numitor.

Verificați:

- Coordonatele fiecărei galaxii nu se modifică cu expansiunea.
- Valoarea H este cât se poate de constantă raportată la galaxii.

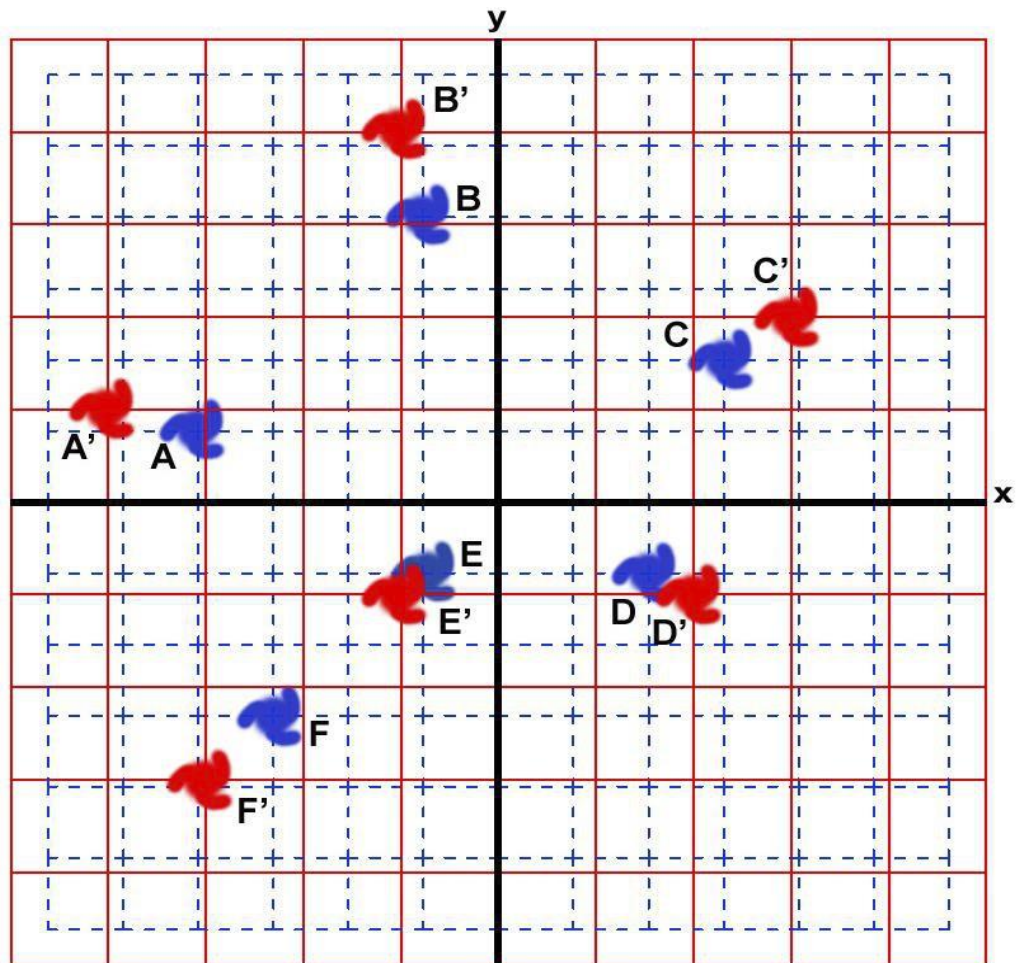


Fig 9:

Caroiajul liniilor continue (roșu) este același cu al celor întrerupte (albastru) dar expandat. Galaxiile sunt atașate de caroiaj

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)				

Tabelul 1: Cu coordonate scrise ca exemplu.

Galaxia	Coordonate x,y	d=distan de la origine	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A					
A'					
B					
B'					
C					
C'					
D					
D'					
E					
E'					
F					
F'					

Tabelul 2: Pentru a fi completat cu date din fig. 9.

Big Bang

În prezent, teoria originii universului ca o uriașă explozie este larg acceptată în comunitatea științifică, deși mai există unii care pun la îndoială și simt că există detalii rămase neexplicate. În 1994 revista americană Sky & Telescope a lansat un concurs pentru redenumirea teoriei. Au fost primite 12000 înscrieri dar nici una nu a reușit să o detroneze pe cea existentă: teoria Big Bang-ului.

Denumirea a fost aleasă de astronomul Fred Hoyle, un antireligios convins, ca fiind una compromițătoare, pentru a nu avea vreo legătură cu ideea unui Creator.

Observând universul în expansiune, dacă ne întoarcem în timp, a existat o cauză primară când a avut loc explozia, dând naștere timpului și spațiului așa cum le știm acum. Ne putem întreba cum s-a întâmplat și de ce. Știința nu are un răspuns deoarece se ocupă numai de cum "funcționează" ceea ce deja există. Știința poate încerca să explice cum merg lucrurile de la Big Bang dar nu și de ce există materia. Acest fel de întrebare este pentru filozofii, care studiază metafizica.

Unii sunt tentați să explice cauza apelând la câteva concepte ale fizicii, cum ar fi fluctuațiile cuantice ale vidului, confundând vidul cu nimic: vidul cuantic există, ocupă spațiu și are energie. Conceptul de nimic, însemnând absența a orice, inclusiv și a spațiului, nu este științifică, este metafizică. În nimic, nimic nu poate exista și fluctua.

Alte teorii vorbesc despre multiversuri/universuri multiple dar, prin definiție, e imposibil de verificat (dacă am putea cumva observa alte universuri, atunci acestea ar fi parte din al nostru, deoarece universul nostru este întreaga materie ce poate fi percepută în vreun fel). De aceea aceste teorii nu sunt chiar științifice.

Să ne întoarcem la știință. La momentul inițial totul - materie și energie - era infinit de mic și dens. Big Bang a fost explozia spațiului la începutul timpului și din acel moment

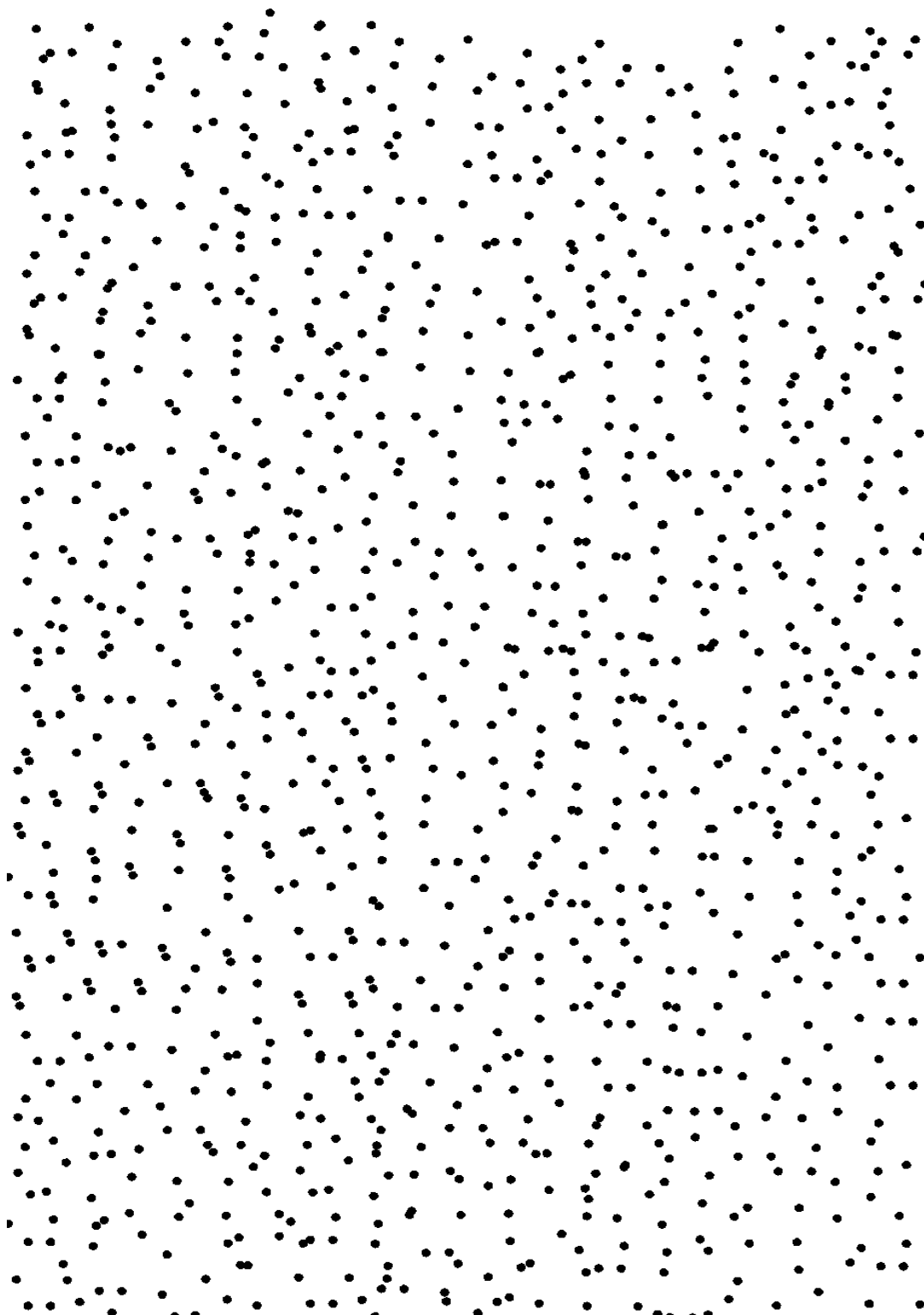


Fig. 10:Copiază această pagină pe o folie transparentă și apoi alta mărește-o la 105%.

materia a devenit operațională cu legi scrise în ea și care au condus universul la starea lui actuală.

Activitatea 6: Nu există un centru al expansiunii

Pe pagina următoare este un desen (fig. 10) cu multe puncte ce simulează galaxiile la un moment dat. Mai întâi faceți o copie pe hârtie transparentă și apoi încă una, dar ușor mărită (ex. 105%).

Dacă le suprapunem pe un videoproiector (fig 11), obținem o imagine ce reprezintă o expansiune a spațiului în timp: potriviți imaginile la un punct și puteți observa deplasările punctelor din jur foarte bine, care sunt tot mai mari cu depărtarea față de punctul de suprapunere ales. Pare că punctele ce se mișcă mai repede sunt mai depărtate de punctul de suprapunere?

Dar dacă potrivirea se face pe un alt punct (fig. 11b), e la fel. La fel și în spațiu: din galaxia noastră vedem că toate se îndepărtează de noi și se mișcă mai rapid cu cât sunt mai depărtate de observator. Credem că suntem în centrul universului dar nu suntem, așa cum un observator dintr-o altă galaxie ar observa același lucru că ar părea că se află în centru. Realmente nu există un centru.

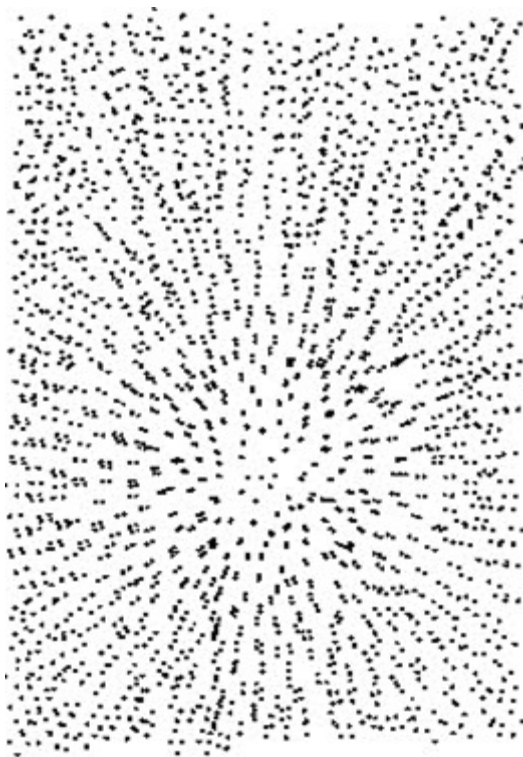


Fig. 11a: Suprapunerea celor două folii, una mărită la 105%

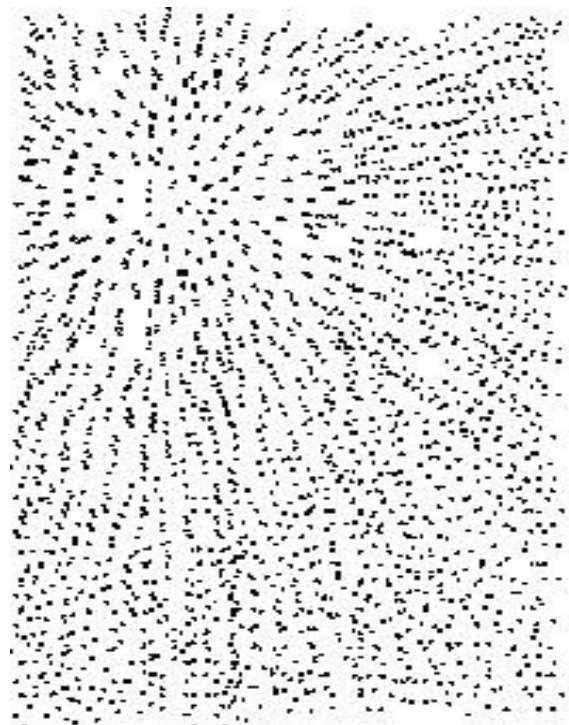


Fig. 11b: Pentru un observator aflat în alt punct, se pare că totul se îndepărtează de el: nu există un centru al universului.

Evoluția Universului

Pentru a avea o idee asupra istoriei recente a universului, imaginați-vă că timpul de la Big Bang până acum este comprimat într-un singur an de la 1 ianuarie până la 31 decembrie.

În aprilie a luat naștere galaxia noastră (Calea Lactee). În august s-a format Soarele, iar Pământul a fost rotunjit spre sfârșitul lunii. Dar numai prin octombrie a apărut oxigenul în atmosfera noastră. Și totuși celule vii foarte simple apar pe Pământ imediat, celule cu nucleu apar prin 2 decembrie și prin 12 decembrie sunt prezente primele organisme multicelulare. Pe 19 apare primul pește, ca și plantele, insectele și amfibienii pe 21 până pe 22. Pe 25 apar dinozaurii, ultimul până pe 28. Pe 30 mamiferele viețuiesc pe Pământ și numai pe 31 până la 11 p.m. apare omul. La 11:57 p.m. este ora când trăia omul de Neanderthal și picturile în peșterile de la Altamira au fost realizate în ultimul minut.

Cu cinci secunde înainte de ora 12 noaptea, s-a născut Iisus Hristos. Ultimul secol se desfășoară în ultimele două zecimi de secundă ale zilei.

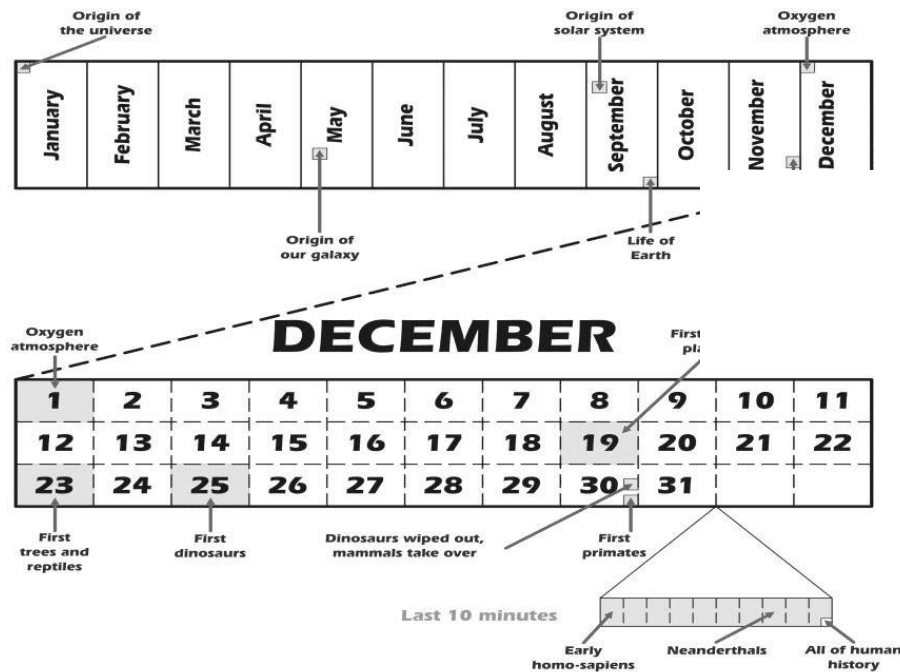


Fig. 12.: Istoria Universului comprimată la un an.

Radiția cosmică de fond

La început, la temperaturi foarte înalte, cele patru forțe pe care le cunoaștem erau unificate.

Gravitația, forța electromagnetică, forțele nucleare slabe și tari (ulimele două acționează în interiorul atomilor) erau unite. Apoi s-au separat și au apărut fotonii, electronii, protonii și alte particule elementare. Pe măsură ce universul se dilată, se răcește. După 300000 ani, temperatura a coborât suficient să permită formarea atomilor, în mare parte hidrogen și heliu.

Densitatea a scăzut și fotonii erau liberi să se miște în orice direcție: era lumină. Cercetătorii spun că universul a devenit transparent. Acești fotoni călătoresc prin spațiu, deși s-a răcit, așa

încât lungimea de undă a crescut dramatic (fig. 13) și au devenit mai mult fotoni reci, care transmit o energie de numai 2,7 K. Această radiație se numește Radiația Cosmică de Fond.

Această radiație de fond a fost detectată prima dată în 1964 de Penzias și Wilson în Statele Unite. Ei încercau să elimine orice zgomot în radiotelescop când au detectat o emisie cu lungimea de undă de 7,35 cm care era întotdeauna prezentă, indiferent încotro era îndreptată antena. Au refăcut instalația și se gândeau chiar și la posibilitatea ca niște păsări să-și fi făcut cuib în antenă, dar nu au putut elimina nicidecum acest zgomot de fond.

Ei au tras concluzia că acesta vine de la un transmițător - ceva care avea o temperatură de 2,7 K - temperatură obișnuită a universului - și nu dintr-un loc anume. Universul însuși era cel care emitea această radiație de fond, o urmare a Big Bang-ului. Oricine poate să detecteze cu un TV analog racordat la un canal liber: cam 1 din 10 puncte pe care le vezi pe ecran, provin de la radiația de fond. Aceste emisii sunt din categoria microundelor, similar celor din cuptoarele din casă, dar având energie foarte mică: poate încălzi mâncarea doar cu 2,7 K.



Fig. 13: În timp, pe măsura dilatării spațiului, fotonii își măresc lungimea de undă. Aceasta este radiația cosmică de fond.

Deși această radiație pare a fi remarcabil de uniformă, G. Smoot și colegii săi au fost capabili să vadă variații foarte mici în măsurătorile făcute de satelitul COBE (fig. 14a), de ordinul unei milionimi dintr-un grad. Simultan, aceste fluctuații au fost detectate în fond în experimentul de la Tenerife al Institutului de Astrofizică din Insulele Canare. În 2001 NASA a lansat telescopul WMAP pentru a studia radiația de fond cu o rezoluție mult mai bună (fig. 14b)

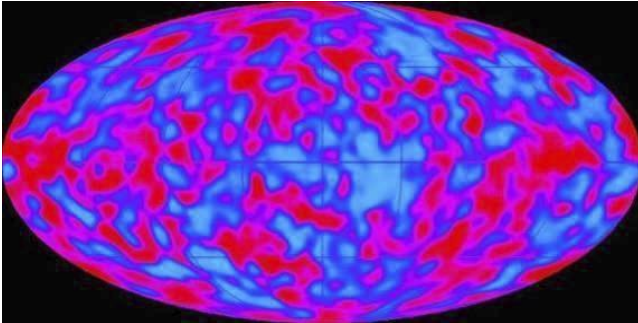


Fig. 14a: Imagine obținută de COBE .

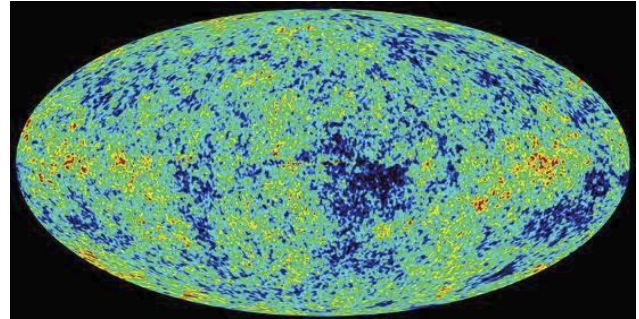


Fig. 14b: Imagine obținută de WMAP .

Deși mici, aceste variații sunt amprenta bulgăreului de materie de început, de la care au început să se formeze galaxiile. Nu știm ce a cauzat aceste fluctuații în densitate. Ce putem spune este că aceste “riduri” au apărut în această zonă și condensarea a început să apară în protogalaxii la numai după câteva sute de milioane de ani după Big Bang. Aproape simultan s-au format primele stele în aceste tinere galaxii.

Activitatea 7: Detectarea microundelor în radiația de fond

La 300.000 de ani după Big Bang, fotonii s-au separat de restul materiei și au început să se miște liber prin univers. Când spațiul s-a extins, acești fotoni și-au mărit lungimea de undă. Acum estimăm că au o lungime de undă de 2 mm, care corespunde microundelor și este echivalentă cu cea emisă de un corp negru la temperatura de 2,7 K.



Fig 15: O parte din punctele unui aparat TV analog, nefixat pe un post, provin de la radiația cosmică de fond.

În 1964 Penzias și Wilson au detectat mai întâi o radiație de fond de microunde, un rest de radiație care vine din toate direcțiile. Satelitul COBE (fig. 14a) și mai apoi WMAP (fig. 14b) au făcut o măsurătoare foarte precisă a acestei radiații în toate direcțiile, detectând doar mici variații de la o zonă la alta, corespunzătoare la ceea ce erau atunci roiurile de galaxii.

De asemenea, putem detecta această radiație de fond cu ajutorul unui televizor (fig15). Pentru a face asta, fixați TV pe un canal analog liber. Imaginea este compusa dintr-o multitudine de puncte clipitoare. Aproximativ 10% - adică 1 din 10 - provin de la radiația de fond a universului.

De ce este întuneric noaptea?

Acesta a fost titlul unui interesant articol pe care germanul Heinrich Olbers l-a publicat în 1823. Mai înainte, în 1610, Kepler a considerat aceasta ca o evidență a faptului că universul nu poate fi infinit. Un secol mai târziu Edmund Halley a observat zone mai luminoase pe cer și a sugerat că cerul nu e uniform de luminos pe timpul nopții deoarece, deși universul este infinit, stelele nu sunt uniform distribuite. Chiar și scriitorul Edgar Allan Poe (1809-1849) a scris pe acest subiect. Oricum, aspectul acesta a rămas în istorie ca Paradoxul lui Olbers.



Fig. 16a Johannes Kepler, Fig. 16b Edmund Halley, Fig. 16c Heinrich Olbers și Fig. 16d Edgar Allan Poe

Răspunsul pare banal și totuși nu este chiar așa după ce citești articolul lui Olbers. Argumentele lui Olbers conduc la paradoxul că cerul nopții ar trebui să fie la fel de luminos ca cel al celei mai însorite zile. Să vedem argumentele.

Argumentația lui Olbers se bazează pe următoarele principii:

1. Universul este extins la infinit.
2. Stelele sunt distribuite mai mult sau mai puțin uniform în Univers.
3. Toate stelele au, în medie, o luminozitate asemănătoare de-a lungul Universului.

Priviți Universul de pe Pământ. Să presupunem un prim strat de stele pe cer, la o distanță R_1 . Numărul de stele conținute va fi N_1 . Să presupunem un al doilea strat de stele la o distanță mai mare, R_2 . Fiecare stea va fi iluminată mai puțin, deși stratul este mai mare și este alcătuit din mai multe stele, conform principiului nr. 2 și contracarează lumina mai slabă (intensitatea luminii descrește proporțional cu $1/R^2$, și aria stratului, și astfel și numărul stelelor crește cu R^2). Concluzia este că al doilea strat iluminează Pământul la fel de mult ca și primul. Dar, conform principiului Nr. 1, există un infinit număr de straturi, astfel că cerul ar trebui să pară luminos noaptea.

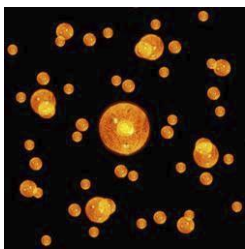
Un alt fel de a vedea lucrurile: dacă observăm cerul nopții, unde sunt nenumărate stele, ochiul nostru ar trebui să vadă tot timpul suprafața unei stele, și astfel un punct luminos acolo. Iar dacă asta se întâmplă pe tot cerul, acesta ar trebui să apară strălucitor în totalitate.

Evident, asta nu este adevărat. Acest paradox al lui Olbers a cauzat foarte multe controverse și nu a putut fi clarificat până la începutul secolului XX cu ajutorul teoriei Big Bang-ului. Argumentul în sine este corect, dar eșuează în principiile sale. Într-adevăr, cu expansiunea universului, lumina provenită de la stele îndepărtate apare mai deplasată spre roșu cu cât

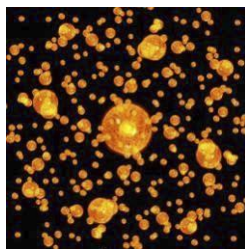
acestea sunt mai departe. Asta implică o descreștere a intensității radiației, astfel principiul Nr. 3 nu este corect. De asemenea, știm că, cu cât o stea este mai îndepărtată, cu atât de mai mult timp a pornit lumina de la ea, deci o vedem cum era ea cu mult timp în urmă. Stelele cele mai îndepărtate s-au format la scurt timp după Big Bang, dar nu putem observa mai mult de atât deoarece nu există un număr infinit de straturi de stele - principiul Nr.1 este de asemenea fals.

În secolul XX soluția la paradoxul lui Olbers a putut fi găsită odată cu înțelegerea expansiunii universului și, în special, cu înțelegerea faptului că vârsta universului nu este infinită.

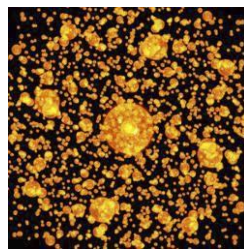
Din fericire noaptea poate fi întuneric !



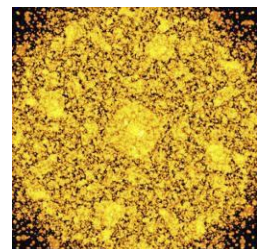
Lumina provenită de la stelele apropiate.



Există și stele mai îndepărtate care ne trimit lumină.



Mai departe, mai multe stele.



Din orice punct al cerului ar trebui să vină lumina unei stele.

Fig. 17: De wikimedia commons

Lentile gravitaționale

Lumina parcurge distanța dintre două puncte urmând întotdeauna calea cea mai scurtă. Dacă intervine un corp (sau o masă) în calea luminii, spațiul se curbează iar calea cea mai scurtă va fi o curbă (figura 18a). Această idee poate fi reprezentată destul de ușor folosind un glob pământesc (figura 18c). Pentru elevi va fi foarte ușor să observe că drumul cel mai scurt între două puncte de pe suprafața Pământului este întotdeauna o linie curbă.



Fig. 18a și 18b: Dacă spațiul e curbat, cea mai scurtă distanță între două puncte este o linie curbă



Fig. 18c: Cea mai scurtă distanță între două puncte de pe suprafața Pământului nu e o linie dreaptă.

În general, ne putem imagina o lentilă gravitațională ca fiind o lentilă normală pentru care, însă, deviarea luminii este produsă de o masă mare aflată în calea unei de lumină, numită deflector (figura 19a).

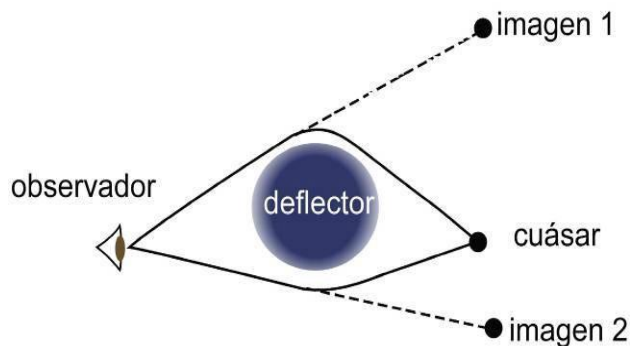


Fig. 19a: Observatorul vede două imagini deoarece lumina pare a veni din două surse diferite.

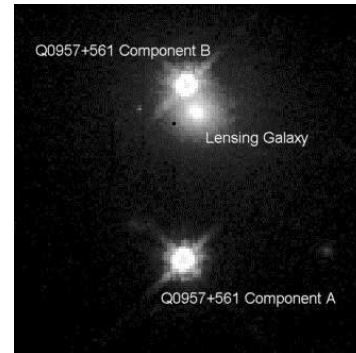


Fig. 19b: Imaginea quasar-ului dublu Q0957+561. Deflectorul este galaxia apropiată de companionul B.

Lentilele gravitaționale produc o curbare a razelor de lumină emise de un obiect astronomic. Dacă acest obiect este considerat ca fiind o sursă punctiformă (stea sau quasar), va apărea ca fiind deviat de la poziția reală, uneori putând fi observate și imagini multiple ale aceluiași obiect (figura 19b). Dacă emitentul are un diametru considerabil (galaxie), imaginea sa apare ca fiind un arc luminos (figura 20a, 20b și 20c).

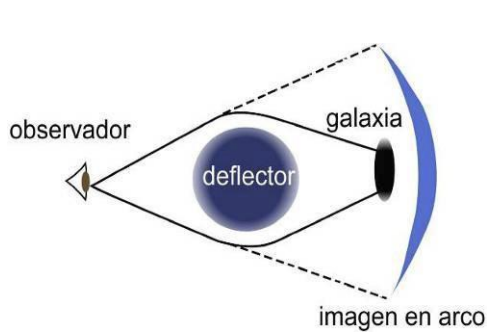


Fig. 20a: în cazul în care sursa este un obiect extins (galaxie), imaginile obținute sunt un set de arcuri strălucitoare sau un inel.



Fig. 20b: Arcuri luminoase gigant formate de roiul de galaxii Abell 2218



Fig. 20c: Inelul strălucitor al unei galaxii aflate în spatele unui deflector

Activitatea 8: Simularea lentilelor gravitaționale cu ajutorul unui pahar de vin.

Lentilele gravitaționale se pot simula folosind un pahar de vin. Acesta ajută elevii să observe în ce mod se pot obține imagini distorsionate. Este ușor de observat cum această simulare conduce la noțiunea de “distorsiune a spațiului”. Se așează paharul cu vin alb (sau suc de mere) pe o hârtie milimetrică, observându-se distorsiunea liniaturii hârtiei, privită prin paharul cu vin (figura 21a și 21b).



Fig. 21a și 21b: Distorsiunea liniaturii hârtiei se observă doar în cazul în care paharul este plin.

Pentru a simula Inelul lui Einstein sau imaginile multiple, se folosește o lanternă poziționată în spatele unui pahar plin cu vin roșu (sau suc). Se urmărește fasciculul de lumină provenit de la lanternă prin pahar, din diferite poziții: de la stânga la dreapta și de sus în jos. Se poate observa cum lumina, trecând prin paharul plin, ce acționează ca o lentilă ce modifică traiectoria razei de lumină, produce imagini repetate sau diverse forme arcuite (figura 22a, 22b și 22c).



Fig. 22a: Raza de lumină este distorsionată în formă de arc, între două puncte roșii strălucitoare, Fig. 22b: ca un dreptunghi amorf, Fig. 22c: crucea lui Einstein

Lentilele gravitaționale pot fi simulate și cu ajutorul piciorului unui pahar de vin. Dacă se așează paharul de vin pe o hârtie liniată, privind prin piciorul paharului se pot observa distorsiunile apărute în liniatura hârtiei (figura 23).

Mișcând piciorul paharului încet, de la dreapta la stânga, deasupra unui obiect (ex. un cerc roșu cu un diametru de aproximativ 3 cm), se pot reproduce formele observate prin lentilele gravitaționale (figura 24a, 24b și 24c).

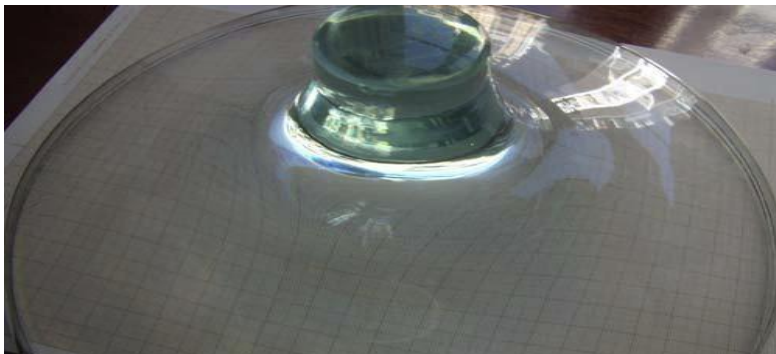


Fig. 23: Deformarea grilei



Fig. 24a, 24b și 24c: Cu ajutorul unui picior al unui pahar de vin se pot simula diferite forme obținute prin lentilele gravitaționale: arcuri de cerc, puncte, inelele lui Einstein

Bibliografie

- Moreno, R. Experimentos para todas las edades. Ed. Rialp., Madrid. 2008.
- Moreno, R. Taller de Astrofísica. Cuadernos ApEA. Antares, Barcelona. 2007.
- Moreno, R. Historia Breve del Universo. Ed. Rialp., Madrid. 1998.
- Moreno, A, Moreno, R. Taller de Astronomía. Ediciones AKAL, Madrid. 1996.
- Riaza, E, Moreno, R . Historia del comienzo: George Lemaître, padre del Big Bang. Ediciones Encuentro, Madrid, 2010.

Resurse pe Internet

- <http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>
- <http://www.dsi.uni-stuttgart.de>
- <http://georgeslemaitre.blogspot.com/>