

14 pași spre Univers

Curs de astronomie pentru profesorii de științe

Rețeaua de educație astronomică în școli NASE

Uniunea Astronomică Internațională UAI

Editori: Rosa M. Ros și Magda Stavinschi



Prima ediție: august 2014

©: NASE 2014

©: Francis Berthomieu, Alexandre da Costa, Susana Deustua, Julieta Fierro, Beatriz García, Mary Kay Hemmenway, Ricardo Moreno, Jay M. Pasachoff, John Percy, Rosa M. Ros, Magda Stavinschi, 2012 por el texto

Editori: Rosa M. Ros & Magda Stavinschi

Grafica: Maria Vidal

Imprimat în UE

ISBN: 978-84-940453-0-1

Imprime: Antares



Cuprins

Introducere	5
Evoluția stelelor	6
Cosmologie	16
Istoria astronomiei	22
Sistemul Solar	32
Orizontul local și ceasurile solare	46
Simulatoarele mișcării aparente	56
Sistemul Pământ – Lună – Soare: Faze și eclipse	70
Cutia micului astronom	78
Spectrul solar și petele solare	90
Viața stelelor	100
Astronomia dincolo de vizibil	110
Expansiunea Universului	120
Planete și exoplanete	132
Pregătirea pentru observare	146

Introducere

Pentru a crește prezența astronomiei în școli este esențial să educi profesorii. Principalul scop al NASE este dezvoltarea profesională a profesorilor de înalt nivel din toate țările, profesori care sunt interesați în predarea astronomiei elevilor de diferite vârste prin introducerea noțiunilor astronomiei în diferite domenii curriculare sau prin trezirea interesului elevilor pentru științe prin studiul universului.

Aceste cursuri sunt structurate în 14 secțiuni, incluzând conferințe și workshopuri și constituie un început pentru profesorii ce doresc să predea astronomia. Aceste 14 trepte care duc spre înțelegerea Universului, așa cum au fost compilate în această publicație, reprezintă munca unui număr de astronomi profesioniști și profesori care au dezvoltat cursurile pe parcursul mai multor ani, așa cum apare și pe website-ul NASE.

Trebuie remarcat că toate activitățile propuse sunt activ participative, presupun observarea și chiar construirea de modele pentru a înțelege mai bine conținutul științific. Toate școlile au o curte; se propune ca această curte să devină "laborator de astronomie", cu scopu de a folosi pentru observațiile astronomice și de a transforma elevii în principalii actori în demersul propriului proces de învățare.

Mulțumim tuturor autorilor pentru ajutorul acordat în pregătirea materialelor. De asemenea este de notat ajutorul substanțial primit pentru traducerea acestei cărți în engleză și română, revizuirea figurilor și graficelor din partea: Ligia Areas, Barbara Castanheira, Lara Eakins, Jaime Fabregat, Keely Finkelstein, Irina Marinova, Néstor Marinozzi, Erin Mentuch Cooper, Isa Oliveira, Cristina Padilla, Silvina Pérez Álvarez, Claudia Romagnolli, Colette Salyk, Viviana Sebben, Oriol Serrano, Rubén Trillo, Sarah Tuttle, Luminița Chicinaș, Paula Chiș, Mircea Georgescu, Gina Marcu, Cătălina Anca Marian și Corina Toma

Invităm cititorul să consulte website-ul NASE pentru a afla mai multe despre cursurile derulate până în prezent, precum și despre activitățile și noile cursuri rezultate în urma formării grupurilor de lucru locale.

Programul nu furnizează numai formarea inițială ci presupune ca grupul local să organizeze alte grupe de lucru cu profesorii interesați pentru a continua munca, a crea noi materiale și noi activități, care să devină disponibile pe platforma web.

Pe internet puteți găsi multe materiale suplimentare, care oferă o gamă largă de posibilități profesorului ce a urmat cursurile NASE, pentru a-și completa cunoștințele și îmbunătăți activitățile.

Considerăm că citatul următor, atribuit lui Confucius (551 – 479 î.e.n.), se potrivește perfect proiectului nostru și obiectivelor lui:

Aud și uit,
Văd și îmi amintesc,
Fac și înțeleg.

Principalul obiectiv al NASE este de a aduce astronomia tuturor, de a permite fiecăruia să o înțeleagă și să se bucure de procesul de asimilare de noi cunoștințe.

Evoluția stelelor

John Percy

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Toronto (Canada)

Rezumat

Acest articol conține informații utile pentru profesorii de fizică, privind studiul stelelor și evoluția lor. De asemenea, conține link-uri utile pentru curriculumul tipic școlar și sugerează activități relevante pentru elevi

Obiective

- Înțelegerea evoluției stelare și a proceselor care determină această evoluție
- Înțelegerea diagramei Hertzsprung-Russell
- Înțelegerea sistemului de magnitudini absolute și aparente

Introducere

Evoluția stelară înseamnă studiul modificărilor apărute la nivelul stelelor, începând cu nașterea acestora, continuând apoi cu îndelungata lor viață până la moarte, de la „forțele” gravitaționale ale stelelor la energia radiantă. Pentru a compensa această pierdere de energie, stelele produc energie prin procesele de fuziune nucleară ale unor elemente ușoare în altele mai grele. Acest fenomen schimbă încet compoziția chimică a stelelor și implicit și celelalte proprietăți ale acestora. În final, ele nu vor mai avea combustibil nuclear și astfel vor muri. Studiul naturii și evoluției stelelor ne ajută să înțelegem și să apreciem natura și evoluția Soarelui nostru – astrul care face posibilă existența vieții pe Pământ. Ne ajută să înțelegem originea sistemului nostru solar, a atomilor și a moleculelor din care este format totul, inclusiv materia vie. Ne ajută să răspundem la întrebări fundamentale ca aceasta: „sunt alte stele capabile să producă destulă energie, să trăiască și să rămână stabile suficient de mult timp, astfel încât să fie posibilă apariția și dezvoltarea vieții pe planetele din jurul lor?”. Pentru acestea și multe alte motive, evoluția stelelor este un subiect interesant pentru elevi.

Proprietățile Soarelui și ale Stelelor

Primul pas în înțelegerea originii și evoluției Soarelui și ale stelelor este înțelegerea proprietăților lor. Elevii ar trebui să înțeleagă modul în care sunt determinate aceste proprietăți. Soarele este cea mai apropiată stea. Discuții legate de Soare sunt realizate în alte părți ale acestui curs. În acest articol, tratăm Soarele din punct de vedere al evoluției stelelor. Elevii ar trebui să înțeleagă

proprietățile și structura, precum și sursa de energie a Soarelui, deoarece aceleași principii permit astronomilor să determine structura și evoluția tuturor stelelor.

Soarele

Comparativ cu alte stele, determinarea proprietăților de bază ale Soarelui este un proces relativ ușor. Distanța medie dintre Pământ și Soare este de 1,495978715 x 10¹¹ m; numim aceasta o unitate astronomică - UA. Raza unghiulară a Soarelui de 959,63 arcsec poate fi transformată, prin calcule de geometrie, într-o rază liniară de 6,96265 x 10⁸ m sau 696265 km. Fluxul solar observat pe Pământ de 1370 W/m² poate fi transformat într-o putere totală de 3,85 x 10²⁶ W.

Masa Soarelui poate fi determinată din forța gravitațională exercitată asupra planetelor, prin utilizarea legilor de mișcare și gravitaționale ale lui Newton, rezultând 1,9891 x 10³⁰ kg. Temperatura la suprafața radiativă – stratul de unde provine lumina – este de 5780 K. Perioada de rotație este de aproximativ 25 de zile, dar variază în funcție de latitudinea punctului considerat pe Soare. Este aproape perfect rotund și este compus în principal din hidrogen și heliu. La activitatea 2, elevii vor observa Soarele, cea mai apropiată stea, pentru a vedea cum arată o stea.

Stelele

Cea mai evidentă proprietate a unei stele este strălucirea sa aparentă. Aceasta se măsoară prin magnitudine, care este o măsură logaritmică a fluxului de energie pe care-l primim de la stea.

Scala de magnitudine a fost dezvoltată de astronomul grec Hiparh (cca. 190-120 î.Hr.). Acesta a clasificat magnitudinea stelelor de la 1 la 5. Stelele cu o strălucire mai mică au magnitudine mai mare pozitivă. Mai târziu s-a constatat că simțurile umane reacționează logaritmice față de stimuli, astfel a fost introdus un raport de strălucire de 2,512, ce corespunde unei diferențe de 1,0 în magnitudine. Cea mai strălucitoare stea pe cer în timpul nopții are magnitudinea de -1,44. Cea mai slab vizibilă stea cu cel mai puternic telescop are magnitudinea de aproximativ 30.

Strălucirea aparentă B a unei stele depinde de puterea ei

P și de distanța D la care se află. Conform legii pătratului invers al strălucirii, aceasta este direct proporțională cu puterea și invers proporțională cu pătratul distanței: $B \propto P/D^2$. Pentru stelele apropiate, distanța poate să fie măsurată cu paralaxa. La Activitatea 1, elevii pot să facă o demonstrație pentru a ilustra paralaxa și a arăta că aceasta este invers proporțională cu distanța la obiectul observat. Puterea stelelor poate să fie apoi calculată utilizând legea pătratului invers al strălucirii și datele măsurate de strălucire și distanță.

Stele diferite prezintă culori puțin diferite. Acest lucru poate fi studiat foarte ușor prin observarea stelelor Rigel (Beta Orionis) și Betelgeuse (Alpha Orionis) din constelația Orion (figura 1). La activitatea 3, elevii pot să observe stelele în timpul nopții și să admire frumusețea cerului real. Culorile lor diferite se datorează temperaturilor diferite ale straturilor radiante ale stelelor. Stelele mai reci apar roșiatice, iar cele mai calde apar albastrii. (Acesta este contrar culorilor care apar pe robinetele de apă caldă și rece de la baie!) Datorită modului în care ochiul răspunde la culori, o stea roșie apare roșu-deschis, iar o stea albastră apare albastru-deschis. Culoarea poate să fie determinată precis cu ajutorul unui fotometru cu filtre de diferite culori și apoi se poate determina temperatura stelei analizate.



Fig. 1: Constelația Orion. Betelgeuse, steaua din colțul din stânga sus, este rece și astfel apare roșiatică. Deneb, din partea dreaptă jos, este fierbinte și apare albastruie. Nebuloasa Orion se poate observa sub cele trei stele din partea centrală

Temperatura unei stele se poate determina și cu ajutorul spectrului său – distribuția culorilor sau al lungimilor de undă a luminii stelei (figura 2). Această figură ilustrează frumusețea culorilor luminii stelelor. Această lumină a trecut prin atmosfera exterioară a stelei și de aceea ionii, atomii și moleculele din atmosferă îndepărtează anumite lungimi de undă din spectru. Astfel apar liniile negre sau lipsa unor culori din spectru (figura 2). În funcție de temperatura atmosferei, atomii pot fi ionizați, excitați sau se pot combina în molecule. Observarea stării atomilor din spectru oferă astfel informații legate de temperatură.

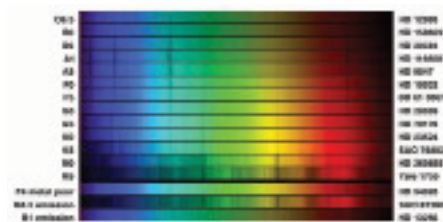


Fig. 2: Spectrul unor stele, de la cele mai fierbinți (O6.5-sus) la cele mai reci (M5 - a patra de jos). Diferitele aspecte ale spectrelor se datorează diferitelor temperaturi ale stelelor. Ultimele trei spectre aparțin unor stele cu comportament aparte. Sursa: National Optical Astronomy Observatory.

Acum un secol, astronomii au descoperit o relație importantă între puterea unei stele și temperatura sa: pentru majoritatea stelelor (dar nu pentru toate), puterea este mai mare pentru stelele cu o temperatură mai ridicată. Mai târziu s-a constatat că factorul care controlează această relație este masa stelei: stelele mai masive au putere mai mare și sunt mai fierbinți. Graficul dependenței putere-temperatură poartă numele de diagramă Hertzsprung-Russell (figura 3). Este foarte important ca elevii să creeze grafice și să le interpreteze.

Un obiectiv principal în astronomie este determinarea

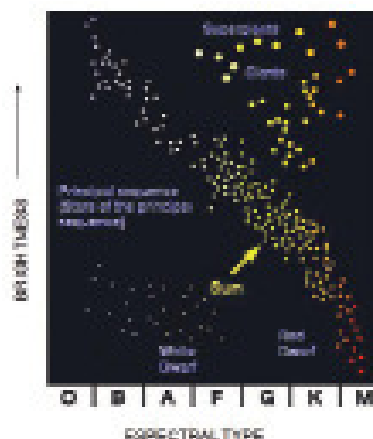


Fig. 3: Diagrama Hertzsprung-Russell, un grafic al puterii sau a luminozității stelare în funcție de temperatură. Din motive istorice, temperatura crește spre stânga. Literelor OBAFGKM sunt tipuri spectrale descriptive care sunt legate de temperatură. Liniile diagonale reprezintă raza stelelor; stelele mari (gigante sau super gigante) sunt în partea dreaptă de sus, iar cele mici (pitice) sunt în partea de jos spre stânga. De remarcat secvența principală din partea dreaptă jos spre stânga sus. Majoritatea stelelor se găsesc în această regiune. Este prezentată masa majorității stelelor din secvența principală. De asemenea, este redată și locația unor stele bine cunoscute. Sursă: University of California Berkeley

puterii stelelor de diferite tipuri. Astfel, dacă se observă un anumit tip de stea în altă parte a Universului, astronomii pot să utilizeze strălucirea ei măsurată B și puterea corespunzătoare P pentru a determina distanța D din legea pătratului invers al strălucirii: P/D^2 .

Spectrele stelelor (și ale nebuloaselor) dezvăluie, de asemenea, informații legate de compoziția stelelor: curba de abundență cosmică (figura 4). Stelele sunt compuse din 3/4 hidrogen, 1/4 heliu și 2% elemente grele, în mare parte carbon, azot și oxigen.

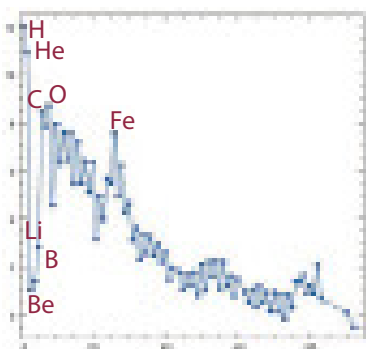


Fig. 4: Abundența elementelor din Soare și stele. Cele mai abundente sunt hidrogenul și heliul. Litiul, beriliul și borul sunt în concentrații foarte mici. Carbonul, azotul și oxigenul sunt abundente. Prezența altor elemente descrește odată cu creșterea numărului atomic. Hidrogenul este de 10^{12} ori mai abundent decât uraniul. Elementele cu același număr par de protoni sunt mai abundente decât cele cu număr impar de protoni. Elementele mai ușoare decât fierul sunt produse prin fuziune nucleară, în timp ce cele mai grele rezultă din captura neutronilor în exploziile supernovei. Sursă: NASA.

Aproximativ jumătate din stelele din vecinătatea Soarelui sunt binare sau duble – două stele ce orbitează fiecare în jurul celeilalte. Stelele duble sunt importante deoarece permit astronomilor să calculeze masa stelelor. Masa unei stele se poate determina prin observarea mișcării celeilalte și invers. Sirius, Procyon și Capella sunt exemple de stele duble. Există de asemenea și stele multiple: trei sau mai multe stele care orbitează unele în jurul altora. Alpha Centauri, cea mai apropiată stea de Soare, este o stea triplă. Epsilon Lyrae este o stea cvadruplă.

După cum am menționat mai sus, există o relație importantă între puterea unei stele și masa acesteia: puterea este aproximativ proporțională cu masa stelei la puterea a treia. Aceasta poartă numele de relația masă-luminozitate.

Masa stelelor variază între 0,1 și 100 de ori față de masa Soarelui. Puterea variază de la aproximativ 0,0001 la 1.000.000 de ori față de puterea Soarelui. Cele mai

fierbinți stele obișnuite au aproximativ 50.000 K, iar cele mai reci aproximativ 2.000 K. Când astronomii studiază stelele pot observa că Soarele este mult mai masiv și are putere mai mare decât 95% dintre toate stelele din vecinătate. Stelele masive și cu putere mare sunt foarte rare. Soarele nu este o stea medie. Este peste medie!

Structura Soarelui și a stelelor

Structura Soarelui și a stelelor este determinată în primul rând de gravitație. Gravitația este cea care menține Soarele fluid într-o formă aproape perfect sferică. În interiorul Soarelui presiunea crește datorită greutateii straturilor gazoase de la suprafață. Conform legilor gazelor, care sunt aplicabile în cazul unui gaz perfect, densitatea și temperatura sunt de asemenea mai mari în cazul în care presiunea este mai mare. Dacă straturile mai adânci sunt mai fierbinți, căldura va migra spre exterior, deoarece căldura migrează întotdeauna de la cald spre rece. Aceasta se poate realiza fie prin radiație, fie prin convecție.

În cazul în care căldura migrează spre exteriorul Soarelui, atunci straturile mai adânci se vor răci și gravitația ar putea determina contracția Soarelui. Din cauza energiei produse în centrul Soarelui acesta nu se contractă, ci este ținut la același volum de presiunea radiației creată prin procesul de fuziune termonucleară, descris mai jos.

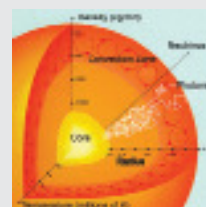


Fig. 5: O secțiune transversală prin Soare, rezultată din modele fizice. În zona de la suprafață, energia este transportată prin convecție; sub aceasta este transportată de radiație. Energia este produsă în miezul Soarelui. Sursă: Institute of Theoretical Physics, University of Oslo.

Aceste patru principii simple se aplică la toate stelele. Se pot exprima ca ecuații și rezolvate la calculator. Ele oferă un model al Soarelui sau al oricărei stele: presiune, densitate și flux de energie în orice poziție față de miezul stelei. Aceasta e metoda de bază prin care astronomii învață despre structura și evoluția stelelor. Modelul este construit pentru o anumită valoare a masei și o anumită compoziție a stelei; și pornind de la aceasta, astronomii pot să prevadă raza stelei, puterea acesteia, precum și alte proprietăți observabile (figura 5).

Recent, astronomii au dezvoltat o metodă puternică de

testare a modelelor privind structura Soarelui și a stelelor – helioseismologia sau, pentru stele, astroseismologia. Soarele și stelele vibrează ușor și în mii de moduri diferite. Aceste vibrații pot fi observate cu instrumente sensibile și comparate cu proprietățile vibrațiilor care sunt prezise de modele.

Sursa de energie a Soarelui și a stelelor

Una din întrebările cercetătorilor, de mai multe secole, este legată de sursa de energie a Soarelui și a stelelor. Cea mai evidentă sursă de energie este reprezentată de arderea chimică a combustibililor, cum ar fi uleiuri sau gaze naturale dar, datorită puterii extrem de ridicate a Soarelui (4×10^{26} W), astfel de surse de energie ar putea să se epuizeze în câteva mii de ani. Până acum câteva decenii, oamenii credeau că vârsta Pământului și a Universului este de doar câteva mii de ani datorită scrierilor din Biblie!

După cercetările efectuate de Isaac Newton, care a emis Legea atracției universale, oamenii de știință au realizat că Soarele și stelele ar putea să genereze energie prin contracția înceată. Energia (potențială) gravitațională ar putea să fie convertită în căldură și radiație. Această sursă de energie ar putea să dureze câteva zeci de milioane de ani. Cu toate acestea, dovezile geologice sugerează că Pământul, și prin urmare Soarele, au o vârstă mult mai mare. La sfârșitul secolului al 19-lea, cercetătorii au descoperit radioactivitatea și fisiunea nucleară. Elementele radioactive sunt însă foarte rare în Soare și stele și nu ar putea să asigure puterea acestora pentru miliarde de ani. În final, în secolul 20, cercetătorii și-au dat seama că elementele ușoare pot să fuzioneze în altele mai grele, proces numit fuziune nucleară. Dacă temperatura și densitatea sunt suficient de ridicate, aceste elemente ar putea produce o mare cantitate de energie – mai mult decât suficientă pentru Soare și stele. Elementul cu cea mai ridicată energie potențială de fuziune nucleară este hidrogenul, iar acesta este cel mai abundent element în Soare și în stele.

În stelele cu masă mică, cum este Soarele, fuziunea hidrogenului are loc în mai multe etape ce poartă numele de reacția în lanț p-p. Protonii fuzionează și formează deuteriul, alt neutron fuzionează cu deuteriul și generează heliu-3. Nucleele de heliu-3 fuzionează și formează heliu-4, izotopul normal al heliului (figura 6). În stelele masive, hidrogenul fuzionează și se formează heliul printr-o serie diferită de reacții ce poartă numele de ciclul CNO (ciclul carbon-azot-oxigen), în care carbonul-12 este utilizat drept catalizator (figura 7). Rezultatul final, în fiecare caz, este că prin fuzionarea a 4 nuclee de hidrogen rezultă un nucleu de heliu. O mică parte a masei nucleelor de hidrogen este convertită în energie (vezi Activitatea 9). În mod normal nucleele se resping

unul pe celălalt, datorită sarcinilor electrice pozitive. Fuziunea apare numai dacă între nuclee are loc o coliziune energetică (la temperaturi ridicate) și frecventă (densitate ridicată).

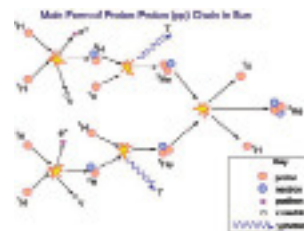


Fig. 6: Reacția în lanț proton-proton prin care rezultă heliu din fuziunea hidrogenului în Soare și alte stele cu masă mai mică. În această figură, precum și în următoarea, se observă că neutrinii (ν) sunt emiși în unele reacții. Energia este emisă sub forma de radiații gamma (radiații γ) și de energie cinetică a nucleelor. Sursă: Australia National Telescope Facility.

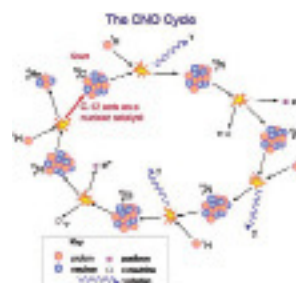


Fig. 7: Ciclul CNO, prin care hidrogenul fuzionează și generează heliu la nivelul stelelor mai mari decât Soarele. Carbonul-12 (marcat cu „start”) acționează drept catalizator, acesta participă la reacții fără a fi consumat. Sursă: Australia National Telescope Facility.

Dacă fuziunea nucleară este sursa puterii Soarelui, atunci reacțiile de fuziune ar trebui să ducă la generarea unui număr mare de particule subatomice numite neutrini. De obicei neutrinii trec prin materie fără a interacționa cu aceasta. Miliarde de neutrini trec prin organismul nostru în fiecare secundă. Numai puțini dintre aceștia pot să fie detectați în “observatoare de neutrini” speciale. Primele observații au detectat doar o treime din numărul preconizat de neutrini. Această „problemă a neutrinelor solari” a durat mai bine de 20 de ani, dar a fost în final soluționată de Observatorul Neutrinic Sudbury (SNO) din Canada (figura 8). Inima acestui observator este un rezervor imens de apă grea – apă în care unele nucleele de hidrogen sunt de deuteriu. Aceste nuclee absorb ocazional un neutrin și emit un flash de lumină. Există trei tipuri de neutrini. Două treimi dintre neutrinii de la Soare se modifică în alte tipuri. SNO este sensibil față de toate cele trei tipuri de neutrini și este capabil să detecteze toți neutrinii preziși de teorie.

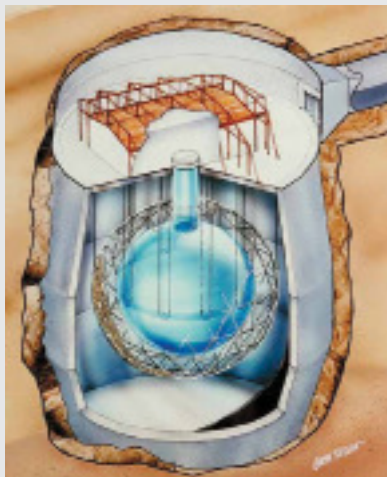


Fig. 8: Observatorul Neutrinic din Sudbury, unde cercetătorii au confirmat modelele de fuziune nucleară din Soare prin observarea fluxului prezis de neutrini. Inima observatorului este un rezervor imens de apă grea. Nucleul de deuteriu (vezi text) interacționează ocazional cu un neutrin pentru a produce un flash de lumină observabil. Sursă: Sudbury Neutrino Observatory.

Viața Soarelui și a stelelor

“Metoda științifică” este un concept fundamental în predarea științelor și de aceea vom începe cu explicarea modului în care astronomii înțeleg evoluția stelelor: prin utilizarea simulărilor pe calculator, bazate pe legile fizicii, după cum s-a descris mai sus;

- prin observarea stelelor de pe cer, care se află în diferite stadii de evoluție și plasarea lor într-o „secvență de evoluție” logică;
- prin observarea roiurilor de stele: grupuri de stele care s-au format din același nor de gaz și praf, în același timp, dar care au mase diferite. Există mii de roiuri de stele în Galaxia noastră, inclusiv 150 de roiuri globulare, care sunt cele mai vechi obiecte din galaxia noastră. Hyadele, Pleiadele și majoritatea stelelor din Ursa Mare sunt roiuri de stele care pot fi observate cu ochiul liber. Roiurile sunt „experimentele naturii”: grupuri de stele formate din același material, în același loc și în același timp. Aceste stele diferă numai în ceea ce privește masa. Deoarece diferite roiuri au vârste diferite, putem vedea cum o colecție de stele de diferite mase poate fi observată atunci când ajunge la diferite vârste după naștere;
- prin observarea directă a stadiilor rapide de evoluție; acestea vor fi foarte rare, deoarece reprezintă o scurtă etapă în viața stelelor;
- prin studierea modificărilor perioadelor stelelor variabile pulsatorii. Aceste modificări sunt mici, dar sunt observabile. Perioadele acestor stelelor depind de raza stelei. Odată cu modificarea razei pe parcursul evoluției, se modifică și perioada. Modificarea perioadei poate să fie măsurată prin observații sistematice și pe o perioadă

îndelungată a stelelor.

Prima metodă, cea de utilizare a simulărilor computerizate, este aceeași metodă prin care a fost determinată structura stelei. Odată cunoscută structura stelei, se cunoaște temperatura acesteia și densitatea în orice punct din stea, se poate calcula modul în care compoziția chimică se modifică în urma proceselor termonucleare apărute. Aceste modificări ale compoziției pot să fie încorporate în următorul model într-o secvență a evoluției.

Cele mai cunoscute stele variabile pulsante se numesc Cefeide, după steaua Delta Cephei care este un exemplu evident. Există o relație între perioada de variație a Cefeidei și puterea sa. Prin măsurarea perioadei, astronomii pot să determine puterea și implicit distanța, prin utilizarea legii pătratului-invers a strălucirii. Cefeidele reprezintă un instrument important pentru determinarea mărimii și a scalei temporale a Universului.

La activitatea 5, elevii vor observa diferite stele, prin proiecte de genul Citizen Sky. Aceasta le va permite dezvoltarea unor abilități matematice și științifice, în timp ce fac știință adevărată și probabil contribuie la cunoașterea astronomică.

Viața și moartea Soarelui și a stelelor

Procesul de fuziune a hidrogenului este foarte eficient. Asigură strălucirea stelelor pe toată durata vieții lor lungi. Reacțiile de fuziune sunt mai rapide în centrul stelei, unde temperatura și densitatea sunt mai ridicate. Astfel, steaua dezvoltă un miez de heliu care se extinde treptat spre exterior. În acest timp, miezul stelei devine mai fierbinte, prin contracție, astfel încât hidrogenul din jurul miezului de heliu este suficient de fierbinte pentru a fuziona. Acest proces duce la extinderea straturilor de la suprafața stelei – încet la început, și apoi mai rapid. Devine o stea gigantă roșie, de peste o sută de ori mai mare decât Soarele. În final, centrul de heliu devine suficient de fierbinte și astfel heliul fuzionează în carbon. Această fuziune echilibrează atracția gravitațională, dar nu pentru mult timp, deoarece fuziunea heliului nu este la fel de eficientă ca și cea a hidrogenului. În acest moment miezul de carbon se micșorează, devine mai fierbinte și straturile de la suprafață se extind și steaua devine o gigantă roșie și mai mare. Cele mai masive stele se extind la o dimensiune și mai mare, devin stele supergigante roșii.

O stea moare în momentul în care se termină combustibilul. Nu mai există o sursă de energie pentru a menține miezul fierbinte și pentru a genera suficientă presiune gazoasă care să împiedice forța gravitațională să contracte steaua. Modul în care moare o stea depinde de

masa ei.

Durata de viață a unei stele depinde de asemenea de masa ei: stelele mai mici au o strălucire mai mică și o durată de viață mai mare – zeci de miliarde de ani. Stelele mai mari au o strălucire mai mare și un timp de viață mai scurt – milioane de ani. Majoritatea stelelor sunt cele cu mase mici și viața lor depășește vârsta actuală a universului.

Înainte ca o stea să moară, aceasta pierde din masă. În timp ce consumă ultima parte de hidrogen, apoi cea de heliu, steaua se transformă într-o stea gigantă roșie, cu o rază de peste o sută de ori mai mare și cu un volum de peste de un miliard de ori mai mare decât ale Soarelui. La Activitatea 4, elevii vor putea să facă o scală-model, pentru a vizualiza modificările imense ale dimensiunii unei stele pe parcursul evoluției sale. Forța gravitațională în straturile de la suprafața unei stele roșii gigante sunt reduse. De asemenea, steaua devine instabilă în pulsație, cu expansiune și contracție ritmică. Datorită dimensiunii mari a unei stele gigante roșii, este nevoie de luni până la ani pentru fiecare ciclu de pulsație. Aceasta va duce la pierderea straturilor de la suprafață în spațiu, formând o frumoasă nebuloasă planetară ce se extinde încet în jurul stelei aflate în agonie (figura 9). Gazele din nebuloasa planetară sunt fluorescente datorită razelor ultraviolete emise de miezul fierbinte al stelei. În cele din urmă, acestea se vor depărta de stea și se vor alătura altor gaze și prafului interstelar pentru a forma nebuloase noi, din care se vor naște noi stele.

Viața stelelor masive este ușor diferită de cea a stelelor cu masă mai mică. În stelele cu masă mai mică, energia este transportată spre exterior prin radiație. În miezul stelelor mai mari, energia este transportată prin convecție, astfel miezul este complet amestecat. În timp ce ultimul nucleu de hidrogen este consumat în

miez, steaua se transformă rapid într-o gigantă roșie. În cazul stelelor cu masă mai mică, tranziția este mai lentă.

Stelele trebuie să aibă o masă de 0,08 mai mare decât a Soarelui. În sens contrar, ele nu vor avea miezul suficient de fierbinte și dens pentru a duce la fuzionarea hidrogenului. Cele mai masive stele au masele de o sută de ori mai mare decât masa Soarelui. Stelele de dimensiuni și mai mari ar fi așa de puternice, încât radiația proprie ar opri formarea lor sau menținerea într-o stare stabilă.

Stele obișnuite: stele cu masă mică

În stelele cu o masă inițială mai mică decât de 8 ori cea a Soarelui, pierderea masei va duce la micșorarea miezului la mai puțin de 1,4 ori masa Soarelui. Acest tip de miez nu are combustibil termonuclear. Acțiunea forțelor gravitaționale spre interior este balansată de presiunea spre exterior a electronilor. Aceștia rezistă oricărei alte contracții datorită Principiului de Excluziune al lui Pauli – o lege a fizicii cuantice care afirmă că există o limită a numărului de electroni care pot fi într-un anumit volum. Acest miez poartă numele de pitică albă. Acest tip de stele au o masă mai mică decât 1,44 mase solare. Aceasta poartă numele de limită Chandrasekhar. Astronomul indiano-american Subrahmanyan Chandrasekhar, laureat al Premiului Nobel, a arătat că dacă o pitică albă este mai mare decât această limită atunci ea se va prăbuși sub propria greutate.

Piticele albe reprezintă punctul final normal în evoluția unei stele. Sunt foarte comune în Galaxia noastră, dar sunt foarte greu de observat. Ele nu sunt mai mari decât Pământul și cu toate că sunt fierbinți, au o suprafață mică de radiație. Puterea radiantă a acestora este de mii de ori mai mică decât cea a Soarelui. Piticele albe emit radiații numai datorită faptului că sunt fierbinți și se răcesc încet, odată cu pierderea energiei. Astfel de stele orbitează în jurul unor stele strălucitoare, precum Sirius și Procyon. Piticele albe nu au o altă sursă de energie în afară de căldura înmagazinată. Ele sunt ca tăciunii de cărbune aprinși, care se răcesc într-un șemineu. După miliarde de ani se vor răci complet și vor deveni întunecate și reci.

Stele rare: stelele masive

Stelele masive sunt fierbinți și cu o mare putere radiativă, însă sunt foarte rare. Au o viață scurtă, de câteva milioane de ani. Miezul acestora este suficient de fierbinte și de dens pentru ca elementele să fuzioneze până la fier. Miezul de fier format nu are suficientă energie nici pentru fuziune nici pentru fisiune. Nu există o sursă de energie care să mențină miezul fierbinte, astfel încât să reziste forțelor gravitaționale. Aceste forțe vor duce la colapsul miezului stelei într-o secundă, transformându-l într-o sferă de neutroni (sau chiar materie stranie), eli-



Fig. 9: Nebuloasa Helix, o nebuloasă planetară. Gazele din nebuloasă au fost eliminate din stea în faza de evoluție de gigantă roșie. Miezul stelei este o pitică albă fierbinte și se poate observa foarte greu în centrul nebuloasei. Sursă: NASA.

berând astfel cantități imense de energie gravitațională. Ca urmare straturile exterioare ale steii explodează sub formă de supernovă (figura 10). Aceste straturi sunt ejectate cu viteze de până la 10.000 km/sec.

O supernovă, la strălucire maximă, poate să fie la fel de luminoasă ca și o galaxie cu sute de miliarde de stele. Atât Tycho Brahe, cât și Johannes Kepler au observat și studiat supernove strălucitoare în 1572, respectiv 1604. Conform lui Aristotel, stelele au fost perfecte și nu s-au schimbat; Brahe și Kepler au demonstrat contrariul. În Galaxia noastră, Calea Lactee, nu a fost observată o supernovă de mai bine de 400 de ani. O supernovă vizibilă cu ochiul liber a fost observată în 1987 în Marele Nor al lui Magellan, o mică galaxie satelit a Galaxiei noastre.



Fig. 10: Nebuloasa Crabului, rămășițele unei explozii a unei supernove, care a fost observată de astronomi în Asia 1054 d. Hr. Miezul steii care a explodat este un pulsar, sau o stea neutronică care se rotește cu o viteză mare, în interiorul nebuloasei. O mică parte a energiei de rotație este transmisă nebuloasei, făcând-o să strălucească. Sursă: NASA.

Masa miezului unei supernove depășește limita Chandrasekhar. Protonii și electronii din miezul care colapsează fuzionează și generează neutroni și neutrini. Explozia neutrinilor poate să fie observată de un observator neutrinic. Atâta timp cât masa miezului este de trei ori mai mică decât masa Soarelui, supernova va fi stabilă. Forțele gravitaționale interioare sunt compensate de presiunea externă a neutronilor. Acest obiect poartă numele de stea neutronică. Diametrul său este de aproximativ 10 km, iar densitatea sa este de mai mult de 10^{14} ori densitatea apei. Poate să fie văzută cu ajutorul telescoapelor cu raze X în cazul în care este încă foarte fierbinte, însă stelele neutronice au fost descoperite într-un mod neașteptat – ca surse de impulsuri de unde radio, numite pulsari. Perioada de pulsație a acestora este de aproximativ o secundă, uneori chiar mult mai puțin. Radiațiile sunt produse de câmpul magnetic puternic al stelelor neutronice, iar pulsațiile apar datorită rotației rapide a steii.

Există al doilea tip de supernovă ce se întâlnește în sistemele binare în care o stea a murit și a devenit o pitică albă. Când a doua stea începe să se extindă, poate să

emită gaze spre pitica albă. Dacă masa piticei albe devine mai mare decât limita Chandrasekhar, atunci se produce o "deflagrație": materia fuzionează aproape instantaneu în carbon, eliberând energie suficientă pentru a distruge steaua.

În explozia unei supernove, toate elementele chimice care s-au format în urma reacțiilor de fuziune sunt trimise în spațiu. Elementele mai grele decât fierul sunt produse, în cantități mici, în timpul acestui tip de explozie, în timp ce neutronii fuzionează în nucleele elementelor mai ușoare majoritare.

Stele foarte rare: stele foarte masive

Stelele foarte masive sunt foarte rare – o stea dintr-un miliard. Au o putere de până la un milion de ori mai mare decât a Soarelui și trăiesc foarte puțin. Sunt așa de masive, încât atunci când rămân fără energie și miezul lor colapsează, masa lor este de 3 ori mai mare decât a Soarelui. Gravitatea depășește presiunea exercitată de neutroni. Miezul continuă să colapseze până când este așa de dens încât forțele gravitaționale împiedică chiar și emiterea luminii. Astfel steaua devine o gaură neagră. Gaura neagră nu emite radiații, însă dacă este o stea normală în preajmă o determină să orbiteze în jurul ei. Observarea mișcării companionului permite astronomilor să detecteze găurile negre și să determine masa acestora. Mai mult: o mică cantitate de gaz de la steaua normală poate să fie atrasă spre gaura neagră și încălzită până ajunge să strălucească în domeniul X înainte să fie încorporată în gaura neagră (figura 11). Din acest motiv găurile negre pot fi descoperite cu ajutorul telescoapelor cu raze X.

Chiar în centrul multor galaxii, inclusiv al Galaxiei noastre, astronomii au descoperit găuri negre masive, de milioane sau miliarde de ori mai masive decât Soarele. Masa acestora este determinată prin intermediul efectelor exercitate asupra stelelor vizibile din vecinătatea lor. Găurile negre foarte masive s-au format în timpul procesului de naștere a galaxiilor, dar nu este încă clar cum anume. Unul din obiectivele astronomilor secolului 21 este să înțeleagă cum s-au format primele stele, galaxii și găuri negre masive, la scurt timp de la nașterea universului.

Stele variabile cataclismice

Aproximativ jumătate din toate stelele sunt stele binare, două sau mai multe stele ce orbitează reciproc. De cele mai multe ori, orbitele sunt foarte mari și cele două stele nu intervin una în evoluția celeilalte. Dar dacă orbita este mică, cele două stele pot să interacționeze, în special în cazul în care una devine o gigantă roșie.



Fig. 11: Viziunea unui artist asupra unui sistem binar Cygnus X-1, sursă de raze X. Aceasta constă dintr-o stea masivă normală (stânga) și o gaură neagră (dreapta), de 15 ori mai masivă decât Soarele, ce orbitează una în jurul celeilalte. O parte din gazele provenite de la steaua normală sunt atrase în așa numitul disc de acumulare din jurul găurii negre și în final vor fi încorporate în aceasta. Gazele sunt încălzite la o temperatură foarte mare, ceea ce duce la emiterea de raze X. Sursă: NASA.

Și atunci una din stele moare și devine o pitică albă, o stea neutronică sau o gaură neagră, evoluția stelei normale va fi influențată și va trimite materie către cea moartă și ca urmare se pot întâmpla lucruri interesante (figura 12). Sistemele binare variază în ceea ce privește strălucirea, din diverse motive și poartă denumirea de variabile cataclismice. După cum s-a prezentat anterior, o stea satelit de tip pitică albă poate să explodeze, generând o supernovă, dacă este transferată suficientă masă către aceasta. Dacă steaua normală a furnizat materie bogată în hidrogen către pitica albă, această materie poate să explodeze în urma procesului de fuziune a hidrogenului, generând o novă. Materia care migrează spre pitica albă, stea neutronică sau gaură neagră, poate să devină pur și simplu foarte fierbinte, pe măsură ce energia sa potențială gravitațională este transformată în căldură și să producă radiație de energie înaltă, precum razele X.

În viziunea artistică a unei găuri negre (figura 11), se poate vedea discul de acumulare al gazelor în jurul găurii negre și fluxul de gaze de la steaua normală, care este atras de gaura neagră.

Formarea (nașterea) Soarelui și a stelelor

Stelele se nasc acum! Deoarece majoritatea stelelor masive au o viață de numai câteva milioane de ani, și deoarece vârsta Universului este de mai bine de zece miliarde de ani, se presupune că aceste stele masive s-au format destul de recent. Localizarea acestora ar putea fi un indiciu: se găsesc în și lângă nori de gaz și praf ce poartă numele de nebuloase. Gazele sunt formate din ioni, atomi și molecule, în special hidrogen, cu urme de heliu și mici cantități de alte elemente grele. Praful constă în particule de silicat și grafit, cu dimensiuni mai mici de un micrometru. Praful este în cantități mai mici decât gazul, dar praful joacă roluri importante într-o nebuloasă. Permite formarea moleculelor prin protejarea acestora de radiațiile puternice de la stelele înveci-



Fig. 12: O stea variabilă cataclismică. Materia de la steaua normală (stânga) este atrasă spre pitica albă (dreapta). Formează discul de acumulare în jurul piticeii albe, ceea ce generează lumină. În cele din urmă materia este încorporată în pitica albă unde se poate aprinde sau poate să explodeze. Sursă: NASA.

nate. De asemenea, suprafața lui este un catalizator al formării moleculelor. Cea mai apropiată nebuloasă, de mari dimensiuni și strălucitoare, este Nebuloasa Orion (figura 13). Stelele fierbinți din nebuloasă determină ca atomii de gaz să fie fluorescenți. Praful este cald și emite radiații infraroșii. De asemenea, praful blochează lumina de la stelele și gazele din spatele său, ceea ce duce la apariția unor pete întunecate în nebuloasă.

Gravitația este o forță de atracție, de aceea nu este uimitor că anumite zone din nebuloasă se contractă încet. Aceasta se întâmplă dacă forța gravitațională este mai mare decât presiunea turbulenței din acea parte a norului. Primele stadii de contracție pot să fie ajutate de o undă de șoc de la o supernovă învecinată sau de presiunea radiațiilor de la o stea masivă din apropiere. Odată ce începe contracția, aceasta continuă. Aproximativ jumătate din energia eliberată din contracția gravitațională duce la încălzirea stelei. Cealaltă jumătate este emisă în spațiu. Când centrul stelei ajunge la o temperatură de 1.000.000 K, începe fuziunea termonucleară a deuteriului; când temperatura ajunge la valori mai ridicate, începe fuziunea termonucleară normală a hidrogenului. Când energia produsă este egală cu energia emisă, se consideră, în mod oficial, că a luat naștere o stea.

Când începe contracția gravitațională, materia prezintă o mică mișcare de rotație (moment cinetic) datorită turbulențelor din nor. Pe măsură ce contracția continuă, „conservarea momentului cinetic” determină accelerarea mișcării de rotație. Acest fenomen poate fi observat la patinaj, în momentul în care patinatorul dorește o creștere a vitezei de rotație în timpul piruetei și își apropie mâinile cât pot de mult de axa de rotație (corp). În timp ce crește mișcarea de rotație a stelei ce se contractă, forța centrifugă (după cum este numită popular, dar incorect) determină ca materia din jur să se aplatizeze într-un disc. Steaua se formează în centrul dens al discului. Planetele se formează efectiv în acest disc – planetele solide sunt aproape de stea iar cele ga-

zoase și înghețate spre exteriorul rece al discului.

În nebuloase, precum Nebuloasa Orion, astronomii au observat stele în toate stadiile de formare. Ei au observat discuri protoplanetare în care se formează planete precum a noastră. Începând din 1995, astronomii au descoperit exoplanetele sau planetele extra-solare – planete în jurul unor stele ca și Soarele. Aceasta este o dovadă incontestabilă că planetele sunt produse secundare ale procesului de formare a stelelor. Există posibilitatea ca în Univers să existe multe planete asemeni Pământului.

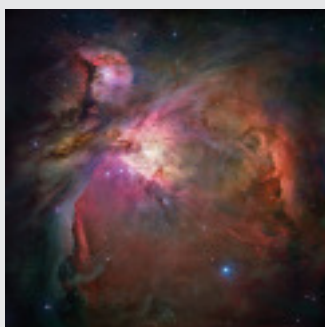


Fig. 13: Nebuloasa Orion, un nor mare de gaz și praf în care se formează stelele (și planetele sale). Gazul este fluorescent. Praful produce pete întunecate de absorbție, care se pot observa în partea sus stânga. Sursă: NASA.

Bibliografie

Bennett, Jetal., The Essential Cosmic Perspective, Addison-Wesley, 2005.

Kaler, J.B., The Cambridge Encyclopaedia of Stars, Cambridge University Press, 2006.

Percy, J.R., Understanding Variable Star, Cambridge University Press, 2007

Surse Internet

American Association of Variable Star <http://www.aavso.org/vsa>

Página de Chandra X-Ray: http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/

Kaler's "stellar" website: <http://stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.html>

Stellar Evolution en Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution

Cosmologie

Julieta Fierro, Beatriz García , Susana Deustua

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Națională Autonomă din Mexic (México DF, México), Universitatea Tehnologică Națională (Mendoza, Argentina), Institutul de Știință al Telescopului Spațial (Baltimore, SUA)

Rezumat

Deși fiecare corp ceresc în parte are farmecul său, înțelegerea evoluției Universului este un subiect fascinant în sine. Chiar dacă suntem ancorați în vecinătatea Pământului, este captivant să înțelegem că putem ști mai mult despre Univers.

În secolul al XIX-lea astronomia s-a concentrat pe catalogarea proprietăților obiectelor cerești individuale: planete, stele, nebuloase și galaxii. La sfârșitul secolului al XX-lea, însă, atenția s-a îndreptat către înțelegerea: roiiurilor de stele, formării galaxiilor și structurii Universului. Știm acum care este vârsta și care a fost istoria Universului, știm, de asemenea, că expansiunea este tot mai rapidă, dar nu știm încă destul despre natura materiei întunecate. Noi descoperiri continuă să fie făcute.

Mai întâi vom descrie câteva proprietăți ale galaxiilor, care sunt părțile celor mai mari structuri din Univers. Mai târziu vom aborda ceea ce este cunoscut, ca modelul standard sau Big Bang, și care sunt dovezile care susțin acest model.

Obiective

- A înțelege cum a evoluat Universul de la Big Bang până astăzi.
- A cunoaște cum sunt organizate materia și energia în Univers.
- A analiza cum învață astronomii despre istoria Universului.

Galaxiile

Galaxiile sunt formate din stele, gaz, praf și materie întunecată, putând fi foarte extinse, având mai mult de 300 000 ani lumină în diametru. Galaxia din care face parte Soarele conține o sută de miliarde (100 000 000 000) de stele. În Univers sunt miliarde de astfel de galaxii. Galaxia noastră este o mare galaxie spirală, similară galaxiei Andromeda din imaginea alăturată. Soarelui îi ia 200 de milioane de ani să se rotească în jurul centrului Galaxiei, mișcându-se cu 250 kilometri pe secundă. Deoarece sistemul nostru solar face parte din discul galaxiei, noi nu putem vedea întreaga galaxie; e ca și cum

am încerca să pictăm o pădure întreagă când ne aflăm în mijlocul ei.

Galaxia noastră este numită Calea Lactee. Privind cu ochiul liber de pe Pământ, putem vedea o mulțime de stele individuale, precum și o centură extinsă, formată dintr-un număr enorm de stele și nori interstelari alcătuiți din gaz și praf. Structura Galaxiei noastre a fost descoperită prin observații cu telescoape optice sau radiotelescoape, precum și prin observarea altor galaxii (Dacă nu avem oglinzi, ne putem imagina cum arătam privindu-i pe alții). Folosim undele radio, deoarece acestea pot trece prin norii care sunt opaci pentru lumina din spectrul vizibil, așa cum putem folosi un telefon mobil în interiorul unei clădiri.



Fig. 1a: Galaxia Andromeda. Galaxie spirală foarte asemănătoare Căii Lactee. Soarele se află la marginea unui braț al Galaxiei noastre. (Foto: Bill Schoening, Vanessa arvey / REU program / NOAO / AURA / NSF). Fig.1b: Marele Nor al lui Magellan. Galaxie neregulată care este un satelit al Galaxiei noastre, poate fi văzută cu ochiul liber din emisfera sudică. (Foto: ESA și Eckhard Slawik).

Clasificăm galaxiile în trei categorii. Cele neregulate sunt mai mici, dar mai numeroase, fiind în mod obișnuit bogate în praf și fiind, în același timp, creșe pentru noi stele. Multe dintre aceste galaxii sunt sateliți ai altor galaxii. Calea Lactee are 30 de galaxii satelit, primele descoperite fiind Norii lui Magellan, care pot fi văzuți din emisfera sudică.

Galaxiile spirală, așa cum este a noastră, au în general două brațe răsucite mai strâns sau mai slab în spirale, provenite din partea centrală, numită nucleu. Aceste galaxii tind să aibă în nucleu o gaură neagră cu o masă

de milioane de ori mai mare ca a Soarelui. Noi stele se nasc în special în brațele galaxiilor, deoarece densitatea mai mare a materiei interstelare de acolo poate conduce, prin contracție, la nașterea stelelor.

Când o gaură neagră din nucleul galactic atrage nori de gaz sau stele, materia este încălzită înainte de căderea în gaura neagră și o parte a ei emerge sub formă de jeturi incandescente, care se mișcă prin spațiu, încălzind mediul intergalactic. Aceste nuclee sunt cunoscute ca nuclee galactice active și un mare număr de galaxii spirală au astfel de nuclee.

Cele mai mari galaxii sunt cele eliptice (deși există și galaxii eliptice mici). Se crede că acestea, la fel ca și galaxiile spirală gigant, se formează atunci când galaxiile mai mici fuzionează. Unele argumente pentru această ipoteză provin de la diversitatea vârstelor și compozițiilor chimice a diferitelor grupuri de stele din

galaxia nou formată.

Galaxiile formează roiuri de galaxii cu mii de componente. Galaxiile eliptice gigant se găsesc în mod obișnuit în centrele roiurilor și, câteodată, au două nuclee, ca rezultat al recente fuziuni dintre două galaxii.

Roiurile și super-roiturile de galaxii sunt distribuite în Univers în structuri filamentare care înconjoară regiuni imense, lipsite de galaxii. Este ca și cum Universul la scară largă este o baie cu bule în care galaxiile sunt pe suprafețele bulelor.

Cosmologie

Vom descrie câteva proprietăți ale Universului în care trăim. Universul constă din materie, energie și spațiu și evoluează în timp. Dimensiunile sale temporale și spațiale sunt mult mai mari decât cele utilizate în viața de zi cu zi.



Fig 2a: Imaginea optică a galaxiei NGC 1365 și imaginea în raze X a materiei din apropierea găurii negre centrale. (Foto: X-ray image: NASA/CXC/CfA/INAF/Risaliti Optical image: ESO/VLT). Fig. 2b: Arp 194 – un sistem de două galaxii interacționând într-un proces spectaculos. Nucleele galactice fuzionează și o coadă albastră este ejectată. (credit: NASA, ESA și Hubble Heritage Team (STScI))



Fig 3. Roiul de galaxii Abell 2218. Arcele care pot fi văzute sunt determinate de efectul de lentilă gravitațională. (Foto: NASA, ESA, Richard Ellis (Caltech) și Jean-Paul Kneib (Observatoire Midi-Pyrénées, Franța)

Cosmologia încearcă să răspundă la întrebări fundamentale despre Univers: De unde venim? Care este viitorul Universului? Care este locul nostru în acest Univers? Care este vârsta Universului?

Este de remarcat faptul că știința evoluează. Cu cât știm mai multe, cu atât ne dăm seama cât de puține lucruri știm. O hartă este utilă chiar dacă este doar o reprezentare a unui loc, la fel cum datorită științei putem avea o reprezentare a naturii, putem să vedem anumite aspecte ale acesteia și să anticipăm anumite evenimente, toate acestea bazându-se pe prezumții raționale care trebuie confirmate prin măsurători și date observaționale.

Dimensiunile Universului

Distanțele dintre stele sunt enorme. Pământul este la 150 milioane km de Soare, Pluto este de 40 de ori mai departe. Cea mai apropiată stea este de 280.000 de ori mai departe și cea mai apropiată galaxie este de 10 miliarde de ori și mai departe. Structura filamentară a galaxiilor este de zece trilioane (unu urmat de 13 zerouri) mai mare decât distanța de la Pământ la Soare.

Vârsta Universului

Universul nostru s-a născut acum 13,7 miliarde (13 700 000 000) de ani. Sistemul solar s-a format mult mai târziu, acum 4,6 miliarde (4 600 000 000) de ani. Viața pe Pământ a apărut acum 3,8 miliarde (3 800 000 000) de ani, iar dispariția dinozaurilor s-a petrecut acum 65 milioane de ani. Oamenii moderni au apărut în urmă cu aproximativ 150.000 de ani.

Avem motive întemeiate să credem că Universul nostru a avut o origine în timp, deoarece observăm că el se extinde rapid. Aceasta înseamnă că toate roiurile de galaxii se îndepărtează unele față de altele și, cu cât distanța dintre ele este mai mare, cu atât mișcarea de îndepărtare este mai rapidă. Dacă măsurăm rata expansiunii, putem estima când tot ce este în spațiu a fost împreună. Făcând calculul, obținem vârsta de 13,7 miliarde de ani. Această vârstă nu contrazice evoluția stelară, deoarece nu observăm stele sau galaxii cu vârstă mai mare de 13,5 miliarde de ani. Evenimentul de la care a început expansiunea Universului este cunoscut ca Big Bang.

Măsurarea vitezei

Putem măsura viteza unei stele sau a unei galaxii, utilizând efectul Doppler. În viața de zi cu zi observăm efectul Doppler atunci când auzim schimbarea de ton a sirenelor ambulanței sau poliției, la apropierea lor față de îndepărtarea lor. Un experiment simplu este să plasăm un ceas cu alarmă într-o sacoșă cu mânere lungi. Dacă cineva rotește sacoșa deasupra capului, putem sesiza schimbarea de ton atunci când ceasul se apropie de noi față de cazul în care se îndepărtează de noi. Viteza ceasului poate fi calculată ascultând schimbarea de ton, care este cu atât mai mare cu cât viteza este mai mare.

Lumina emisă de obiectele cerești suferă o schimbare a frecvenței sau a culorii care poate fi măsurată în funcție de viteza cu care se apropie sau se îndepărtează. Lungimea de undă emisă crește (deplasare spre roșu) atunci când mișcarea obiectului este de îndepărtare de noi, respectiv scade (deplasare spre albastru) atunci când obiectul se apropie de noi.

Când Universul a fost mai compact, undele sonore care l-au traversat au produs regiuni cu densitate mai ridicată sau mai mică. Superroiurile galactice s-au format acolo

unde densitatea materiei a fost mai ridicată. Pe măsură ce Universul s-a dilatat, spațiul dintre regiunile de densitate ridicată a crescut ca dimensiune și volum. Structura filamentară a Universului este o consecință a expansiunii acestuia.

Unde sonore

Sunetul poate traversa medii ca aerul, apa sau lemnul. Când producem un sunet, generăm o undă care comprimă materialul din jurul său. Aceste unde traversează mediul până în interiorul urechii noastre și comprimă timpanul, care trimite sunetul la celulele nervoase sensibile la aceste excitații. Nu auzim exploziile solare sau furtunile de pe Jupiter, deoarece spațiul dintre corpurile cerești poate fi considerat vid și undele sonore nu se pot propaga în absența unui mediu material.

Este de remarcat faptul că nu există un centru al expansiunii Universului. Folosind o analogie bidimensională, ne putem imagina că suntem la Paris la sediul UNESCO și că Pământul se dilată. Am putea observa că toate orașele se îndepărtează unele față de altele și nu avem nici un motiv să afirmăm că suntem în centrul expansiunii, deoarece toți ceilalți locuitori din alte orașe ar observa același lucru.

Deși, din punctul nostru de vedere, viteza luminii care are valoarea de 300.000 kilometri pe secundă este extrem de mare, ea nu este totuși infinită. Lumina de la stele poate ajunge în sute de ani până la Pământ, iar lumina de la galaxii poate face această călătorie în milioane de ani. Toate informațiile care provin din cosmos ajung într-un timp îndelungat la noi, astfel încât noi vedem întotdeauna stelele cum erau în trecut, nu cum sunt în prezent.

Există obiecte aflate la o distanță atât de mare, încât lumina emisă de ele încă nu a ajuns la noi, astfel încât nu le putem vedea. Asta nu înseamnă că ele nu sunt acolo, ci că pur și simplu ele s-au format după ce radiația din acea regiune a cerului a pornit către noi.

Faptul că viteza luminii este finită are câteva implicații în astronomie. Distorsiunile spațiului afectează traiectoria luminii, astfel încât, dacă noi vedem o galaxie într-un anumit loc, este posibil ca în realitate aceasta să nu se mai afle acum acolo deoarece curbura spațiului s-a schimbat. În plus, o stea nu se mai află acolo unde este observată deoarece ea se află în mișcare. Stelele nu mai sunt cum le vedem acum. Noi vedem întotdeauna obiectele cerești așa cum au fost și, cu cât sunt mai îndepărtate de noi, cu atât le vedem mai îndepărtate în timp. Deci, a analiza obiecte similare aflate la distanțe diferite este echivalent cu a vedea același obiect în momente diferite ale evoluției sale. Cu alte cuvinte, putem

vedea istoria stelelor dacă observăm tipuri similare, aflate la distanțe diferite.

Nu putem vedea marginea Universului, deoarece lumina nu a avut timp să ajungă până la Pământ. Universul nostru poate fi considerat infinit în dimensiune, dar noi vedem doar o secțiune a sa, având raza de 13,7 miliarde de ani lumină, distanța parcursă de la Big Bang până acum. O sursă emite lumină în toate direcțiile, deci în diferitele regiuni ale Universului o putem vedea în diferite momente ale existenței sale. Vedem toate obiectele cerești așa cum au fost ele în momentul în care au emis lumina pe care noi o observăm acum, deoarece trebuie să treacă un timp finit până când lumina să ajungă la noi. Aceasta nu înseamnă că noi avem o poziție privilegiată în Univers, orice observator din oricare altă galaxie poate observa ceva echivalent cu ceea ce noi detectăm.

La fel ca în toate științele, în astronomie și astrofizică, cu cât știm mai multe despre Universul nostru, cu atât mai multe întrebări se deschid. În continuare vom discuta despre materia întunecată și energia întunecată pentru a avea o idee despre câte încă nu știm despre Univers.

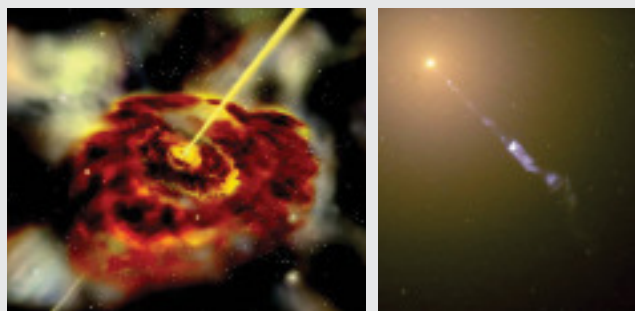


Fig. 4a: Reprezentare artistică a unei găuri negre din centrul unei galaxii. (Foto: NASA E/PO Sonoma State Univ.). Fig. 4b: Galaxia M87, un exemplu de galaxie reală cu un jet care o acompaniază. (Foto: NASA și Hubble Heritage Team).

Materia întunecată nu interacționează cu radiația electromagnetică, adică nu absoarbe și nu emite energie. Materia obișnuită, așa cum este cea din stele, poate produce lumină sau o poate absorbi, așa cum se întâmplă cu norii de praf interstelar. Materia întunecată nu interacționează cu nici o radiație, are masă și, prin urmare, exercită atracție gravitațională. S-a descoperit prin efectele sale asupra mișcării materiei vizibile. De exemplu, dacă o galaxie se deplasează pe o orbită în jurul unui spațiu aparent gol, suntem siguri că ceva o atrage. La fel cum sistemul solar este menținut împreună datorită atracției gravitaționale a Soarelui, care menține planetele pe orbitele lor, galaxia în discuție are o anumită orbită deoarece ceva o atrage. Știm acum că materia întunecată este prezentă

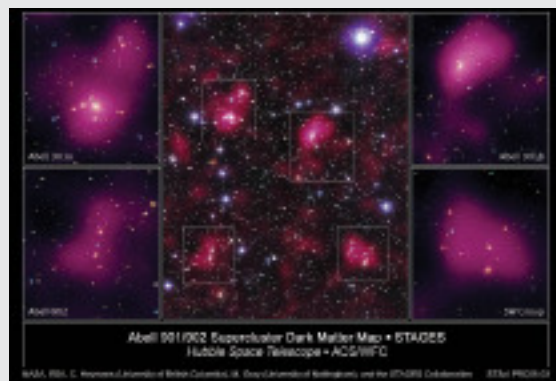


Fig. 5: Până în prezent, mai mult de 300 de nori denși de gaz și praf au fost localizați, acolo unde procesele de formare a stelelor apar încontinuu. Super roiul Abell 901/902. (Foto: Hubble Space Telescope, NASA, ESA, C. Heymans (University of British Columbia) and M. Gray (University of Nottingham)).

în galaxiile individuale, în roiurile galactice și pare a fi baza structurii filamentoare a structurii Universului. Cu alte cuvinte, materia întunecată este cel mai comun tip de materie din Univers.

Știm de asemenea că expansiunea Universului este accelerată. Aceasta înseamnă că există o forță care contracarează efectele gravitației. Energia întunecată este numele pe care astronomii l-au dat acestui fenomen descoperit recent. În absența energiei întunecate expansiunea Universului ar încetini.

Conform cunoștințelor noastre actuale, conținutul de materie-energie al Universului este: 74 procente energie întunecată, 22 procente materie întunecată și doar 4 procente corespund materiei normale luminoase (corespunzând tuturor galaxiilor, stelelor, planetelor, gazului și prafului interstelar). În esență, natura și proprietățile a 96 procente din Univers rămân a fi descoperite.

Viitorul Universului nostru depinde de raportul care există între materia vizibilă, pe de o parte, și materia și energia întunecată, pe de altă parte. Înainte de descoperirea materiei și energiei întunecate se credea că expansiunea se va opri și gravitația va inversa expansiunea cu contracția, ceea ce conducea la un Big Crunch, în care totul se va întoarce într-un singur punct. Dar, odată ce existența materiei întunecate a fost stabilită, teoria a fost modificată. Acum, expansiunea va ajunge la o valoare constantă într-un timp infinit. Cunoscând existența energiei întunecate, ne așteptăm ca în viitor expansiunea să fie tot mai rapidă, iar Universul să crească în volum. Sfârșitul Universului este foarte

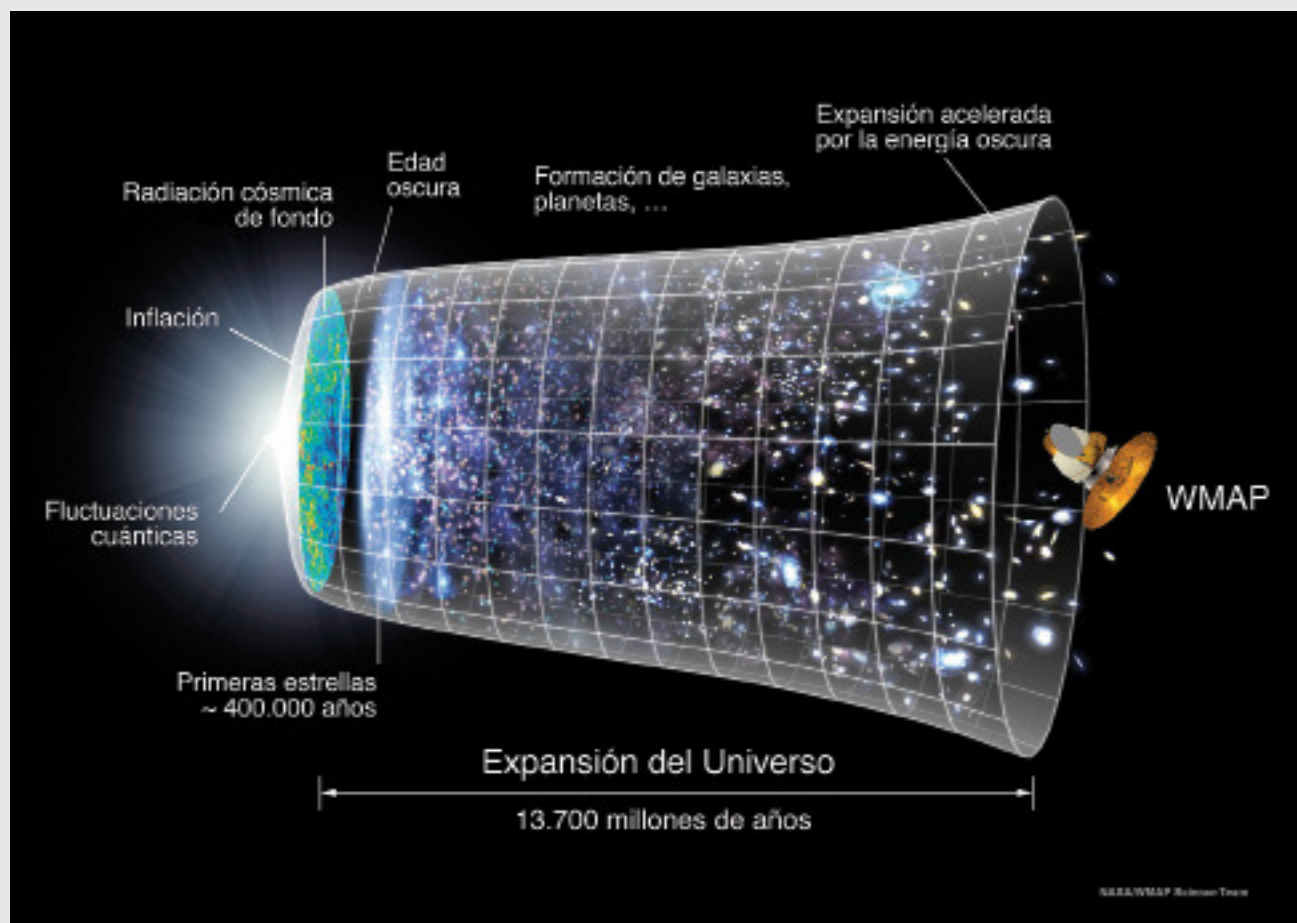


Fig 6. Istoria Universului în expansiune (Foto:NASA/WMAP).

rece, foarte întunecat și infinit în timp.

Bibliografie

- Fierro, J., La Astronomía de México, Lectorum, México, 2001.
- Fierro, J, Montoya, L., "La esfera celeste en una pecera", El Correo del Maestro, núm 47, p.10-17, México, 2000.
- Fierro J, Domínguez, H, Albert Einstein: un científico de nuestro tiempo, Lectorum, México, 2005.
- Fierro J, Domínguez, H, "La luz de las estrellas", Lectorum, El Correo del Maestro, México, 2006.
- Fierro J, Sánchez Valenzuela, A, Cartas Astrales, Un romance científico del tercer tipo, Alfaguara, 2006.

Istoria Astronomiei

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi,

Mary Kay Hemenway

Uniunea Astronomică Internațională, Colegiul "Williams" (Massachusetts, SUA), Institutul Astronomic al Academiei Române (București, România), Universitatea din Texas (Austin, SUA).

Rezumat

Această scurtă trecere în revistă a istoriei astronomiei cuprinde o privire asupra naturii omniprezente a astronomiei la începuturile sale, urmată de un rezumat al evenimentelor cheie ale dezvoltării astronomiei în Europa de Vest până la epoca lui Isaac Newton.

Obiective

- Să ofere o scurtă trecere în revistă a istoriei astronomiei în diferite regiuni ale lumii cu scopul de a demonstra că astronomia s-a aflat tot timpul în central interesului omenirii.
- Să prezinte principalele personalități din istoria astronomiei (până la Newton) care au adus modificări majore în abordarea acestei discipline: Tycho Brahe, Copernic, Kepler și Galileo.
- Constrângerile de spațiu ne-au împiedicat să prezentăm istoria astronomiei până în zilele noastre, dar în alte capitole ale acestei cărți, se pot găsi astfel de informații.

Preistoria

Beneficiind de cerul întunecat, popoarele antice puteau vedea stelele apărând în partea estică a cerului, ridicându-se pe boltă și apunând spre vest. Într-o direcție, stelele se mișcau pe mici cercuri. În prezent, atunci când privim spre nord, vedem în acea poziție o stea – Steaua Nordului, cunoscută și ca Steaua Polară sau Polaris. Aceasta nu este o stea foarte strălucitoare: pe cer există 48 de stele care sunt mai strălucitoare decât ea, dar întâmplător, Steaua Polară se află într-un loc interesant. În timpurile străvechi, alte stele erau aliniate cu polul nord al Pământului sau uneori, nu existau stele în vecinătatea polului nord.

Deoarece oamenii puteau privi cerul foarte des, ei au observat că există câteva corpuri mai strălucitoare, redate ca număr și care nu răsar și nici nu apun exact la fel ca stelele. Bineînțeles, Luna a fost de departe cel mai strălucitor obiect de pe cerul nopții. Luna răsărea cu întârziere de aproape o oră în fiecare noapte și apărea

având în spate stele diferite. De asemenea, în timp forma sa se schimba, fiind vizibile, ceea ce numim în prezent, fazele Lunii.

Dar unele dintre aceste "lumini" de pe cer se mișcau în mod diferit față de altele. Acestea au fost numite de grecii antici rătăcitoare sau planete. Practic, fiecare civilizație de pe planeta Pământ a observat și a dat nume acestor obiecte.

Unele popoare antice au construit monumente, cum ar fi cercurile de piatră (megaliți), de exemplu la Stonehenge în Anglia, sau morminte, cum ar fi cele din Menorca în Spania, monumente care erau aliniate cu Crucea Sudului (1000 î. Hr.). Babilonienii au fost foarte pricepuți în înregistrarea fenomenelor astronomice, dar grecii au fost aceia care au dezvoltat o disciplină care să explice cerul.

Grecii antici

Majoritatea grecilor antici, inclusiv Aristotel (384 î. Hr. – 322 î. Hr.), credeau că Pământul se află în centrul universului și că acesta, la rândul său, este alcătuit din patru elemente: Pământ, Aer, Foc și Apă. În jurul Pământului s-ar afla cel de-al cincilea element, eterul (sau chintesența) care făcea punctele de lumină rătăcitoare pe cer.

Cum se deplasau acești rătăcitori printre stele? Cea mai mare parte a timpului, aceștia se deplasau în aceeași direcție cu direcția de deplasare a stelelor: răsărind de la est și mișcându-se spre vest. Dar, uneori, aceștia par să se oprească și să se deplaseze înapoi față de stele. Această mișcare înapoi este denumită mișcare "retrogradă", pentru a o diferenția de mișcarea înainte, denumită mișcare "progradă."

Astronomul grec Claudius Ptolemeu (aprox. 90 î. Hr. – aprox. 168 î. Hr.) și-a desfășurat activitatea în Alexandria, în nordul Africii, pe durata celui de-al doilea secol î. Hr. Ptolemeu dorea să poată prezice pozițiile planetelor și, pentru a realiza acest lucru, a venit cu o soluție matematică. Continuându-l pe Aristotel, el a plasat Pământul în centrul Universului. Luna și planetele se mișcau în jurul Pământului în cercuri concentrice, al căror diametru creștea cu mărirea distanței planetei

față de Pământ. Ce se întâmplă dacă planetele se mișcă într-adevăr pe mici cercuri ale căror centre se află pe cercurile mari? Atunci, pentru unele mișcări pe cercurile mici, planetele s-ar mișca mai repede pe direcția înapoi decât centrele acestor cercuri, care se mișcă înainte. Noi, aflați pe Pământ, am vedea planetele mișcându-se înapoi.

Acele mici cercuri sunt numite "epicicluri", iar cercurile mari sunt numite "deferenți." Ideea lui Ptolemeu, a cercurilor mici mișcându-se pe alte cercuri, a dominat știința și cunoașterea apuseană timp de peste o mie de ani. Trecerea de la observații la teorie, utilizând matematica, a constituit un pas unic și important în dezvoltarea științei apusene.

Deși nu au dat aceleași nume obiectelor pe care le-au observat, toate culturile de pe Pământ au urmărit ce se întâmplă pe cer. Popoarele antice au utilizat informațiile pentru a elabora calendare și pentru a prezice succesiunea anotimpurilor pentru a planta, recolta sau vâna, precum și pentru fixarea ceremoniilor religioase. Ca și grecii, unele dintre aceste popoare au dezvoltat calcule matematice foarte sofisticate pentru a prezice mișcările planetelor sau eclipsele, dar acest lucru nu înseamnă că ei ar fi elaborat ceea ce numim o teorie științifică. În continuare sunt descrise câteva exemple.

Africa

Megalitii de la Nabta în deșertul Nubian sunt cu 1000 de ani mai vechi decât cei de la Stonehenge. Egiptenii au folosit astronomia pentru a alinia piramidele, precum și pentru a-și extinde credințele religioase prin includerea cunoștințelor despre stele. Petroglifele de la Namoratunga (Kenia) sunt considerate calendare. Cunoștințele despre stele provin din toate regiunile Africii: din regiunea Dogon în Mali, până în Africa de Vest, în Etiopia și Africa de Sud.

Astronomia islamică

Numeroase cunoștințe astronomice au fost dobândite în lumea islamică, în mod particular pe durata epocii de aur islamice (secolele VIII - XV), cunoștințe reunite în cărți scrise preponderent în limba arabă. Această dezvoltare a avut loc în principal în Orientul Mijlociu, Asia Centrală, Andaluzia, Africa de Nord și ulterior în Orientul Îndepărtat și India. Un număr semnificativ de stele de pe cer, cum ar fi Aldebaran și Altair, precum și unii termeni astronomici, cum ar fi alidade, azimut, almucantar, sunt încă utilizate și în prezent folosindu-se aceleași cuvinte arabe. Arabii au inventat cifrele (numite de aceea și arabe), inclusiv utilizarea lui zero. Arabii au fost interesați de găsirea poziției Soarelui în diferitele momente ale zilei și a orei (deoarece această informație

era utilă pentru serviciul religios). De asemenea, arabii au realizat numeroase descoperiri în domeniul opticii. Multe lucrări ale grecilor antici au fost păstrate pentru posteritate datorită traducerii lor în limba arabă.

Primele observații sistematice din lumea islamică au fost înregistrate ca având loc sub patronajul lui Al-Ma'mun (786-833 d. Hr.). În observatorul acestuia, precum și în multe alte observatoare particulare, de la Damasc până la Bagdad, au fost măsurate gradele meridianului, au fost stabiliți parametrii solari și au fost realizate observații detaliate ale Soarelui, Lunii și planetelor.

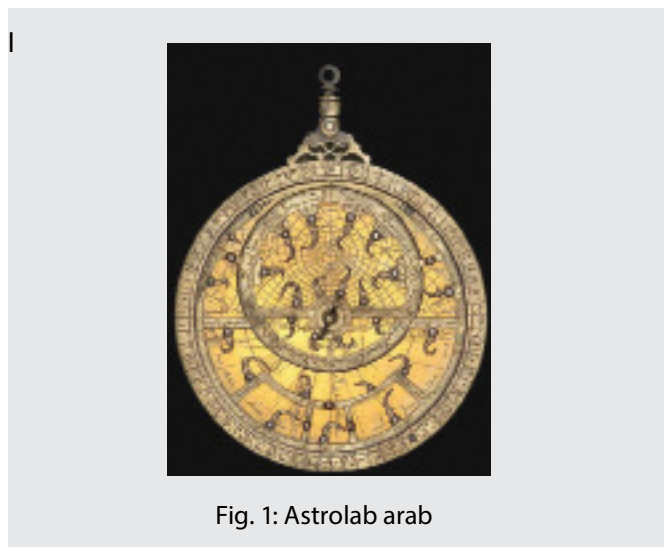


Fig. 1: Astrolab arab

Instrumentele utilizate în astronomia islamică au fost: globurile celeste și sferele armilare, astrolaburile, ceasurile solare și cuadrantii

America:

America de Nord

Populațiile indigene ale Americii de Nord și-au denumit, de asemenea, constelațiile și au compus povești despre cer, povești transmise prin tradiția orală din generație în generație. Unele artefacte, cum ar fi roți de piatră sau modul de aliniere a clădirilor, rămân ca dovadă a utilizării de către aceste populații a astronomiei în viața cotidiană.

Astronomia maya

Maya a fost o civilizație a Americii Centrale, menționată pentru singurul limbaj scris, complet dezvoltat, din America precolumbiană, precum și pentru arta sa, arhitectura și sistemul matematic și astronomic. Înființate inițial pe durata perioadei preclasice (aprox. 2000 î. Hr. - 250 d. Hr.), orașele mayașe au cunoscut cel mai înalt stadiu de dezvoltare pe durata perioadei clasice (aprox. 250 d. Hr. - 900 d. Hr.) și au continuat să se dezvolte de-a lungul perioadei postclasice până la sosirea spaniolilor. Populația maya nu a dispărut complet niciodată, nici în perioada declinului perioadei clasice, nici când au sosit conchistadorii spanioli și nici în perioada colonizării de

către spanioli a Americii.



Fig. 2: Chichén Itzá (Mexic) reprezintă un important vestigiu arheologic al astronomiei Maya

Astronomia maya este una dintre cele mai cunoscute astronomii vechi din lume, datorită în special, calendarului său atât de faimos, care a fost interpretat în mod greșit în prezent ca prezicând sfârșitul lumii. Maya pare a fi singura civilizație dinaintea apariției telescopului, care a demonstrat cunoașterea nebuloasei Orion, ca fiind extinsă și nu doar un singur punct stelar precis.

Mayașii au fost foarte interesați de tranziturile la zenit ☒ intersecția verticalei locului cu sfera cerească, timpul când Soarele trece pe deasupra capului. Deoarece latitudinea majorității orașelor lor se află sub Tropicul Racului, aceste tranzituri la zenit au loc de două ori pe an, la intervale egale față de solstițiu. Pentru a reprezenta această poziție a Soarelui deasupra capului, mayașii au avut un zeu numit Zeul Scufundător.

Venus a fost, pentru mayași, cel mai important obiect astronomic, mai important pentru ei chiar decât Soarele. Calendarul mayaș este un sistem de calendare și almanahuri utilizate atât de civilizația maya din America Centrală precolumbiană cât și în unele comunități maya moderne din înălțimile din Guatemala și Oaxaca, Mexic.

Deși calendarul Americii centrale nu își are originea în cultura maya, dezvoltările calendarului mayaș și rafinarea sa au fost cele mai sofisticate. Împreună cu cele ale aztecilor, calendarele Maya sunt cele mai bine documentate și cele mai complet înțelese.

Astronomia aztecă

Au existat anumite grupuri etnice din partea centrală a Mexicului, în particular acele grupuri care vorbeau limba Nahuatl și care au dominat părți semnificative din America Centrală în secolele al XIV-lea, al XV-lea al XVI-lea, perioadă cunoscută, în cronologia Americii centrale, sub numele de perioada postclasică târzie.

Cultura și istoria aztecă au fost cunoscute în primul

rând datorită dovezilor arheologice găsite în excavații, cum ar fi cele efectuate cu ocazia renovării Templului Mayor din Mexico City și multe altele, pornind de la codicele indigene pe scoartă de hârtie, de la mărturisirile și memoriile martorilor conchistadori spanioli din secolele al XVI-lea și al XVII-lea, dovezi în care se află descrieri ale culturii și istoriei aztece și care au fost scrise de către preoții spanioli și de către învățații azteci în limba spaniolă sau Nahuatl.

Calendarul aztec sau Piatra Soarelui este cel mai vechi monolit care a rămas din perioada culturii prehispanice în America Centrală și de Sud. Se crede că acesta a fost sculptat în jurul anului 1479. Este un monolit circular cu patru cercuri concentrice. În centru apare fața lui Tonatiuh (Zeul Soare), decorată cu jad și ținând un cuțit în gură. Cei patru sori sau "lumile" anterioare sunt reprezentate prin figuri în formă de pătrat care flanchează cel de-al Cincilea Soare, aflat în centru. Cercul exterior constă din 20 de suprafețe care reprezintă zilele fiecăreia din cele 18 luni care compun calendarul aztec. Pentru a completa cele 365 de zile ale anului solar, aztecii au introdus 5 zile destinate sacrificiilor, numite zile Nemontemi.

Ca aproape toate popoarele antice, aztecii au grupat în asocieri stelele care, aparent, erau mai strălucitoare (constelații): Mamalhuaztli (Centura lui Orion), Tianquiztli (Pleiadele), Citlaltlactli (Gemeni), Citlalcotl (Scorpion) și Xonecuilli (Ursa Mică). Cometele erau numite "stele care fumează".

Perioadele mari de timp din cosmologia aztecă sunt definite prin erele diferiților sori, ere ale căror sfârșit a fost determinat de dezastre majore, cum ar fi distrugerea de către jaguari, uragane, foc, inundații sau cutremure.

Astronomia Inca

Civilizația Inca este o civilizație care face parte din grupul precolumbian din Anzi. Aceasta a început în primii ani ai secolului al XIII-lea în bazinul Cuzco din Peru și s-a dezvoltat de-a lungul coastei Oceanului Pacific și în Anzilor, acoperind partea vestică a Americii de Sud. În momentul său de maximă dezvoltare, civilizația Inca s-a extins din Columbia până în Argentina și Chile, cuprinzând Ecuador, Peru și Bolivia.

Incașii considerau că regele lor, Sapa Inca, ar fi "copilul Soarelui". Ei au identificat diferitele regiuni întunecate de pe cer sau nebuloase întunecate din Calea Lactee cu animale și au asociat apariția acestora cu ploile sezoniere.

Incașii au utilizat un calendar solar pentru agricultură și un calendar lunar pentru sărbătorile religioase. Con-

form cronicilor conchistadorilor spanioli, la periferia Cuzco, în prezent pe teritoriul Perului, a existat un mare calendar public care consta din 12 coloane, fiecare de 5 metri înălțime și care puteau fi văzute de la o distanță foarte mare. Cu ajutorul acestuia, oamenii puteau stabili data calendaristică. Ei celebrau două mari sărbători, Inti Raymi și Capac Raymi, solstițiul de vară și, respectiv, solstițiul de iarnă.

Incașii aveau propriile lor constelații: Yutu (Potârniche) era zona întunecată din Calea Lactee, numită și nebuloasa Sacul de cărbune. Incașii numeau roiul Pleiadelor, Qollqa. Cu ajutorul stelelor din constelația Lira incașii au desenat unul dintre cele mai cunoscute animale pentru ei și l-au numit Mica Lamă de Argint sau Lama colorată, a cărei cea mai strălucitoare stea (Vega) au numit-o Urkuchillay, deși alți autori susțin că acesta era numele pentru întreaga constelație. Alte constelații erau Machacuay (Șarpele), Hamp'atu (Broasca răioasă), Atoq (Vulpea), Kuntur etc.

Orașele mai importante erau construite urmând aliniile cerești și folosind punctele cardinale.

La periferia orașului Cuzco exista un templu important dedicat Soarelui (Inti), de la care porneau linii în formă de raze, linii care împărțeau valea în 328 de temple. Acest număr reprezintă încă un mister, dar o explicație posibilă este legată de astronomie: el coincide cu numărul total de zile care se regăsește în cele douăsprezece luni ale anului, iar cele 37 de zile care lipsesc până la 365 de zile ale anului solar coincid cu numărul de zile în care roiul Pleiadelor nu poate fi observat de la Cuzco.

India

Cea mai veche mențiune scrisă care apare în literatura religioasă a Indiei (al II-lea mileniu î. Hr.) a devenit o tradiție unanim acceptată în primul mileniu î. Hr., moment în care diferitele ramuri străvechi ale cunoașterii încep să prindă formă.

Pe durata următoarelor secole astronomii indieni au studiat diferite aspecte ale științelor astronomice, ei participând la schimburile globale cu alte culturi. Instrumentele obișnuite la acea vreme erau gnomonul și sferele armilare.

Calendarul hindus utilizat în perioada antică a suferit numeroase schimbări în procesul de regionalizare, iar în prezent există și sunt folosite câteva calendare regionale indiene, precum și un calendar indian național. În calendarul hindus ziua începe odată cu răsăritul local al soarelui. Zilei îi sunt atribuite cinci "proprietăți", numite angas.

Ecliptica este divizată în 27 de nakshatras, care erau numite case lunare sau asterisme. Acestea reflectă ciclul Lunii raportat la stelele fixe de 27 de zile și 72 ore, partea fracționară fiind compensată de o a 28-a nakshatra intercalată. Calculul duratei unei nakshatra apare ca fiind bine cunoscut la momentul apariției scrierii Rig Veda (între mileniul 2 și 1 î. Hr.).

China

Chinezii au fost considerați ca fiind cei mai perseverenți și corecți observatori ai fenomenelor cerești din lume, înaintea arabilor. Înregistrările detaliate ale observațiilor lor astronomice încep pe vremea Statelor Combătătoare (secolul al IV-lea î. Hr.) și au cunoscut o și mai mare dezvoltare începând cu perioada Han.

Unele elemente ale astronomiei indiene au ajuns în China odată cu expansiunea budismului, în timpul dinastiei Han târzii (25 - 220 d. Hr.), dar cea mai cuprinzătoare și detaliată încorporare a astronomiei indiene a avut loc pe durata dinastiei Tang (618-907).

Astronomia a fost revitalizată ca urmare a stimulilor din partea cosmologiei și a tehnologiei vestice, odată cu stabilirea primelor misiuni ale iezuiților. Telescopul a fost introdus în secolul al XVII-lea. Echipamentul și inovațiile utilizate în astronomia chineză au fost: sfera armilară, globul ceresc, sfera armilară hidraulică și turnul globului ceresc.

Astronomia chineză s-a focalizat mai mult asupra observațiilor decât asupra aspectelor teoretice. Conform scrierilor iezuiților, care au vizitat Beijing-ul în secolul al XVII-lea, chinezii aveau date începând cu anul 4000 î. Hr., inclusiv explozia unor supernove, eclipse și apariția cometelor.

În anul 2300 î. Hr., ei au dezvoltat primul calendar solar cunoscut, iar în anul 2100 î. Hr. au înregistrat o eclipsă solară. În anul 1200 î. Hr. au descris petele solare, numindu-le "puncte întunecate" pe Soare. În 532 î. Hr. au lăsat dovezi ale producerii unei supernove în constelația Vulturul, iar în anii 240 și 164 î. Hr. au înregistrat trecerile cometei Halley. În 100 î. Hr. chinezii au inventat busola cu ajutorul căreia au marcat direcția nord.

În perioade mai recente, ei au determinat precesia echinocțiilor cu un grad la fiecare 50 de ani, au înregistrat mai multe supernove și au descoperit că întotdeauna coada unei comete este orientată în direcție opusă față de poziția Soarelui.

În anul 1006 d. Hr. chinezii au notat apariția unei supernove atât de strălucitoare încât putea fi observată ziua cu ochiul liber. Este cea mai strălucitoare supernovă

care a fost menționată până în prezent. În anul 1054, chinezii au observat o supernovă ale cărei rămășițe au fost numite ulterior nebuloasa Crab.

Sfera cerească a chinezilor este diferită față de cea specifică vestului. Ecuatorul ceresc a fost divizat în 28 de părți, numite "case", existând în total 284 constelații, având nume cum ar fi Ursa, Trei Pași, Palatul Suprem, Tripodul, Sulița sau Harponul. Anul nou chinezesc începe în ziua în care are loc prima Lună Nouă după ce Soarele intră în constelația Vărsătorului.

Polivalentul om de știință chinez Shen Kuo (1031-1095 d. Hr.) nu numai că a fost primul care a descris busola cu ac magnetic, ci și cel care a efectuat cea mai corectă măsurătoare a distanței dintre Steaua Polară și Nordul real, valoare care poate fi utilizată practic în navigație. Shen Kuo și Wei Pu au realizat, de asemenea, un proiect de observare astronomică nocturnă pe o perioadă de cinci ani succesivi, o activitate intensă care poate rivaliza cu activitatea ulterioară a lui Tycho Brahe în Europa. Cei doi au stabilit pentru acest proiect coordonatele exacte ale planetelor pe o hartă stelară și au creat teorii al mișcării planetare, incluzând mișcarea retrogradă.

Europa de Vest

După căderea Romei, cunoștințele deținute de greci au fost transmise în mică măsură prin activitatea și scrierile călugărilor, care deseori copiau manuscrise care nu aveau vreo semnificație pentru ei. Ulterior, odată cu apariția școlilor de pe lângă catedrale și a primelor universități, profesorii au început să rezolve enigmele pe care le oferea știința. Ca urmare a schimburilor comerciale și a cruciadelor, noi manuscrise originare din Est au ajuns în vestul Europei, iar contactul cu oamenii de știință islamici (în special în Spania) a facilitat traducerea unor cărți științifice ale vremii în limba latină. Unii oameni de știință au încercat să "forțeze informațiile" astfel încât acestea să se potrivească cu punctul de vedere oficial al bisericii.

Un geniu al matematicii: Nicolae Copernic din Polonia

La începutul anilor 1500, Nicolae Copernic sau Nicolaus Copernicus (1473 - 1543) a ajuns la concluzia că Universul ar putea fi mai simplu dacă, în locul Pământului, ar fi Soarele în centru. În această situație, mișcarea retrogradă a planetelor ar avea loc numai dacă toate planetele ar orbita în jurul Soarelui pe orbite circulare. Mișcarea retrogradă ar fi o iluzie optică rezultată atunci când se depășește o altă planetă. Este ceea ce percepem dacă așteptăm la stop și privim la o mașină situată în dreapta. În momentul în care se schimbă culoarea semaforului, dacă începem să ne mișcăm primii, avem impresia că mașina învecinată se mișcă înapoi.

Copernic și-a împărtășit ideile cu matematicienii vremii, dar nu și-a publicat teoria decât în momentul în care un tânăr om de știință, Georg Rheticus, l-a convins și l-a sprijinit să publice într-o altă localitate. Un exemplar tipărit al cărții *De Revolutionibus Orbium Coelestium* a apărut exact în anul în care Copernic a murit, în anul 1543. Probabil că el nu a văzut niciodată prefața nesemnată, redactată de editor și în care se spunea că în cartea respectivă se prezintă o modalitate matematică de a calcula pozițiile corpurilor cerești, nu realitatea adevărată. Urmând lucrările lui Aristotel, Copernic a folosit cercurile și a adăugat unele epicycle. Cartea sa păstrează structura cărții lui Ptolemeu, dar înclinarea sa față de simplitatea matematică a fost influențată de Pitagora.

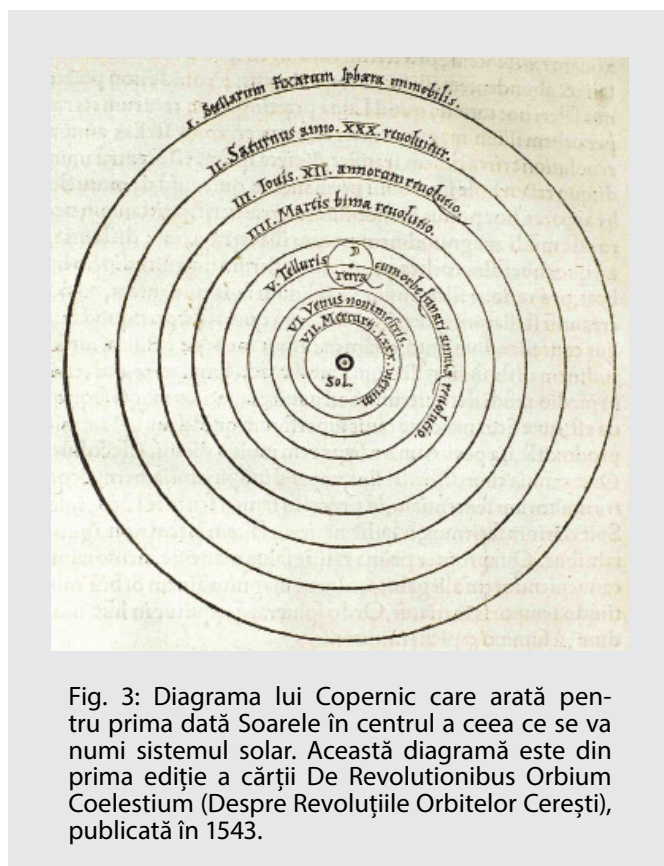


Fig. 3: Diagrama lui Copernic care arată pentru prima dată Soarele în centrul a ceea ce se va numi sistemul solar. Această diagramă este din prima ediție a cărții *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Despre Revoluțiile Orbitelor Cerești), publicată în 1543.

Cartea lui Copernic conține (figura 3) poate cea mai faimoasă diagramă din istoria științei. Aceasta prezintă Soarele în centrul unei serii de cercuri. Cunoscând care este cea mai rapidă planetă pe cer, Copernic a calculat vitezele cu care se rotesc planetele în jurul Soarelui. În acest fel el a aranjat planetele în ordinea corectă: Mercur, Venus, Pământ, Marte, Jupiter, Saturn și a obținut, de asemenea, valorile corecte pentru distanțele relative ale planetelor. Dar calculele sale nu au prezis mai corect pozițiile planetelor decât a făcut-o Ptolemeu cu metoda sa.

În aceeași perioadă, în Anglia, Leonard Digges a scris o carte (în limba engleză) având ca subiect Pământul și Universul. În anul 1576, fiul său Thomas a adăugat un



Fig. 4. Prima diagramă copernicană în limba engleză, din apendicele realizat de Thomas Digges la cartea *O previziune care durează pentru totdeauna*, publicată de tatăl său în 1556. Inițial cartea conținea doar diagrama lui Ptolemeu. Apendicele lui Thomas Digges a apărut în 1576; această diagramă este din ediția tipărită în anul 1596.

apendice în care a descris noile idei ale lui Copernic. În acest apendice, a apărut pentru prima dată o versiune în limba engleză a diagramei lui Copernic (figura 4). Digges a arătat, de asemenea, că stelele se află la distanțe mult diferite față de sistemul solar și nu sunt situate numai pe o sferă cerească.

Un geniu al observațiilor: Tycho Brahe din Danemarca

Aristocratul danez Tycho Brahe (1546 – 1601) deținea o insulă în largul coastelor orașului Copenhaga și primea din partea locuitorilor de acolo o rentă. El și-a folosit averea pentru a construi pe această insulă, numită Hven, un mare observator care avea instrumente mai bune și mai mari decât cele din epoca lui. Deși acestea erau instrumente pretelescopice, ele i-au permis să efectueze măsurători mai precise ale pozițiilor stelelor și planetelor decât cele realizate de predecesorii săi.

Tycho își folosea casa ca un precursor al universităților actuale, primind în vizită oameni de știință care veneau pentru a lucra împreună cu el. Tycho a realizat dispozitive tot mai bune, cu care a reușit să efectueze măsurători tot mai precise ale pozițiilor stelelor și planetelor și a înregistrat și păstrat determinări foarte corecte ale acestora.

Dar în zelul său științific, el a neglijat unele din îndatori-

rile pe care le avea față de rege și, atunci când la tron a venit un nou rege, el a fost forțat să plece. A ales să se mute la Praga și a luat cu el chiar și presa cu care tipărea și paginile care au fost deja tipărite, toate înregistrările și toate instrumentele, adică tot ce a putut fi deplasat.

Tycho a reușit să îmbunătățească precizia observațiilor științifice. Studiile precise asupra unei comete, executate pentru poziția acesteia la diferite distanțe, i-au arătat că sferele nu trebuie să fie concentrice în jurul Pământului aflat în centru. Astfel el și-a creat propriul model al universului – un hibrid între cel al lui Ptolemeu și cel al lui Copernic: Soarele și Luna au o mișcare de revoluție în jurul Pământului, iar celelalte planete au o mișcare de revoluție în jurul Soarelui.

Tycho a păstrat încă cercurile dar, spre deosebire de Aristotel, el a permis cercurilor să se intersecteze. Tycho este apreciat în prezent în principal pentru înregistrările observațiilor sale de calitate deosebit de înaltă pentru pozițiile planetei Marte printre stele. Tycho l-a invitat să i se alăture la Praga pe un tânăr matematician, Johannes Kepler. Tocmai datorită lui Kepler faima lui Tycho a rămas neștirbită până în prezent.

Utilizând matematica: Johannes Kepler din Germania

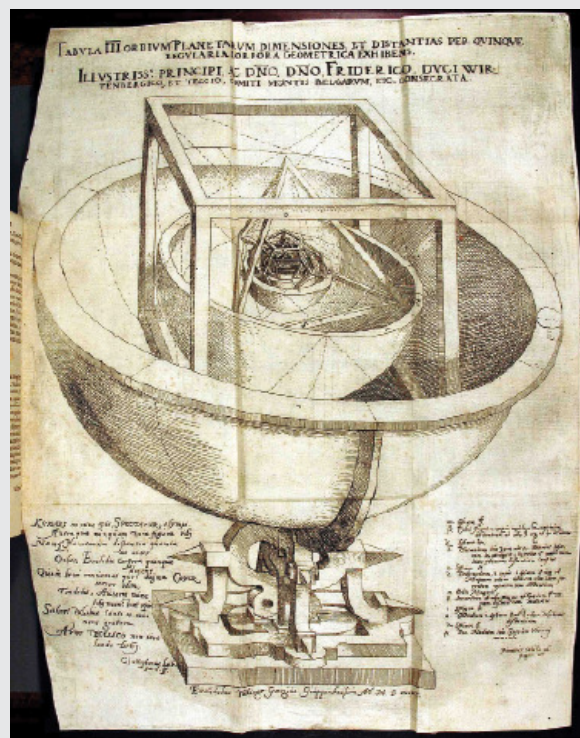


Fig. 5: Diagrama lui Kepler din cartea sa *Mysteriorum Cosmographicum* (Misterul cosmosului), publicată în 1596. Gândirea sa asupra aranjamentului geometric al sistemului solar a fost înlocuită în decada următoare prin aranjarea planetelor conform primelor două legi ale mișcării planetare, din cele trei legi ale sale, un sistem care este valid și în prezent

Ca profesor la Graz, Austria, tânărul Johannes Kepler (1571 – 1630) își amintea de interesul din copilărie pentru astronomie, fiind influențat de o cometă și de o eclipsă de Lună pe care le-a văzut. Kepler a realizat că există cinci forme solide constituite din fețe cu forme identice, iar dacă aceste solide se află pe sfere concentrice, ele ar putea corespunde celor șase planete cunoscute. Cartea sa care abordează acest subiect, *Mysterium Cosmographicum* (Misterul cosmosului), publicată în anul 1596, conține una dintre cele mai frumoase diagrame din istoria științei (figura 5). În această diagramă, el a reprezentat concentric un octaedru, un icosaedru, un dodecaedru, un tetraedru și un cub având respectiv opt, douăsprezece, douăzeci, patru și șase fețe pentru a arăta distanțele dintre planetele cunoscute în acea vreme. Diagrama, deși este foarte frumoasă este complet greșită.

Dar abilitățile matematice ale lui Kepler i-au prilejuit un interviu cu Tycho. În anul 1600 el a devenit unul dintre asistenții lui Tycho și astfel a efectuat calcule folosind datele pe care le înregistrase Tycho. La un moment dat Tycho a participat la un dineu unde a băut mult. Se pare că eticheta nu-i permitea să se ridice de la masă, astfel că a ajuns să-i plesnească vezica. Moartea sa rapidă și dureroasă a fost descrisă atent într-un jurnal și este bine documentată.

Dar Kepler nu a primit datele imediat. Motivul este faptul că datele erau unul dintre puținele lucruri valoroase pe care copiii lui Tycho le-ar fi putut moșteni, deoarece Tycho fusese căsătorit cu o persoană de rând care nu-i putea moșteni bunurile imobiliare. Kepler a avut până la urmă acces la datele pentru planeta Marte deținute de Tycho și s-a străduit să le compare cu calculele sale. Pentru a realiza aceste calcule precise Kepler și-a elaborat propriile tabele cu logaritmi. Datele pe care le-a avut Kepler de la Tycho au fost despre poziția lui Marte în comparație cu stelele de pe cer. Kepler a încercat să calculeze care ar trebui să fie mișcarea reală a lui Marte în jurul Soarelui. Pentru o lungă perioadă de timp el a încercat să potrivească datele cu o orbită circulară sau cu o orbită în formă de ou, dar nu a reușit nicicum să ajungă la o corespondență suficient de corectă a observațiilor cu teoria. În cele din urmă a încercat să facă acest lucru cu o figură geometrică numită elipsă, un fel de cerc turtit. Aceasta s-a potrivit! Descoperirea orbitei eliptice este una dintre cele mai mari din istoria astronomiei și dacă la acel moment Kepler a aplicat-o pentru prima dată pentru Marte și celelalte planete din sistemul nostru solar, în prezent noi aplicăm aceeași lege pentru sutele de planete pe care le-am descoperit în jurul altor stele.

Cartea lui Kepler din anul 1609, *Astronomia Nova* (Noua

Astronomie), conține primele două din cele trei legi ale mișcării corpurilor cerești, legi care îi poartă numele:

Prima lege a lui Kepler: Planetele orbitează în jurul Soarelui pe elipse, Soarele fiind în unul dintre focare.

A doua lege a lui Kepler: Dreapta care unește o planetă cu Soarele parcurge arii egale în intervale de timp egale.



O elipsă este o curbă închisă care are două puncte cheie; acestea sunt cunoscute sub numele de focare. Pentru a trasa singur o elipsă, notează pe o foaie de hârtie două puncte; fiecare punct este un focar. Ia apoi o bucată de sfoară suficient de lungă încât să depășească distanța dintre focare. Lipește capetele sforii în focare. Apoi, pune un creion în interiorul sforii pentru a o întinde și apoi mișcă-l încet, trasând traiectoria lui. Curba generată va fi o parte dintr-o elipsă; este evident cum trebuie să deplasăm creionul pentru a trasa și cealaltă parte a elipsei. Acest experiment cu firul de sfoară ilustrează o caracteristică ce definește elipsa: suma distanțelor de la un punct de pe elipsă la cele două focare rămâne constantă. Putem considera cercul ca fiind un caz special de elipsă, în care cele două focare sunt suprapuse. Kepler a continuat să caute armonia în mișcările planetelor.

Mercur	0,387 ua	0,240 ani
Venus	0,723 ua	0,615 ani
Pământ	1 ua	1 an
Marte	1,523 ua	1,881 ani
Jupiter	5,203 ua	11,857 ani
Saturn	9,537 ua	29,424 ani

Tabelul 1: Distanțele planetelor față de la Soare și perioadele de rotație – valori calculate în epoca lui Kepler.

El a asociat vitezele planetelor cu notele muzicale, notele mai înalte corespunzând planetelor mai rapide și

anume cu Mercur și Venus. În anul 1619, el a publicat principala sa lucrare *Harmonices Mundi* (Armonia lumilor). În aceasta (figura 6), el a inclus atât ideile sale legate de notele muzicale cât și ceea ce numim în prezent cea de-a treia lege a mișcării planetelor:

Legea a treia a lui Kepler: Pătratul perioadei de rotație a unei planete în jurul Soarelui este proporțional cu cubul razei orbitei sale.

Astronomii folosesc pentru a exprima distanțele dintre planete unitatea astronomică (ua), aceasta corespunzând distanței medii între Pământ și Soare, adică este de 150 milioane de kilometri. Să încercăm să ridicăm la pătrat valorile din prima coloană din tabelul de mai sus și să ridicăm la cub pe cele din cea de-a doua coloană. Veți vedea că acestea se potrivesc. Orice diferență provine din aproximațiile făcute, nu din lumea reală, deși pentru mai multe zecimale ar putea fi detectate influențele celorlalte planete.

Descoperiri efectuate cu telescopul: Galileo Galilei din Italia

Anul 2009, numit Anul Internațional al Astronomiei, a fost declarat astfel mai întâi de Uniunea Astronomică Internațională, apoi de UNESCO și în final de Adunarea Generală a Națiunilor Unite. De ce? Acest an a aniversat utilizarea pentru prima dată a telescopului pentru a privi cerul, de către Galileo, cu 400 de ani mai înainte, în anul 1609. Galileo (1564 - 1642) a fost profesor la Padova, parte componentă a Republicii Veneția. El a auzit de o invenție olandeză care ar putea face ca obiectele aflate la distanță mare să pară mai apropiate. Deși nu a văzut vreodată un astfel de dispozitiv, Galileo și-a dat seama ce fel de lentile ar trebui folosite și a combinat singur diferite tipuri de lentile. El a arătat dispozitivul său unor



Fig. 7a: Unul dintre telescoapele lui Galileo care au supraviețuit în timp a ajuns la Franklin Institute în Philadelphia în 2009. De reținut că partea exterioră a lentilei este acoperită cu un inel de carton. Ascunzându-se partea exterioră a lentilei, care era partea cea mai puțin precis prelucrată, Galileo a îmbunătățit calitatea imaginilor sale. (Foto: Jay M. Pasachoff).



Fig. 7b: O pagină din cartea lui Galileo *Sidereus Nuncius* (Mesagerul stelelor), publicată în anul 1610, prezintă o gravură a Lunii. Cartea a fost scrisă în limba latină, limba savanților din Europa. Cartea include o abordare amplă a mișcării relative a celor patru luni principale ale lui Jupiter.

nobili din Veneția ca o oportunitate pentru domeniul militar și comercial, deoarece acesta permitea utilizatorului să vadă navele de la o distanță mult mai mare decât se puteau vedea cu ochiul liber. Invenția sa a avut un mare succes.

Apoi Galileo a avut ideea de a îndrepta telescopul în sus, spre cer. Deși telescopul era greu de folosit, având un câmp de vedere foarte îngust și fiind dificil de orientat, Galileo a reușit să vadă o parte din Lună și a realizat că pe suprafața acesteia există forme de relief. Datorită educației sale în arta desenului, specifică Renașterii în Italia, Galileo a realizat că relieful era reprezentat de lumini și umbre și că de fapt el vedea munți și cratere. Din lungimea umbrelor și din modul în care acestea se schimbau în funcție de schimbarea iluminării de la Soare, Galileo și-a putut da seama cât de înalți sunt acești munți. Cu câteva luni înainte, englezul Thomas Harriot a îndreptat un telescop similar spre Lună dar a reușit să realizeze doar câteva schițe neclare. Harriot nu a fost interesat de publicitate sau glorie și activitatea sa nu a fost cunoscută decât după moartea sa. Una din lentilele pe care Galileo le-a folosit când a făcut aceste descoperiri, acum fisurată, a rămas în Muzeul de istorie a științei din Florența, Italia; în același muzeu mai pot fi văzute două telescoape complete construite de el

(figura 7a). Galileo a început să scrie despre descoperirile sale la sfârșitul anului 1609. El nu numai că a găsit munți și cratere pe Lună, dar a observat Calea Lactee și a constatat că este formată din mai multe stele formând un fel de grupuri. Apoi, în ianuarie 1610, a descoperit patru "stele" în apropierea lui Jupiter, "stele" care se mișcau odată cu planeta și care își schimbau poziția de la o noapte la alta. Acest moment a marcat descoperirea celor patru luni principale ale lui Jupiter, luni pe care le numim acum sateliți galileeni. Galileo și-a consemnat descoperirile într-o cărțică cu titlul *Sidereus Nuncius* (Mesagerul stelar) care a fost publicată în anul 1610 (figura 7b). De la Aristotel și Ptolemeu s-a crezut că Pământul era singurul centru al mișcărilor de revoluție. Iar Aristotel a fost considerat ca fiind infailibil. Astfel, descoperirea sateliților lui Jupiter care arăta că Aristotel s-ar fi putut înșela a fost o lovitură puternică pentru abordarea geocentrică și totodată un punct important în favoarea teoriei heliocentrice a lui Copernic.

Pentru a obține favoruri, Galileo a încercat să denumească lunile după familia lui Cosmo de Medici, patronul său. Dar acele nume nu au rezistat în timp. După câțiva ani, Simon Marius a propus numele pe care le folosim și în prezent. (Este posibil ca Marius să fi văzut lunile cu puțin înaintea lui Galileo, dar și-a publicat lucrarea mult mai târziu.) De la stânga la dreapta, sateliții sunt Io, Europa, Ganimede și Calisto (figura 9). Chiar și cu un telescop mic, de amator, acești sateliți pot fi văzuți într-o noapte senină și se poate remarca faptul că într-un interval de timp de câteva ore aceștia își schimbă pozițiile. Ei orbitează în jurul lui Jupiter cu perioade de până la câteva zile.

Chiar și cu cele mai mari și cele mai bune telescoape terestre, astronomii nu pot obține o imagine clară a structurii de pe suprafața sateliților galileeni. Numai când sateliții NASA - Pioneer 10 și 11, respectiv Voyager 1 și 2, au zburat aproape de sistemul lui Jupiter am putut vedea detalii suficiente ale sateliților pentru a-i caracteriza pe ei și apoi suprafața lor. Din observațiile efectuate cu ajutorul telescoapelor terestre și spațiale astronomii descoperă încă sateliți ai lui Jupiter deși cei mai nou descoperiți sunt mult mai mici și mai ușori decât sateliții galileeni. Galileo a folosit descoperirile sale pentru a obține o slujbă mai bună și un salariu mai mare în Florența. Din nefericire, Florența era prea aproape de autoritatea papală de la Roma, aici erau bancherii papei și era o cetate mai puțin liberală decât republica venețiană. Galileo a continuat să scrie despre o mare varietate de subiecte științifice, cum ar fi: petele solare, cometele, corpurile care plutesc. Fiecare dintre aceste scrieri părea să conțină un argument contra vreunui aspect al studiilor lui Aristotel. Galileo a descoperit că Venus are faze – fapt care arăta că Venus orbitează în jurul



Fig. 8: În anul 2009, pentru aniversarea a 400 de ani de la prima utilizare de către Galileo a telescopului pentru a observa cerul, a fost instalată o placă pe o coloană în vârful Campaniei, un turn din secolul XV din Veneția (reconstruit la începutul secolului XX după prăbușirea din 1902). Aici este celebrat Galileo care a realizat demonstrații cu telescopul său nobililor din Veneția, observând corăbiile aflate la distanță mare; acestea au avut loc cu mult timp înainte ca Galileo să-și îndrepte telescopul spre cer. Inscripția de pe placă poate fi tradusă aproximativ: "Galileo Galilei, cu oceanul său a lărgit orizontul omului acum 400 de ani, în data de 21 august 1609" (Foto: Jay M. Pasachoff)

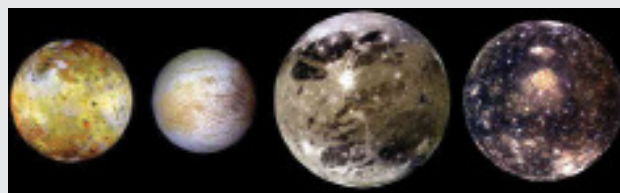


Fig. 9: Galileo însuși ar fi uimit să vadă ceea ce au înregistrat navele spațiale pe așa-numiții "sateliți Mediciani", pe care i-a descoperit în 1609. În aceste imagini dimensiunile sateliților sunt la scară relativă. De la stânga la dreapta, se pot vedea Io, recent refăcut după câteva zeci de erupții vulcanice; al doilea este Europa, o primă destinație pentru a găsi viața extraterestră datorită oceanului care se găsește sub stratul neted de gheață; al treilea este Ganimede, cea mai mare lună din sistemul solar, prezentând în mod special o parte fascinantă crestată a suprafeței sale; la dreapta este Calisto, satelitul cel mai îndepărtat și acoperit cu gheață care păstrează urmele meteoritelor căzuți de-a lungul a miliarde de ani pe suprafața sa. (Foto: NASA, Misiunea Galileo, PIA01400)

Soarelui. Aceasta nu a dovedit că Pământul orbitează în jurul Soarelui, deoarece cosmologia hibridă a lui Tycho putea explica aceste faze. Dar Galileo vedea aceste faze ca argument pentru teoria lui Copernic.

În anul 1616, Galileo a fost atenționat de oficialitățile bisericii de la Roma să nu mai susțină și să nu mai promoveze teoria copernicană și anume faptul că Soarele și nu Pământul se află în centrul Universului. Galileo a reușit să păstreze tăcerea mult timp, dar în anul 1632 a publicat cartea sa *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (Dialog despre cele două sisteme ale lumii) ce are trei personaje care discută sistemul heliocentric și geocentric. Galileo avea permisiunea oficială pentru a-și publica opera, dar era evidentă pledoaria cărții

pentru sistemul copernican heliocentric. A fost judecat pentru nesubordonarea sa și a fost condamnat la arest la domiciliu, unde a rămas pentru restul vieții sale.

Noua fizică: Isaac Newton din Anglia

Multă lume crede că cei mai importanți fizicieni din lume sunt: Isaac Newton, James Clerk Maxwell și Albert Einstein. Un scurt rezumat: Newton a descoperit legea gravitației universale, Clerk Maxwell a unificat electricitatea și magnetismul, iar Einstein a descoperit teoria specială și generală a relativității.

Într-o poveste în cea mai mare parte adevărată, tânărul Isaac Newton (1642 – 1727) a fost trimis de la Universitatea Cambridge acasă la Woolsthorpe, aproape de Lincoln, în Anglia. Aceasta s-a întâmplat când universitățile au fost închise din cauza unei epidemii. În timp ce stătea acasă, el a văzut un măr căzând dintr-un pom și a realizat că forța care controlează căderea mărului este, fără îndoială, aceeași forță care controlează mișcarea Lunii. Ulterior, Newton a revenit la facultate, la Trinity College, Cambridge. În același timp, un grup de oameni de știință din Londra a participat la o reuniune pentru a constitui o societate științifică (numită acum Royal Society), iar tânărul Edmond Halley a fost trimis la Cambridge pentru a confirma o știre referitoare la un strălucit matematician, Isaac Newton, care i-ar putea ajuta în căutarea răspunsului la o importantă întrebare științifică. Călătoria de la Londra la Cambridge cu diligența a fost cu mult mai lungă și mai dificilă decât călătoria de azi cu trenul de numai o oră. Halley l-a întrebat pe Newton dacă ar exista o forță care depinde de pătratul distanței, ce formă ar avea orbita? Iar Newton i-a răspuns că ar avea forma unei elipse. Entuziasmat, Halley l-a întrebat dacă a demonstrat acest lucru, iar Newton a spus că are unele hârtii pe care a calculat. I-a spus că nu le poate găsi, deoarece se gândea că are nevoie de timp pentru a vedea dacă dorește într-adevăr să revină asupra analizei. Oricum, Newton a fost impresionat să scrie unele din concluziile sale matematice. Acestea l-au condus, în câțiva ani, la cea mai celebră carte a sa, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Principiile matematice ale filosofiei naturale), dar ceea ce era numit atunci filosofie înseamnă ceea ce numim în prezent știință.

Principiile lui Newton au fost publicate în anul 1687 în limba latină. Newton era încă profesor la colegiu; evenimentul a avut loc cu mult timp înainte de a fi înnobilit pentru lucrările sale. Halley a trebuit să plătească pentru tipărirea cărții lui Newton și, mai mult decât atât, a promovat-o și a scris chiar și prefața cărții. Principia a inclus și legea celebră a lui Newton care arată modul în care gravitația se reduce cu pătratul distanței și dovada validității legilor lui Kepler referitoare la orbitele plane-

tare. Cartea include de asemenea legile mișcării stabilite de Newton, prezentate chiar ca „legi” în limba latină, în timp ce legile lui Kepler sunt ascunse în textul său.

Legile mișcării ale lui Newton sunt:

Prima lege a lui Newton: Un corp în mișcare tinde să rămână în mișcare, iar un corp în repaus tinde să rămână în repaus.

Legea a doua a lui Newton: forța = masa înmulțită cu accelerația.

Legea a treia a lui Newton: Pentru fiecare acțiune există o reacțiune egală și de sens opus.

Newton a stabilit fundamentele fizicii matematice care au determinat evoluția științei până în zilele noastre.

Cercetarea astronomică continuă

La fel cum popoarele antice au fost curioase să cunoască cerul și au vrut să afle care este locul omenirii în univers, și astronomii din zilele noastre au continuat să cerceteze, bazându-se pe descoperirile din trecut. Descoperirile teoretice și observaționale au împins înțelegerea Universului de la concepția geocentrică a lui Ptolemeu la ipoteza heliocentrică a lui Copernic, apoi la descoperirea că sistemul solar nu este în centrul galaxiei noastre, la înțelegerea galaxiilor distribuite în univers. Astronomia contemporană operează cu programe de căutare a naturii materiei întunecate și a energiei întunecate. Teoria relativității a lui Einstein indică nu numai că galaxia noastră nu este în centrul Universului ci, mai mult, însăși ideea de “centru” pare a fi lipsită de sens. Descoperirea recentă a câtorva sute de exoplanete orbitând alte stele a arătat cât de neobișnuit poate fi sistemul nostru solar. Noile teorii ale formării planetelor se dezvoltă paralel cu noile observații ale unor sisteme planetare nebănuite. Calea spre noi descoperiri este înaintea astronomilor contemporani ai epocii moderne, la fel cum era și acum mii sau sute de ani înainte.

Bibliografie

Hoskin, M. (editor), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.
Pasachoff, J and Filippenko A, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium*, 4th ed., Cambridge University Press 2012.

Surse Internet

www.solarcorona.com
<http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html>
<http://www2.astronomicalheritage.net>

Sistemul Solar

Magda Stavinschi

Uniunea Astronomică Internațională, Institutul Astronomic al Academiei Române
(București, România)

.....

Rezumat

Fără îndoială, într-un univers în care vorbim despre sisteme stelare și solare, planete și exoplanete, cel mai vechi și cel mai cunoscut sistem este cel solar. Cine nu știe ce este Soarele, ce sunt planetele, cometele, asteroizii? Dar acest lucru este adevărat? Dacă vrem să știm mai multe despre aceste tipuri de obiecte din punct de vedere științific, trebuie să cunoaștem regulile care definesc acest sistem.

Care corpuri se încadrează în aceste categorii (în conformitate cu rezoluția Uniunii Astronomice Internaționale din 24 august 2006)?

- Opt planete
- 162 de sateliți naturali ai planetelor
- Trei planete pitice
- Alte corpuri mai mici:
 - o asteroizi
 - o meteoriți
 - o comete
 - o praf
 - o centura Kuiper
 - o etc.

Prin extensie, orice altă stea înconjurată de corpuri ce se supun aceluiași legi se numește un sistem stelar. Care este locul Sistemului solar în univers? Acestea sunt doar câteva din întrebările la care vom încerca să răspundem acum.

Obiective

- Stabiliți locul Soarelui în univers.
 - Stabiliți care corpuri formează Sistemul solar.
 - Găsiți detalii ale diferitelor corpuri din Sistemul solar, în special ale celor mai importante.
-

Sistemul Solar

Ce este un sistem?

Un sistem este, prin definiție, un ansamblu de elemente (principii, reguli, forțe etc.), care interacționează reciproc în conformitate cu o serie de principii sau reguli.

Ce este un sistem solar?

Pentru a-l defini o să indicăm elementele ansamblului:

Soarele și toate corpurile care îl înconjoară legate de acesta prin forța gravitațională.

Care este locul Sistemului solar în univers?

Sistemul solar este situat într-unul din brațele exterioare ale Galaxiei noastre, numită și Calea Lactee. Acest braț este numit și Brațul Orion. El este situat într-o regiune cu densitate relativ mică.

Soarele, împreună cu întregul Sistem solar, orbitează în jurul centrului Galaxiei noastre, situat la o distanță de 25.000-28.000 de ani-lumină (aproximativ jumătate din raza Galaxiei), cu o perioadă orbitală de aproximativ 225-250 milioane de ani (anul galactic al Sistemului solar). Viteza de-a lungul acestei orbite circulare este de aproximativ 220 km/s, iar direcția este orientată spre poziția actuală a stelei Vega.

Galaxia noastră este formată din aproximativ 200 de miliarde de stele, împreună cu planetele lor și peste 1000 de nebuloase. Masa întregii galaxii Calea Lactee este de aprox. 750-1000 miliarde de ori mai mare decât cea a Soarelui, iar diametrul este de aprox. 100.000 de ani lumină.

Aproape de Sistemul Solar este sistemul Alpha Centauri (cea mai strălucitoare stea din constelația Centaurul). Acest sistem este de fapt format din trei stele, două stele care sunt un sistem binar (Alpha Centauri A și B), asemănătoare cu Soarele, și o a treia stea, Alpha Centauri C, care este, probabil, cea care orbitează celelalte două stele. Alpha Centauri C este o pitică de culoare roșie, cu o luminozitate mai mică decât Soarele și la o distanță de 0,2 ani-lumină de la celelalte două stele. Alpha Centauri C este cea mai apropiată stea de Soare, la o distanță de 4,24 ani-lumină, de aceea este numită și "Proxima Centauri".

Galaxia noastră face parte dintr-un grup de galaxii numit Grupul Local, format din 3 galaxii mari și cel puțin 30 mai mici.

Galaxia noastră are forma unei spirale imense. Brațele acestei spirale conțin, printre altele, materie interstelară, nebuloase și grupuri de stele tinere, care se nasc din

această materie. Centrul galaxiei este format din stele mai vechi, care se află adesea în grupuri; ele sunt de formă sferică și sunt cunoscute sub numele de roiuri globulare. În Galaxia noastră sunt aproximativ 200 de astfel de grupuri, dintre care doar 150 sunt bine cunoscute. Sistemul nostru solar este situat la 20 de ani-lumină deasupra planului ecuatorial de simetrie și la 28.000 de ani-lumină distanță de centrul galactic.

Centrul Galaxiei este situat în direcția constelației Săgetătorul, la 25.000 - 28.000 de ani lumină depărtare de Soare .

Soarele

Vârsta Soarelui este de aprox. 4,6 miliarde de ani. În prezent, Soarele a încheiat aproximativ jumătate din ciclul său principal de evoluție. Pe parcursul principalei sale etape de evoluție, miezul de hidrogen al Soarelui se transformă în heliu prin fuziune nucleară. La fiecare secundă, în nucleul Soarelui, peste patru milioane de tone de materie sunt convertite în energie, generând astfel neutrinii și radiația solară.

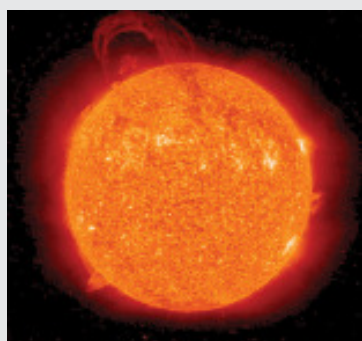


Fig. 1: Soarele

Ciclul de viață al Soarelui

În aproximativ 5 miliarde de ani, Soarele se va transforma într-o gigantică roșie și apoi într-o pitică albă, perioadă în care va da naștere unei nebuloase planetare. În cele din urmă își va epuiza hidrogenul, ceea ce va duce la schimbări radicale, inclusiv la distrugerea totală a Pământului. Activitatea solară, mai precis activitatea magnetică, produce un număr de fenomene, inclusiv pete solare pe suprafața sa, explozii solare și variații ale vântului solar care transportă materia în întreg Sistemul solar și chiar dincolo de el.

Soarele este format în cea mai mare parte din hidrogen și heliu. Rezervele de hidrogen reprezintă aprox. 74 %, iar heliul aproximativ 25 % din compoziția Soarelui , în timp ce restul este format din elemente mai grele, cum ar fi oxigen , și carbon .

Formarea și evoluția Sistemului solar

Nașterea și evoluția Sistemului solar au generat multe teorii fanteziste în trecut. Chiar la începutul erei științifice, sursa de energie a Soarelui și modul în care s-a format Sistemul solar erau încă un mister. Cu toate acestea noile progrese din era spațială, descoperirea altor lumi similare sistemului nostru solar, precum și progresele în domeniul fizicii nucleare, toate ne-au ajutat să înțelegem mai bine procesele fundamentale care au loc în interiorul unei stele și modul în care se formează stelele.

Explicația acceptată pentru modul în care s-a format Soarele și Sistemul solar (precum și alte stele) a fost propus pentru prima dată în 1755 de Immanuel Kant și, independent de el, de către Pierre-Simon Laplace. Conform acestei teorii, stelele se formează în nori mari și denși de hidrogen molecular gazos. Acești nori sunt instabili gravitațional și colapsează în bulgări mai denși și mai mici; în cazul Soarelui, aceasta este numită " nebuloasa solară"; bulgării denși inițiali colapsează apoi și mai mult formând stele și un disc de materie în jurul lor, care ar putea deveni în cele din urmă planete. Se poate ca nebuloasa solară să fi avut inițial dimensiunea de 100 UA și o masă de 2-3 ori mai mare decât cea a Soarelui. În timp ce nebuloasa colapsează din ce în ce mai mult, conservarea momentului cinetic a făcut ca nebuloasa să se rotească mai repede, pe măsură ce ea se prăbușea și a dus la încălzirea continuă a centrului nebuloasei. Acest lucru se întâmpla în urmă cu circa 4,6 miliarde de ani. În general se consideră că Sistemul solar arată cu totul diferit astăzi față de momentul formării sale.

Dar haideți să aruncăm o privire mai atentă asupra Sistemul solar, așa cum este astăzi .

Planete

Vom folosi definiția dată de către Uniunea Astronomică Internațională la a 26-a Adunare Generală, care a avut loc la Praga, în 2006.

În Sistemul Solar o planetă este un corp ceresc care:

1. este pe orbită în jurul Soarelui ,
2. are masă suficientă pentru a-și asigura un echilibru hidrostatic (o formă aproape rotundă), și
3. a "curățat vecinătățile" din jurul orbitei sale .

Un corp fără sateliți care îndeplinește doar primele două criterii este clasificat ca o "planetă pitică".

În conformitate cu UAI, "planetele și planetele pitice sunt două clase distincte de obiecte". Un corp fără sateliți care îndeplinește doar primul criteriu este clasificat ca un "corp mic din Sistemul solar " (SSSB) .

Proiectele inițiale propuneau includerea planetelor pitice ca o subcategorie de planete, dar pentru că acest lucru ar fi putut duce la adăugarea mai multor zeci de planete în Sistemul solar, acest proiect a fost în cele din urmă abandonat. În 2006, aceasta ar fi dus doar la adăugarea a trei corpuri (Ceres, Eris și Makemake) și re-clasificarea unuia (Pluto). Deci Sistemul solar are cinci planete pitice: Ceres, Pluto, Makemake, Haumea și Eris.

Conform definiției, există în prezent opt planete și cinci planete pitice cunoscute în Sistemul solar. Definiția face distincție între planete și corpuri mai mici și nu este utilă în afara Sistemului solar, unde încă nu pot fi găsite corpuri mai mici. Planetele extrasolare, sau exoplanetele, sunt descrise separat în 2003 într-un ghid complementar pentru definirea planetelor, care le deosebește de stelele pitice, care sunt mai mari.

Să le prezentăm una câte una:

MERCUR

Mercur este cea mai apropiată planetă de Soare și cea mai mică planetă din Sistemul solar. Este o planetă terestră în interiorul Sistemului solar. Numele său vine de la zeul roman Mercur.

Nu are nici un satelit natural. Aceasta este una dintre cele cinci planete care pot fi văzute de pe Pământ cu ochiul liber. A fost observată pentru prima oară cu telescopul abia în secolul al XVII-lea. Mai recent, a fost examinată de către două sonde spațiale: Mariner 10 (de trei ori în 1974-1975) și Messenger (de două ori în 2008).

Deși se poate observa cu ochiul liber, nu este ușor observabilă, tocmai pentru că este cea mai apropiată planetă de Soare. Locația sa pe cer este foarte aproape de Soare și poate fi bine observată doar în jurul elongațiilor, un pic înainte de răsărit și un pic după apusul soarelui. Cu toate acestea, misiunile spațiale ne-au dat suficiente informații, dovedind în mod surprinzător că Mercur este foarte asemănătoare cu Luna.



Fig. 2: Mercur

Merită să menționăm mai multe caracteristici ale planetei: este cea mai mică din Sistemul solar și cea mai apropiată de Soare. Are cea mai excentrică orbită ($e = 0,2056$) și de asemenea, cea mai înclinată orbită față de ecliptică ($i = 7,005^\circ$). Perioada sa sinodică este de 115,88 zile, ceea ce înseamnă că de trei ori pe an, este situată la elongație maximă la vest de Soare (este numită și "steaua de dimineață") și atunci când aceasta este de trei ori la elongație maximă la est de Soare, este numită "steaua de seară". În oricare dintre aceste cazuri, elongația nu depășește 28° .

Are o rază de 2440 km, adică este cea mai mică planetă a Sistemului solar, mai mică chiar decât doi din sateliții galileeni ai lui Jupiter: Ganymede și Callisto. Cu o densitate de $5,427 \text{ g/cm}^3$ este cea mai densă planetă după Pământ ($5,5 \text{ g/cm}^3$). Fierul ar putea fi principalul element greu (70% fier și 30 % materie stâncoasă) care contribuie la densitatea extrem de mare a lui Mercur. Se spune, în general, că Mercur nu are atmosferă (ceea ce nu este tocmai corect), deoarece atmosfera sa este extrem de rarefiată.

Mercur este singura planetă (pe lângă Pământ) cu un câmp magnetic semnificativ, care, deși este de ordinul a 1/100 din cel al câmpului magnetic terestru, este suficient pentru a crea o magnetosferă care se întinde până la 1,5 raze planetare, în comparație cu 11,5 raze în cazul Pământului. Mai există încă o analogie cu Pământul: câmpul magnetic este creat de un efect de dinam și este, de asemenea, bipolar cum este cel al Pământului, cu o axă magnetică înclinată cu 11° față de axa de rotație.

Pe Mercur temperaturile variază enorm. Atunci când planeta trece prin periheliu, temperatura poate ajunge la 427°C la ecuator la prânz, adică suficient pentru a aduce aproape la temperatura de topire un metal ca zincul. Cu toate acestea, imediat după căderea nopții, temperatura poate scădea până la -183°C , ceea ce duce la o variație diurnă de 610°C ! Nici o altă planetă nu suferă o astfel de diferență, care se datorează fie radiației solare intense în timpul zilei, fie lipsei unei atmosfere dense, iar durata zilei pe Mercur (intervalul dintre zori și amurg este de aproape trei luni terestre), timp suficient de lung pentru acumularea căldurii (sau, în mod similar, a dispersării ei în timpul unei nopți la fel lungi).

Atmosfera

Urme de presiune la suprafață

Compoziție: 42% oxigen molecular, 29,0% sodiu, 22,0 % hidrogen, 6,0% heliu, 0,5% potasiu. Urme de argon, azot, bioxid de carbon, vapori de apă, xenon, cripton și neon.

Trebuie să spunem câte ceva despre suprafața planetară. Craterelor de pe Mercur sunt foarte asemănătoare cu cele lunare ca morfologie, formă și structură. Cel mai remarcabil este bazinul Caloris; impactul care a creat acest bazin a fost atât de puternic încât a creat, de asemenea, erupții de lavă și a lăsat un inel concentric mare (mai mult de 2 km înălțime) care înconjoară craterul.

Caracteristicile orbitale, Epoca J2000	
Afelu	69.816.900 km, 0,466697 ua
Periheliu	46.001.200 km , 0,307499 ua
Semiaxa mare	57.909.100 km , 0,387098 ua
Excentricitate	0,205630
Perioada orbitală	87,969 zile, (0,24085 ani), 0,5 zile solare mercuriene
Perioada sinodică	115,88 zile
Viteza medie orbitală	47,87 km/s
Anomalia medie	174,796°
Înclinarea	7,005° față de ecliptică
Longitudinea nodului ascendent	48,331°
Argument de periheliu	29,124°
Sateți	nici unul

Caracteristici fizice	
Raza medie	2439,7 ± 1.0 km; 0.3829 raza P
Turtire	0
Aria suprafeței	7,48 × 10 ⁷ km ² ;0,147 suprafața P
Volum	6,083 × 10 ¹⁰ km ³ ; 0,056 volumul P
Masa	3.3022 × 10 ²³ kg ;0,055 masa P
Densitate medie	5,427 g/cm ³
Accelerația gravitațională la ecuator	3,7 m/s ² ;0,38 g
Viteza de evadare	4,25 km/s
Perioada de rotație siderală	58,646 zi; 1407,5 h
Albedou	0,119 (Bond) 0,106 (geometric)
Temperatura la suprafață 0°N, 0°W 85°N, 0°W	Min 100 K 80 K medio 340 K 200 K max 700 K 380 K
Magnitudine aparentă	-2,3 a 5,7
Moment cinetic	4,5" - 13"

Impacturile care generează bazinele sunt evenimentele cele mai cataclismice care pot afecta suprafața unei planete. Ele pot provoca schimbarea întregii cruste planetare și produce chiar modificări interne. Acestea s-au întâmplat atunci când s-a format craterul Caloris, cu un diametru de 1550 km.

Avansul periheliului lui Mercur

Avansul periheliului lui Mercur a fost confirmat. Ca orice

altă planetă, periheliul lui Mercur nu este fix, ci are o mișcare regulată în jurul Soarelui. Mult timp s-a considerat că această mișcare este de 43 de secunde de arc pe secol, ceea ce este mai rapid în comparație cu previziunile mecanicii cerești clasice "newtoniene". Acest avans al periheliului a fost prezis de teoria relativității generalizate a lui Einstein, cauza fiind curbura spațiului, datorită masei solare. Acordul între avansul observat al periheliului și cel prezis de teoria relativității generale a fost dovada în favoarea valabilității celei din urmă.

VENUS

Venus este una din cele opt planete ale sistemului solar și una din cele patru planete terestre din sistemul interior, a doua ca distanță față de Soare. Aceasta poartă numele zeiței romane a dragostei și a frumuseții.

Apropierea față de Soare, structura și densitatea fac din Venus unul dintre cele mai calde corpuri din Sistemul solar. El are un câmp magnetic foarte slab și nu are nici un satelit natural. Este una dintre puținele planete cu o mișcare revoluție retrogradă și singura cu o perioadă de rotație mai mare decât perioada de revoluție.

Este cel mai strălucitor corp ceresc, după Soare și Lună. Este a doua planetă ca distanță față de Soare (situată între Mercur și Pământ), la aproximativ 108.200.000 km de la Soare. Traectoria lui Venus în jurul Soarelui este aproape un cerc: orbita sa are o excentricitate de 0,0068, respectiv cea mai mică din Sistemul solar. Un an pe Venus este oarecum mai scurt decât o zi siderală venusiană, într-un raport de 0,924.

Dimensiunea și structura geologică sunt similare cu cele ale Pământului. Atmosfera este extrem de densă. Amestecul de CO₂ și norii denși de dioxid de sulf creează cel mai puternic efect de seră din Sistemul solar, cu temperaturi de aprox. 460° C. Temperatura suprafeței lui Venus este mai mare decât a lui Mercur, deși Venus este situat aproape de două ori mai departe de Soare decât Mercur și primește doar cca. 25% din radiația solară pe care o primește Mercur. Suprafața planetei are un relief aproape uniform. Câmpul său magnetic este foarte slab, dar trage o coadă de plasmă în lungime de 45 milioane km, observată pentru prima dată de către SOHO în 1997.

O caracteristică remarcabilă a lui Venus este rotația sa retrogradă; se rotește în jurul axei sale foarte încet, în sens invers acelor de ceasornic, în timp ce planetele din Sistemul solar fac acest lucru de multe ori în sensul acelor de ceasornic (există și o altă excepție: Uranus). Perioada de rotație a fost cunoscută din 1962. Această rotație (înceată și retrogradă) produce zile solare, care sunt mult mai scurte decât ziua siderală, zilele siderale

sunt mai lungi pe planetele cu rotație în sensul acelor de ceasornic . Prin urmare, există mai puțin de 2 zile solare complete pe parcursul unui an venusian.



Fig. 3: Venus.

Cauzele rotației retrograde a lui Venus nu au fost stabilite încă. Explicația cea mai probabilă ar fi o coliziune gigant cu un alt corp mare în timpul formării planetelor din sistemul solar. Ar putea fi, de asemenea, posibil ca atmosfera venusiană să influențeze rotația planetei datorită densității sale mari.

Venus - sora geamăna a Pământului. Analogii.

- S-au născut în același timp, din același nor de gaz și praf, în urmă cu 4,6 miliarde ani;
- ambele sunt planete din Sistemul solar interior;
- suprafețele lor au un teren variat: munți, câmpii, văi, platouri înalte, vulcani, cratere de impact etc.;
- ambele au un număr relativ mic de cratere, semn al unei suprafețe relativ tinere și al unei atmosfere dense;
- au compoziții chimice apropiate.

Tranzitul lui Venus

Tranzitul lui Venus are loc atunci când planeta trece între Pământ și Soare; atunci umbra lui Venus traversează discul solar. Având în vedere înclinația orbitei lui Venus în comparație cu cea a Pământului, acest fenomen este foarte rar la scara de timp uman. Are loc de două ori în opt ani, acest tranzit dublu fiind separat de cel următor cu mai mult de un secol (105,5 sau 121,5 ani).

Penultimul tranzit a avut loc la 8 iunie 2004, ultimul la

6 iunie 2012 și următorul nu va fi decât la 11 decembrie 2117.

Atmosfera

Presiune la suprafață 93 bar (9,3 MPa)

Compoziție: ~ 96,5% dioxid de carbon , ~ 3,5% azot , 0,015% dioxid de sulf, 0,007% argon, 0,002% vapori de apă, 0,001 7% monoxid de carbon, 0,001 2% heliu, 0.000 7% neon.

Caracteristicile orbitale, Epoca J2000	
Afeliu	108.942.109 km, 0,72823128 AU
Periheliu	107.476.259 km, 0,71843270 AU
Semi-axa mare	108.208.930 km, 0,723332 AU
Excentricitate	0,0068
Perioada orbitală	224,700 zile, 0.615197 ani, 1,92 zi solară Venusiană
Perioada sinodică	583,92 días
Viteza medie orbitală	35,02 km/s
Înclinarea	3,39471° față de ecliptică, 3.86° față de ecuatorul solar
Longitudinea nodului ascendent	76,67069°
Argumentul periheliului	54,85229°
Sateliti	Nici unul

Caracteristici fizice	
Raza medie	6,051.8 ± 1,0 km, 0,9499 P
Turtire	0
Aria suprafeței	4,60 10 ⁸ km ² , 0,902 suprafața P
Volum	9,38 10 ¹¹ km ³ , 0,857 volumul P
Masa	4,8685 10 ²⁴ kg, 0,815 masa P
Densitate medie	5,204 g/cm ³
Accelerația gravitațională la ecuator	8,87 m/s ² , 0,904 g
Viteza de evadare	10,46 km/s
Perioada de rotație siderală	-243,0185 d
Albedou	0,65 (geometric) sau 0,75 (Bond)
Temperatura la suprafață	461,85°C
Magnitudine aparentă	până la -4,6 (crescent) , -3,8 (la faza de Venus Plin)
Moment cinetic	9.7" – 66.0"

Proprietăți	Venus	Pământ	Raportul Venus / Pământ
Masa	4,8685 10 ²⁴ kg	5,9736 10 ²⁴ kg	0,815
Raza ecuatorială	6.051 km	6.378 km	0,948
Densitate medie	5,204 g/cm ³	5,515 g/cm ³	0,952
Semi-axa mare	108.208.930 km	149.597.887 km	0,723
Viteza orbitală medie	35,02 km/s	29,783 km/s	1,175
Accelerația gravitațională la ecuator	8,87 m/s ²	9,780327 m/s ²	0,906

PAMÂNTUL

Pământul este a treia planetă de la Soare din Sistemul solar, și a cincea ca mărime. Face parte din planetele interioare ale Sistemului solar. Este cea mai mare planetă de tip terestru din Sistemul solar și singura din Univers despre care știm că poate găzdui viața. Pământul s-a format cu aprox. 4,57 miliarde de ani în urmă. Singurul său satelit natural, Luna, a început să-l orbiteze la scurt timp după aceea, în urmă cu 4,533 miliarde ani. Prin comparație, vârsta Universului este de aproximativ 13,7 miliarde ani. 70,8 % din suprafața Pământului este acoperită cu apă, restul de 29,2% fiind solid și "uscat". Zona acoperită cu apă este împărțită în oceane, iar uscatul este împărțit în continente.

Între Pământ și restul Universului există o interacțiune permanentă. De exemplu, Luna este cauza mareelor de pe Pământ. Luna influențează, de asemenea, în mod continuu viteza mișcării de rotație a Pământului. Toate corpurile care orbitează în jurul Pământului sunt atrase de Pământ; această forță de atracție se numește gravitație, iar accelerația cu care aceste corpuri cad în câmpul gravitațional este numită accelerația gravitațională (notată cu "g" = 9,81 m/s²).

Caracteristici orbitale, Epoca J2000	
Afelu	152.097.701 km; 1,0167103335 UA
Periheliu	147.098.074 km; 0,9832898912 UA
Semi-axa mare	149.597.887,5 km; 1,0000001124UA
Excentricitate	0,016710219
Perioada orbitală	365,256366 zile; 1,0000175 ani
Viteza medie orbitală	29,783 km/s; 107,218 km/h
Înclinația	1,57869
Longitudinea nodului ascendent	348,73936°
Argumentul periheliului.	114,20783°
Sateți	1 (la Luna)



Fig. 4: Pământul.

Caracteristici fizice	
Raza medie	6.371,0 km
Raza ecuatorială	6.378,1 km
Raza polară	6.356,8 k
Turtire	0,003352
Aria suprafeței	510.072.000 km ²
Volum	1,0832073 10 ¹² km ³
Masa	5,9736 10 ²⁴ kg
Densitate medie	5,515 g/cm ³
Accelerația gravitațională la ecuator	9,780327 m/s ² ; 0,99732 g
Viteza de evadare	11.186 km/s
Perioada de rotație siderală	0,99726968 z; 23h 56 m 4,100 s
Albedo	0,367
Temperatura la suprafață (medie)	min medio max -89 °C 14 °C 57,7 °C

Se crede că formarea oceanelor Terrei a fost cauzată de un "jet" de comete din perioada de formare timpurie a Pământului. Impacturi târzii cu asteroizi au adus modificări decisive ale mediului. Schimbări în orbita Pământului în jurul Soarelui ar putea fi o cauză a perioadelor glaciare de pe Pământ, care au avut loc de-a lungul istoriei.

Atmosfera

Presiunea la suprafață 101,3 kPa (MSL)

Compoziție: 78,08% azot (N₂), 20,95 % oxigen (O₂) , 0,93% argon, 0,038% dioxid de carbon; circa 1% vapori de apă (variază în funcție de climă).

MARTE

Marte este a patra planetă de la Soare în Sistemul solar și a doua ca mărime, după Mercur. Ea aparține grupului de planete terestre. Planeta poartă numele zeului roman al războiului, Marte, datorită culorii sale roșiatice.

Mai multe misiuni spațiale au studiat-o începând din 1960 pentru a afla cât mai mult posibil despre geografia și atmosfera sa, precum și alte detalii. Marte poate fi observată cu ochiul liber. Nu este la fel de luminoasă ca Venus și doar rareori mai strălucitoare decât Jupiter. O depășește pe aceasta din urmă în timpul configurațiilor sale cele mai favorabile (opозиții).

Dintre toate corpurile din Sistemul solar, planeta roșie a dat naștere la cele mai multe povestiri science-fiction. Principalul motiv pentru acest lucru este de multe ori din cauza celebrelor sale canale, numite astfel pentru prima dată în 1858 de către Giovanni Schiaparelli și considerate a fi rezultatul unor construcții umane.

Caracteristici orbitale, Epoca J2000	
Afelu	249.209.300 km; 1,665861 UA
Periheliu	206.669.000 km; 1,381497 UA
Semiaxa mare	227.939.100 km; 1,523679 UA
Excentricitate	0,093315
Perioada orbitală	686,971 zile; 1,8808 ani iulieni
Perioada sinodică	779,96 zile; 2,135 ani iulieni
Viteza medie orbitală	24,077 km/s
Înclinarea	1,850° față de ecliptică; 5,65° față de ecuatorul solar
Longitudinea nodului ascendent	49,562°
Argumentul periheliului	286,537°
Sateți	2

Caracteristici fizice	
Raza ecuatorială	3396,2 ± 0,1 km; 0,533 raze terestre
Raza polară	3376,2 ± 0,1 km; 0,531 raze terestre
Turtire	0,005 89 ± 0,000 15
Aria suprafeței	144.798.500 km ² ; 0,284 P
Volum	1,6318 10 ¹¹ km ³ ; 0,151 P
Masa	6,4185 10 ²³ kg; 0,107 P
Densitate medie	3,934 g/cm ³
Accelerația gravitațională la ecuator	3,69 m/s ² ; 0,376 g
Viteza de evadare	5,027 km/s
Perioada de rotație siderală	1,025957 d
Albedou	0,15 (geom); 0,25 (bond)
Temperatura la suprafață	min medio max -87 °C -46 °C -5 °C
Magnitudinea aparentă	+1.8 a -2.91
Diametrul unghiular	3,5"— 25,1"

Culoarea roșie a lui Marte se datorează oxidului de fier III (numit și hematită), care se găsește în mineralele de pe suprafața sa. Marte are un relief foarte pronunțat; ea are cel mai înalt munte din Sistemul solar (vulcanul Olympus Mons), cu o înălțime de cca. 25 km, precum și cel mai mare canion (Valles Marineris) cu o adâncime medie de 6 km. Centrul lui Marte este format dintr-un miez de fier cu un diametru de cca. 1700 km, acoperit cu un înveliș olivin și o crustă bazaltică cu o lățime medie de 50 km.

Marte este înconjurată de o atmosferă subțire, constând în principal din dioxid de carbon. În trecut a avut o hidrosferă activă, adică pe Marte a fost apă cândva. Ea are doi sateliți naturali, Phobos și Deimos, care sunt probabil asteroizi capturați de către planetă.

Diametrul lui Marte este jumătate din cel al Pământului și suprafața sa este egală cu cea a zonei continentale de pe Pământ. Marte are o masă care este de aproximativ o zecime din cea a Pământului. Densitatea sa este cea mai mică dintre cele ale planetelor terestre, ceea ce face gravitația acesteia doar ceva mai mică decât cea a lui Mercur, deși masa sa este de două ori mai mare.

Înclinația axei lui Marte este apropiată de cea a Pământului, motiv pentru care există anotimpuri pe Marte la fel ca pe Pământ. Dimensiunile calotelor polare variază foarte mult în timpul anotimpurilor prin schimbul de dioxid de carbon și apă, cu atmosfera.



Fig. 5: Mars

Un alt punct comun, ziua marțiană, este cu numai 39 de minute mai lungă decât cea terestră. Prin contrast, din cauza distanței mai mari față de Soare, anul marțian este mai lung decât un an pe Pământ și anume cu 322 zile.

Marte este cea mai apropiată planetă de Pământ. Această distanță este mai mică când Marte este în opoziție, și anume atunci când, văzut de pe Pământ, este situat vizavi de Soare. În funcție de elipticitate și de înclinarea orbitei, momentul exact al apropierii maxime de Pământ poate varia cu două zile.

La 27 august 2003 Marte a fost la numai 55.758 de milioane de km de Pământ, adică la doar 0,3727 ua depărtare, cea mai mică distanță înregistrată în ultimii 59.618 ani. Un eveniment ca acesta duce de multe ori la tot felul de fantezii, ca de exemplu, că Marte ar putea fi văzut la fel de mare ca Luna Plină. Cu toate acestea, cu un diametru aparent de 25,13 secunde de arc, Marte ar putea fi văzută cu ochiul liber doar ca un punct, în timp ce Luna se întinde pe un diametru aparent de aprox. 30 minute de arc. Următoarea apropiere similară între Marte și Pământ nu se va mai repeta înainte de 28 august 2287, atunci când distanța dintre cele două planete va fi de 55.688 milioane de km.

Atmosfera :

Presiune la suprafață 0,6-1,0 kPa

Compoziție

95.72% dioxid de carbon; 2,7% azot; 1,6% argon; 0,2 % oxigen; monoxid de carbon 0,07%; 0,03% vapori de apă; 0,01 % oxid azotic; 2.5 ppm neon; 300 ppb kripton; 30 ppb formaldehidă; 80 ppb xenon; 30 ppb ozon ,10 ppb metan .

JUPITER

Jupiter este a cincea planetă de la Soare și cea mai mare dintre toate planetele din Sistemul nostru solar. Diametrul său este de 11 ori mai mare decât cel al Pământului, masa de 318 de ori mai mare ca a Pământului, iar volumul de 1300 de ori mai mare decât cel al planetei noastre.

- orbita: 778.547.200 km de la Soare
- diametru: 142.984 km (ecuatorial)
- masa: $1,8986 \times 10^{27}$ kg

Jupiter este al patrulea cel mai strălucitor obiect de pe cer (după Soare, Luna, Venus și Marte, uneori). Acesta a fost cunoscut din timpuri preistorice. Descoperirea celor patru sateliți mari ai săi, Io, Europa, Ganymede și Callisto (cunoscuți sub numele de sateliți galileeni), de către Galileo Galilei și Simon Marius în 1610, a fost prima descoperire a unei mișcări aparente necentrate pe Pământ. Acesta a fost un punct important în favoarea teoriei heliocentrice a mișcării planetare a lui Nicolae Copernic. Aprobarea de către Galileo a teoriei lui Copernic i-a adus probleme cu Inchiziția. Înainte de misiunile Voyager doar 16 dintre sateliții săi erau cunoscuți, acum știm că are peste 60.

Compoziție: Jupiter are, probabil, un miez de material solid, care se ridică până la de 10-15 ori masa Pământului. Deasupra acestui miez, este un strat gros de hidrogen metalic lichid. Datorită temperaturii și presiunii din interiorul lui Jupiter, hidrogenul este în stare lichidă și nu gazoasă. Este un conductor electric și constituie sursa câmpului magnetic al lui Jupiter. Acest strat conține probabil ceva heliu și unele urme de "strat aluvionar de gheață". Stratul de suprafață este alcătuit în principal din hidrogen molecular și heliu, lichid în interior și gazos în exterior. Atmosfera pe care o vedem este doar partea superioară a acestui strat adânc. Apa, dioxidul de carbon, metanul, precum și alte molecule simple sunt de asemenea prezente în cantități mici.

Atmosfera: Jupiter este format din cca. 86% hidrogen și 14% heliu (în funcție de numărul de atomi, cca. 75/25% din masă) cu urme de metan, apă, amoniac și "piatră". Aceasta este foarte apropiată de compoziția inițială a Nebuloasei Solare, din care s-a format întregul Sistem solar. Saturn are o compoziție similară, în timp ce Ura-

nus și Neptun au mai puțin hidrogen și heliu.

Marea Pată Roșie (MPR) a fost observată pentru prima dată de către telescoapele de pe Pământ, în urmă cu mai mult de 300 de ani. Este un oval de aproximativ 12000 pe 25000 km, suficient de mare pentru a cuprinde două sau trei Pământuri. Este o regiune de înaltă presiune, ai cărei nori superiori sunt mult mai mari și mai reci decât zonele înconjurătoare. Structuri similare au fost observate pe Saturn și Neptun. Modul în care există astfel de structuri pentru o astfel de perioadă lungă de timp nu a fost încă pe deplin înțeles.

Jupiter și celelalte planete gazoase au vânturi de mare viteză în benzi mari la diferite latitudini. Vânturile suflă în direcții opuse în două benzi adiacente. Diferențele mici de temperatură sau de compoziție chimică sunt responsabile pentru colorarea diferită a benzilor, un aspect care domină imaginea planetei. Atmosfera lui Jupiter este foarte turbulentă. Acest lucru dovedește că vânturile sunt puse în mare măsură în mișcare, de căldura internă a planetei și nu de cea care vine de la Soare, așa cum este în cazul Pământului.

Magnetosfera. Jupiter are un câmp magnetic uriaș, de 14 de ori mai puternic decât câmpul magnetic al Pământului. Magnetosfera sa se întinde la peste 650 milioane km (dincolo de orbita lui Saturn). Sateliții lui Jupiter sunt cuprinși în magnetosfera lui, ceea ce explică parțial activitatea de pe Io. O posibilă problemă pentru viitoarele călătorii spațiale, precum și o mare problemă pentru designerii sondelor Voyager și Galileo, este faptul că mediul din apropierea lui Jupiter are mari cantități de particule prinse de câmpul său magnetic.

Această "radiație" este similară, dar mult mai intensă, decât cea observată în centurile Van Allen ale Pământului. Ar fi letală pentru orice ființă umană neprotejată.



Fig. 6: Jupiter

Sonda Galileo a descoperit o nouă radiație intensă între inelele lui Jupiter și stratul superior al atmosferei. Această nouă centură de radiații are o intensitate de cca. 10 ori mai mare decât cea a centurilor Van Allen de pe Pământ. Surprinzător, această nouă centură conține ioni de heliu de energie mare, de origine necunoscută.

Caracteristici orbitale, Epoca J2000	
Afelu	816.520.800 km (5,458104 UA)
Periheliu	740.573.600 km (4,950429 UA)
Semiaxa mare	778.547.200 km (5,204267 UA)
Excentricitate	0,048775
Perioada orbitală	4331,572 zile; 11,85920 ani; 10475,8 zile solare Jupiteriene
Perioada sinodică	398,88 zile
Viteza medie orbitală	13,07 km/s
Anomalia medie	18,818°
Înclinarea	1,305° față de ecliptică; 6,09° față de ecuatorul solar
Longitudinea nodului ascendent	100,492°
Argumentul periheliului	275,066°
Sateliți	63

Caracteristici fizice	
Raza ecuatorială	71492 ± 4 km; 11,209 raza terestră
Raza polară	66854 ± 10 km; 10,517 raza terestră
Turtire	0,06487 ± 0,00015
Aria suprafeței	6,21796 10 ¹⁰ km ² ; 121,9 aria P
Volum	1,43128 10 ¹⁵ km ³ ; 1.321,3 volumul P
Masă	1,8986 10 ²⁷ kg; 317,8 masa Pământului, 1/1047 masa solară
Densitate medie	1,326 g/cm ³
Accelerația gravitațională la ecuator	24,79 m/s ² ; 2,528 g
Viteza de evadare	59,5 km/s
Perioada de rotație siderală	9,925 h
Albedou	0,343 (bond); 0,52 (geom.)
Magnitudinea aparentă	-1.6 a -2.94
Diametrul unghiular	29.8" — 50.1"

Inelele planetei. Jupiter are inele la fel ca Saturn, dar mult mai palide și mai mici. Spre deosebire de cele ale lui Saturn, inelele lui Jupiter sunt întunecate. Ele sunt probabil alcătuite din granule mici de material pietros. Spre deosebire de inelele lui Saturn, inelul lui Jupiter pare puțin probabil să conțină gheață. Se pare că particulele din inelele lui Jupiter nu rămân acolo pentru mult timp (datorită atracției atmosferice și magnetice). Sonda Galileo a găsit dovezi clare care indică faptul că

Inelele planetei. Jupiter are inele la fel ca Saturn, dar mult mai palide și mai mici. Spre deosebire de cele ale lui Saturn, inelele lui Jupiter sunt întunecate. Ele sunt probabil alcătuite din granule mici de material pietros. Spre deosebire de inelele lui Saturn, inelul lui Jupiter pare puțin probabil să conțină gheață. Se pare că particulele din inelele lui Jupiter nu rămân acolo pentru mult timp (datorită atracției atmosferice și magnetice). Sonda Galileo a găsit dovezi clare care indică faptul că inelele sunt alimentate continuu de praful format de impactul micrometeoriților cu cei patru sateliți interiori.

Atmosfera

Presiunea la suprafață 20-200 kPa [12] (stratul noros)

Înălțimea ei 27 km

Compoziție: 89,8 ± 2,0% hidrogen (H₂), 10,2 ± 2,0% heliu, ~ 0,3% metan, ~ 0,026% amoniac, ~ 0,003% hidrogen deuterat (HD), 0,0006% Etan, 0,0004% apă. Gheață: amoniac, apă, hidrosulfid de amoniu (NH₄ SH).

SATURN

Saturn este a șasea planeta ca depărtare de Soare, din Sistemul solar.

Este o planetă giganta de gaz, a doua în masă și volum după Jupiter. Ea are un diametru de cca. nouă ori mai mare decât cel al Pământului și este alcătuită în cea mai mare parte din hidrogen. Acesta poartă numele zeului roman Saturn.

Masa și dimensiunile lui Saturn.

Saturn are forma unui sferoid turtit; el este turtit la poli și umflat la ecuator. Diametrele sale ecuatoriale și polare diferă cu aprox. 10%, ca urmare a rotației sale rapide în jurul axei sale și a unei compoziții interne extrem de fluide. Celelalte planete giganta de gaz din sistemul solar (Jupiter, Uranus, Neptun) sunt și ele turtite, dar mai puțin.

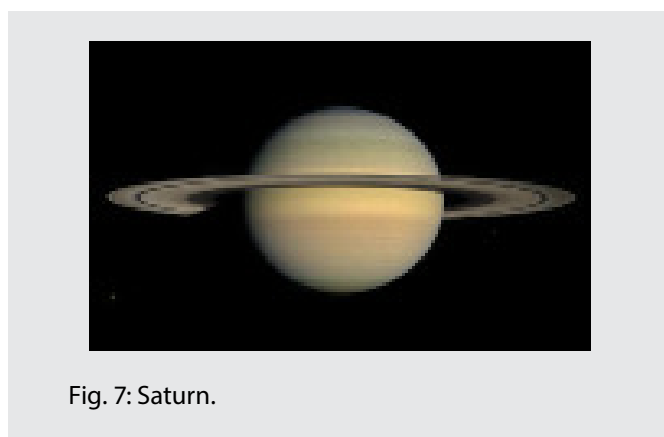


Fig. 7: Saturn.

Saturn este a doua planetă masivă din Sistemul solar, de 3,3 ori mai mică decât Jupiter, dar de 5,5 ori mai mare decât Neptun și de 6,5 ori mai mare decât Uranus.

Este de 95 de ori mai mare decât Pământul. Diametrul său este de aproape 9 ori mai mare decât al Pământului. Saturn este singura planetă din Sistemul solar a cărei densitate medie este mai mică decât cea a apei: 0,69 g/cm³. Deși nucleul lui Saturn este mai dens decât apa, densitatea medie a planetei este mai mică decât cea a apei, din cauza marii sale atmosfere de hidrogen gazos.

Caracteristici orbitale, Epoca J2000	
Afelu	1.513.325.783 km; 10,11595804 UA
Periheliu	1.353.572.956 km; 9,04807635 UA
Semiaxa mare	1.433.449.370 km; 9,58201720 UA
Excentricitate	0,055723219
Perioada orbitală	10.759.22 zile; 29,4571 ani
Perioada sinodică	378,09 zile
Viteza medie orbitală	9,69 km/s
Anomalia medie	320,346750°
Înclinarea	2,485240° față de ecliptică; 5,51° față de ecuatorul Soarelui
Longitudinea nodului ascendent	113,642811°
Argumentul periheliului	336,013862°
Sateliți	~ 200 observați (61 cu orbite precise)

Caracteristici fizice	
Raza ecuatorială	60.268 ± 4 km; 9,4492 raze terestre
Raza polară	54.364 ± 10 km; 8,5521 raze terestre
Turtire	0,09796 ± 0,00018
Aria suprafeței	4,27 10 ¹⁰ km ² ; 83,703 suprafața P
Volum	8,2713 10 ¹⁴ km ³ ; 763,59 volumul P
Masă	5,6846 10 ²⁶ kg; 95,152 masa P
Densitate medie	0,687 g/cm ³ ; (mai puțin decât apa)
Accelerația gravitațională la ecuator	10,44 m/s ² ; 1,065 g
Viteza de evadare	35,5 km/s
Perioada de rotație siderală	10,57 horas; (10 h 34 m)
Viteza de rotație ecuatorială	9,87 km/s; 35.500 km/h
Inclinarea axială	26,73°
Albedo	0,342 (bond); 0,47 (geom.)
Magnitudinea aparentă	+1.2 a -0.24
Diametrul unghiular	14,5" — 20,1" (exclusiv inelele)

Atmosfera: La fel ca Jupiter, atmosfera lui Saturn este organizată în benzi paralele, însă acestea sunt mai puțin vizibile decât la Jupiter și sunt mai aproape de ecuator. Sistemele de nori ale lui Saturn (precum furtunile de lungă durată) au fost observate mai întâi de

către misiunile Voyager. Norul observat în 1990 este un exemplu de o mare pată albă, fenomen saturnian efemer care are loc la fiecare 30 de ani. Dacă periodicitatea rămâne aceeași, furtuna următoare va avea loc, probabil, în 2020. În 2006, NASA a observat o furtună de dimensiunile unui uragan, staționată la polul sud a lui Saturn, care a avut un ochi bine definit. Este singurul ochi observat pe o altă planetă, alta decât atmosfera Pământului. Atmosfera lui Saturn face o rotație distinctă.

Inelele lui Saturn sunt unul dintre cele mai frumoase fenomene din Sistemul solar, care constituie caracteristica sa definitorie. Spre deosebire de celelalte planete gigant de gaz cu inele, acestea sunt extrem de strălucitoare (albedo între 0,2 și 0,6) și pot fi observate și cu binoclul. Ele sunt dominate de activități permanente: coliziuni, acumulări de materie etc.

Saturn are un număr mare de sateliți. Este greu de spus cât de mulți sunt, orice bucată de gheață din inele poate fi considerată un satelit. În anul 2009 au fost identificați 62 de sateliți. 53 au fost confirmați și au căpătat nume. Cei mai mulți dintre ei sunt mici: 31 au diametre de mai puțin de 10 km, în timp ce 13 sunt mai mici de 50 km. Numai șapte sunt suficient de mari pentru a lua o formă sferoidală sub influența gravitației lor. Titan este cel mai mare, mai mare decât Mercur și Pluto, și singurul satelit din Sistemul solar cu o atmosferă densă

Atmosfera :

Înălțimea: 59,5 km

Compoziție: ~ 96 % hidrogen (H₂), ~ 3% heliu, ~ 0,4% metan , ~ 0,01% amoniac, ~ 0,01% hidrogen deuterat (HD), 0.0007% etan, gheață: amoniac, apă, hidrosulfid de amoniu (NH₄ SH)

URANUS

Uranus este o planetă gigantă de gaz. Este a șaptea planetă din Sistemul solar ca depărtare de Soare, a treia ca mărime și a patra ca masă. Aceasta poartă numele tatălui lui Chronos (Saturn) și al bunicului lui Zeus (Jupiter). Este prima planetă descoperită în epoca modernă. Deși se poate observa cu ochiul liber ca și celelalte cinci planete clasice, din cauza luminozității scăzute, nu a fost ușor de identificat ca fiind planetă. William Herschel a anunțat descoperirea sa la 13 martie 1781, lărgind astfel, pentru prima dată în epoca modernă, frontierele Sistemului solar. Uranus este prima planetă descoperită cu ajutorul telescopului.

Uranus și Neptun au compoziții interne și atmosferice diferite de cele ale celorlalte planete gazoase mari, Jupiter și Saturn. Acesta este motivul pentru care astronomii le pun, uneori, într-o altă categorie, cea a gigantilor

sau sub-giganților înghețați. Atmosfera lui Uranus, chiar dacă este formată în principal din hidrogen și heliu, conține, de asemenea, cantități mari de gheață (apă), amoniac și metan, precum și urme uzuale de hidrocarburi. Uranus are cea mai rece atmosferă din Sistemul solar, care ajunge la un minim de -224°C . Ea are o structură complexă de nori: norii în straturile inferioare ar putea fi alcătuiți din apă, cei din straturile superioare din metan.

Ca și celelalte planete gigant de gaz, Uranus are un sistem de inele, o magnetosferă și numeroși sateliți naturali. Sistemul uranian este unic în Sistemul solar, deoarece axa sa de rotație este înclinată și este aproape în planul de revoluție cu Soarele.

Prin urmare, polii nord și sud se află în poziția în care celelalte planete au ecuatorul lor. În 1986, Voyager 2 a luat imagini ale lui Uranus, pe care se vede o planetă aproape inexpressivă în lumină vizibilă, fără benzi de nori sau furtuni, ca și pe celelalte planete gazoase.

Cu toate acestea, observațiile recente au arătat semne de schimbare sezonieră și o creștere a activității meteorologice într-o perioadă când Uranus era la echinocțiu în decembrie 2007. Vântul pe Uranus poate atinge viteze de 250 m/s pe suprafața sa.

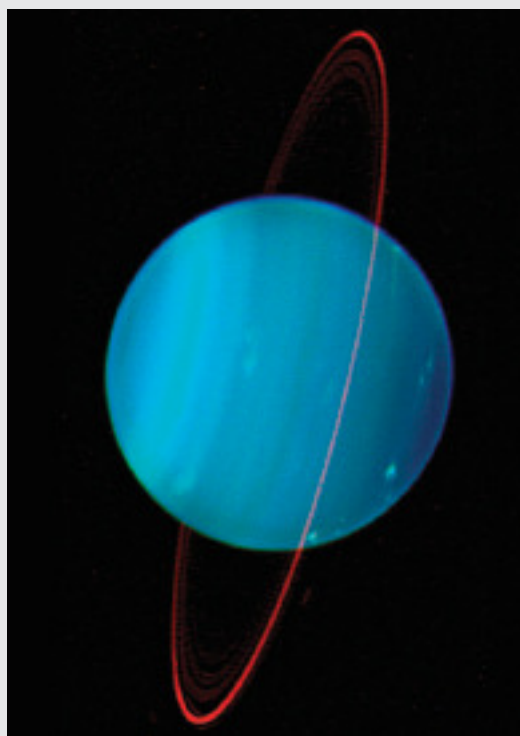


Fig. 8 Uranus

Orbita și rotația. Perioada de revoluție a lui Uranus în jurul Soarelui este de 84 de ani terestri. Distanța medie de la Soare este de cca. 3 miliarde de km. Intensitatea

fluxului solar pe Uranus este de aprox. 1/400 din cea primită de Pământ.

Perioada de rotație a interiorului planetei Uranus este de 17 ore și 14 minute. În atmosfera superioară au loc vânturi violente în direcția de rotație, așa cum este cazul cu toate planetele gazoase gigant. În consecință, în jurul latitudinii de 60° , părți vizibile ale atmosferei se mișcă mai repede și fac o rotație completă în mai puțin de 14 ore.

Uranus este o planetă gigant, ca Jupiter, Saturn și Neptun. Chiar dacă știm foarte puține lucruri despre compoziția sa internă, știm că aceasta este cu siguranță diferită de cea a lui Jupiter sau Saturn. Modelele struc-

Caracteristici orbitale, Epoca J2000	
Afelu	3.004.419.704 km, 20,083305 UA
Periheliu	2.748.938.461 km, 18,37551863 UA
Semiaxa mare	2.876.679.082 km, 19,22941195 UA
Excentricitate	0,044405586
Perioada orbitală	30.799.095 zile, 84.323.326 ani
Perioada sinodică	369,66 ani
Viteza orbitală medie	6,81 km/s
Anomalia medie	142,955717°
Inclinarea	0,772556° față de ecliptică, 6,48° față de ecuatorul solar
Longitudinea nodului ascendent	73,989821°
Argumentul periheliului	96,541318°
Sateliți	27

Caracteristici fizice	
Raza ecuatorială	25.559 ± 4 km, 4,007 raze terestre
Raza polară	24.973 ± 20 km, 3,929 raze terestre
Turtire	$0,0229^{\circ} \pm 0,0008^{\circ}$
Suprafața	$8,1156 \cdot 10^9 \text{ km}^2$, 15,91 suprafața P
Volum	$6,833 \cdot 10^{13} \text{ km}^3$, 63,086 volumul P
Masa	$(8,6810 \pm 0.0013) \cdot 10^{25} \text{ kg}$, 14,536 masa P
Densitatea medie	1,27 g/cm ³
Gravitația ecuatorială	8,69 m/s ² , 0,886 g
Viteza de evadare	21,3 km/s
Perioada de rotație siderală	-0,71833 d, 7 h 14 m 24 s
Viteza de rotație ecuatorială	2,59 km/s, 9.320 km/h
Înclinarea axială	97,77°
Albedou	0,300 (bond), 0,51 (geom.)
Magnitudinea aparentă	5,9 a 5,32
Diametrul unghiular	3,3"– 4,1"

turii interne a lui Uranus arată că aceasta ar trebui să aibă un nucleu solid de silicați de fier, cu un diametru de cca. 7500 km, înconjurat de o manta formată din gheață (apă), amestecată cu heliu, metan și amoniac, care este de 10.000 km adâncime, urmată de o atmosferă superficială de hidrogen și heliu lichid, de cca. 7600 km.

Spre deosebire de Jupiter și Saturn, Uranus nu este destul de masiv pentru a păstra hidrogenul într-o stare metalică în jurul nucleului său.

Culoarea albastru-verzuie se datorează prezenței de metan în atmosferă, care absoarbe mai ales în roșu și infraroșu.

Uranus are cel puțin 13 inele principale.

Spre deosebire de orice altă planetă din Sistemul solar, Uranus este foarte înclinată față de axa sa, aceasta din urmă este aproape paralelă cu planul orbitei. Am putea spune că se rostogolește pe orbita sa și expune succesiv la Soare polul său nord și polul sud.

O consecință a acestei orientări este faptul că regiunile polare primesc mai multă energie de la Soare decât cele ecuatoriale. Cu toate acestea, Uranus rămâne mai caldă la ecuator decât la poli, un mecanism încă neexplicat. Orice teorie despre formarea lui Uranus, care să explice, de asemenea, înclinarea sa, include ideea unei coliziuni cataclismice cu un alt corp înainte de forma sa actuală.

Uranus are cel puțin 27 de sateliți naturali. Primii doi au fost descoperiți de către William Herschel la 13 martie 1787 și au fost numiți Titania și Oberon.

Atmosferă

Compoziție (sub 1,3 bar): 83 ± 3 % hidrogen (H_2), 15 ± 3 % heliu, 2,3% metan, 0,009% ($0,007$ - $0,015\%$), hidrogen deuterat (HD). Gheață: amoniac, apă, hidrosulfidă de amoniu (NH_4SH), metan (CH_4).

NEPTUN

Neptun este a opta și cea mai îndepărtată planetă de la Soare din Sistemul solar. De asemenea, este ultima planetă gigant gazoasă.

Aceasta a fost descoperită de către astronomul german Johann Gottfried Galle la 23 septembrie 1847, în urma previziunilor lui Urban Le Verrier, care, la fel ca astronomul englez John Couch Adams, a găsit prin calcule matematice o regiune în spațiu, unde ar fi putut fi găsită.

Aceasta poartă numele zeului roman al mărilor, Neptun.

Neptun nu este vizibil cu ochiul liber și nu apare ca

Caracteristici orbitale, Epoca J2000	
Afeliu	4.553.946.490 km, 30,44125206 UA
Periheliu	4.452.940.833 km, 29,76607095 UA
Semiaxa mare	4.503.443.661 km, 30,10366151 UA
Excentricitate	0,011214269
Perioada orbitală	
Perioada sinodică	60.190 zile, 164,79 ani
Viteza orbitală medie	367,49 zile
Anomalia medie	5,43 km/s
Inclinarea	267,767281°
Longitudinea nodului ascendent	1,767975° față de ecliptică, 6,43° față de ecuatorul Soarelui
Argumentul periheliului	265,646853°
Sateliți	13
Caracteristici fizice	
Raza ecuatorială	24764 ± 15 km, 3,883 raze terestre
Raza polară	24341 ± 30 km, 3,829 raze terestre
Turtire	0,0171 ± 0,0013
Suprafața	7,6408 10^9 km ² , 14,98 suprafața P
Volum	6,254 10^{13} km ³ , 57,74 volumul P
Masa	1,0243 10^{26} kg, 17,147 masa P
Densitatea medie	1,638 g/cm ³
Gravitația ecuatorială	11,15 m/s ² , 1,14 g
Viteza de evadare	23,5 km/s
Perioada de rotație siderală	0,6713 zile, 16 h 6 m 36 s
Viteza de rotație ecuatorială	2,68 km/s, 9,660 km/h
Înclinarea axială	28,32°
Albedou	0,290 (bond), 0,41 (geom.)
Magnitudinea aparentă	8,0 - 7,78
Diametrul unghiular	2,2"–2,4"

un disc albastru-verde prin telescop. Acesta a fost vizitat doar o singură dată de o sondă spațială, Voyager 2, care a trecut pe lângă acesta, pe 25 august 1989. Cel mai mare satelit al său este Triton.

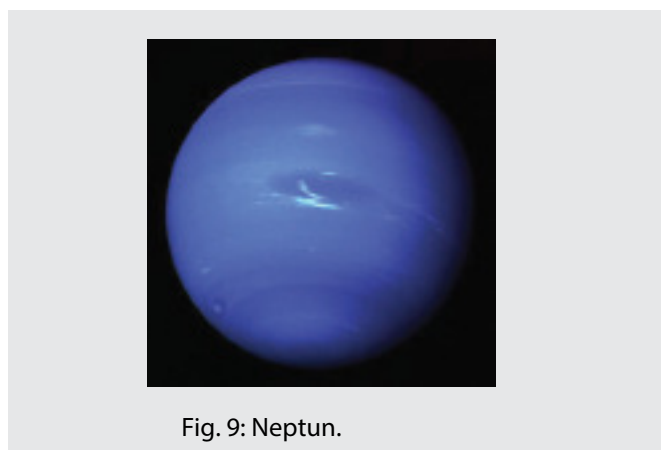


Fig. 9: Neptun.

Compoziția sa internă este similară cu cea a lui Uranus. Se crede că acesta are un nucleu solid din silicați și fier, aproape la fel de mare ca masa Pământului. Se presupune că nucleul său, la fel ca și al lui Uranus, ar avea o compoziție destul de uniformă (roci în fuziune, gheață, 15% hidrogen și heliu puțin); dar nu are o structură în "straturi", cum au Jupiter și Saturn.

Culoarea sa albastruie provine în principal de la metan, care absoarbe lumina în lungimi de undă de culoare roșie. Se pare că și o altă componentă îi dă lui Neptun culoarea albastruie, dar care nu a fost definită încă.

Ca și celelalte planete gazeoase gigant, are un sistem eolian format din vânturi foarte rapide în benzi paralele la ecuator, de furtuni imense și vortexuri. Cele mai rapide vânturi de pe Neptun au viteze de peste 2000 kilometri pe oră.

În timpul prospecțiunii lui Voyager 2, cea mai interesantă formațiune descoperită a fost "Marea Pată Neagră", care a fost aproximativ de dimensiunea "Mării Pete Roșii" de pe Jupiter. Acest loc nu a fost observat cu câțiva ani în urmă, când telescopul spațial Hubble a făcut observații pe Uranus. Vânturile de pe Uranus ar putea avea viteze de 300 m/s (1080 km/h, sau chiar până la 2500 km/oră). Acest loc ar putea fi un uragan gigant întunecat care se presupune că se deplasează cu 1000 km/h.

Neptun are mai puține inele planetare vizibile. Ele sunt de culoare închisă și originea lor este încă necunoscută.

Neptun are cel puțin 13 sateliți naturali, printre care cel mai mare este Triton, descoperit de William Lassell doar la 17 zile de la descoperirea lui Neptun.

Atmosfera:

Compoziție: $80 \pm 3,2$ % hidrogen (H_2), $19 \pm 3,2$ % heliu, $1,5 \pm 0,5$ % metan, $\sim 0,019$ % hidrogen deuterat (HD), ~ 0.00015 % etan. Gheață : amoniac, apă, ($NH_4 SH$), metan

ALTE CORPURI DIN SISTEMUL SOLAR

Mediul Interplanetar

În afară de lumină, Soarele radiază un flux continuu de particule încărcate (plasma), numit vânt solar. Acest flux se disipează cu o viteză de 1,5 milioane km/h, creând astfel heliosfera, o atmosferă subțire care înconjoară Sistemul solar de la o distanță de cca. 100 ua (marcând heliopauza). Materia care formează heliosfera se numește mediu interplanetar. Ciclu solar de 11 ani, precum și frecvențele explozii solare și fluxuri coronale de masă, perturb heliosfera și creează un spațiu specific. Rotația câmpului magnetic solar acționează asupra mediului interplanetar, creând stratul de curenți heliosferici,

care este cea mai mare structură a Sistemului solar.

Câmpul magnetic terestru protejează atmosfera de vântul solar. Interacțiunea dintre vântul solar și câmpul magnetic terestru aduce aurora polar.

Heliosfera asigură o protecție parțială a Sistemului solar de razele cosmice, care este mai mare la planetele cu câmp magnetic.

Mediul interplanetar găzduiește cel puțin două regiuni de praf cosmic sub formă de disc. Primul, norul de praf zodiacal, este în Sistemul solar interior și produce lumina zodiacală. Este, probabil, format printr-o coliziune în centura de asteroizi cauzată de interacțiunile cu planetele. Al doilea se extinde între 10 și 40 ua și a fost creat, probabil, în timpul ciocnirilor similare în centura Kuiper.

Centura de Asteroizi

Asteroizii sunt, în principal, corpuri mici din Sistemul solar, formate din roci și minerale metalice nonvolatile. Centura de asteroizi orbitează în general între Marte și Jupiter, la o distanță de 2,3 până la 3,3 ua de Soare. Centura de asteroizi s-a format din nebuloasa solară primordială ca un grup de precursori mai mici de planete. Aceste "planetezimate" au fost prea puternic perturbate de gravitația lui Jupiter pentru a forma o planetă.

Asteroizii variază între câteva sute de kilometri până la praf microscopic. Toți, cu excepția celui mai mare, Ceres, sunt considerați corpuri mici. Câțiva dintre ceilalți asteroizi de mari dimensiuni, cum ar fi Vesta și Hygeia sunt, de asemenea, considerați în continuare corpuri mici, aceștia ar putea fi clasificați ca planete pitice la un moment dat, în cazul în care în viitor se poate stabili că au ajuns la echilibru hidrostatic.

Centura de asteroizi conține mii, chiar milioane de corpuri cu un diametru de peste un kilometru. Cu toate acestea, masa totală a centurii este de doar 4% din masa Lunii.

Ceres (2,77 ua) este cel mai mare corp din centura de asteroizi și singura planetă pitică (clasificată astfel în 2006), cu un diametru de aproximativ 1000 km, iar masa de ajuns să fie în echilibru hidrostatic și având o formă sferică.

Cometele

Cometele sunt corpuri mici din Sistemul solar. Cu diametre de ordinul kilometrilor, cometele sunt în general alcătuite din gheață volatilă. Ele au orbite foarte excentrice, cu periheliul situat, uneori, în interiorul Sistemului solar, în timp ce afeliul este dincolo de Pluto. Când o cometă intră în interiorul Sistemului solar, apropierea sa

de Soare duce la sublimarea și ionizarea de la suprafața sa, creând o coadă: o dâră lungă a formată din gaz și praf.

Comete de perioadă scurtă de timp (de exemplu, cometa Halley) își completează orbitele lor în mai puțin de 200 de ani și par să provină din centura Kuiper. Comete cu perioadă lungă de timp (de exemplu, Hale-Bopp) au o periodicitate de câteva mii de ani și par să provină din Norul Oort. Există și comete care au o traiectorie hiperbolică, sugerând că acestea ar putea evada în cele din urmă din Sistemul solar. Cometele bătrâne au pierdut cea mai mare parte a componentelor volatile și sunt adesea luate în considerare astăzi ca asteroizi.



Fig. 10: Cometă

Centauri, situate între 9 și 30 ua, sunt corpuri de gheață similare cometelor, care orbitează între Jupiter și Neptun. Cea mai mare dintre acestea, Chariklo, are un diametru cuprins între 200 și 250 km. Primul Centaur descoperit, Chiron, a fost considerat la început a fi o cometă, deoarece a dezvoltat o coadă de cometă. Unii astronomi clasifică centaurii ca fiind corpuri din centura Kuiper.

Centura Kuiper este un inel mare, format din resturi aparținând unui inel mare de rămășițe, similar cu centura de asteroizi, dar compus în principal din gheață. Prima parte a centurii Kuiper se extinde între 30 și 50 ua de Soare și se oprește la "marginea lui Kuiper", de aici începe a doua parte a centurii de la 100 ua. Această regiune este considerată a fi sursa de unde vin cometele.

Aceasta este alcătuită în principal din corpuri mici, precum și unele destul de mari, cum ar fi Quaoar, Varuna sau Orcus, care ar putea fi clasificate ca planete pitice.

Centura Kuiper poate fi împărțită în mare măsură în obiecte "clasice" și obiecte în rezonanță cu Neptun. Un

exemplu în acest sens ar fi "plutini" care completează două orbite pentru fiecare trei pe care Neptun le completează.

PLUTO SI CHARON

Pluto (în medie la 39 ua), planetă pitică, este cel mai mare corp cunoscut din centura Kuiper. Descoperit în 1930, a fost considerat planetă și reclasificat în august 2006. Pluto are o orbită excentrică, înclinată cu 17° față de planul eclipticii. Distanța orbitală a lui Pluto se întinde până la 29,7 ua la periheliu și la 49,5 ua la afeliu.



Fig. 11: Pluto și planete pitice

Cel mai mare satelit al lui Pluto, Charon, este suficient de masiv să orbiteze unul în jurul celuilalt, în jurul unui centru comun de masă, care este situat deasupra suprafețelor lor. Alți doi sateliți mici, Nix și Hydra, orbitează sistemul Pluto - Charon. Pluto este într-o rezonanță orbitală de 3:2 cu Neptun (planeta orbitează în jurul Soarelui de două ori, pentru fiecare trei orbite complete ale lui Neptun în jurul Soarelui). Celelalte organisme ale centurii Kuiper care participă la această rezonanță cu Neptun sunt numite plutini (adică Plutoni mic).

Bibliografie

- Collin, S, Stavinschi, M., Leçons d'astronomie, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Kovalevsky, J, Modern Astrometry, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A., Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.

Orizontul local și ceasurile solare

Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania)

Sumar

Studiul orizontului este esențial pentru a facilita primele observații ale elevilor, observații care pot fi efectuate, de exemplu, într-un centru de educațional. Prezentăm un model simplu care poate fi realizat în fiecare centru educațional și care permite studiul și înțelegerea mai ușoară ale primelor elemente de astronomie. Modelul este prezentat, de asemenea, ca un model simplu al unui ceas ecuatorial de la care se pot dezvolta ulterior alte modele (orizontal și vertical).

Obiective

- Înțelegerea mișcării diurne și anuale ale Soarelui
- Înțelegerea mișcării pe bolta cerească.
- Înțelegerea modului de construcție a unui ceas solar elementar.

Pământul are o mișcare de rotație și una de revoluție

După cum este bine cunoscut, Pământul se rotește în jurul axei sale, această mișcare având ca rezultat succesiunea zi - noapte. Axa de rotație este ceea ce astronomii din antichitate numeau axa Pământului, deoarece se părea că cerul se mișcă în jurul acestei axe (cerul de zi și cerul de noapte). Dar Pământul are și o mișcare de revoluție pe o elipsă având Soarele în unul dintre focare. Ca primă aproximație, putem presupune că Soarele are o mișcare circulară (deoarece excentricitatea elipsei este aproape zero, adică orbita este aproape un cerc).

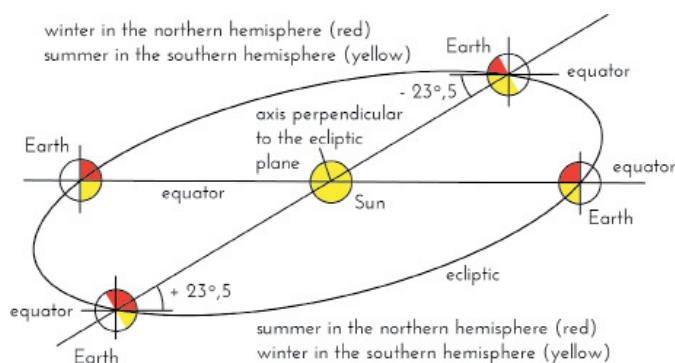


Fig. 1: Schema mișcării de revoluție a Pământului. Unghiul dintre ecuatorul terestru și planul ecliptic este de $23,5^\circ$. Unghiul dintre axa de rotație terestră și axa perpendiculară pe planul ecliptic este, de asemenea, de $23,5^\circ$.

Pământul are nevoie de un an pentru a parcurge complet orbita în jurul Soarelui, dar această mișcare are loc într-un plan (planul eclipticii) care nu este perpendicular pe axa terestră de rotație, ci este înclinat. Unghiul dintre axa de rotație terestră și axa perpendiculară pe ecliptică este de $23,5^\circ$. Similar, unghiul dintre planul ecuatorului terestru și planul eclipticei este de $23,5^\circ$ (figura 1). Această înclinație este cauza succesiunii anotimpurilor. Pentru a vizualiza acest fenomen vom construi un mic model (figura 2).

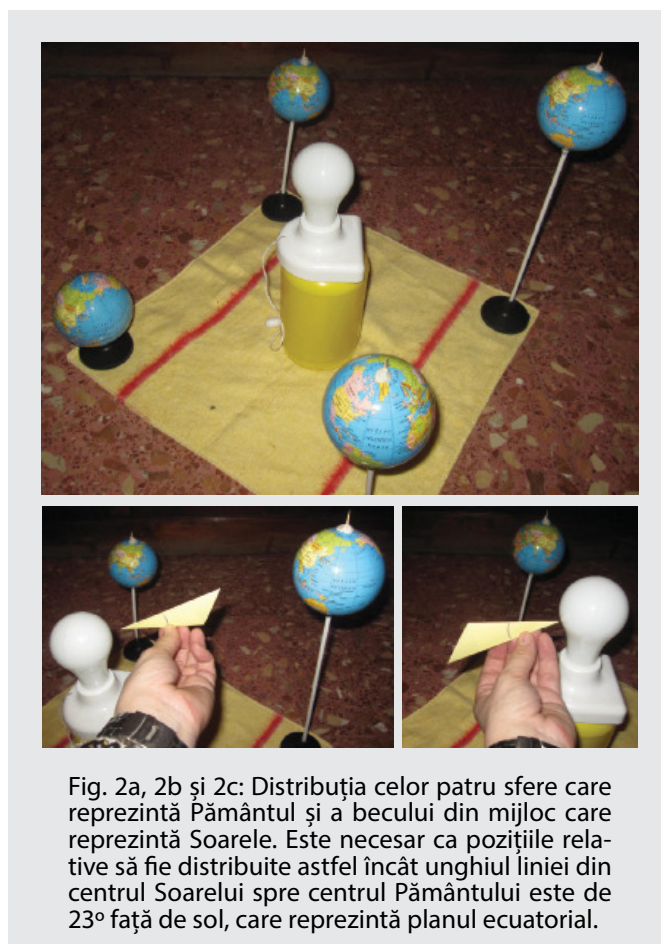


Fig. 2a, 2b și 2c: Distribuția celor patru sfere care reprezintă Pământul și a becului din mijloc care reprezintă Soarele. Este necesar ca pozițiile relative să fie distribuite astfel încât unghiul liniei din centrul Soarelui spre centrul Pământului este de 23° față de sol, care reprezintă planul ecuatorial.

Ilustrăm acest efect cu ajutorul a patru sfere și a unui bec, care reprezintă Soarele și care este plasat în centru. Este bine să se deseneze suprafața terestră pentru a distinge ecuatorul și polii. Apoi, alegem câteva valori pentru distanțele relative față de dimensiunea sferei, care reprezintă modelele pentru Pământ. În cazul nostru, folosim modele cu diametrul de 8 cm. Vom lua apoi o bucată pătrată de carton sau de hârtie cu diagonala de cca. 25 cm. Vom așeza cele patru sfere în colțurile foi (fiecare în fața celuilalt, figura 2) ridicându-le cu ajutorul

a 4 bețișoare de 3, 15, 25 și 15 cm înălțime. Valorile sunt calculate astfel încât înclinația planului ecuatorial față de planul eclipticei să fie de cca 23° .

Vom așeza modelul într-o cameră întunecată și vom aprinde becul (becul poate fi înlocuit și cu o lumânare, dar în fiecare caz trebuie să fim atenți la înălțimea relativă, care este importantă). Este evident faptul că sfera din poziția A primește mai multă lumină în emisfera nordică decât cea din poziția C (figura 3), în timp ce suprafața iluminată a emisferei sudice este mai mare în C decât în A. În pozițiile B și D, ambele emisfere sunt iluminate în mod egal; aceste poziții corespund echinocțiilor de primăvară și de toamnă. În momentele în care este o mai mare iluminare spunem că este vară și când este o mai mică iluminare considerăm că este iarnă. Deducem că atunci când Pământul este în poziția A, atunci este vară în emisfera nordică și iarnă în emisfera sudică.

Atunci când Pământul este în poziția C, este iarnă în emisfera nordică și vară în emisfera sudică.



Fig. 3: Modelul mișcării de revoluție care explică anotimpurile. Atunci când Pământul este în poziția A este vară în emisfera nordică și iarnă în emisfera sudică. Atunci când Pământul este în poziția C este iarnă în emisfera nordică și vară în emisfera sudică. Atunci când Pământul este în pozițiile B și D, emisferele sunt egal iluminate și au loc echinocțiile. În aceste momente durata zilei și durata nopții sunt egale.

Acest model oferă numeroase oportunități pentru studiu deoarece, dacă ne imaginăm că o persoană trăiește într-o emisferă, vom vedea că ea vede Soarele la diferite înălțimi în funcție de anotimp. Ne imaginăm, de exemplu, că avem o persoană în emisfera nordică în momentul în care suntem în poziția A; această persoană vede Soarele deasupra

planului ecuatorial la $23,5^\circ$ (figura 4a). Dacă ea este în emisfera nordică dar în poziția C, vede Soarele sub ecuator la $-23,5^\circ$ (figura 4b). Când ea este în pozițiile B și D, vede Soarele exact la ecuator, adică la 0° . Nu este ușor să ne imaginăm cum ar funcționa un astfel de model și de aceea vom construi un model mai realist, în care observatorul este legat de Pământ și nu are opțiunea de a vedea schema din exteriorul orbitei terestre. Vom construi un model relativ la orizontul local al observatorului, UN MODEL OBSERVAȚIONAL.

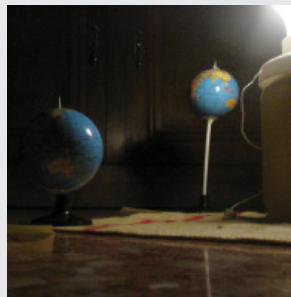


Fig. 4a: În poziția A este vară în emisfera nordică și Soarele este la $23,5^\circ$ deasupra ecuatorului. În emisfera sudică este iarnă.



Fig. 4b: În poziția C este iarnă în emisfera nordică și Soarele este la $23,5^\circ$ sub ecuator. În emisfera sudică este vară.

Observarea

Profesorii cu diferite specializări inițiale din domeniul științific (mecanică, electricitate, chimie, biologie etc.) tind să spună că nu este posibil să lucreze corect într-un centru științific pentru învățământul secundar în absența unui laborator. În acest sens, profesorii care predau astronomia sunt fericiți deoarece ei au întotdeauna un laborator astronomic. Toate liceele și școlile au un loc în care elevii se joacă: curtea școlii sau terenul de sport. Dar acestea nu sunt numai spații destinate jocului, ci pot fi și laboratoare astronomice: un loc care oferă posibilitatea de a realiza activități astronomice practice.



Fig. 5: Reprezentarea clasică a sferei cerești

Dacă avem un laborator în fiecare școală sau liceu, este bine să-l utilizăm!. O problemă care apare când un elev utilizează curtea școlii pentru a participa la activități practice astronomice constă în lipsa conexiunilor între explicațiile profesorului referitoare la sfera cerească, explicații făcute în clasă și din afara acesteia.

Când un profesor predă lecții despre meridiane și paralele sau despre coordonatele poziției pe tablă, în texte sau în modele, el prezintă figuri similare celor din figura 5. Acest lucru nu este foarte dificil și elevii par să le înțeleagă fără nici o problemă. Figurile pe care elevii le au în fața ochilor sunt analoage celor pe care ei înșiși le-au utilizat în studiul geografiei (figura 6).

Problemele încep atunci când privim cerul și nu vedem nici o linie. Este imposibil să vedem axa de rotație și, într-adevăr, nu sunt ușor de găsit repere pe cer. Acum principala problemă este faptul că elevul se află în interiorul sferei cerești, în timp ce este în clasă profesorul/textul manualului a prezentat toate informațiile, văzând cerul din exteriorul sferei cerești. De aceea nu este simplu de înțeles noua situație de a te afla în interiorul sferei (figura 7).



Fig. 6: Sfera cerească văzută din exterior

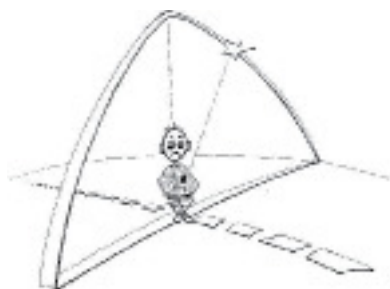


Fig. 7: Sfera cerească văzută din interior.

Evident, după o astfel de experiență ne-am putea gândi cum să ne schimbăm prezentările pe care le folosim la clasă. Este posibil să elaborăm prezentări din perspectiva unui punct de vedere aflat în interiorul sferei. Această abordare este mult mai apropiată de situația reală a unui observator, dar nu este interesant să oferim numai acest fel de prezentare. Elevii trebuie să fie capabili să citească orice carte de astronomie și să înțeleagă reprezentarea abstractă, corespunzătoare observării exterioare a sferei cerești, reprezentare care este o situație normală în literatura științifică de specialitate. În

aceste circumstanțe, este posibil să ne gândim să elaborăm, pentru elevi, un model care să le permită acestora să compare ambele puncte de vedere și care "să facă liniile de pe cer mai vizibile" și să asigure elevilor o mai bună înțelegere a orizontului.

Modelul local al orizontului

Începem prin a lua o fotografie a orizontului. Este foarte ușor să realizăm fotografii ale orizontului cu ajutorul unui aparat de fotografiat și a unui trepied, poziționându-ne în orice loc din curtea școlii – în cazul în care clădirile din jur ne permit acest lucru – sau din orice balcon din care avem o vedere mai clară a orizontului. (Vom marca pe pământ poziția trepiedului cu ajutorul cretei sau cu vopsea). Este foarte important să alegem un loc bun deoarece ideea este de a situa modelul în acel loc pentru fiecare observație. Atunci când facem fotografiile este necesar ca zona aleasă să permită schimbarea poziției în cerc. Fiecare fotografie trebuie să aibă o parte comună cu următoarea, astfel încât să putem alătura toate fotografiile în ordine pentru a obține orizontul ca un șir continuu de fotografii.



Fig. 8: Orizontul local

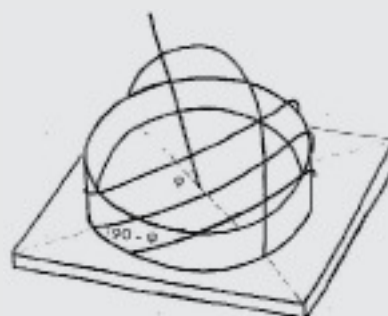


Fig. 9: Model care prezintă orizontul și axa polară

Când avem toate fotografiile le putem lipi între ele. Așezăm o imagine alături de următoarea în mod continuu, apoi realizăm un cilindru care va fi fixat pe o placă pătrată din lemn, placă pe care o așezăm în același loc din care am realizat fotografiile (figura 9). Este foarte important să poziționăm toate fotografiile conform orizontului real.

Ulterior, introducem axa terestră de rotație. Luând valoarea latitudinii locului putem introduce o sârmă rigidă, care să aibă înclinația corespunzătoare (latitudine) față de model (figura 9).



Fig. 10: Modelul cu inelul orizontului și axa polară



Fig. 11: Modelul cu meridianul locului

Cu această valoare, este posibil să fixăm axa de rotație a modelului. Deoarece modelul este orientat conform orizontului local, elongația tijei este utilizată pentru a vedea axa reală, pentru a localiza Polul Sud și de asemenea pentru a imagina poziția punctului cardinal sud (figura 10). Bineînțeles introducerea punctului cardinal nord și a Polului Nord rezultă ușor. Ulterior, putem trasa pe model o linie dreaptă corespunzătoare liniei nord-sud și putem realiza același lucru și în curte sau pe balconul de unde am realizat fotografiile (folosind procesul normal de determinare a liniei drepte nord-sud). Acest lucru este foarte important deoarece de fiecare dată când folosim acest model va trebui să-l orientăm și este deosebit de util să avem această linie dreaptă reală nord-sud care să ne ușureze munca. (Putem verifica această direcție cu ajutorul unei busole.)

Pasul următor constă în localizarea meridianului locului. Meridianul locului este foarte ușor de definit dar nu este un concept simplu de asimilat de elevi (poate pentru că fiecare are propriul său meridian). Putem fixa o sârmă, sub formă de semicerc, care trece prin punctele cardinale nord și sud și prin axa de rotație a Pământului (figura 11). Această sârmă este vizualizarea localizării

meridianului corespunzător poziției modelului și ea ne permite să ne imaginăm linia meridianului locului pe cer. Acum este foarte ușor să ne imaginăm meridianul, deoarece acesta începe în aceleași locuri cu acelea pe care elevul le vede în model. Meridianul locului începe în aceeași clădire ca pe fotografie dar pe orizontul real. Apoi meridianul trece deasupra capului său și se va termina pe aceeași clădire pe care o vedem din orizontul fotografiilor, grație arcului de sârmă

Procesul de introducere a ecuatorului este mai complicat. O posibilitate constă în linia est-vest. Această soluție este foarte simplă dar nu are nici o valoare din punct de vedere pedagogic. Pentru scopuri educaționale, este mai convenabil să utilizăm din nou fotografia. Putem fixa aparatul de fotografiat pe un trepied în aceeași poziție ca atunci când am realizat primele fotografii ale orizontului. (Din acest motiv am desenat poziția anterioară pe sol; astfel putem fixa trepiedul din nou în același loc). Cu aparatul de fotografiat fixat pe trepied realizăm fotografii ale răsăritului și apusului de soare în prima zi de primăvară, respectiv în prima zi de toamnă. În acest caz, vom avea două fotografii ale poziției precise a punctelor cardinale est și respectiv vest raportate la orizontul din fotografii și evident deasupra orizontului real.

Vom simula ecuatorul cu ajutorul unui arc de sârmă perpendicular pe axa terestră de rotație; acesta este fixat la punctele cardinale est și vest (în planul orizontal care este perpendicular pe linia nord-sud). Oricum, nu este ușor să fixăm acest arc de tija care simbolizează axa de rotație, deoarece aceasta este înclinată și, evident, este înclinată de asemenea și față de ecuator. Aceasta ridică problema: care este înclinația pe care să o folosim. Vom lua în considerare patru sau cinci imagini ale răsăritului de soare în prima zi de primăvară sau de vară. Fotografierea Soarelui este periculoasă atunci când Soarele este suficient de sus pe cer, dar este sigură pe durata răsăritului sau apusului de soare atunci când atmosfera Pământului acționează ca un filtru. Vom utiliza toate fotografiile și vom utiliza un software adecvat pentru a le pune împreună (folosind unele repere de pe orizont) și vom putea distinge înclinația Soarelui însuși la orizont. Această imagine va servi pentru a introduce panta corectă pentru arcul care reprezintă pe model ecuatorul (figura 13). Folosind cele două fotografii ale punctelor cardinale est și vest este posibil să aflăm înclinația traiectoriilor stelelor la ecuator și să poziționăm astfel arcul care simbolizează ecuatorul. Cunoaștem acum punctele fixe și de asemenea înclinația și astfel arcul ecuatorului poate fi fixat pe cadru și de asemenea poate să țină meridianul locului (figura 13).

Dacă vom considera Soarele ca o stea obișnuită (Soare-

le este pentru noi cea mai importantă stea, deoarece este cea mai apropiată, dar comportamentul său nu este foarte diferit față de al altor stele), putem obține traiectoria înclinată a stelelor când acestea răsar sau apun față de orizont. Pentru a aceasta trebuie doar să realizăm două imagini ale acestui moment în apropierea punctelor cardinale est și vest (figura 14).



Fig. 12: Apusul soarelui indică ziua echinocțiului de primăvară sau de toamnă.

S-ar putea să fie imposibil să realizăm fotografiile menționate în paragraful anterior în localitatea în care se află școala. Este necesar să ieșim în câmp liber, într-un loc care să nu fie afectat de poluarea luminoasă și să realizăm fotografiile cu un aparat de fotografiat SLR (single-lens reflex) pe un trepied cu comandă prin cablu.



Fig. 13: Traiectoria răsăritului de soare

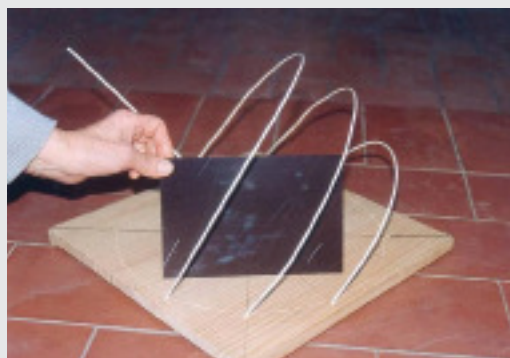


Fig. 14: Traiectorii ale stelelor la est.

Este suficient un interval de timp de expunere de 10 minute. Este foarte important să așezăm aparatul de fotografiat paralel cu orizontul (putem folosi un indicator de nivel pentru această operație).

Folosiți această oportunitate pentru a realiza un mic portofoliu cu fotografii. De exemplu, se poate realiza o fotografie a zonei polare utilizând un timp de expunere de 15 minute, o altă fotografie a zonei de deasupra primei de-a lungul meridianului local, o altă fotografie urmând același meridian și așa mai departe, până când obțineți o imagine care este pe orizont. Ideea este de a fotografia tot meridianul local de la nord la sud, trecând pe deasupra capetelor noastre. Desigur, meridianul locului în care am decis să facem fotografiile nu este același cu cel de la școală, dar elevii pot înțelege ușor această mică diferență.

Atunci când avem toate imaginile, putem să construim o panglică meridianului. Cu ajutorul acestei panglici elevii pot înțelege mai bine mișcarea sferei cerești în jurul axei de rotație a Pământului. Interesant este că folosind aceiași timpi de expunere, traiectoriile trasate de stele își schimbă lungimea. Aceasta este minimă în jurul polului și maximă la ecuator și, de asemenea, își schimbă forma. La ecuator traiectoria are forma unei linii drepte. În zona situată în apropierea polului, liniile sunt curbe concave și sunt curbe convexe sub ecuator. Dacă realizăm copii pe hârtie ale imaginilor, suficient de mari, putem să punem panglica cu imagini pe deasupra elevilor permițându-le acestora să vizualizeze și să înțeleagă mai bine mișcarea.

Folosind cele două fotografii ale punctelor cardinale est și vest este posibil să aflăm înclinația traiectoriilor stelelor la ecuator și, astfel, este posibil să localizăm arcul de sârmă care simbolizează ecuatorul fără probleme. Cunoaștem punctele în care trebuie să-l fixăm și, de asemenea, înclinația, astfel arcul ecuatorului poate fi atașat bucății de lemn și meridianului locului (figura 8).

Este clar că e posibil să se introducă panglica cu imaginile meridianului locului pe model. Este suficient să facem câteva copii și să le perforăm în punctul care indică polul pentru a introduce axa de rotație. De reținut că arcul ecuatorului corespunde traiectoriilor în formă de linie dreaptă care se găsesc pe panglică (figura 15).

Cu ajutorul acestui model putem oferi elevilor cele două posibilități: de a vedea sfera cerească din interior și din exterior.

Dacă, din nou, realizăm două imagini ale primei zile de iarnă, respectiv de vară, când Soarele răsare și apune, elevii vor fi capabili să vadă că pozițiile acestor puncte în localitatea lor sunt foarte diferite. Diferența dintre aceste imagini este uimitoare. De asemenea, se pot fixa pozițiile paralelelor tropicelor Racului și Capricornului tot cu ajutorul imaginilor care dau panta ecuatorului, deoarece paralele urmează aceeași înclinație. Cu ajutorul unui simplu raportor este posibil să se verifice faptul că unghiul intern dintre tropicul Racului și ecuator este de cca. 23° și acesta este de asemenea unghiul format între ecuator și tropicul Capricornului (figurile 16 și 17).

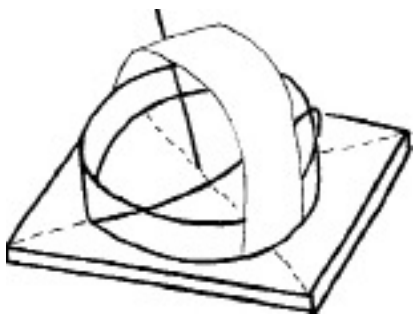


Fig. 15: Imagini ale meridianului locului.

Pentru activitățile de învățare cu elevii, este interesant ca ei să vadă că răsăriturile și apusurile de soare nu coincid întotdeauna cu punctele cardinale est și respectiv, vest. Există multe cărți în care se menționează că Soarele răsare la est și apune la vest. Elevii pot vedea că acest lucru este adevărat numai de două ori pe an și că nu este adevărat pentru tot restul anului (figurile 16 și 17).



Fig. 16: Traiectoriile Soarelui în prima zi a fiecărui anotimp. Punctele de răsărit și apus ale Soarelui nu coincid, cu excepția a două zile: zilele echinocțiilor.

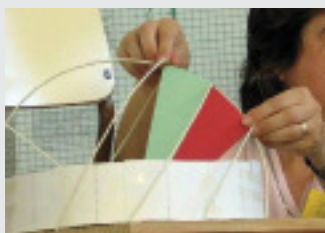


Fig. 17: Unghiul dintre cele două traiectorii ale Soarelui în prima zi a două anotimpuri consecutive este de $23,5^\circ$

Astfel, elevii văd într-un mod practic și simultan sfera cerească din interior (sfera reală) și din exterior (modelul). Cu un astfel de model, elevii pot înțelege mai bine mediul înconjurător în care trăiesc, iar întrebările în legătură cu acesta pot fi rezolvate ușor. Elevii pot, de asemenea, să evidențieze aria care corespunde mișcării Soarelui (între paralele modelului) și să-și imagineze Soarele pe cer și apoi orizontul real al localității în care se află. Orientarea în teren devine extrem de simplă.

Ceasuri solare

Există și alte aplicații posibile ale modelului. Acest model nu este altceva decât un mare ceas sau cadran solar. El este potrivit pentru a explica cum se construiește un ceas într-o modalitate simplă și didactică, luând în considerare numai orizontul și mișcarea Soarelui. În primul rând, este foarte ușor de observat că axa de rotație a Pământului devine acul indicator al ceasului.

Dacă introducem un plan în direcția planului ecuatorial și deplasăm o lanternă pe tropicul Racului, putem vedea umbra acului indicator (tija care reprezintă axa de rotație a Pământului) traversând planul cadrantului ecuatorial. Pe de altă parte, când deplasăm lanterna pe tropicul Capricornului, umbra apare în zona de sub plan și este clar că atunci când lanterna este situată la ecuator nu apare nici o umbră. Astfel, este ușor de verificat faptul că ceasul ecuatorial funcționează vara și primăvara, indicând orele în planul ceasului, iarna și toamna arătând orele sub acest plan și că, în două zile pe an, la cele două echinocții, nu funcționează.

Luând în considerare planul ecuatorial, orizontal și vertical (orientat est-vest), putem vedea că lanterna indică aceleași ore în cei trei cadranti (figura 18). În plus, putem vedea când orele de dimineață și după-masă sunt pentru același ac indicator (axa de rotație a Pământului). Bineînțeles, este același moment pentru cele trei ceasuri. Este ușor de verificat în care arie trebuie să trasăm ora de dimineață, respectiv de după-masă pentru fiecare ceas. (Mulți profesori au primit la un moment dat ore trasate greșit pe un cadran solar, dar dacă se folosește acest model această trasare greșită nu mai are loc).

Mișcând lanterna de-a lungul tropicului Capricornului și tropicului Racului, este ușor de observat că fasciculul de lumină emis de lanternă produce pe plan o secțiune conică diferită. În primul caz (prima zi de vară), curba conică este aproape un cerc, iar aria delimitată este în mod clar mai mică decât în al doilea caz. Atunci când lanterna urmează cealaltă paralelă (prima zi de iarnă), secțiunea este eliptică, iar aria delimitată este mult mai mare. Astfel, elevii pot înțelege faptul că radiația este mai concentrată în prima situație, adică temperatura

suprafeței este mai ridicată vara și este, de asemenea, evident pe model faptul că numărul de ore de insolație este mai mare. Consecința naturală constă în faptul că vara este mai cald decât iarna (figura 19).



Fig. 18: Modelul este un uriaș cadran solar. Putem lua în considerare trei tipuri

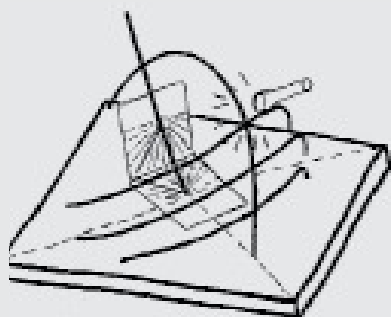


Fig. 19: Ceasurile și anotimpurile.

Vom lua în considerare această oportunitate pentru a menționa unele elemente care trebuie să fie cunoscute atunci când dorim să construim un ceas solar.

Este foarte ușor de realizat un ceas ecuatorial. Pur și simplu se fixează acul indicator în direcția axei de rotație a Pământului, adică pe direcția nord-sud (o busolă ne poate ajuta pentru a realiza acest lucru), și cu indicatorul deasupra planului orizontului, înclinat cu un unghi egal cu latitudinea locului (figurile 20 și 21).

Acul indicator al oricărui ceas va fi plasat totdeauna în același mod.

Liniile orelor de pe ceasul ecuatorial sunt trasate la 15° (figurile 22a și 22b) deoarece Soarele parcurge 360° în 24 de ore. Dacă împărțim 360 la 24, obținem 15 grade pentru fiecare oră.

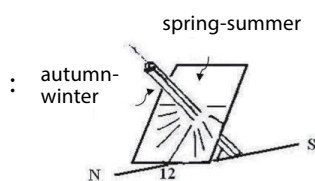


Fig. 20: Ceasul ecuatorial utilizat în emisfera nordică

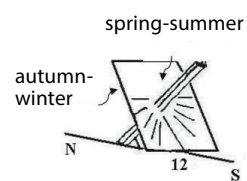


Fig. 21: Ceasul ecuatorial utilizat în emisfera sudică

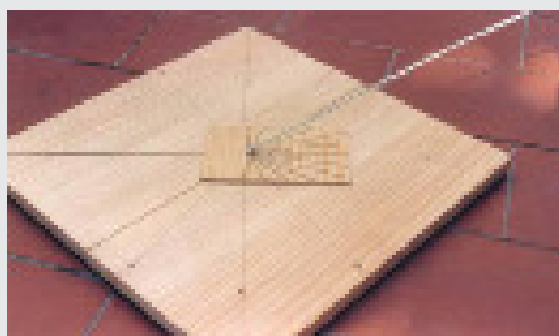
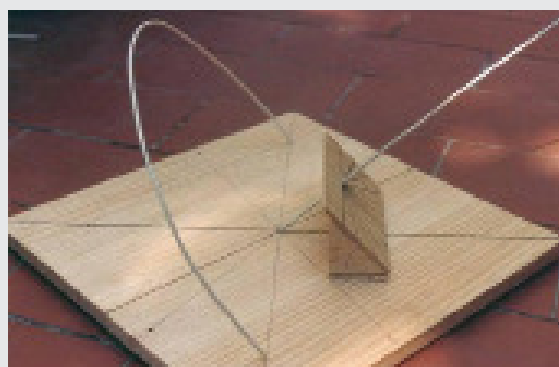


Fig. 23a, 23b, 23c și 23d: Imagini ale ceasurilor.

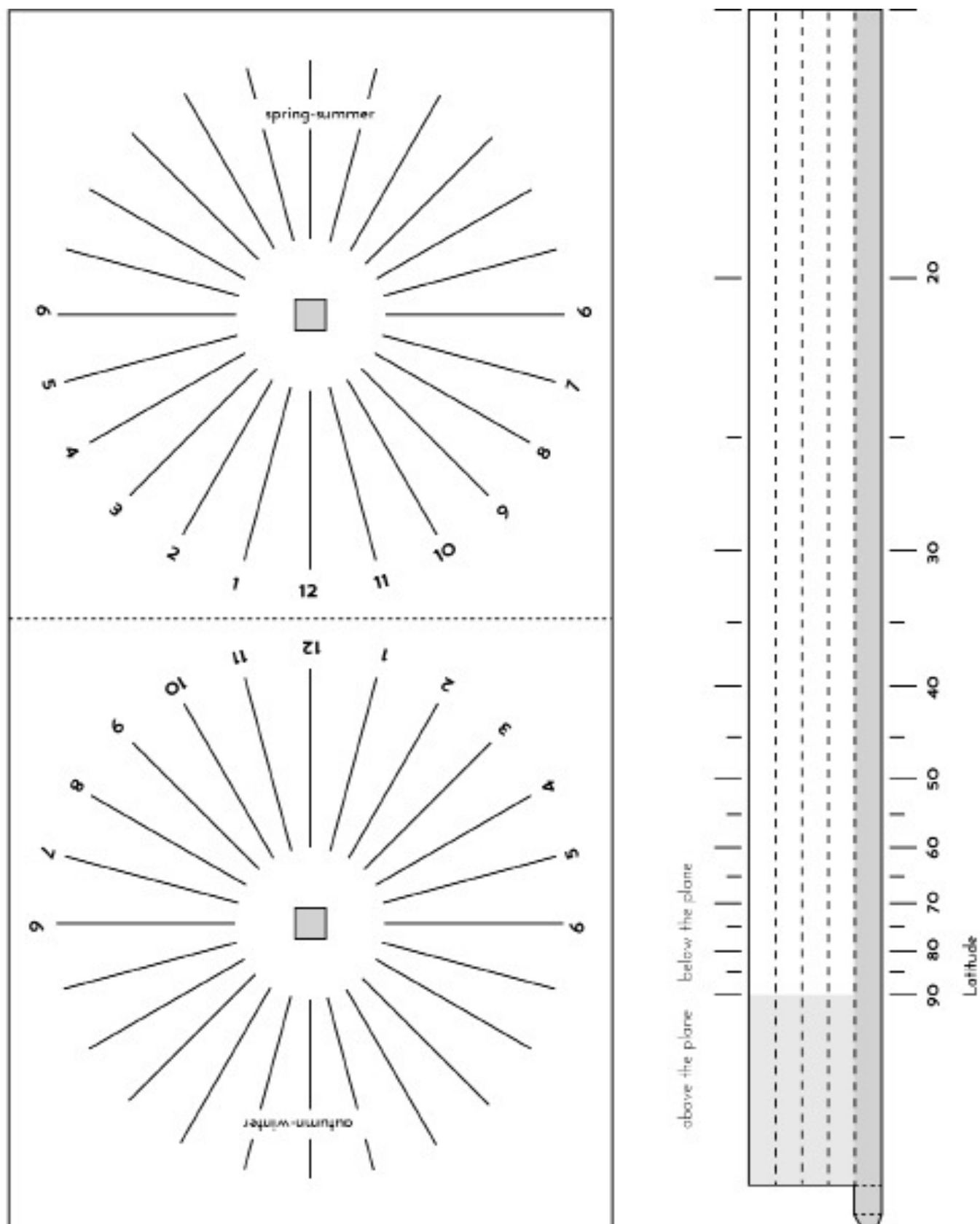


Fig. 22a și 22b: Construcția unui ceas ecuatorial.

Timpul solar și timpul indicat de ceasurile de mână

Ceasurile solare oferă timpul solar care nu este același lucru cu timpul pe care îl indică ceasurile de mână. Este necesar să luăm în considerare câteva ajustări:

Ajustarea longitudinii

Pământul este împărțit convențional în 24 de zone de timp, începând cu primul meridian sau meridianul Greenwich. Pentru a realiza ajustarea longitudinală este necesar să cunoaștem longitudinea locală și longitudinea meridianului "standard" din zona în care ne aflăm. Semnul "+" se adaugă spre est, iar semnul "-" spre vest. Trebuie să exprimăm distanțele în ore, minute și secunde (1 grad = 4 minute).

Ajustarea de vară/iarnă.

Aproape toate țările au oră de vară ("economisirea luminii naturale") și oră de iarnă. De regulă, vara se adaugă o oră. Schimbarea orei în timpul verii/iernii este o decizie a guvernului fiecărei țări.

Ajustarea de vară/iarnă

Aproape toate țările au oră de vară ("economisirea luminii naturale") și oră de iarnă. De regulă, vara se adaugă o oră. Schimbarea orei în timpul verii/iernii este o decizie a guvernului fiecărei țări.

Ajustarea ecuației timpului

Conform legilor lui Kepler, Pământul are o mișcare de revoluție, mișcare care nu este uniformă, și care provoacă o problemă serioasă pentru ceasurile mecanice. Ceasurile mecanice definesc timpul mediu ca fiind media calculată pe durata unui an întreg. Ecuația Timpului este diferența dintre "Timpul Solar Real" și "Timpul Solar Mediu". Această ecuație este reprezentată în Tabelul 1.

$$\text{Timpul Solar} + \text{Ajustarea Totală} = \text{Timpul indicat de ceasurile de mână}$$

Exemplul 1: Barcelona (Spania) în 24 mai

Ajustare	Comentariu	Rezultat
1. Longitudine	Barcelona este pe același meridian "standard" ca Greenwich.	-8,7 m
2. DST	Mai are DST +1h	+ 60 m
3. Ecuația Timpului	Se citește în tabel pentru data 24 mai	-3,6 m
Total		+47,7 m

De exemplu, la 12:00 timp solar, ceasul de mână va indica:

(Timpul solar) 12h + 47,7 min = 12h 47,7 min (Timpul ceasului de mână)

Exemplul 2: Tulsa, Oklahoma (Statele Unite) 16 noiembrie.

Ajustare	Comentariu	Rezultat
1. Longitudine	Meridianul "standard" la Tulsa este la 90° V.	+24 m
2. DST	Noiembrie nu are nici o diferență	
3. Ecuația Timpului	Se citește în tabel pentru data 16 noiembrie	-15,3 m
Total		+ 8,7 m

De exemplu, la 12:00 timp solar, ceasul de mână va indica:

(Timpul Solar) 12h + 8,7 m = 12h 8,7 m (Timpul ceasului de mână)

Orientarea

O altă dificultate pentru elevi o reprezintă orientarea. Într-un curs general de astronomie, trebuie să introducem o semnificație a direcției. Este posibil ca elevii noștri să nu mai studieze niciodată astronomia. Rezultatul minim așteptat în urma parcurgerii unui curs de astronomie este ca elevii să fie capabili să recunoască unde este nordul, să știe că traiectoria

Soarelui este deasupra orizontului sudic, să știe că

días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
1	+3.4	+13.6	+12.5	+4.1	-2.9	-2.4	+3.6	+6.3	+0.2	-10.1	-16.4	-11.2
6	+5.7	+5.1	+11.2	+2.6	-3.4	-1.6	+4.5	+5.9	-1.5	-11.7	-16.4	-9.2
11	+7.8	+7.3	+10.2	+1.2	-3.7	-0.6	+5.3	+5.2	-3.2	-13.1	-16.0	-7.0
16	+9.7	+9.2	+8.9	-0.1	-3.8	+0.4	+5.9	+4.3	-4.9	-14.3	-15.3	-4.6
21	+11.2	+13.8	+7.4	-1.2	-3.6	+1.5	+6.3	+3.2	-6.7	-15.3	-14.3	-2.2
26	+12.5	+13.1	+5.9	-2.2	-3.2	+2.6	+6.4	+1.9	-8.5	-15.9	-12.9	+0.3
31	+13.4		+4.4		-2.5		+6.3	+0.5		-16.3		+2.8

Tabelul 1: Ecuația Timpului

planetele se mișcă față de orizont și, în particular, să învețe să localizeze diferitele caracteristici geografice ale localității în care trăiesc. De exemplu, deasupra orizontului Barcelonei (figurile 24a și 24b) elevii pot lua în considerare diferite opțiuni referitor la poziția Soarelui, Lunii și a anumitor constelații situate la orizont. Cei doi munți pe care îi putem vedea sunt în poziții aproximativ opuse, dar asta nu înseamnă nimic pentru elevi și adeseori ei înțeleg cu dificultate că unele reprezentări sunt posibile, iar altele nu. Ei cunosc teoria dar practica nu este suficientă dacă ei nu înțeleg diferitele posibilități.

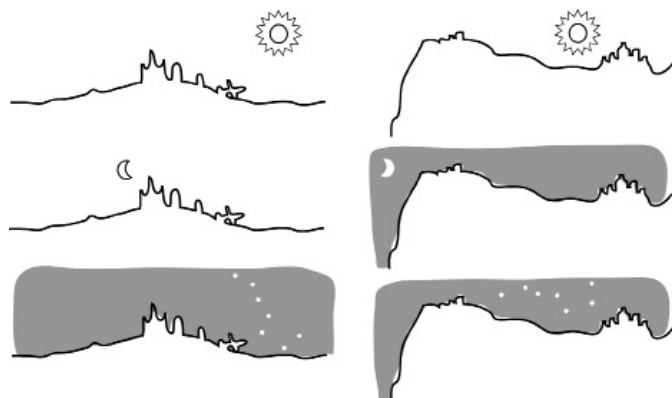


Fig. 24a: Orizontul nord-estic al Barcelonei

Fig. 24b: Orizontul sud-vestic al Barcelonei

Utilizarea modelului proiectat pentru a rezolva punctele slabe menționate în paragraful anterior a fost foarte eficientă, clarificând mai multe aspecte corelate cu orientarea pe orizontul local într-un mod care nu a fost planificat inițial.

Merită menționat faptul că acest model este folosit pentru explicarea poziției locale a sferei cerești pe durata zilei și nopții. Acest model ne ajută într-adevăr să înțelegem mai bine mișcarea Soarelui (și a altor componente ale sistemului solar, componente aflate în mișcare în zona învecinată). Folosind modelul propus, elevii înțeleg faptul că o stea strălucitoare din zona polară nu poate fi niciodată o planetă.

Realizarea unui model la scară mare este o foarte bună investiție. În acest caz, elevii și chiar adulții pot să intre în interiorul modelului și să verifice poziția Soarelui în comparație cu ecuatorul și paralelele care corespund primei zile de vară și solstițiului de iarnă (figura 25a). Unele muzee dedicate științei au construit acest tip de model (figura 25b).

După utilizarea modelului, elevii pot discerne lucruri pe care anterior nu ar fi fost în stare să le deosebească. De exemplu, acum este foarte clar că Soarele nu răsare și nu apune perpendicular pe orizont, cu excepția ecuatorului.



Fig. 25a: Model realizat cu elevii din școala primară



Fig. 25b Modelul la scară mare din Parcul Științei Granada.

Bibliografie

- Ros, R.M., "De l'intérieur et de l'extérieur", Les Cahiers Clairaut, 95, p.1-5, Orsay, 2001.
- Ros, R.M., "Laboratorio de Astronomía", Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.
- Ros, R.M., "Sunrise and sunset positions change every day", Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., El planisferio y 40 actividades más, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Lanciano, N., "El horizonte en la Astronomía, Astronomía Astrofotografía y Astronáutica", 76, p.12-20, 1995.

Simulatorul mișcării aparente a stelelor, Lunii și Soarelui

Rosa M. Ros, Francis Berthomieu

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania), CLEA (Nisa, Franța)

Sumar

Explicația mișcării aparente ale Soarelui, Lunii și stelelor văzute de pe Pământ nu este o sarcină simplă. Elevii știu deja ca Soarele răsare și apune în fiecare zi, dar sunt surprinși să afle că Soarele răsare și apune în alt punct în fiecare zi sau că traiectoriile solare pot varia în funcție de latitudinea locului. Simulatorul nostru va simplifica explicarea fenomenelor de Soare de la miezul nopții sau trecerea Soarelui la zenit. Simulatorul poate fi foarte util în înțelegerea mișcării de translație și în justificarea unor diferențe la diferite latitudini.

Obiective

- Înțelegerea mișcării aparente a stelelor, văzută de la diferite latitudini.
- Înțelegerea mișcării aparente a Soarelui, văzută de la diferite latitudini.
- Înțelegerea mișcării aparente și a imaginilor Lunii, văzute de la diferite latitudini.

Ideea din spatele simulatorului

Explicația mișcării aparente ale Soarelui, Lunii și stelelor văzute de pe Pământ nu este o sarcină simplă. Elevii știu deja ca Soarele răsare și apune în fiecare zi, dar sunt surprinși să afle că Soarele răsare și apune în alt punct în fiecare zi sau că traiectoriile solare pot varia în funcție de latitudinea locului. Simulatorul nostru va simplifica explicarea fenomenelor de Soare de la miezul nopții sau trecerea Soarelui la zenit. Simulatorul poate fi foarte util în înțelegerea mișcării de translație și în justificarea unor diferențe la diferite latitudini. Este ușor să îți amintești forma și aspectul fiecărei constelații, învățând poveștile mitologice și memorând regulile geometrice cu ajutorul cărora poți găsi constelațiile pe cer. Cu toate acestea, metoda este utilă doar pentru o locație fixă pe Pământ. Din cauza mișcării sferei cerești, un observator aflat la Polul Nord poate vedea toate stelele din emisfera nordică, în timp ce un observator aflat la Polul Sud poate observa toate stelele aflate în emisfera sudică.

Dar observatorii aflați la alte latitudini ce observă?

Simulatorul mișcării stelare aparente: de ce există stele invizibile?

Totul devine complicat când observatorul nu locuiește într-o zonă care nu aparține de nici unul dintre poli. În fapt acest lucru se aplică la majoritatea observatorilor. În acest caz, stelele se împart în trei categorii diferite, bazate pe mișcările lor observabile (pentru fiecare latitudine): stele circumpolare, stele care răsar și apun și stele invizibile (figura 1). Cu toții am trăit surpriza de a descoperi că, trăind în emisfera nordică, putem observa unele stele specific emisferei sudice. Desigur, similară este surpriza simțită când descoperi fenomenul de Soare la miezul nopții.

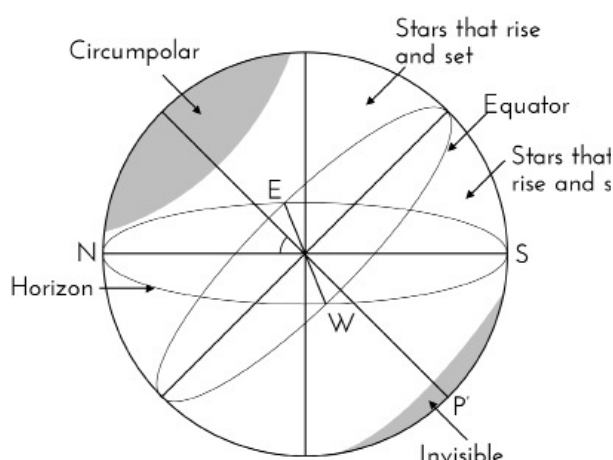


Fig. 1: Trei tipuri diferite de stele (în funcție de latitudine): circumpolare, stele cu răsărit și apus și stele invizibile.

În funcție de vârstă, majoritatea elevilor pot înțelege de ce unele stele par circumpolare din orașul în care trăiesc. Cu toate acestea este mai greu să înțeleagă ce stele vor apărea circumpolare, văzute din alte părți ale globului. Dacă întrebăm de ce o anumită stea (de ex: Sirius) pare că răsare și apune văzută din Buenos Aires, este dificil pentru elevi să dea răspunsul corect. De aceea, vom folosi simulatorul stelar pentru a studia mișcările observabile ale diferitelor stele, ținând cont de latitudinea locului de observare.

Scopul principal al simulatorului

Principalul scop este descoperirea naturii

constelațiilor, dacă sunt circumpolare, dacă răsar și apun și care constelații sunt invizibile la anumite latitudini. Dacă observăm stelele de la o latitudine de aproximativ 45° N, este clar că putem observa un număr destul de mare de stele vizibile din emisfera sudică, care răsar și apun în fiecare noapte (figura 1).

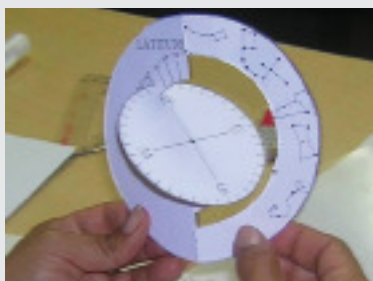


Fig. 2: Folosirea simulatorului: acesta este un exemplu de simulator pentru emisfera nordică utilizând constelațiile din Tabelul 1.

În cazul nostru, simulatorul ar trebui să includă constelații cu declinații variabile (ascensia dreaptă nu este așa importantă în acest stadiu). O idee foarte bună ar fi să fie utilizate constelații familiare elevilor. Acestea pot avea ascensii drepte variabile, în așa fel încât să fie vizibile în diferite luni ale anului (figura 2).

Constelația	Declinația maximă	Declinația minimă
Ursa Minor	+90°	+70°
Ursa Major	+60°	+50°
Cygnus	+50°	+30°
Leo	+30°	+10°
Orion și Sirius	+10°	-10°
Scorpius	-20°	-50°

Tabelul 1: Constelațiile care apar în simulatorul arătat în figura 1.

Când selectăm constelațiile ce vor fi desenate, doar stelele strălucitoare ar trebui folosite pentru a fi ușor de identificat. Este de preferat să nu fie utilizate constelații care se află pe același meridian, în schimb să ne concentrăm asupra alegerii unor constelații bine cunoscute de elevi (Tabelul 1). Dacă sunteți interesați de construirea unui model pentru fiecare anotimp, se pot construi simulatoare care să corespundă fiecărui anotimp al emisferei în care vă aflați. Constelațiile utilizate ar fi bine să aibă declinații diferite, dar să aibă ascensia dreaptă între 21h-3h toamna (primăvara), 3h-9h iarna (vara), 9h-14h primăvara (toamna) și 14h-21h vara (iarna) în emisfera nordică (sudică) pentru cerul serii. Dacă decidem să selectăm constelații pentru un singur anotimp, s-ar putea să întâmpinăm dificultăți în găsirea unor constelații

între, de exemplu, 90°N și 60°N, între 60°N și 40°N, între 40°N și 20°N și între 20°N și 20°S și așa mai departe, fără să ne suprapunem și să ajungem la o latitudine de 90°S. De asemenea, dacă vrem să selectăm constelații bine cunoscute și cu puține stele strălucitoare, care sunt destul de mari să acopere întregul meridian, este posibil să nu ne atingem scopul. Deoarece constelațiile mari, strălucitoare și bine cunoscute nu acoperă cerul pe tot parcursul anului, ar fi mai ușor de confecționat un simulator pentru întregul an. Un alt argument în favoarea unui simulator unic, pentru întregul an, ar fi evitarea discuțiilor legate de anotimpurile care au loc doar la anumite latitudini, în ambele emisfere.

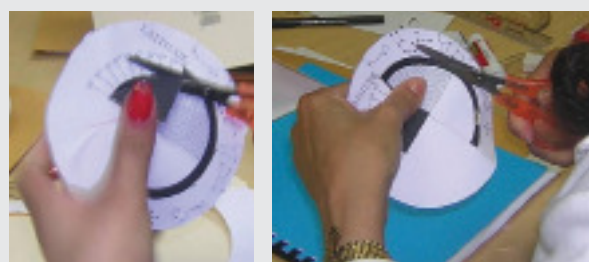


Fig. 3a și 3b: Confecționarea unui simulator stelar.

Confecționarea simulatorului

Pentru obținerea unui simulator robust (figurile 3a și 3b), o idee ar fi lipirea a două bucăți de carton sau hârtie cartonată, înainte de a-l tăia (figurile 4 și 5). De asemenea, este o bună idee și construirea unui simulator mai mare, pentru a fi folosit de profesor.

Instrucțiunile pentru confecționarea simulatorului sunt date mai jos.

Simulator pentru emisfera nordică

- Realizați o fotocopie cu fig. 4 și fig. 5 pe carton.
- Tăiați ambele piese de-a lungul liniei continue (fig. 4 și 5).
- Îndepărtați zonele negre din piesa principală (fig. 4).
- Îndoțiți piesa principală (fig. 4) de-a lungul liniei drepte punctate. Făcând operațiunea repetat, simulatorul este mai ușor de utilizat.
- Faceți o mică creștătură deasupra punctului N pe discul orizontului (fig. 5). Creștătura ar trebui să fie îndea-
juns de largă, astfel încât cartonul să treacă prin ea.
- Lipiți cadranul nord-est al discului orizontului (fig. 5) pe cadranul gri al piesei principale (fig. 4). Este foarte important ca linia dreaptă nord-sud să urmeze linia dublă a piesei principale. De asemenea, punctul "W" de pe discul orizontului trebuie să se potrivească cu latitudinea de 90°.
- Când plasezi discul orizontului pe piesa principală, asigură-te că cele două stau perpendicular.
- Este foarte important să lipiți părțile diferite cu atenție, astfel încât să obțineți o precizie maximă.

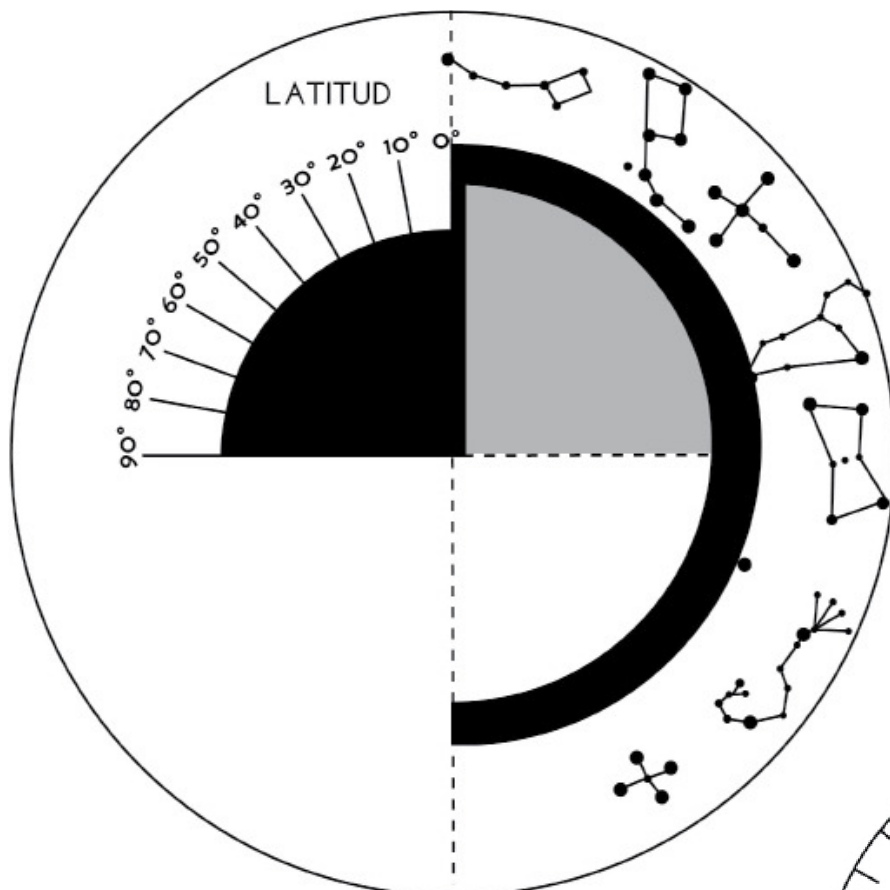


Fig. 4: Componenta principală a unui simulator stelar pentru emisfera nordică

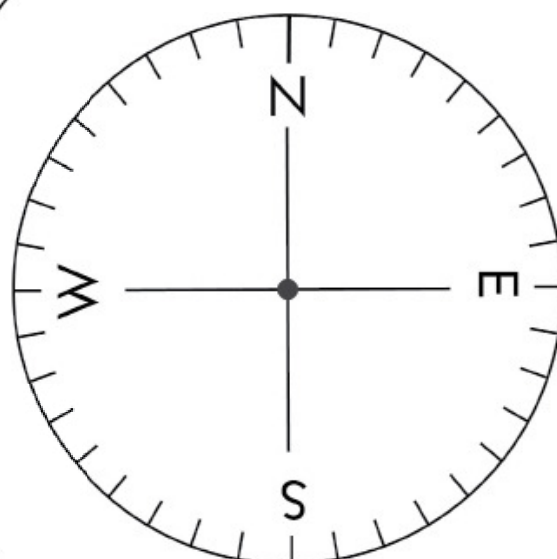


Fig. 5: Discul orizontului.

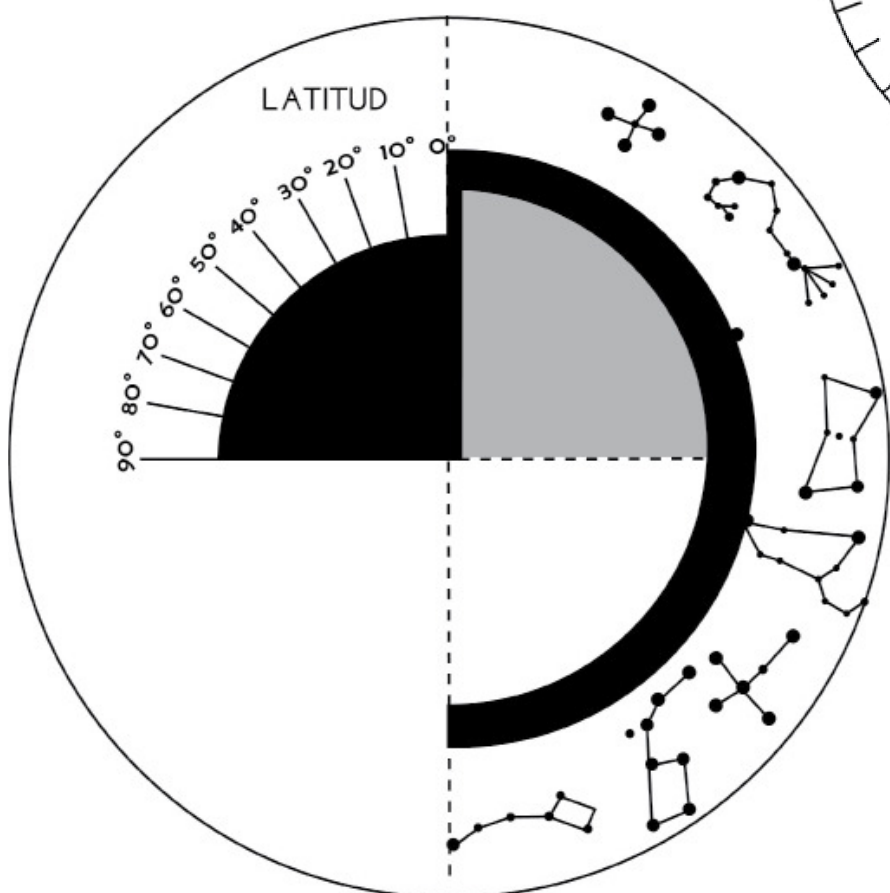


Fig. 6: Componenta principală a unui simulator stelar pentru emisfera sudică.

Simulator pentru Emisfera Sudică

- Realizați o fotocopie a figurilor 5 și 6 pe carton.
- Tăiați ambele piese de-a lungul liniei continue (fig. 5 și 6).
- Îndepărtați spațiile negre din piesa principală (fig. 6).
- Indoiți piesa principală (fig. 6) de-a lungul liniei întrerupte. Făcând operațiunea de câteva ori, simulatorul este mai ușor de utilizat.
- Faceți o creștătură în punctul "S" de pe discul orizontului (fig. 5). Creștătura ar trebui să fie destul de mare pentru a putea trece cartonul.
- Lipiți cadranul sud-vest pe discul orizontului (fig. 5) pe cadranul gri al piesei principale (fig. 6). Este foarte important să aveți o linie nord-sud dreaptă după linia dublă a piesei principale. De asemenea, punctul "E" de pe discul orizontului trebuie să fie plasat la o latitudine de 90° .
- Când plasați discul orizontului în piesa principală, asigurați-vă că cele două sunt perpendiculare.
- Este important să lipiți părțile diferite cu atenție pentru a obține maximum de precizie.

Alegeți care dintre simulatoare doriți să le construiți, luând în considerare locul unde vă aflați sau locuiți. De asemenea, puteți construi un simulator selectând

constelațiile preferate sau alte criterii. De exemplu, puteți include constelații vizibile doar pentru un anumit timp, doar pentru o lună etc. Pentru asta trebuie să luați în considerare doar constelații cu ascensii drepte, cuprinse între două valori specifice. După aceasta desenați constelațiile cu declinația lor în figura 7. Observați că fiecare sector corespunde la 10° .

Aplicații ale simulatorului

Pentru a începe să utilizați simulatorul trebuie să selectați latitudinea locului dumneavoastră de observație. Cu ajutorul simulatorului putem face o călătorie imaginară în jurul Terrei.

Utilizați mâna stângă pentru a ține piesa principală a simulatorului (figurile 4 sau 6) de partea albă (sub latitudinea quadrantului). Selectați latitudinea și mișcați discul orizontului până când arată latitudinea aleasă.

Cu ajutorul mâinii drepte mișcați discul pe care se află constelațiile de la dreapta la stânga de câteva ori. Puteți observa care dintre constelații se află întotdeauna la orizont (circumpolare), care constelații răsar și apun și care dintre ele se află întotdeauna sub linia orizontului (invizibile).

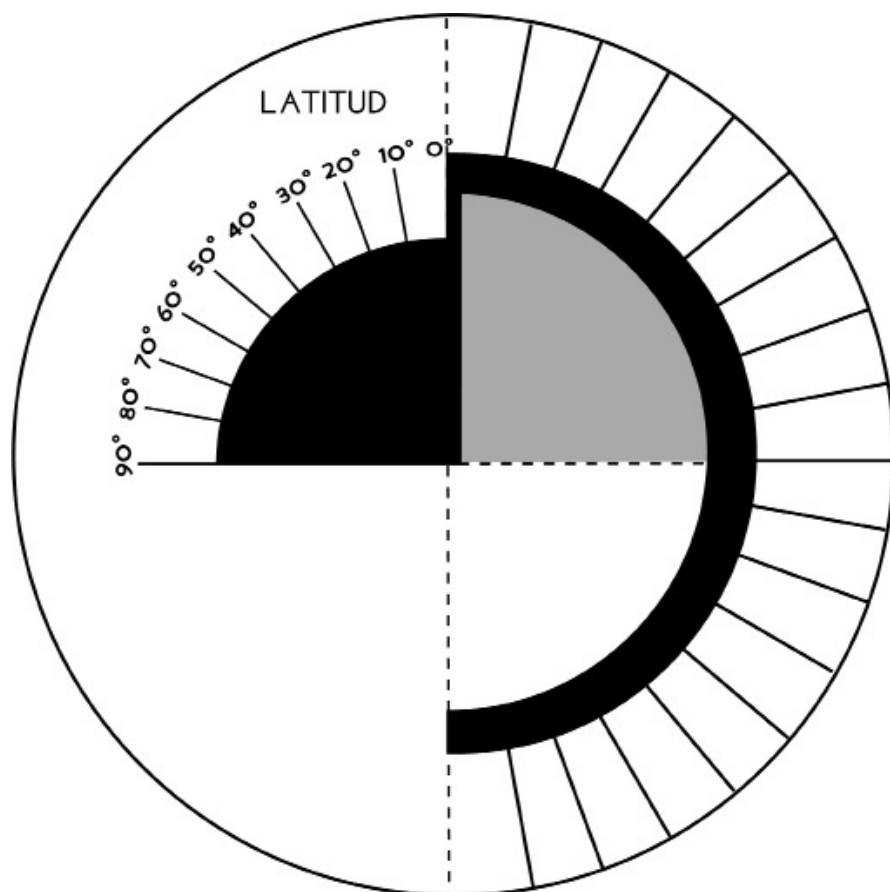


Fig. 7: Componenta principală a unui simulator pentru emisfera nordică sau pentru emisfera sudică.

• Înclinarea traiectoriei stelelor față de orizont

Cu simulatorul, este foarte ușor de observat cum unghiul căii stelelor relativ la orizont se schimbă în funcție de latitudine (fig. 8 și 9).

Dacă observatorul trăiește la ecuator (latitudine 0°) acest unghi este de 90° . Pe de altă parte, dacă observatorul trăiește la Polul Nord sau Sud (latitudine 90° N sau 90° S), traiectoria stelei este paralelă cu orizontul. În general, dacă observatorul trăiește într-un oraș de latitudine L , înclinarea traiectoriei stelei față de orizont este tot timpul 90° minus L .

Putem verifica acest lucru analizând figurile 8 și 9. Fotografia din fig. 9 a fost făcută la Lapland (Finlanda), iar cea din fig. 8 la Montseny (lângă Barcelona, Spania). Lapland este amplasat la o latitudine mai mare față de Barcelona, deci înclinarea căii stelare este mai mică.



Fig. 8a și 8b: Răsăritul stelelor la Montseny (lângă Barcelona, Spania). Unghiul traiectoriei stelei față de orizont este 90° minus latitudinea (Foto: Rosa M. Ros).

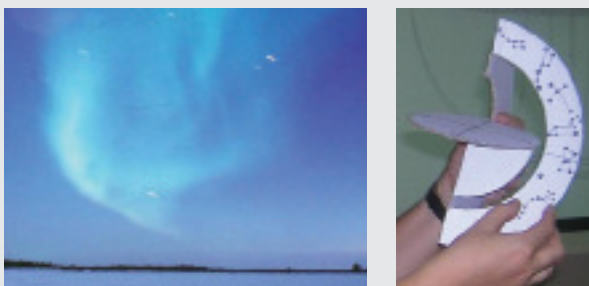


Fig. 9a și 9b: Apusul stelelor la Enontekiö din Lapland (Finlanda). Unghiul traiectoriei stelei față de orizont este 90° minus latitudinea. Observăm că traiectoriile stelelor sunt mai scurte decât în imaginea anterioară, deoarece timpul de expunere a fost mai mic din cauza aurorei boreale (Foto: Irma Hannula).

Utilizând simulatorul în acest mod, elevii pot participa la următoarele activități:

1) Dacă alegem ca latitudinea să fie de 90° N, atunci observatorul este la Polul Nord. Putem vedea că toate

constelațiile din emisfera nordică sunt circumpolare. De asemenea, toate constelațiile din emisfera sudică sunt invizibile și nu există constelații care răsar sau apun.

2) Dacă latitudinea este 0° , observatorul este la ecuator și poate observa că toate constelațiile răsar și apun perpendicular pe orizont. Niciuna nu este circumpolară sau invizibilă.

3) Dacă latitudinea este 20° (N sau S), sunt mai puține constelații circumpolare ca în cazul latitudinii de 40° (N sau S). Vor fi, însă, mai multe stele care răsar și apun dacă latitudinea este de 20° în loc de 40° .

4) Dacă latitudinea este 60° (N sau S), sunt mai multe constelații circumpolare, respectiv invizibile, dar numărul constelațiilor care răsar și apun este mai redus comparativ cu cel de la latitudinea de 40° (N sau S).

Simulator solar: de ce Soarele nu răsare în același punct în fiecare zi

Este simplu să explicăm mișcările Soarelui observate de pe Pământ. Elevii știu că Soarele răsare și apune în fiecare zi, dar sunt surprinși să constate că răsare și apune zilnic în alte locații. Este, de asemenea, interesant să considerăm variațiile traiectoriilor Soarelui în funcție de latitudinea locului. Poate fi dificil de explicat Soarele de la miezul nopții sau trecerea Soarelui la zenit. Simulatorul poate fi foarte util, în special, pentru a înțelege mișcarea de translație și pentru a justifica unele diferențe de latitudine

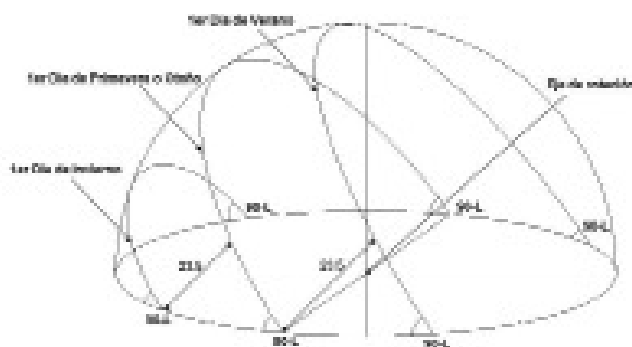


Fig. 10: Trei treceri solare diferite (prima zi a primăverii sau toamnei, prima zi a verii, prima zi a iernii).

Realizarea simulatorului

Pentru a face un simulator solar, trebuie să luăm în considerare declinația solară, care se schimbă zilnic. Apoi, trebuie să ținem cont și de faptul că poziția Soarelui se schimbă în funcție de anotimp. În prima zi de primăvară, respectiv în prima zi de toamnă, declinația sa este 0° și Soarele se deplasează de-a lungul ecuatorului. În prima zi de vară (iarnă în emisfera sudică), declinația Soarelui este de $+23,5^\circ$, iar în prima zi de iarnă (vară în emisfera sudică) aceasta este de $-23,5^\circ$ (fig. 10). Trebuie să putem schimba aceste valori în modelul nostru dacă vrem să studiem traiectoria Soarelui.

Pentru a obține un simulator robust (figurile 11a și 11b), o idee bună este să lipim împreună două bucăți de carton, înainte de a le tăia. De asemenea, unul dintre simulatoare poate fi de două ori mai mare ca celălalt, pentru a fi utilizat de către profesor.

Instrucțiunile pentru construcție sunt prezentate mai jos.

Simulator pentru emisfera nordică

a) Se face o fotocopie a figurilor 12 și 13 pe carton.

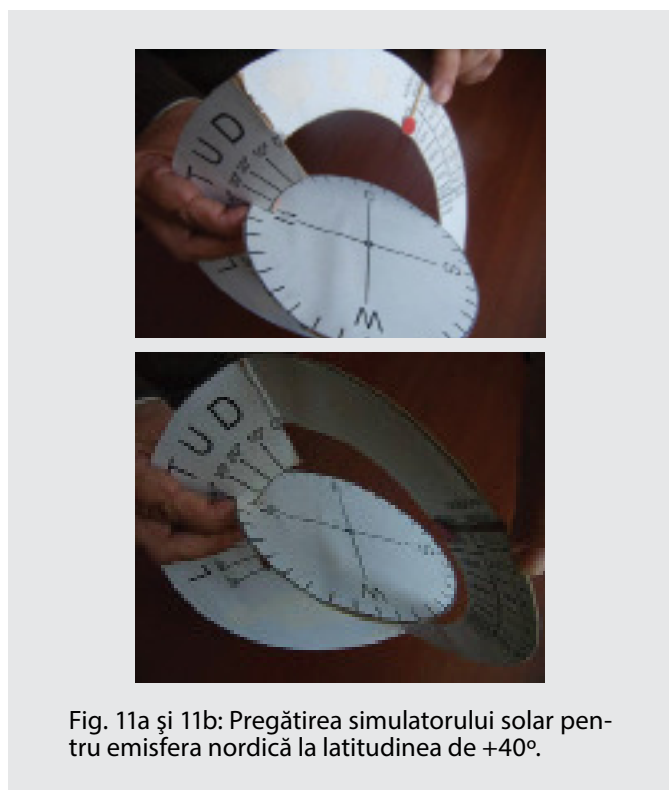


Fig. 11a și 11b: Pregătirea simulatorului solar pentru emisfera nordică la latitudinea de $+40^\circ$.

b) Se taie ambele bucăți de-a lungul liniei continue (figurile 12 și 13).

c) Se îndepărtează zonele negre din componenta principală (figura 13).

d) Se îndoaie componenta principală de-a lungul liniei punctate (figura 13). Repetând acest lucru de câteva ori, veți face simulatorul mai ușor de folosit.

e) Faceți o tăietură deasupra lui "N" pe discul orizontal (figura 13). Tăietura trebuie să fie suficient de mare pentru ca bucata de carton să treacă prin ea.

f) Lipește cadranul nord-est pe discul orizontal (figura 13) în cadranul gri al piesei principale (figura 12). Este foarte important să avem o linie dreaptă nord-sud, urmată de linia dublă pe piesa principală. De asemenea, "W" de pe discul orizontal trebuie să se potrivească cu latitudinea de 90° .

g) Când se plasează discul orizontal în piesa principală, trebuie să fim siguri că cele două stau perpendicular.

h) Este foarte important ca cele două piese diferite să fie lipite cu atenție pentru a obține o precizie maximă.

i) Pentru a pune Soarele pe simulator, pictați un cerc

roșu pe o bucată de hârtie. Se taie și se pune între două bucăți de bandă adezivă. Plasați fâșia transparentă cu cercul roșu peste declinația zonei din figura 12. Ideea este că ar trebui să fie ușoară mișcarea fâșiei în sus și în jos pentru a situa punctul roșu după luna aleasă.

Pentru a construi un simulator solar pentru emisfera sudică, trebuie urmați aceași pași, dar figura 12 va trebui înlocuită cu figura 14.

Simulator pentru emisfera sudică

a) Se face o fotocopie a figurilor 13 și 14 pe carton.

b) Se taie ambele bucăți de-a lungul liniei continue (fig. 13 și 14).

c) Se îndepărtează zonele negre din componenta principală (fig. 14).

d) Se împăturește componenta principală de-a lungul liniei punctate (fig. 14). Făcând acest lucru de câteva ori, veți face simulatorul mai ușor de folosit.

e) Faceți o tăietură deasupra lui "S" pe discul orizontal (figura 13). Tăietura trebuie să fie suficient de mare pentru ca bucata de carton să treacă prin ea.

f) Lipiți cadranul sud-vest pe discul orizontal (figura 13) în cadranul gri al piesei principale (fig. 14). Este foarte important să avem o linie dreaptă nord-sud, urmată de linie dublă pe piesa principală. De asemenea, "E" de pe discul orizontal trebuie să se potrivească cu latitudinea de 90° .

g) Când se plasează discul orizontal în piesa principală, trebuie să fim siguri că cele două stau perpendicular.

h) Este foarte important ca cele două piese diferite să fie lipite cu atenție pentru a obține o precizie maximă.

i) Pentru a pune Soarele pe simulator, pictați un cerc roșu pe o bucată de hârtie. Se taie și se pune între două benzi adezive. Plasați fâșia transparentă cu cercul roșu peste declinația zonei din figura 14. Ideea este că ar trebui să fie ușoară mișcarea benzilor în sus și în jos pentru a situa punctul roșu după luna aleasă.

Utilizarea simulatorului solar

Pentru a folosi simulatorul, trebuie să selectați latitudinea dumneavoastră. Apoi, putem din nou călători pe suprafața Pământului într-o excursie imaginară cu ajutorul simulatorului.

Vom considera trei zone:

1. Locuri într-o zonă intermediară în emisfera nordică sau cea sudică.
2. Locuri din zonele polare.
3. Locuri din zonele ecuatoriale.

1. Locuri într-o zonă intermediară în emisfera nordică sau sudică: ANOTIMPURILE

• Unghiul între traiectoria Soarelui și orizont

Folosind simulatorul este foarte ușor de observat că

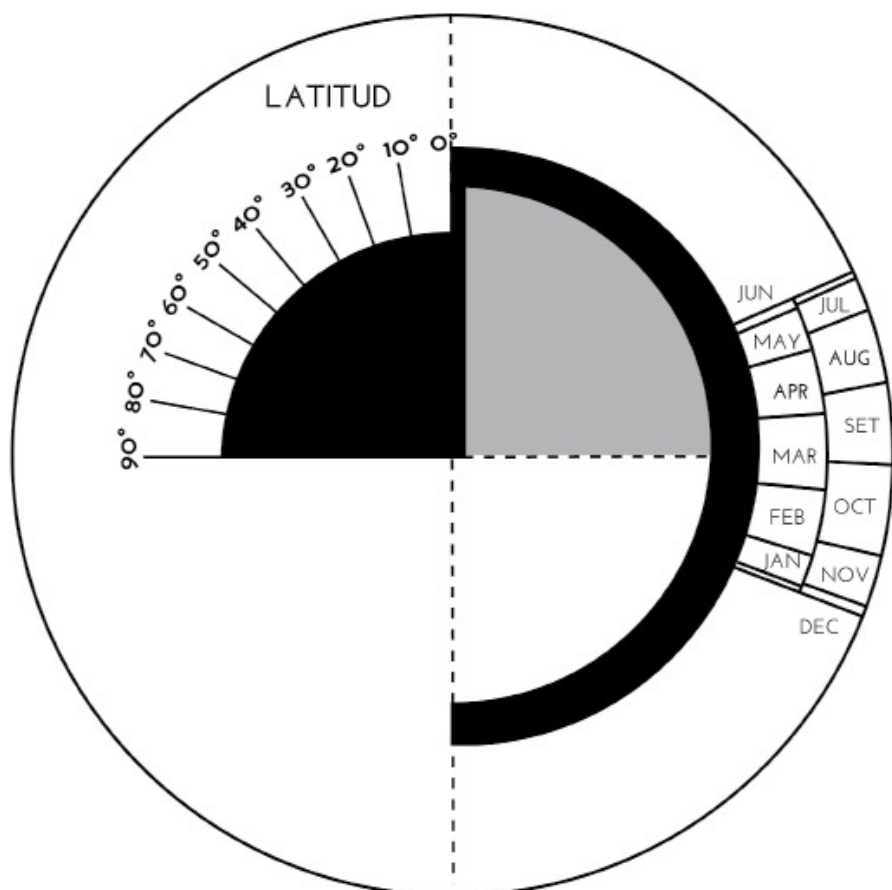


Fig. 12: Piesa principală a unui simulator solar pentru emisfera nordică.

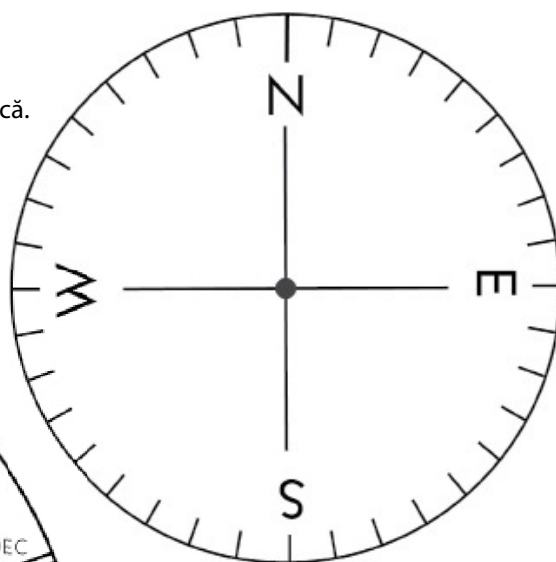


Fig. 13: Discul orizontului.

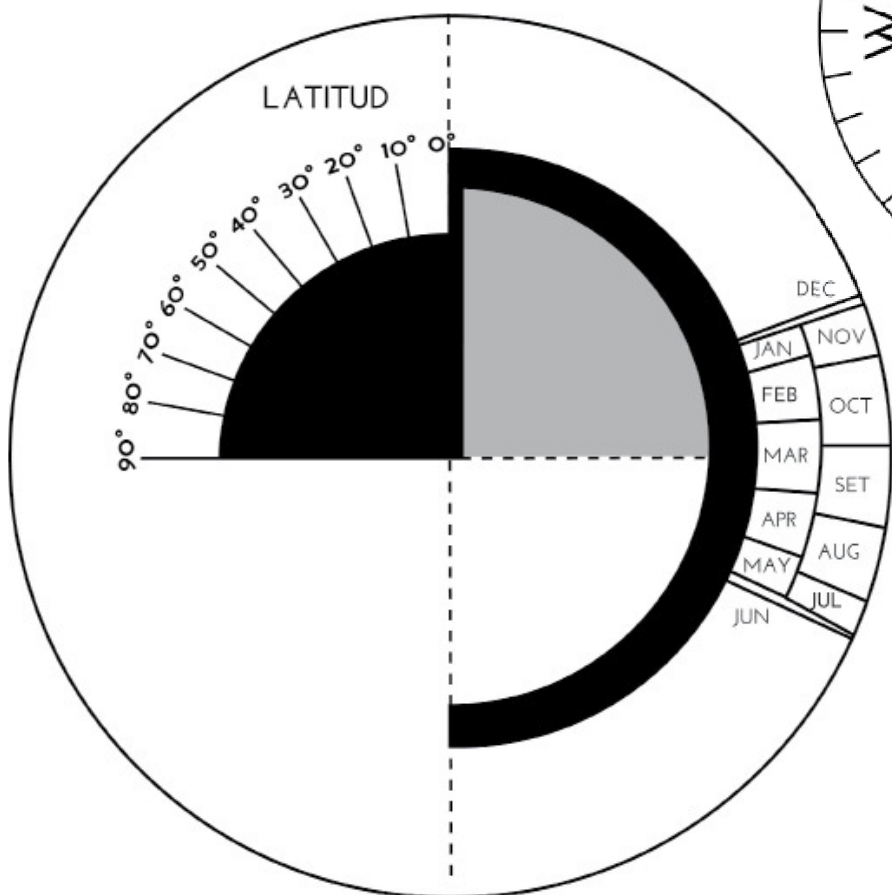


Fig. 14: Componenta principală a unui simulator solar pentru emisfera sudică.

unghiul între traiectoria Soarelui și orizont depinde de latitudine.

Dacă observatorul trăiește la ecuator (latitudine 0°) acest unghi este de 90° . Dacă observatorul trăiește la Polul Nord sau la Polul Sud (latitudine 90° N sau 90° S), traiectoria Soarelui este paralelă cu orizontul. În general, dacă observatorul trăiește într-o localitate la latitudinea L , traiectoria Soarelui este înclinată față de orizont tot timpul cu 90 minus L . Putem verifica aceasta privind figurile 15 și 16. Imaginea din figura 15 a fost luată la Lapland (Finlanda), iar cea din figura 16 la Gandia (Spania). Lapland este la o latitudine mai mare față de Gandia, deci înclinarea traiectoriei Soarelui este mai mică.



Fig. 15a și 15b: Răsăritul Soarelui în Enontekiö în Lapland (Finlanda). Unghiul traiectoriei Soarelui față de orizont este colatitudinea (90° minus latitudinea) (Foto: Sakari Ekko).



Fig. 16a și 16b: Răsăritul Soarelui în Gandia (Spania). Unghiul traiectoriei Soarelui față de orizont este 90° minus latitudinea (Foto: Rosa M. Ros).

- Înălțimea traiectoriei Soarelui deasupra orizontului depinde de anotimp

1.a Emisfera nordică

Folosind un simulator pentru localitatea voastră (selectând latitudinea localității voastre), este ușor de verificat faptul că înălțimea Soarelui deasupra orizontului se schimbă odată cu anotimpurile. De exemplu, în prima zi de primăvară (astronomică), declinația Soarelui este de 0° . Putem pune Soarele pe 21 martie. Apoi, putem deplasa Soarele de-a lungul ecuatorului, de la est la vest. Vom putea vedea că Soarele are o anumită înălțime deasupra orizontului.

La aceeași latitudine, vom repeta experimentul în zile diferite. Când vom deplasa Soarele de-a lungul ecuatorului în prima zi de vară, adică la 21 iunie, (declinația solară este $+23^\circ,5$), observăm că traiectoria acestuia este mai înaltă decât în prima zi a primăverii. În sfârșit, vom repeta experimental în prima zi de iarnă, adică la 21 decembrie (declinația solară $-23^\circ,5$). Vom observa, în acest caz, că traiectoria Soarelui este cea mai joasă. În prima zi de toamnă declinația este de 0° , iar traiectoria Soarelui de-a lungul ecuatorului este similară cu cea din prima zi de primăvară.



Fig. 17a și 17b: Traiectoria Soarelui vara și iarna în Norvegia. Este evident că înălțimea Soarelui deasupra orizontului este mai mare vara decât iarna. De aceea, Soarele strălucește mai mult timp vara decât iarna.

1.b Emisfera sudică.

Folosind simulatorul pentru localitatea voastră (selectați latitudinea acesteia), este ușor de verificat că înălțimea Soarelui deasupra orizontului depinde de anotimp. De exemplu, în prima zi de primăvară, declinația Soarelui este de 0° . Punem Soarele la 23 septembrie. Apoi, vom deplasa Soarele de-a lungul ecuatorului de la est la vest. Vom putea vedea că traiectoria Soarelui are o anumită înălțime deasupra orizontului.

La aceeași latitudine, vom repeta experimental în zile diferite. În prima zi de vară, adică la 21 decembrie

(declinația solară este $-23^{\circ},5$), când vom deplasa Soarele de-a lungul ecuatorului, vom observa că Soarele are o înălțime deasupra orizontului mai mare față de cea din prima zi de primăvară.

În sfârșit, putem repeta experimental la aceeași latitudine în prima zi de iarnă, adică la 21 iunie (declinația solară fiind $+23^{\circ},5$). Putem vedea că în acest caz traiectoria Soarelui este cea mai joasă. În prima zi de toamnă declinația este de 0° și traiectoria Soarelui urmează ecuatorul într-un mod similar celui din prima zi de primăvară.

Evident că, dacă schimbăm latitudinea, înălțimea Soarelui deasupra orizontului se schimbă, dar de fiecare dată rămâne cea mai ridicată în prima zi de vară și cea mai coborâtă în prima zi de iarnă.

Observații:

Vara, când înălțimea Soarelui deasupra orizontului are valoarea cea mai ridicată, lumina solară este aproape la incidență normală în raport cu planul orizontului. Din această cauză, radiația este concentrată într-o arie restrânsă și vremea este mai caldă. De asemenea, în timpul verii, numărul orelor cu lumină naturală este mai mare ca în timpul iernii. Aceasta conduce, de asemenea, la creșterea temperaturii în timpul verii.

- Soarele răsare și apune zilnic în alt loc

În experimentele precedente, dacă ne-am fi concentrat atenția asupra răsăritului și apusului Soarelui, am fi observat că acestea nu sunt în același loc în fiecare zi. În particular, distanța pe orizont între răsăritul (sau apusul) primei zile din două anotimpuri consecutive crește cu creșterea latitudinii (figurile 18a și 18b).

Este foarte simplu să folosim un simulator pentru simulare. Trebuie doar marcată poziția Soarelui în fiecare anotimp pentru două latitudini diferite, de exemplu de 60° și 40° (figurile 19a, 19b și 19c).

Ilustrațiile din figurile 18 și 19 sunt pentru emisfera nordică, dar aceleași concepte sunt valabile și pentru emisfera sudică (figurile 20a și 20b). Singura diferență este calendarul anotimpurilor.

Observații:

Soarele nu răsare exact la est și nu apune exact la vest. Deși această idee este în general acceptată, ea nu este și adevărată. Aceasta se întâmplă doar de două ori pe an: în prima zi de primăvară și în prima zi de toamnă, pentru toate latitudinile.

Un alt lucru interesant este că Soarele trece la meridian (linia imaginară care trece prin polii cerești și zenit) la miezul zilei la toate latitudinile (în timp solar). Acest lucru poate fi folosit pentru orientare.

2. Regiunile polare: SOARELE DE LA MIEZUL NOPTII

- Vara polară și iarna polară

Dacă introducem latitudinea polară în simulator (90° N sau 90° S în raport de polul considerat) sunt trei posibilități. Dacă declinația Soarelui este 0° , atunci Soarele se deplasează de-a lungul orizontului care este, de asemenea, și ecuatorul.

Dacă declinația coincide cu prima zi a verii, atunci Soarele se deplasează paralel cu orizontul. De fapt, Soarele se mișcă mereu paralel cu orizontul, din a doua zi de primăvară, până în ultima zi de vară. Aceasta înseamnă că o jumătate de an este zi.

În prima zi de toamnă, Soarele, din nou, se deplasează de-a lungul orizontului. Însă, începând cu a doua zi de toamnă, până în ultima zi de iarnă, Soarele se deplasează paralel cu orizontul, dar sub acesta. Aceasta înseamnă că o jumătate de an este noapte.

Desigur, exemplele de mai sus sunt situațiile extreme. Există unele latitudini nordice în care traiectoria Soarelui nu este paralelă cu orizontul. Cu toate acestea, încă nu avem răsărit sau apus din cauza latitudinii locale prea înalte. În aceste cazuri putem observa așa-numitul "Soare de la miezul nopții".

- Soarele de la miezul nopții

Dacă selectăm pe simulator latitudinea de 70° N (sau 70° S, în funcție de emisfera considerată), putem simula conceptul de „Soare de la miezul nopții”.

Dacă punem Soarele în prima zi a verii, adică la 21 iunie în emisfera nordică (sau la 21 decembrie în emisfera sudică), vom putea observa că Soarele nu răsare și nu apune în această zi.

Traectoria Soarelui este tangentă la orizont, dar niciodată sub acesta. Acest fenomen este cunoscut ca "Soare de la miezul nopții", deoarece Soarele este sus la miezul nopții (figurile 21a și 21b).

La poli (90° N sau 90° S), Soarele apare la orizont o jumătate de an și este sub orizont pentru cealaltă jumătate de an. Este ușor de ilustrat această situație folosind simulatorul (figurile 22a și 22b).



Fig. 18a și 18b: Apus la Riga (Letonia) și la Barcelona (Spania) în prima zi a fiecărui anotimp (stânga/iarna, centru/primăvara sau toamna, dreapta/vara). Apusul central în ambele fotografii se află pe aceeași linie. Este ușor de observat că apusurile vara și iarna la Riga (latitudine mai înaltă) sunt mai distincte ca în Barcelona (Foto: Ilgonis Vilks, Letonia și Rosa M. Ros, Spania).

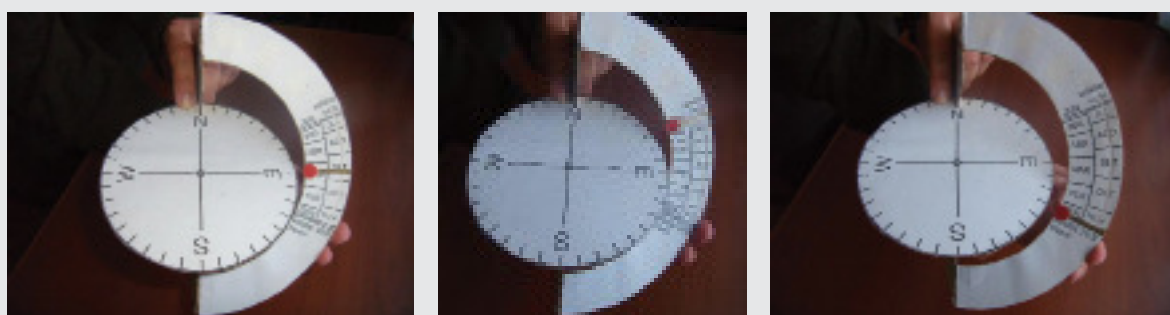


Fig. 19a: Răsăritul în prima zi de primăvară sau de toamnă, Fig. 19b: Răsăritul în prima zi de vară, Fig. 19c: Răsăritul în prima zi de iarnă

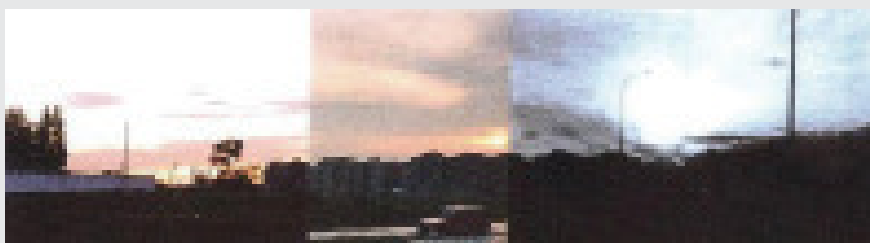


Fig. 20a și 20b: Apusul în La Paz (Bolivia) și Esquel (Argentina) în prima zi a fiecărui anotimp (stânga/vara, centru/primăvara și toamna, dreapta/iarna). Apusul din centru în cazul ambelor poze este pe aceeași linie și este ușor de observat că vara și iarna apusurile în Esquel (latitudine mai înaltă) sunt mai separate față de La Paz (Foto: Juan Carlos Martínez, Columbia și Nestor Camino, Argentina).

3.- Zonele ecuatoriale: SOARELE LA ZENIT

- Soarele la zenit

În zonele ecuatoriale, cele patru anotimpuri nu sunt foarte diferite. Traectoria Soarelui este practic perpendiculară pe orizont și înălțimea Soarelui deasupra orizontului este practic aceeași de-a lungul întregului an. Durata zilelor sunt similare (figurile 23a, 23b și 23c).

Mai mult, în țările tropicale sunt unele zile speciale: zilele când Soarele trece pe la zenit. În aceste zile, lumina cade perpendicular pe suprafața Pământului la ecuator. Din această cauză, temperatura este mai ridicată și umbrele oamenilor dispar sub pantofi (figura 24a). Unele culturi străvechi considerau aceste zile speciale, fenomenul fiind foarte ușor de observat. Așa au rămas până în zilele noastre. De fapt, sunt două zile într-un an când Soarele este la zenit pentru cei care trăiesc între tropicul Racului și tropicul Capricornului. Putem ilustra acest fenomen folosind simulatorul. Este, de asemenea, posibil să calculăm datele cu aproximație, ele depinzând de latitudine (figura 24b).

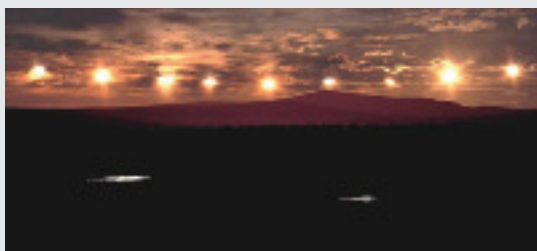


Fig. 21a și 22b: Traectoria „Soarelui” de la miezul nopții în Lapland (Finlanda). Soarele se apropie de orizont, dar nu apune. Mai degrabă, se ridică din nou (Foto: Sakari Ekko).

De exemplu (figura 24b), dacă selectăm latitudinea de 15° N, utilizând simulatorul putem aproxima în ce zi Soarele este la zenit la amiază. Trebuie doar să ții un băț perpendicular pe orizontul discului și vedem că aceste zile sunt la sfârșitul lui aprilie și la mijlocul lui august.

Simulatorul XXL

Evident, simulatorul poate fi confecționat din diferite materiale, de exemplu din lemn (figura 25a). În acest caz, o sursă de lumină poate fi introdusă pentru a arăta poziția Soarelui. Cu un aparat de fotografiat cu timp de expunere mare este posibil să vizualizăm traectoria Soarelui (figura 25c).



Fig. 22a și 22b: Simulatorul arată Soarele deasupra orizontului pentru o jumătate de an și sub orizont pentru cealaltă jumătate de an.



Fig. 23a, 23b și 23c: Răsăritul Soarelui în prima zi a fiecărui anotimp: stânga – prima zi de vară, centru – prima zi de primăvară sau toamnă și dreapta – prima zi de iarnă (în emisfera nordică). La ecuator, traectoria Soarelui este perpendiculară pe orizont. Soarele răsare aproximativ din același loc în fiecare anotimp. Distanțele unghiulare între răsărituri sunt de numai 23,5° (oblicitatea eclipticii). La latitudini extreme traectoria Soarelui este mai înclinată și distanțele între cele trei puncte ale răsăritului cresc (figurile 18a, 18b, 20a și 20b).

Simulator lunar: de ce Luna zâmbește în unele locuri?

Când îi învățăm pe elevi despre Lună, aceștia ar trebui să înțeleagă că Luna are mai multe faze. De asemenea, elevii ar trebui să înțeleagă cum și de ce se întâmplă eclipsele. Fazele Lunii sunt foarte spectaculoase și sunt

ușor de explicat folosind o minge și o sursă de lumină.

Modelele din figura 26 arată imaginea Lunii crescătoare și schimbările secvențiale. Este o regulă empirică ce spune că Luna crește când este în formă de a "C" și că descrește când este în formă de "D". Acesta este un adevăr doar pentru locuitorii emisferei sudice, deoarece pentru cei din emisfera nordică regula nu este valabilă, de unde și zicala că "Luna este mincinoasă".

Modelul nostru va simula fazele Lunii (figura 26) și veți putea observa cum Luna seamănă cu un "C" sau cu un "D" în funcție de fază. De multe ori Luna poate fi observată deasupra orizontului, precum în figura 27. De altfel, în funcție de țară, este posibil să observăm Luna ca un "C" înclinat sau ca un "D" înclinat (figura 28a) sau, în alte cazuri, ca un "U" (numit "Lună zâmbitoare"; figura 28b). Cum putem explica aceasta? Vom folosi simulatorul lunar pentru a înțelege variațiile aparente ale pătrărilor Lunii la diferite latitudini.



Fig. 24a: Umbră mică (Soarele este aproape la zenit într-un loc aproape de ecuator), Fig. 24b: Simularea Soarelui la zenit în Honduras (latitudine 15° N).

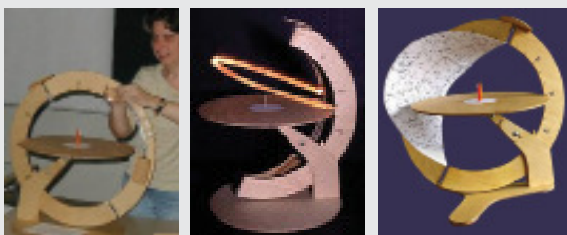


Fig. 25a: Simulator din lemn XXL. Fig. 25b: Simulator stelar din lemn. Fig. 25c: Cu un aparat de fotografiat cu timp de expunere mare este posibil să fotografiem traiectoria Soarelui. (Foto: Sakari Ekko).

Dacă studiem mișcările Lunii, trebuie să luăm în considerare poziția ei relativă în raport cu Soarele (care este cauza fazelor sale) și declinația ei (care se schimbă zilnic, mult mai rapid ca la Soare). Deci trebuie să construim un simulator care oferă elevilor posibilitatea de a schimba cu ușurință poziția relativă a Lunii față de Soare și declinația care variază considerabil de-a lungul unei luni. Într-adevăr, văzută de pe Pământ, în contrast

cu stelele din fundal, Luna descrie o traiectorie într-o lună apropiată de cea a Soarelui într-un an, aliniată cu ecliptica (dar înclinată cu 5° din cauza înclinării orbitei proprii).

Luna este în direcția Soarelui când este la faza de Lună Nouă. Când este la Lună Plină, se află în punctual opus al eclipticii și declinația sa este în opoziție cu cea a Soarelui (între 5° nord sau sud). De exemplu, la solstițiul din iunie, Luna Plină este în poziția în care se află Soarele în timpul solstițiului din decembrie; declinația sa este negativă (între -18° și -29°). Mișcarea diurnă a Lunii Pline în iunie este similară cu cea a Soarelui în decembrie.

Dacă considerăm forma crescătoare a "D"-ului în emisfera nordică (și "C"-ului în emisfera sudică), știm că Luna este la 90° în raport cu Soarele. Cu toate acestea, ea este departe de Soare pe ecliptică (diferență de aproape trei luni). În iunie, Luna în creștere va avea o declinație aproape de cea a Soarelui în septembrie (0°). În luna septembrie, va avea o declinație apropiată de cea a Soarelui în decembrie (-23,5°) etc.



Fig. 26: Fazele Lunii

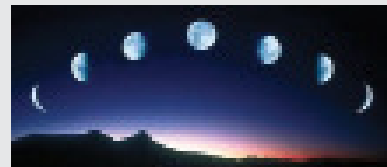


Fig. 27: Fazele Lunii observate la orizont

Confecționarea unui simulator

Simulatorul lunar este confecționat în același mod ca și cel solar. Inițial, avem nevoie de un model pentru a simula observațiile în emisfera nordică și de un alt model pentru emisfera sudică (figurile 12 și 13 pentru emisfera nordică și 12 și 14 pentru emisfera sudică). Este, de asemenea, o idee bună să construim un simulator de mărime dublă pentru a fi utilizat de profesor.

Pentru a realiza o Lună pentru simulator, decupați figura 29b (Luna în Pătrar) și lipiți două bucăți de bandă adezivă de o parte și de alta a acesteia (semidisc albastru).

Puneți folia transparentă pe porțiunea din simulator unde lunile sunt specificate (figurile 12 sau 14, în funcție de emisferă). În acest fel va fi ușor să o mișcăm în sus sau în jos, poziționând-o în funcție de luna aleasă.

Utilizarea simulatorului lunar

Pentru a folosi simulatorul, trebuie să selectăm o latitudine. Astfel, vom putea face o călătorie imaginară pe suprafața Pământului, folosind simulatorul.

Prindeți cu mâna stângă partea principală a simulatorului (figura 30) de porțiunea goală (sub cadranul latitudinii). Selectați latitudinea și deplasați discul orizontului până la latitudinea dorită. Alegeți ziua pentru care doriți să simulați mișcarea de descreștere a Lunii. Adăugați trei luni la această valoare și puneți luna în Ultimul Pătrar (figura 29b). Poziția Lunii este identică cu cea a Soarelui peste trei luni. Folosiți mâna dreaptă pentru a deplasa discul cu Luna de la est la vest.

Cu simulatorul pentru emisfera nordică, se poate observa că aspectul celei de-a patra faze a Lunii (Ultimul Pătrar) se schimbă cu latitudinea și perioada din an. Din perspectiva păpușii, descreșterea din Ultimul Pătrar poate să apară ca un "C" sau ca un "U" la orizont.

- Dacă alegem o latitudine în jur de 70° N sau 70° S putem observa pătrarul Lunii ca un "C" mișcându-se de la est la vest. Perioada din an nu are importanță. În toate anotimpurile, Luna arată ca un "C" (figura 30a).
- Dacă latitudinea este 20° N sau 20° S, observatorul este aproape de tropice și putem vedea faza Lunii zâmbitoare în formă de "U". Luna se deplasează urmând o linie mai perpendiculară pe orizont, față de exemplul precedent (figura 30b). Forma de "U" nu se schimbă, rămânând aceeași pe tot parcursul anului.

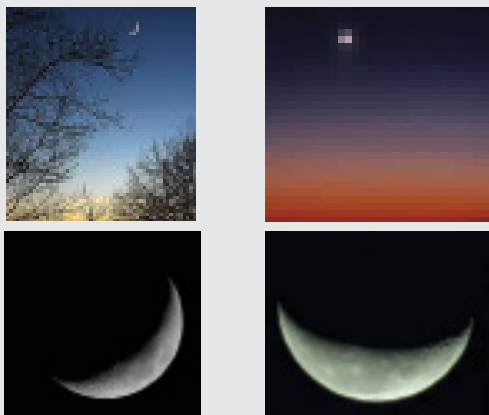


Fig. 28a: Luna crescătoare înclinată, Fig. 28b: Luna zâmbitoare.

- Dacă latitudinea este 90° N sau 90° S, observatorul este la poli și depinzând de ziua considerată:
 - vom vedea Luna în "C" deplasându-se paralel cu orizontul.
 - nu o vom putea vedea, deoarece traiectoria ei este sub orizont.
- Dacă latitudinea este de 0° , observatorul este la ecuator și va putea vedea Luna zâmbitoare în formă de

"U". Luna răsare și apune perpendicular pe orizont. La amiază, când are formă de "U", nu va mai fi vizibilă, la revenire având formă de "C".



Fig. 29a: Folosirea simulatorului, Fig. 29b: Luna văzută prin folia transparentă în pătrar.

Pentru observatorii care trăiesc la latitudini intermediare, pătrarul Lunii răsare și apune mai mult sau mai puțin înclinat, având forme intermediare între "C" și "U".

Comentariile precedente se aplică și pentru situațiile în care Luna apare în formă de "D". Din nou, trebuie să ne reamintim să corectăm ziua (în acest caz, să scădem trei luni) când luăm în calcul poziția Soarelui.



Fig. 30a: Simulator pentru latitudinea 70° N, Fig. 30b: latitudinea 20° S.

- Dacă introducem o latitudine de -70° (sau 70° Sud) putem observa Luna descrescătoare în formă de "D" deplasându-se de la est la vest. Acest lucru nu depinde de perioada din an, în toate anotimpurile Luna apărând sub formă de "D" (figura 30a).
- Dacă latitudinea este de -20° (figura 30b), observatorul este la tropice și vede Luna zâmbitoare în formă de "U", posibil ușor înclinat. Luna se deplasează pe o traiectorie perpendiculară pe orizont, ca în exemplul anterior. Forma de "U" rămâne neschimbată tot timpul.

- Dacă latitudinea este -90° , observatorul este la polul sud și, în funcție de data din calendar, va putea:
 - să vadă Luna ca un "D" care se deplasează paralel cu orizontul.
 - nu va putea vedea Luna, deoarece traiectoria acesteia este sub orizont.
- La latitudinea de 0° , ca în simulatorul emisferei nordice, observatorul este la ecuator și poate vedea Luna zâmbitoare ca un "U". Luna răsare perpendicular pe orizont și se ascunde în jurul prânzului când are formă de "U", pentru a reapare sub formă de "∩".

Pentru alți observatori care trăiesc la latitudini intermediare, fazele Lunii răsar și apun în poziții intermediare între "D" și "U", fiind mai mult sau mai puțin înclinate, în funcție de latitudinea observației.

Aceste comentarii se aplică în același mod când Luna apare ca un "C", scăzând din nou trei luni de la poziția Soarelui.

"Mulțumiri: Autorii doresc să mulțumească lui Joseph Snider pentru dispozitivul solar produs în 1992, produs care i-a inspirat la realizarea altor simulatori."

.....

Bibliografie

- Ros, R.M., "De l'intérieur et de l'extérieur", Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5, France, 2001.
- Ros, R.M., "Sunrise and sunset positions change every day", Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., "Two steps in the stars' movements: a demonstrator and a local model of the celestial sphere", Proceedings of 5th EAAE International Summer School, 181, 198, Barcelona, 2001.
- Snider, J.L., The Universe at Your Fingertips, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.
- Warland, W., "Solving Problems with Solar Motion Demonstrator", Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.

Sistemul Pământ – Lună – Soare: Faze și eclipse

Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania)

Sumar

Lucrarea următoare se referă la fazele Lunii, eclipsele de Soare și la eclipsele de Lună. Aceste eclipse sunt folosite pentru a găsi distanțele și diametrele în sistemul Pământ – Lună – Soare. În final, o activitate simplă vă permite să măsurați longitudini și înălțimi pe suprafața Lunii. De asemenea, este explicată originea mareelor.

Obiective

- Să înțelegem de ce Luna are faze.
- Să înțelegem cauza eclipselor de Lună.
- Să înțelegem de ce apar eclipsele de Soare.
- Să determinăm distanțele și diametrele sistemului Pământ – Lună – Soare.
- Să înțelegem originea mareelor.

Poziții relative

Termenul de "eclipsă" este folosit pentru fenomene foarte diferite, dar în toate cazurile o eclipsă are loc când un obiect trece prin fața altui obiect; pentru această unitate, poziția relativă a Pământului și Lunii (obiecte opace) determină întreruperea luminii solare.

O eclipsă de Soare are loc când Soarele este acoperit de Lună, când aceasta este poziționată între Soare și planeta noastră. Acest tip de eclipsă se întâmplă în timpul fazei de Lună Nouă (figura 1).

Eclipsele de Lună au loc când Luna trece prin umbra Pământului. Aceasta se întâmplă când Luna este în partea opusă Soarelui, astfel că aceste eclipse apar în perioada fazei de Lună Plină (figura 1).

Pământul și Luna se deplasează de-a lungul orbitei eliptice, care nu sunt în același plan. Orbita Lunii are o înclinație de 5° față de ecliptică (planul orbitei Pământului în jurul Soarelui). Ambele planuri se intersectează după o linie, numită linia nodurilor. Eclipsele au loc când Luna este în apropierea acestei linii a nodurilor. Dacă cele două planuri ar fi coincis, eclipsele ar fi fost mult mai frecvente decât de la zero la de trei ori pe an.

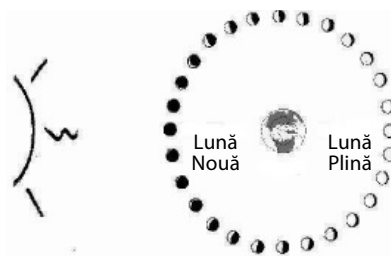


Fig.1: Eclipsele de Soare au loc atunci când Luna este poziționată între Soare și Pământ (Lună Nouă). Eclipsele de Lună apar atunci când Luna trece prin conul de umbră al Pământului (Pământul este poziționat între Soare și Luna Plină).

Modelul cu lanterna

Pentru a explica fazele Lunii este cel mai bine să folosim un model cu o lanternă sau un proiector (care va reprezenta Soarele) și minim 5 voluntari. Unul dintre ei va sta în centru, reprezentând Pământul, iar ceilalți se vor așeza în jurul "Pământului" la distanțe egale pentru a simula diferitele faze ale Lunii. Pentru a face totul mai atractiv este o bună idee ca fiecare "Lună" să poarte o mască albă pentru a mima culoarea Lunii. Toți voluntarii vor sta cu fața spre "Pământ". Vom plasa lanterna deasupra și în spatele unuia dintre voluntari și vom începe să vizualizăm fazele (așa cum se văd de pe Pământ, care este în centru). Este foarte ușor de observat că în unele cazuri masca este complet luminată, alteori numai un sfert și câteodată nu este luminată de loc (din cauză că lanterna "Soarele" este în spatele acelei "Luni" și lumina lanternei inundă toată scena). Cu cât numărul de voluntari "Lună" sunt mai mulți cu atât se pot vedea mai multe faze.

Acest model este folosit și pentru a vizualiza faptul că putem vedea doar o față a Lunii din cauza rotației Lunii în jurul axei sale în același timp cu mișcarea circulară în jurul Pământului. Începem prin așezarea voluntarului care joacă rolul planetei "Pământ" și a unui singur voluntar "Lună". Fixăm "Luna" în fața "Pământului" înainte de a începe să se miște. Dacă "Luna" se mișcă cu 90° pe orbita sa în jurul "Pământului", trebuie să se rotească tot cu 90° în jurul axei sale și astfel va continua să fie

cu fața spre "Pământ" și așa mai departe (figura 2).



Fig. 2: Modelul Pământ-Lună cu voluntari (pentru a explica fazele și fața vizibilă a Lunii)

Modelul Pământ - Lună

Nu este atât de ușor de înțeles geometria ce stă la baza fazelor Lunii, eclipselor de Soare și de Lună. Din acest motiv am propus un model simplu pentru a facilita înțelegerea acestor fenomene.

Înfigeți două cuie (cu lungimea de 3 sau 4 cm) într-o bucată de lemn lungă de 125 cm. Distanța dintre cuie trebuie să fie de 120 cm. Pe cuie fixați două sfere cu diametrele de 1 cm și de 4 cm (figura 3).

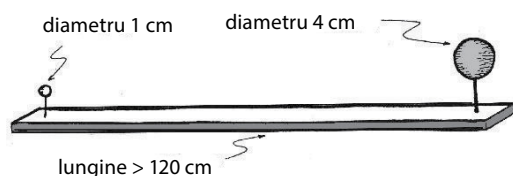


Fig. 3: Modelul Pământ - Lună

Este important să se mențină aceste dimensiuni relative deoarece ele reprezintă un model la scară al sistemului Pământ - Lună.

Diametrul Pământului	12.800 Km	4 cm
Diametrul Lunii	3.500 Km	1 cm
Distanța Pământ-Lună	384.000 Km	120 cm
Diametrul Soarelui	1.400.000 Km	440 cm = 4,4 m
Distanța Pământ-Soare	150.000.000 Km	4.700 cm = 0,47 km

Tabel 1: Distanțe și diametre în sistemul Pământ-Lună-Soare

Simularea fazelor Lunii:

Într-un loc însorit, când Luna este vizibilă în timpul zilei,

îndreaptă modelul spre Lună, cu sfera mai mică către Lună (figura 4). Observatorul va sta în spatele sferei care reprezintă Pământul. Sfera care reprezintă Luna pare a fi la fel de mare ca Luna reală și faza este aceeași. Prin schimbarea orientării modelului pot fi reproduse diferitele faze ale Lunii deoarece iluminarea de la Soare variază. Sfera care reprezintă Luna trebuie să fie mișcată în așa fel încât să se obțină toate fazele.

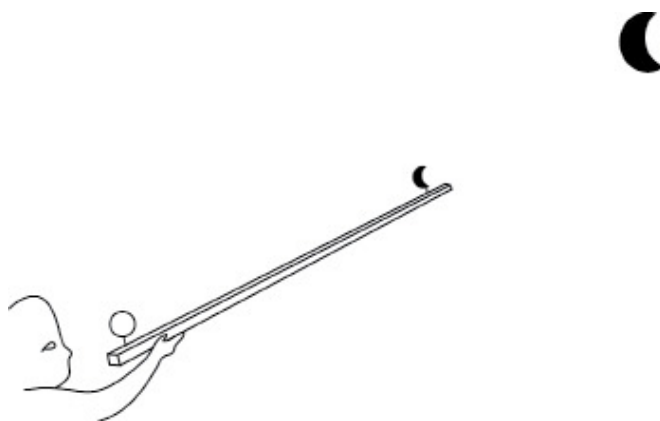


Fig.4: Folosirea modelului în curtea școlii

Este de preferat ca această activitate să se realizeze afară, dar dacă este nor, atunci ea se poate efectua în clasă cu ajutorul unui proiector ca sursă de lumină.

Simularea eclipsei de Lună

Țineți modelul astfel încât sfera, care reprezintă Pământul, să fie îndreptată spre Soare (este mai bine să se folosească un proiector ori o lanternă pentru a evita ațintirea privirii spre Soare) și ca urmare umbra Pământului acoperă Luna (figurile 5a și 5b), deoarece este mai mare decât Luna. Acesta este un mod ușor pentru a reproduce o eclipsă de Lună.

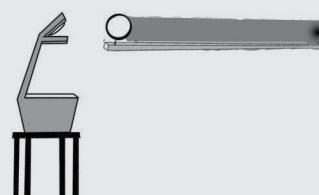


Fig.5a și 5b: Simularea eclipsei de Lună.

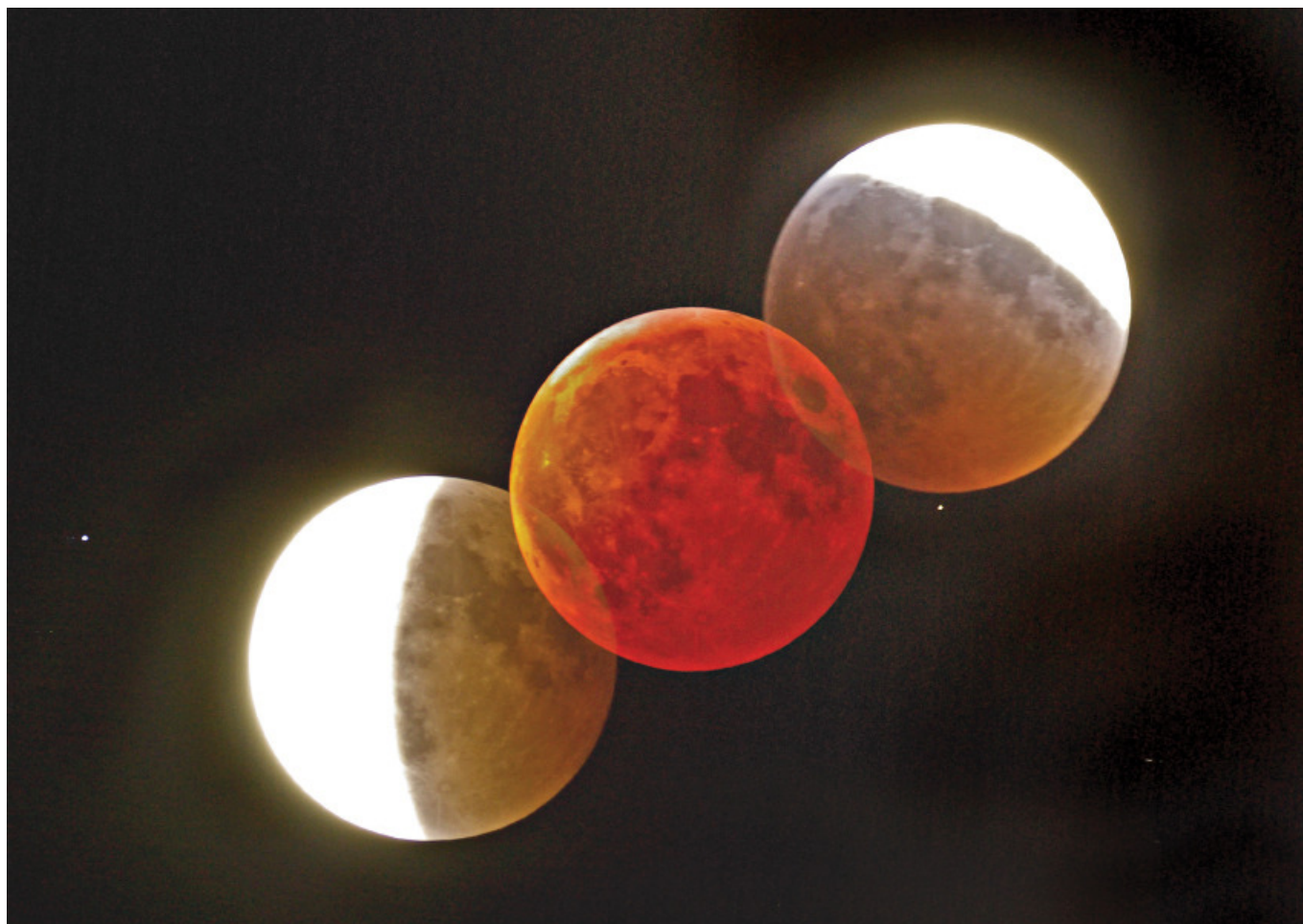


Fig. 6: Montaj fotografic pentru o eclipsă de Lună. Satelitul natural traversează conul de umbră produs de Pământ.

Simularea eclipsei de Soare

Plasați modelul astfel încât sfera care reprezintă Luna să fie îndreptată către Soare (este mai bine să fie utilizat un proiector sau o lanternă) și umbra creată de Lună să fie proiectată pe sfera care reprezintă Pământul. Prin această metodă, este reprodusă eclipsa de Soare și o mică pată va apărea deasupra unei regiuni de pe Pământ (figurile 7a și 7b).

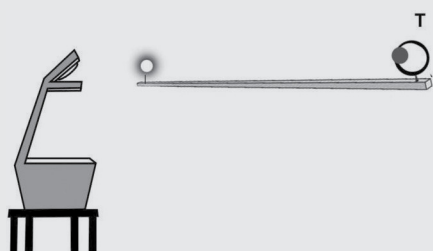


Fig. 7a și 7b Simularea eclipsei de Soare

Nu este ușor să realizați această situație pentru că înclinația modelului trebuie să fie atent reglată (aces-



Fig.8: Detaliu al figurii anterioare 7a.



Fig. 9: Fotografie realizată de pe ISS a eclipsei de Soare din 1999 asupra unei regiuni de pe suprafața Pământului

ta este motivul pentru care sunt mai puțin eclipse de Soare decât cele de Lună).

Observații

- Eclipsă de Lună poate avea loc numai atunci când este Lună Plină, iar una de Soare numai atunci când este Lună Nouă.
- Eclipsă de Soare poate fi observată numai într-o mică regiune a suprafeței Pământului.
- Se întâmplă rar ca Pământul și Luna să fie aliniate suficient încât să se producă o eclipsă, așa încât aceasta nu apare la fiecare Lună Nouă sau Plină.

Modelul Soare - Luna

Pentru a vizualiza sistemul Soare-Pământ-Lună, cu un accent special pe distanțe, vom realiza un nou model, care tratează totul din punct de vedere terestru. În acest caz, îi vom invita pe elevi să deseneze și să picteze un Soare mare cu un diametru de 220 cm (diametru mai mare de 2 metri) pe o foaie (pânză) și le vom arăta că ei pot să acopere acest Soare cu o mică Lună cu diametrul de 0,6 cm (diametru mai mic de 1 cm).

Este util să substituim sfera care reprezintă Luna cu un orificiu într-o placă de lemn, pentru a fi siguri de poziția Lunii și a observatorului.

În acest model, Soarele va fi fixat la 235 de metri distanță față de Lună și observatorul va fi la 60 cm față de Lună. Elevii vor fi foarte surprinși de faptul că ei pot acoperi marele Soare cu această mică Lună.

Nu este ușor de imaginat acest raport de proporționalitate de 400 pentru diametre și distanțe și de aceea este bine să li se arate elevilor un exemplu pentru a înțelege scara distanțelor și dimensiunile reale din Univers.

Toate aceste exerciții și activități îi ajută pe elevi și profesori să înțeleagă relațiile spațiale dintre corpurile cerești în timpul unei eclipse solare. Această metodă este mult mai bună decât lectura unei serii de date dintr-o carte.

Diametrul Pământului	12.800 km	2,1 cm
Diametrul Lunii	3.500 km	0,6 cm
Distanța Pământ-Lună	384.000 km	60 cm
Diametrul Soarelui	1.400.000 km	220 cm
Distanța Pământ-Soare	150.000.000 km	235 cm

Table 2: Distanțe și diametre ale sistemului Pământ-Lună-Soare

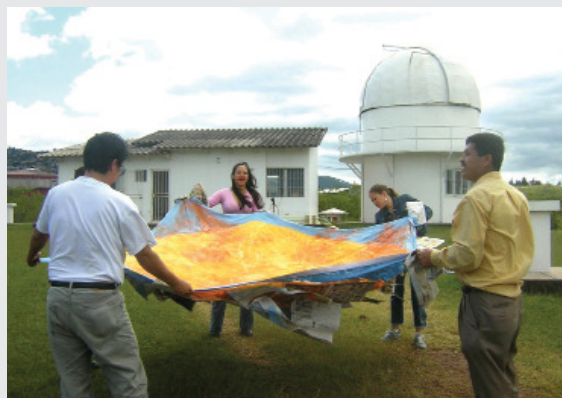


Fig. 10: Modelul pentru Soare



Fig. 11: Observarea Soarelui cu o sferă cu diametrul de 6 mm, reprezentând Luna

Măsurarea diametrului Soarelui

Putem măsura diametrul Soarelui în moduri diferite. Aici vom prezenta o metodă simplă, folosind o cameră obscură. Putem construi o astfel de cameră dintr-o cutie de pantofi sau un tub de carton.

1. Acoperim un capăt al tubului cu o hârtie milimetrică semitransparentă și celălalt capăt cu o bucată de hârtie rezistentă sau cu o folie de aluminiu, în care vom face un orificiu central cu un ac subțire (figurile 12 și 13).
2. Trebuie să îndreptăm capătul tubului cu micul orificiu spre Soare și să privim celălalt capăt, care este acoperit de hârtie milimetrică. Măsurăm diametrul d al imaginii Soarelui de pe această hârtie milimetrică.

Pentru a calcula diametrul Soarelui trebuie să analizăm figura 14, unde observăm două triunghiuri asemenea

Stabilim relația de proporționalitate:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$

Aflăm valoarea diametrului Soarelui, D:

$$D = \frac{d \cdot L}{l}$$

Cunoscând distanța de la Soare la Pământ $L = 150$ milioane km, lungimea tubului l și diametrul d al imaginii Soarelui pe ecranul de hârtie milimetrică semitransparent, putem calcula diametrul D al Soarelui. (Amintiți-vă că diametrul solar este de 1392000 km.).

Putem repeta exercițiul pentru Luna Plină, știind că aceasta este la distanța de 400000 km față de Pământ.

Dimensiuni și distanțe în sistemul Pământ-Lună-Soare

Aristarh (310-230 î.Hr.) a dedus raportul dintre distanțele și razele sistemului Pământ-Lună-Soare. El a calculat raza Soarelui și a Lunii, distanța de la Pământ la Soare și distanța de la Pământ la Lună în raport cu raza Pământului. Câțiva ani mai târziu, Eratostene (280-192 î.Hr.) a determinat raza planetei noastre și a făcut posibil să se calculeze toate distanțele și razele sistemului Pământ-Lună-Soare.

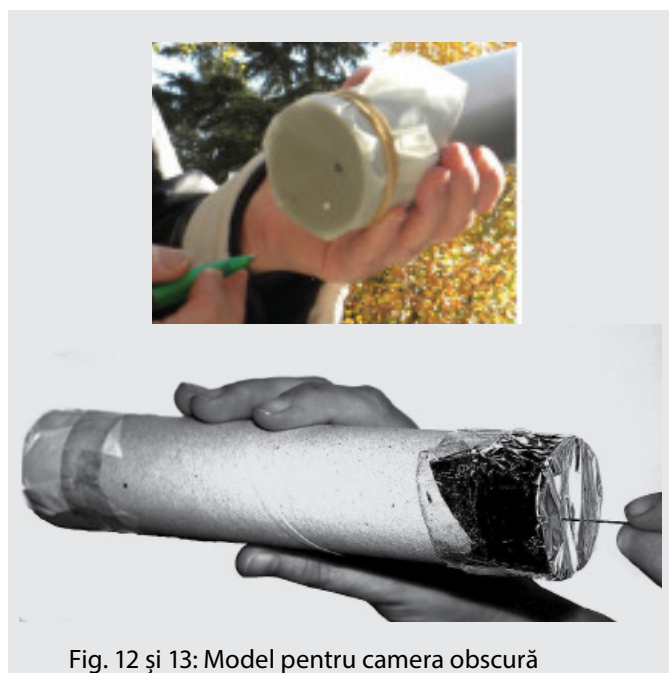


Fig. 12 și 13: Model pentru camera obscură

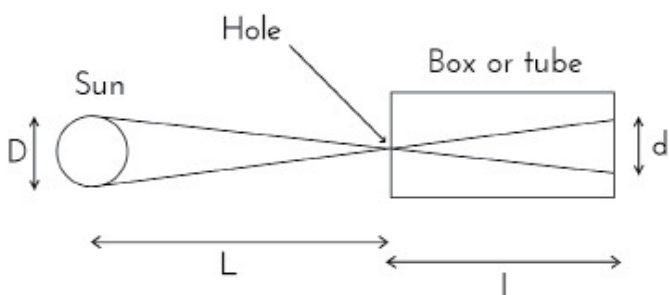


Fig. 14: Formarea imaginii - reprezentare geometrică

Vă propunem ca activitatea elevilor să fie repetarea ambelor experimente. Ideea este să reluați deducerea matematică și, pe cât posibil, observațiile gândite de Aristarh și Eratostene.

Experimentul lui Aristarh

* Relația dintre distanțele Pământ-Lună și Pământ-Soare

Aristarh a determinat că unghiul dintre direcția Pământ-Lună și direcția Pământ-Soare, când Luna este la Primul Pătrar, are valoarea $\alpha = 87^\circ$ (figura 15).

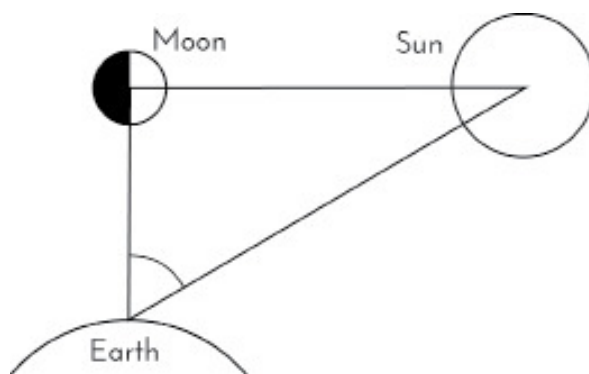


Fig. 15: Poziția relativă a Lunii la Primul Pătrar

În prezent, știm că a greșit puțin, probabil pentru că a fost foarte dificil să determine momentul exact al Primului Pătrar. De fapt, acest unghi este $\alpha = 89^\circ 51'$, dar procedeul utilizat de către Aristarh este perfect corect. În figura 15, dacă vom folosi definiția cosinusului, putem deduce:

$$\cos \alpha = \frac{EM}{ES}$$

unde: ES este distanța de la Pământ la Soare și EM este distanța de la Pământ la Lună. Apoi aproximăm:

$$ES = 400 EM$$

(cu toate că Aristarh a dedus greșit: $ES = 19 EM$).

Relația dintre raza Lunii și raza Soarelui

Relația dintre diametrul Lunii și cel al Soarelui ar trebui să fie similară cu formula obținută anterior, deoarece de pe Pământ observăm ambele diametre sub un unghi de $0,5^\circ$. Deci:

$$R_S = 400 R_M$$

unde R_S este raza Soarelui și R_M este raza Lunii.

* Relația dintre distanța de la Pământ la Lună și raza Lunii sau între distanța de la Pământ la Soare și raza Soarelui

Având în vedere că diametrul Lunii se vede de pe Pământ sub un unghi de $0,5^\circ$, traiectoria circulară (360°) a Lunii în jurul Pământului va fi de 720 înmulțit cu diametrul. Lungimea acestei traiectorii este de $2p$ înmulțit cu distanța Pământ-Lună, adică:

$$2 R_M 720 = 2 p \text{ EM}$$

Astfel găsim pentru distanța Pământ-Lună expresia:

$$\text{EM} = \frac{720 R_M}{p}$$

Folosind același raționament, găsim pentru distanța Pământ-Soare expresia:

$$\text{ES} = \frac{720 R_S}{p}$$

Aceste relații sunt pentru calcularea distanțelor în funcție de raza Lunii R_M , raza Soarelui R_S și raza Pământului R_E .

În timpul unei eclipse de Lună, Aristarh a observat că timpul necesar pentru ca Luna să treacă prin conul de umbră al Pământului este de două ori mai mare decât timpul necesar ca suprafața Lunii să fie acoperită (figura 16). De aceea, el a concluzionat că diametrul umbrei create de Pământ era dublu decât diametrul Lunii, astfel încât raportul diametrelor sau razelor era 2:1. Astăzi se știe că raportul are valoarea 2,6:1.

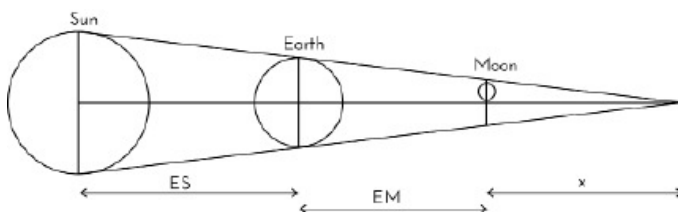


Fig. 16: Conul de umbră și pozițiile relative ale sistemului Pământ-Lună-Soare

Din figura 16 deducem următoarele relații:

$$\frac{x}{2.6 R_M} = \frac{x+EM}{R_E} = \frac{x+EM+ES}{R_S}$$

unde x este o variabilă suplimentară. Introducând în ultima egalitate $\text{ES} = 400 \text{ EM}$ și $R_S = 400 R_M$ și neglijând pe x , după simplificare obținem:

$$R_L = \frac{401}{1440} \cdot R_T$$

Aceasta ne permite să exprimăm toate mărimile menționate anterior în funcție de raza Pământului astfel:

$$R_S = \frac{2005}{18} R_E \quad \text{ES} = \frac{80200}{p} R_E \quad \text{EM} = \frac{401}{2p} R_E$$

În aceste relații trebuie doar să înlocuim raza planetei noastre pentru a obține distanțele și razele sistemului Pământ-Lună-Soare.

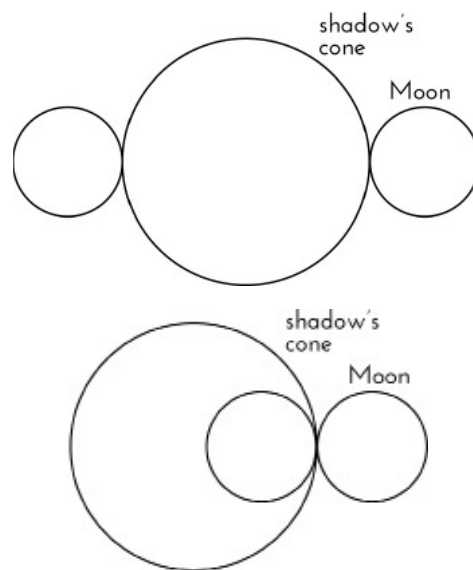


Fig. 17a: Măsurarea diametrului conului de umbră
Fig. 17b: Măsurarea diametrului Lunii

Măsurători cu elevii

Este o idee bună să repetăm cu elevii măsurătorile făcute de Aristarh. În primul rând trebuie să aflăm unghiul dintre direcția Soare-Pământ și direcția Pământ-Lună, când Luna este în Primul Pătrar. Pentru acesta este necesar să avem un teodolit și să știm exact momentul Primului Pătrar.

Vom încerca să verificăm dacă unghiul are valoarea $\alpha = 87^\circ$ sau $\alpha = 89^\circ 51'$ (această precizie este greu de obținut).

În al doilea rând, în timpul unei eclipse de Lună, folosind un cronometru, este posibil să calculăm relația dintre următoarele intervale de timp: "dintre primul și ultimul contact al Lunii cu conul de umbră al Pământului" (pentru a măsura diametrul conului de umbră al Pământului – figura 17a) și "timpul necesar pentru a acoperi suprafața Lunii" (pentru a măsura diametrul Lunii – figura 17b). În final, este posibil să verificăm dacă raportul dintre aceste două mărimi este 2:1 sau 2,6:1.

Cel mai important obiectiv al acestei activități nu este rezultatul obținut pentru fiecare rază sau distanță, ci de a atrage atenția elevilor asupra faptului că dacă își folosesc cunoștințele și inteligența pot obține rezultate interesante cu puține date inițiale. În cazul prezentat, ingeniozitatea lui Aristarh a fost foarte importantă pentru a da o idee asupra dimensiunilor sistemului Pământ-Lună-Soare.

Tot o idee bună este aceea de a determina cu elevii raza Pământului, urmând raționamentul folosit de Eratostene. Cu toate că experimentul lui Eratostene este bine cunoscut, prezentăm a versiune scurtă cu scopul de a completa deducerea anterioară.

Experimentul lui Eratostene

Considerați două bețe perpendiculare față de sol, aflate în două orașe de pe suprafața Pământului, pe același meridian. Bețele trebuie să fie îndreptate spre centrul Pământului. Este mai bine să utilizați firul cu plumb, pe care marcăm un punct al firului pentru a putea măsura lungimi. Vom măsura lungimea firului cu plumb de la sol până la punctul marcat și, de asemenea, lungimea umbrei firului de la bază până la umbra marcajului.

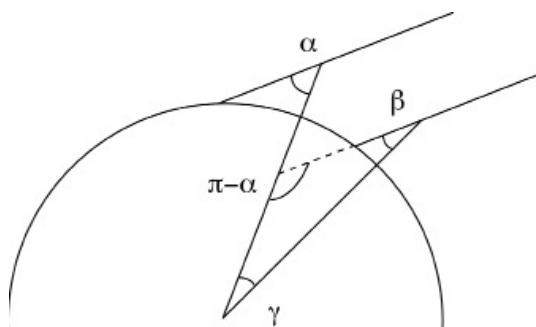


Fig. 18: Plasarea firelor cu plumb și unghiuri în experimentul lui Eratostene

Presupunem că razele solare sunt paralele. Acestea produc două umbre, una pentru fiecare fir cu plumb. Măsurăm lungimea firului cu plumb și a umbrei sale și, folosind relația de definiție a tangentei, obținem unghiurile a și b (figura 18). Unghiul la centru g poate fi calculat, ținând cont că suma unghiurilor unui triunghi este egală cu π radiani. Atunci $\pi = \pi - a + b + g$ și rezultă:

$$g = a - b$$

unde a și b sunt unghiurile determinate de lungimea firului cu plumb și a umbrei sale.

În final, știind că există proporționalitate între unghiul la centru și lungimea arcului subîntins d (lungime egală cu distanța dintre cele două orașe) și între

unghiul de 2π radiani și lungimea cercului meridianului $2\pi R_E$, găsim:

$$\frac{2\pi R_E}{2\pi} = \frac{d}{g}$$

Apoi deducem:

$$R_E = \frac{d}{g}$$

unde g a fost obținut din observații și d este distanța dintre cele două orașe. Această distanță se poate determina dintr-o hartă bună.

Trebuie menționat, de asemenea, că scopul acestei activități nu este acuratețea rezultatelor. Noi dorim ca elevii să descopere că, gândind și utilizând toate posibilitățile imaginabile, ei pot ajunge la rezultate surprinzătoare.

Mareele

Mareele sunt ridicarea și coborârea nivelului mării, cauzate de efectele combinate ale rotației Pământului și forțelor de atracție gravitațională exercitate de Lună și de Soare. Forma fundului mării și țărmului în zona de coastă influențează, de asemenea, mareele, dar într-o măsură mai mică. Mareele sunt produse cu o perioadă de aproximativ 12 ore și jumătate.

Fluxurile apar pe părțile laterale ale Pământului, pe partea cea mai apropiată de Lună și pe partea opusă (figura 19). Refluxurile apar în regiunile intermediare.

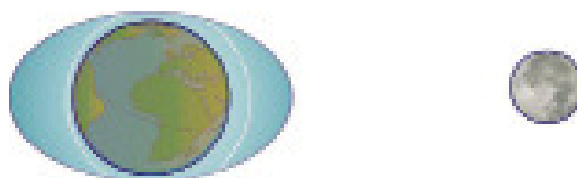


Fig. 19: Efectul de maree

Fenomenele de maree au fost cunoscute încă din antichitate, dar explicația lor a fost posibilă numai după descoperirea legii atracției universale a lui Newton (1687).

$$F_g = G \frac{m_E \cdot m_M}{d^2}$$

unde G este constanta atracției universale, m_E este masa Pământului, m_M este masa Lunii și d este distanța Pământ-Lună.

Luna exercită o forță de atracție asupra Pământului. Când există o forță gravitațională există și o accelerație gravitațională în conformitate cu a doua lege a lui Newton ($F = m \cdot a$). Astfel, accelerația determinată de Lună

asupra unui corp de pe Pământ este dată de relația:

$$a_g = G \frac{m_L}{d^2}$$

unde d este distanța de la Lună până la punctul considerat de pe Pământ.

Partea solidă a Pământului este un corp rigid și de aceea putem considera că accelerația ce acționează asupra acestei părți este aplicată în centrul Pământului. În schimb, apa este lichidă și este supusă unei alte accelerații, care depinde de distanța până la Lună. Astfel accelerația părții celei mai apropiate de Lună este mai mare decât a celei mai depărtate. În consecință, suprafața oceanului va genera un elipsoid (figura 20).

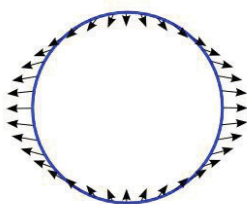


Fig. 20: Efectul asupra apei a variației relative a accelerației în diferite zone ale oceanului

Acest elipsoid este mai extins spre Lună (figure 19). Astfel, fiecare punct de pe Pământ va avea un flux urmat de un reflux de două ori pe zi. Într-adevăr, perioada dintre două marea este puțin mai mare de 12 ore și motivul este că Luna se rotește în jurul Pământului cu o perioadă sinodică de 29,5 zile. Aceasta înseamnă că Luna se rotește cu 360° în 29,5 zile, astfel încât se va mișca pe cer cu aproape $12,2^\circ$ în fiecare zi sau cu $6,6^\circ$ la fiecare 12 ore. Deoarece în fiecare oră Pământul se rotește și el cu 15° , atunci $6,6^\circ$ este echivalent cu aproximativ 24 minute și fiecare ciclu mareic este de 12 ore și 24 minute. Pentru că durata dintre un flux și un reflux este jumătate, înseamnă că acesta este de 6 ore și 12 minute.

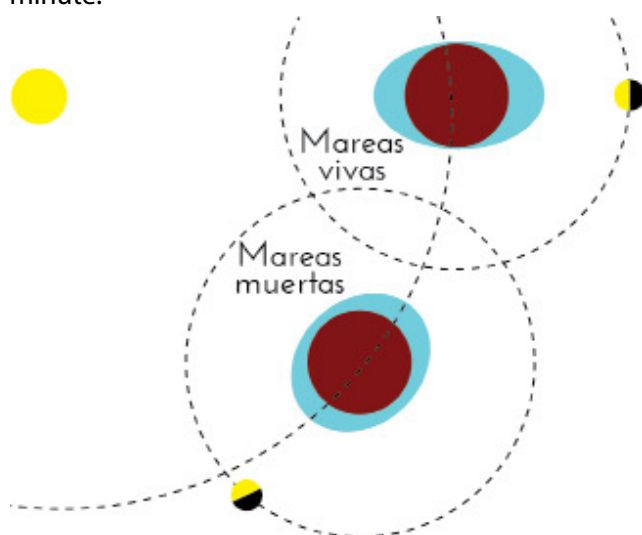


Fig. 21: Marea de sizigii și marea de cuadratură

Din cauza apropierii sale, Luna are cea mai puternică influență asupra mareelor. Dar și Soarele influențează mareele. Când Luna și Soarele sunt în conjuncție (Lună Nouă) sau în opziție (Lună Plină), se formează mareele de sizigii. Când Luna și Soarele exercită atracții gravitaționale perpendiculare (Pimul Pătrar și Ultimul Pătrar) pe Pământ, apar mareele de cuadratură (figura 21).

Bibliografie

- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo, Editorial Alambra, Madrid, 1988.
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., Experimentos de Astronomía, Editorial Alambra, México, 1997.
- Fucili, L., García, B., Casali, G., "A scale model to study solar eclipses", Proceedings of 3rd EAAE Summer School, 107, 109, Barcelona, 1999
- Reddy, M. P. M., Affholder, M., Descriptive physical oceanography: State of the Art, Taylor and Francis, 249, 2001.
- Ros, R.M., "Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities", Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 135, 149, Barcelona, 2005.

Cutia micului astronom

Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică Catalonia (Barcelona, Spania)

Sumar

Pentru observațiile ulterioare, realizate de elevi, este necesar ca aceștia să dispună de o serie de instrumente simple. În acest curs propunem ca unele dintre acestea să fie construite de elevi și, ulterior, utilizate pentru observarea cerului din curtea școlii.

Elevii trebuie să înțeleagă modalitatea prin care diferite instrumente au fost utilizate de-a lungul timpului, cum au evoluat acestea și cum au devenit indispensabile pentru știință. Important pentru astronomie este atât rolul fundamental de a construi aceste instrumente cât și de a avea abilitatea de a le utiliza pentru a face observații. Dezvoltarea acestor competențe în rândul elevilor nu este ușoară, și pentru acest motiv, aici ne propunem descrierea unor instrumente foarte simple.

Obiective

- să înțeleagă importanța de a face observații atente;
- să înțeleagă mecanismul de funcționare și utilitatea diferitelor instrumente, datorită implicării directe a elevilor în construcția acestora.

Observațiile

Experiența în ceea ce privește măsurarea timpului și a pozițiilor corpurilor cerești se poate obține prin utilizarea unor obiecte pregătite „ad hoc”. În continuare, sunt oferite o serie de informații pentru a aduna o serie de instrumente necesare în cutia unui astronom. Cutia în sine și conținutul sunt realizate, în general, din carton, folosind lipici, foarfece, etc. Acest subiect oferă elevului posibilitatea de a investiga mai multe instrumente antice și moderne.

Viziunea artistică și imaginația fiecărui elev vor permite realizarea unor cutii foarte personalizate. Activitatea poate fi ușor modificată și adaptată în funcție de vârsta elevilor, creând instrumente mai mult sau mai puțin complicate.

Fiecare cutie va conține, în special, următoarele:

- raportor
- un cvadrant simplu
- un goniometru orizontal

- o planisferă
- o hartă a Lunii
- un ceas solar ecuatorial
- un spectroscop

Noi propunem o cutie cu instrumente foarte simple. O cutie mai mică poate să fie ușor de transportat la școală sau în timpul liber și este tot timpul gata pentru utilizare. Este important să nu fie prea mare sau fragilă (mai ales dacă urmează să fie folosită de elevii foarte mici). Subliniem faptul că scopul final al acestei activități nu sunt observațiile foarte exacte.

Conținut

Ceea ce va fi prezentat în continuare este o simulare în cazul unei zile de vară, în curtea școlii. Ideea este de a căpăta experiență, utilizând instrumentele pe care le vom realiza.

În primul rând avem nevoie de o cutie de carton, aceasta reprezentând cutia micului astronom. Elevii vor monta într-o parte a cutiei un mâner, pentru a facilita transportul acesteia. Cutia trebuie să fie ușor de deschis. În cutie se vor pune următoarele instrumente:

- * un raportor care poate fi utilizat pentru a determina distanța unghiulară dintre două stele ale unei constelații. Este ușor de folosit dacă nu se dorește introducerea exactă a coordonatelor.
- * un cvadrant simplificat care poate fi utilizat pentru a obține înălțimea stelelor. Când elevii privesc prin obiectiv la un anumit obiect, firul indică poziția unghiulară a acestuia față de orizont.
- * un goniometru orizontal care poate fi utilizat pentru determinarea azimutului stelelor. Bineînțeles, va fi nevoie de utilizarea unei busole pentru determinarea direcției nord-sud.
- * o planisferă cu constelațiile copiate foarte clar pe un disc alb de hârtie și un plic de carton (ca un buzunar) cu „orificiul” pentru latitudine, pentru a introduce discul stelar înăuntru. Rotind discul găsim data și ora la care au loc observațiile și astfel se pot recunoaște constelațiile mai importante la latitudinea „orificiului” pe care-l folosim.
- * un spectroscop pentru separarea luminii în cele 7 culori componente.
- * o hartă a Lunii cu numele mărilor și craterelor care pot

fi observate cu un binoclu.

* o lanternă (lumină roșie) pentru a ilumina hărțile în timpul observațiilor. Lumina albă strălucitoare presupune un efort mai mare pentru ochii elevilor la adaptarea la întuneric. În cazul în care elevii au o lanternă cu lumină albă, se recomandă plasarea unui filtru roșu. Un grup de elevi cu lanterne cu lumină albă pot cauza o poluare luminoasă, care duce la îngreunarea observațiilor.

* o busolă pentru alinierea diferitelor instrumente.

* accesorii necesare fiecărui elev: caiet, creion, pix, ceas....

Urmând instrucțiunile și desenele, putem confecționa instrumentele foarte ușor și apoi le vom utiliza pentru observații. De exemplu putem măsura înălțimea unui copac sau a unui deal, în timpul zilei, cu ajutorul unui cvadrant. În timpul nopții putem măsura poziția diferitelor stele sau a Lunii pentru a înțelege fazele periodice ale ciclului acesteia. Vom îndemna elevii să ia notițe.

Pentru primele observații din timpul nopții este mai bine să fie utilizate hărți simple, care au fost pregătite, respectiv studiate de elevi, astfel încât ei s-au familiarizat cu cele mai importante constelații. Bineînțeles că hărțile astronomice sunt foarte precise, dar din experiențele anterioare ale profesorilor rezultă că inițial, fără asistență, acestea sunt confuze pentru elevi. E mai ușor dacă la început nu introducem coordonatele.

Un instrument pentru măsurarea unghiurilor (un raportor)

Considerând o proporție simplă putem construi un instrument de bază pentru măsurarea unghiurilor în orice situație. Scopul nostru principal este de a furniza un răspuns următoarei întrebări: „Care este distanța (raza R) de care am nevoie ca să obținem un dispozitiv la care 1° este echivalent cu 1 cm?”.

În figura 1 luăm în considerare relația dintre circumferința de lungime $2\pi R$ în centimetri ce corespunde la 360° și lungimea de 1cm ce corespunde la 1° :

$$\frac{2\pi R \text{ cm}}{360^\circ} = \frac{1 \text{ cm}}{1^\circ}$$

Astfel,

$$R = 180 / \pi = 57 \text{ cm}$$

Construirea instrumentului

Luăm o riglă și de ea legăm o sfoară. Lungime sforii rămasă după legare este de 57 cm. Este foarte important ca sfoara să nu se întindă.

Mod de utilizare:

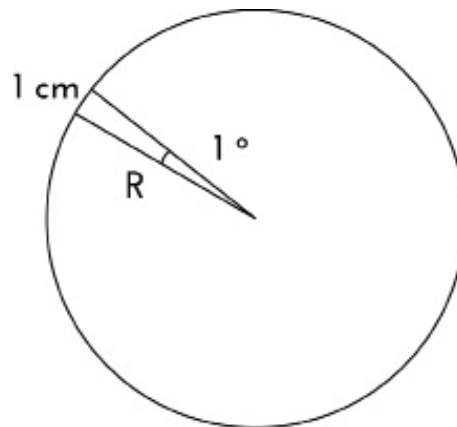


Fig1: Raza R necesară pentru a obține un instrument la care 1° este echivalent cu 1 cm

- Plasăm instrumentul ca în figura 2; privim de la capătul sforii, pe care-l fixăm pe obraz, sub ochi.
- Putem măsura unghiurile cu ajutorul riglei, ținând cont că $1\text{cm}=1^\circ$ dacă sfoara este întinsă (fig. 2)

Exerciții propuse:

Care este distanța unghiulară dintre două stele ce aparțin aceleiași constelații?

Utilizează raportorul pentru a calcula distanța (în grade) dintre Merak și Dubne din Ursa Mare.

Un cvadrant simplificat: cvadrantul "pistol"

O variantă simplificată a cvadrantului poate să fie foarte utilă pentru măsurarea unghiurilor. În continuare prezentăm varianta "pistol" care este foarte ușor de utilizat de către elevi.

Construcție:

Avem nevoie de o bucată dreptunghiulară de carton (aproximativ 12×20 cm). Urmărind figura 3, tăiem o altă bucată dreptunghiulară cu scopul de a ține instrumentul. De fiecare parte a bucății de carton fixăm două cârlige (figura 3).

În cvadrantul de hârtie (figura 4) sunt unghiurile ascuțite arătate (figura 3) astfel încât unul dintre cârlige este în poziția 0° . În vârf punem un șurub și de el legăm o sfoară, care are atașat de celălalt capăt o mic corp greu.

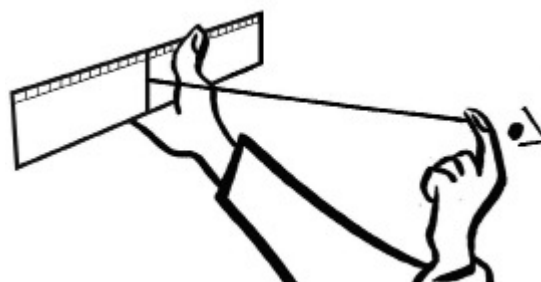


Fig. 2: Utilizarea instrumentului (riglă + o bucată de sfoară de 57 cm), putem măsura unghiuri cu echivalarea $1\text{cm}=1^\circ$

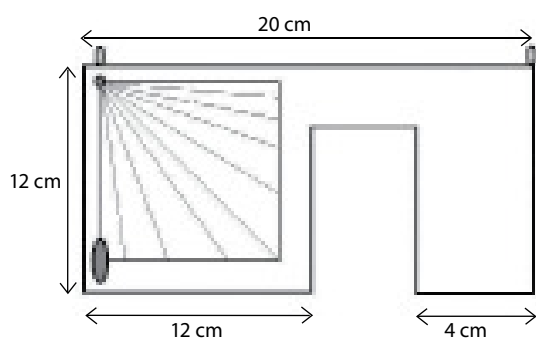


Fig. 3: Cvadranțul "pistol"

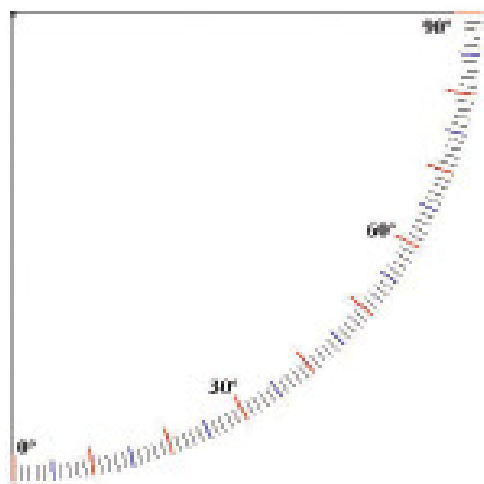


Fig. 4: Gradația de lipit pe cvadranț

Mod de utilizare:

- când se privește un obiect prin cele două cârlige sfoara indică unghiul 0° adică orizontul (figura 5b)
- un pai ce trece prin cele două cârlige este o modalitate excelentă de vizualizare, ce permite măsurarea înălțimii Soarelui prin proiecția imaginii lui pe o bucată albă de carton.

ATENȚIE! NU VĂ UITAȚI DIRECT LA SOARE!

Exerciții propuse:

Care este latitudinea la care se află școala?

Vom folosi cvadranțul pentru măsurarea înălțimii Stelei Polare. Latitudinea unui loc este egală cu înălțimea Polare din acel loc (figura 6).

Putem folosi cvadranțul pentru a calcula (inclusiv la orele de matematică) înălțimea școlii sau a oricărei altei clădiri.

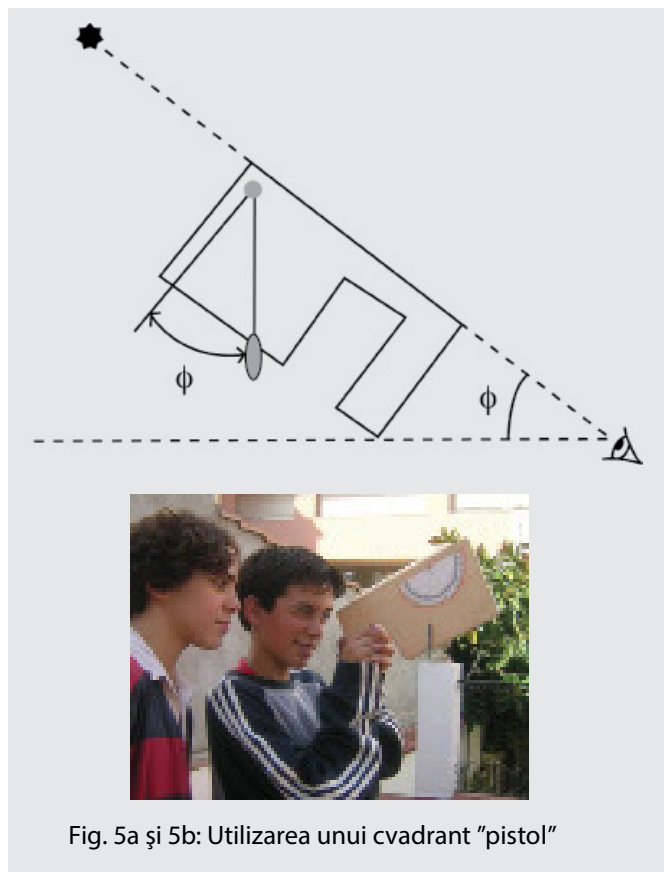


Fig. 5a și 5b: Utilizarea unui cvadranț "pistol"

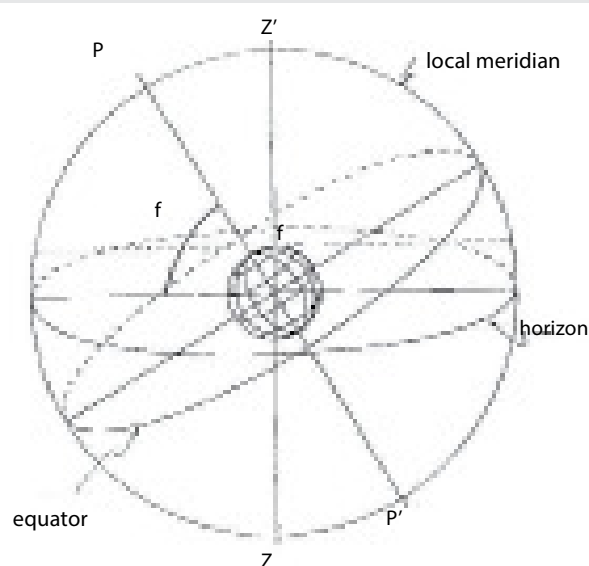


Fig. 6: Latitudinea unui loc este egală cu înălțimea Stelei Polare

Goniometru orizontal

O versiune simplificată a goniometrului orizontal poate fi utilizată pentru determinarea celei de-a doua coordonate, necesară pentru determinarea poziției corpurilor cerești.

Construire: tăiem o bucată dreptunghiulară de carton, de aproximativ 12x20 cm (figura 7). Lipim un semicerc de hârtie (figura 8) cu unghiurile marcate, astfel încât diametrul semicercului să fie paralel cu cea mai lungă latură a dreptunghiului. Folosind trei "ace", putem marca două direcții în goniometru (figura 7b).

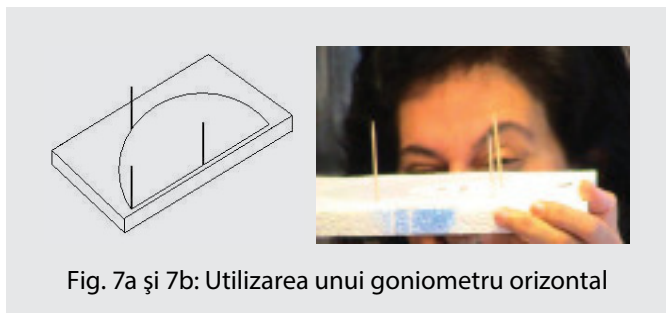


Fig. 7a și 7b: Utilizarea unui goniometru orizontal

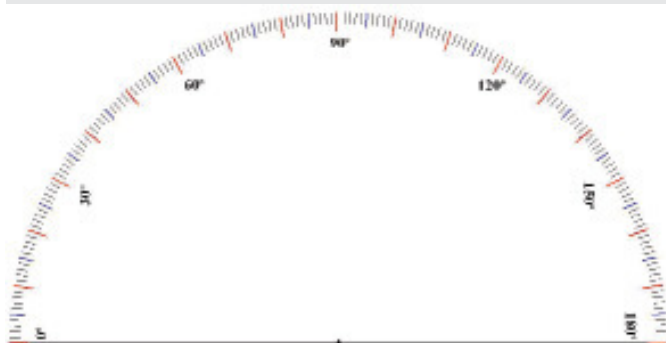


Fig. 8: Semicerc cu gradații pentru lipit pe goniometru orizontal

Mod de utilizare:

- Dacă vrem să măsurăm azimutul unei stele, aliniem linia de start a semicercului pe direcția nord-sud.
- Azimutul este unghiul dintre linia nord-sud și linia care trece prin centrul cercului și care se află pe direcția stelei.

Exerciții propuse:

Care este poziția Lunii în această noapte?

Folosești cvadrantul și gonimetrul orizontal pentru calcularea înălțimii și a azimutului Lunii. Pentru studierea mișcării Lunii în timpul nopții, se pot determina cele 2 coordonate de 3 ori în fiecare oră. Astfel se poate compara mișcarea Lunii cu cea a stelelor de pe cer.

Planisfera

Pentru recunoașterea constelațiilor utilizăm hărți cerești, care depind de latitudine. În continuare prezentăm modalitatea de construire a unei astfel de hărți, dar recomandăm imprimarea ei cu ajutorul unui fotocopiator.

Construire: Vom utiliza o fotocopie a constelațiilor, lipită pe un disc alb și apoi o vom introduce într-un buzunar special realizat în funcție de latitudinea noastră și de apropierea față de ecuator.

Emisfera nordică

Pentru locuri din emisfera nordică cu latitudini cuprinse între 0° și 20° vei realiza două planisfere, câte una pentru fiecare orizont. Pentru orizontul nordic tăiem un model conform figurii 9a ce corespunde latitudinii și o vom îndoi după linia punctată, astfel încât să for-

meze un fel de buzunar. În interiorul acestui buzunar vom introduce harta cerească (figura 10 a). În acest moment avem planisfera emisferei nordice. În mod analog procedăm și pentru planisfera orizontului sudic. Mai întâi tăiem, apoi îndoi, așa cum am prezentat anterior. Harta cerească (figura 10a) o introducem în buzunarul planisferei sudice (figura 9b). Vom utiliza amândouă planisferele când ne vom uita pe rând la orizontul nordic și sudic.

Când dorim observarea din emisfera nordică și suntem la latitudini cuprinse între 30° și 70° este suficient să tăiem un model conform figurii 9e și să procedăm la îndoirea acestuia. Apoi introducem în buzunar harta cerească tăiată anterior (figura 10a).

Emisfera sudică

Pentru locuri din emisfera sudică cu latitudini cuprinse între 0° și 20° trebuie de asemenea pregătite două planisfere, câte una pentru fiecare orizont. Prima dată vom realiza orizontul nordic. Vom tăia un model conform figurii 9c, după care vom îndoi în funcție de liniile punctate și vom forma un buzunar. Vom introduce harta cerească (figura 10 b) în acest buzunar și astfel obținem planisfera pentru orizontul nordic. Realizăm planisfera orizontului sudic în mod analog. Tăiem, îndoi și plasăm harta cerească (figura 10b) în buzunarul format după figura 9d. Vom utiliza amândouă planisferele când ne vom uita la orizontul nordic și sudic.

Când dorim să realizăm observații din emisfera sudică și suntem la latitudini cuprinse între 30° și 70° este suficient să tăiem un model conform figurii 9f, să îndoi în funcție de liniile punctate și să introducem în buzunarul format harta cerească (figura 10 b).

Mod de utilizare:

- Potrivește data zilei în conformitate cu momentul la care se realizează observațiile prin rotirea cercului cu stele și prin utilizarea unei hărți, uitându-te la cer în direcția indicată. Este arătată partea vizibilă a cerului.
- Notă: o planisferă este utilizată asemeni unei umbrele: este o hartă a cerului și se pune deasupra capului pentru recunoașterea constelațiilor.

Exerciții propuse:

Ce putem observa pe cer în această seară?

Utilizând planisfera confecționată pentru latitudinea la care se află școala ta, întoarce discul ceresc până ce data de pe carton coincide cu data la care realizezi observațiile.

Notă: planisfera este o hartă a cerului și este necesar să o ridici deasupra capului, asemeni unei umbrele (nu este o hartă a orașului).

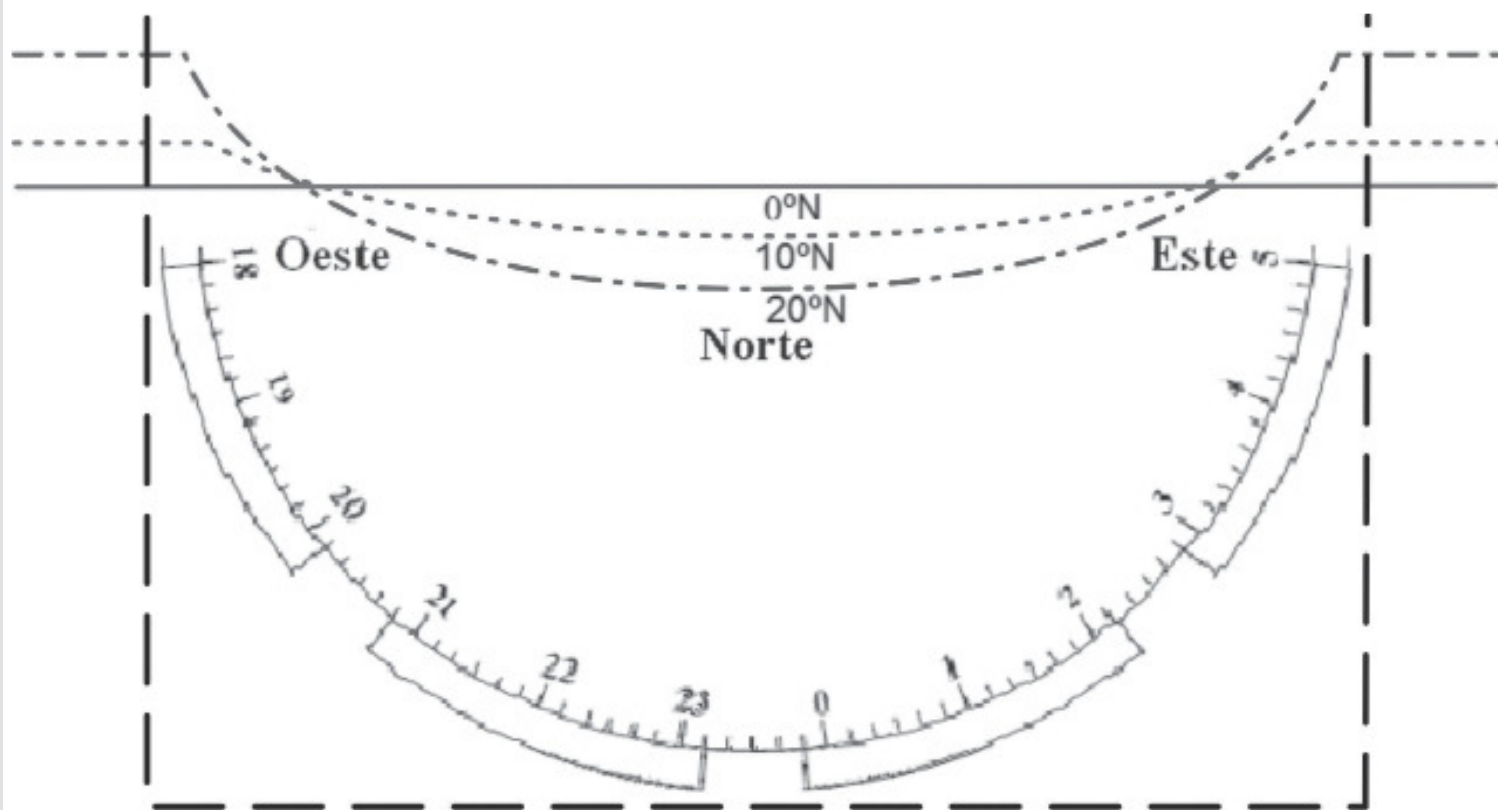


Fig. 9a: Buzunar pentru orizontul nordic din emisfera nordică (0 – 20° latitudine nordică)

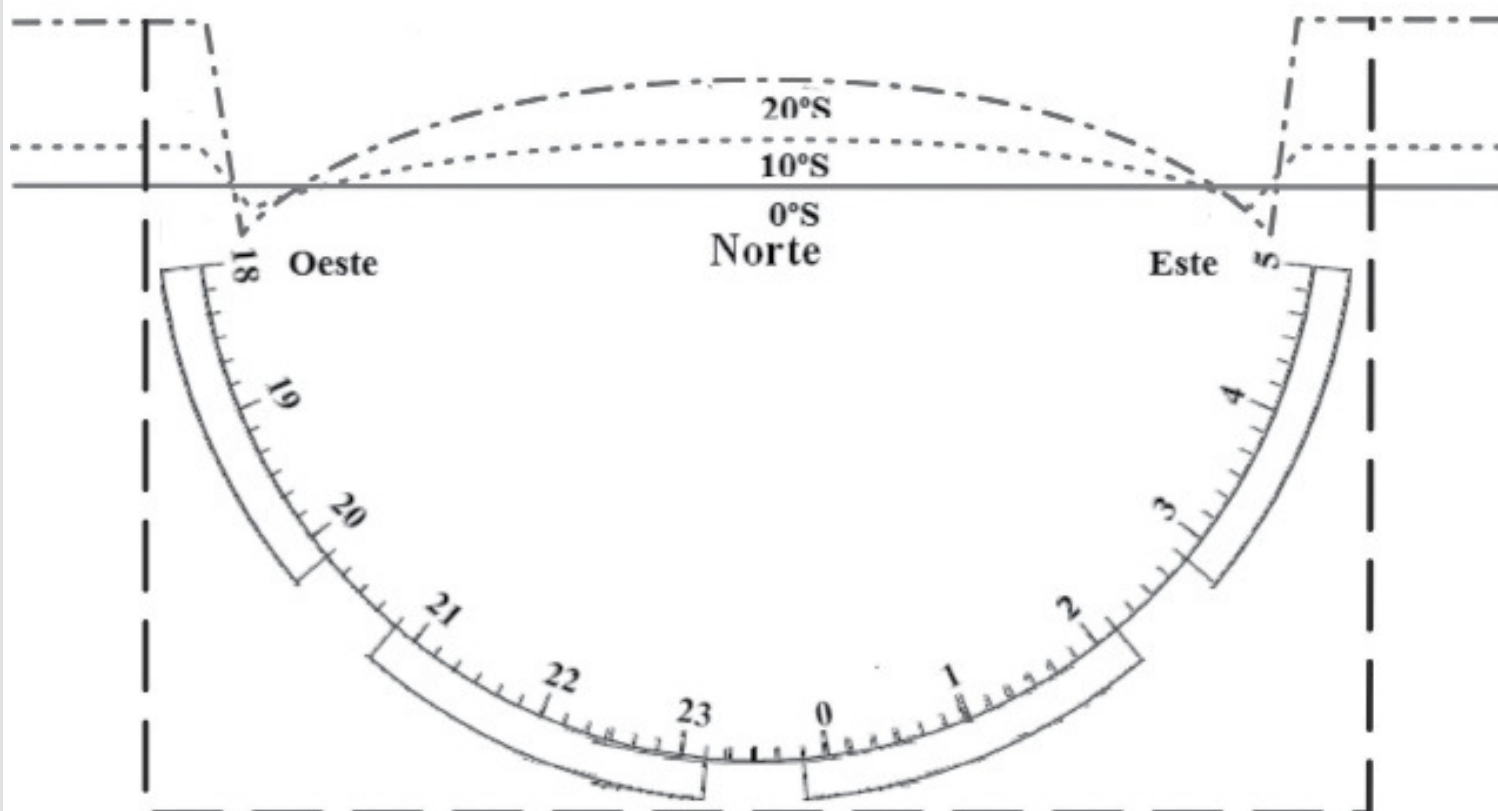


Fig. 9b: Buzunar pentru orizontul sudic din emisfera nordică (0 – 20° latitudine nordică)

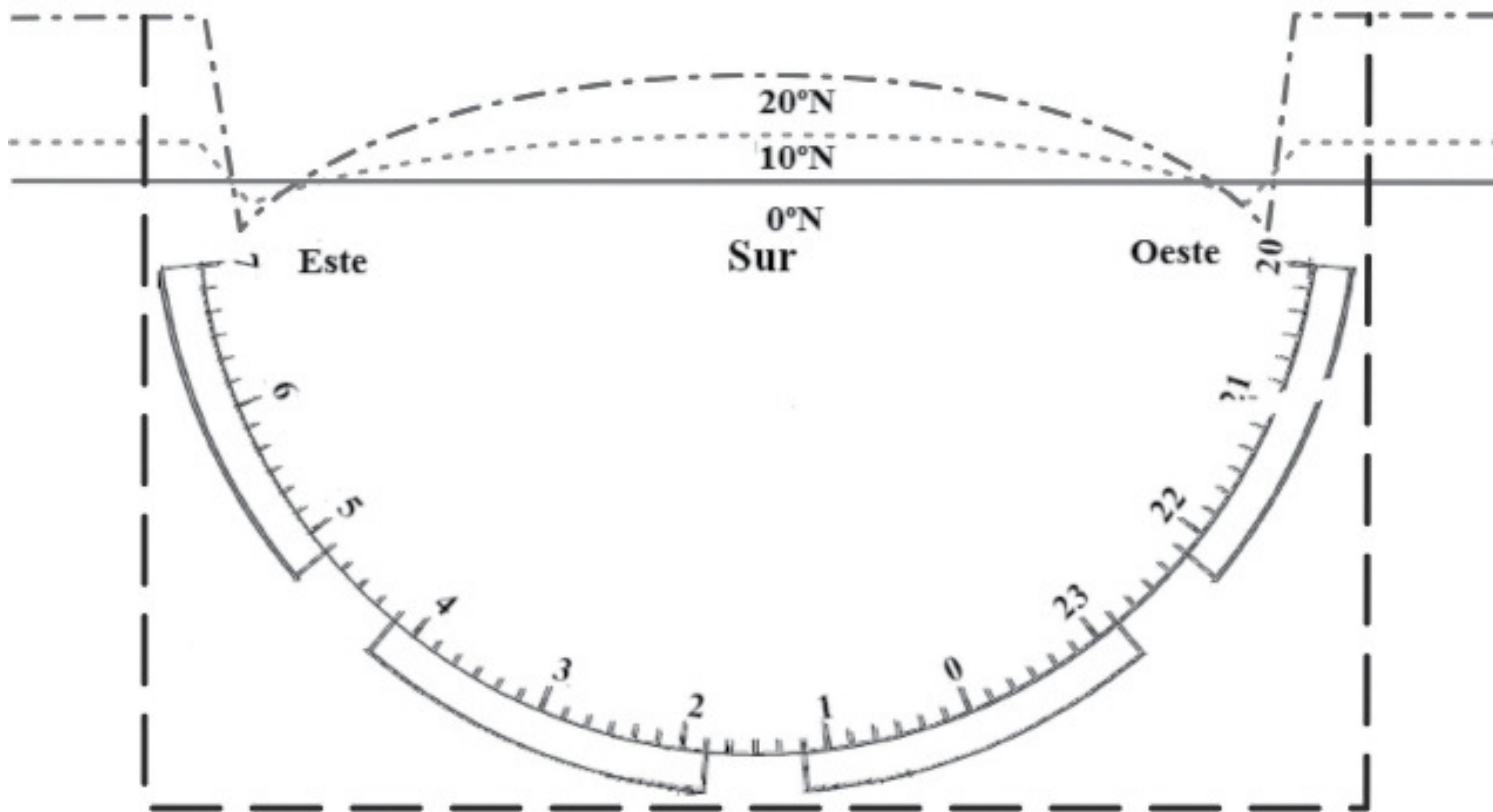


Fig. 9c: Buzunar pentru orizontul nordic din emisfera sudică (0 – 20° latitudine sudică)

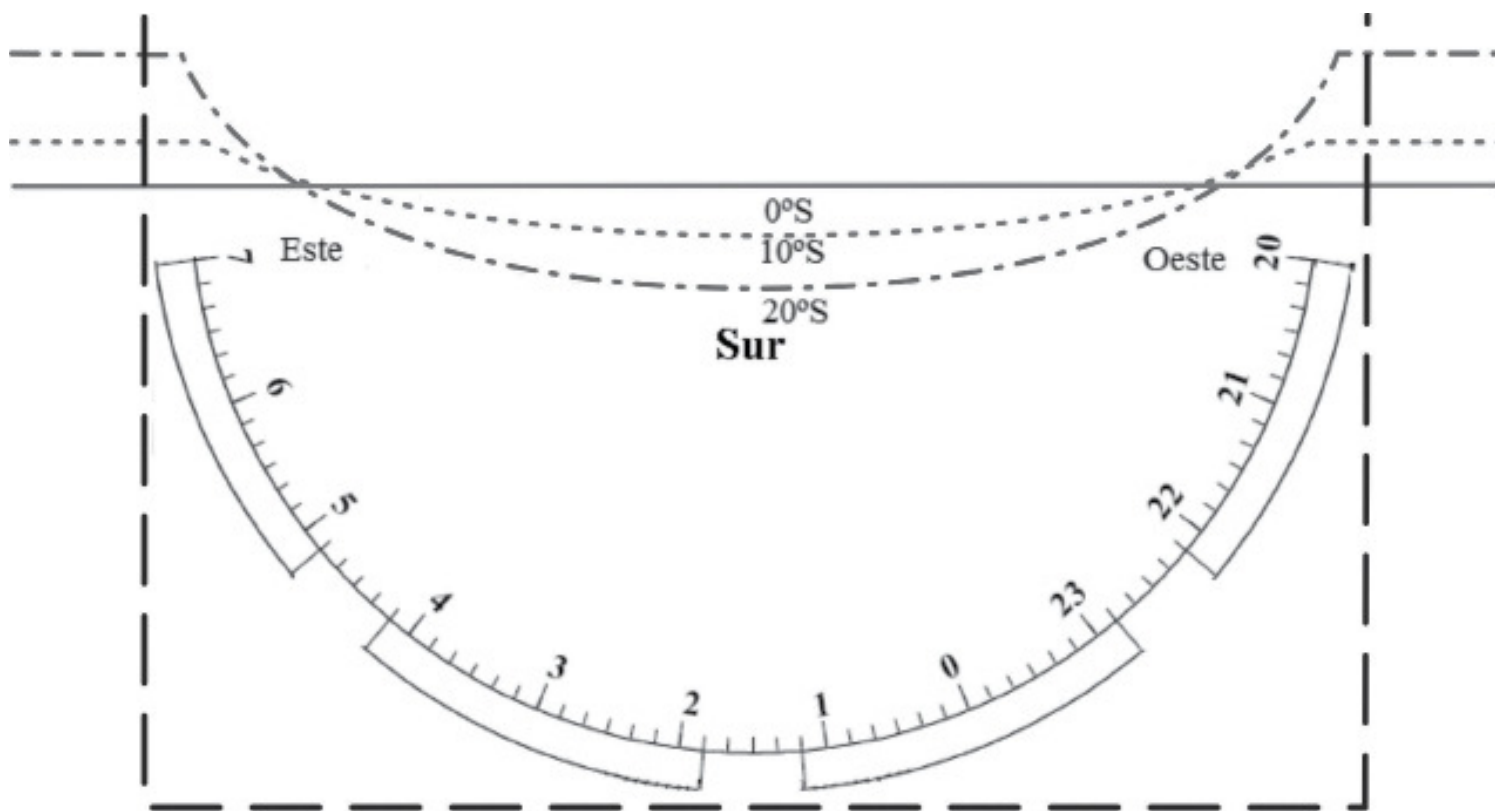


Fig. 9d: Buzunar pentru orizontul sudic din emisfera sudică (0 – 20° latitudine sudică)

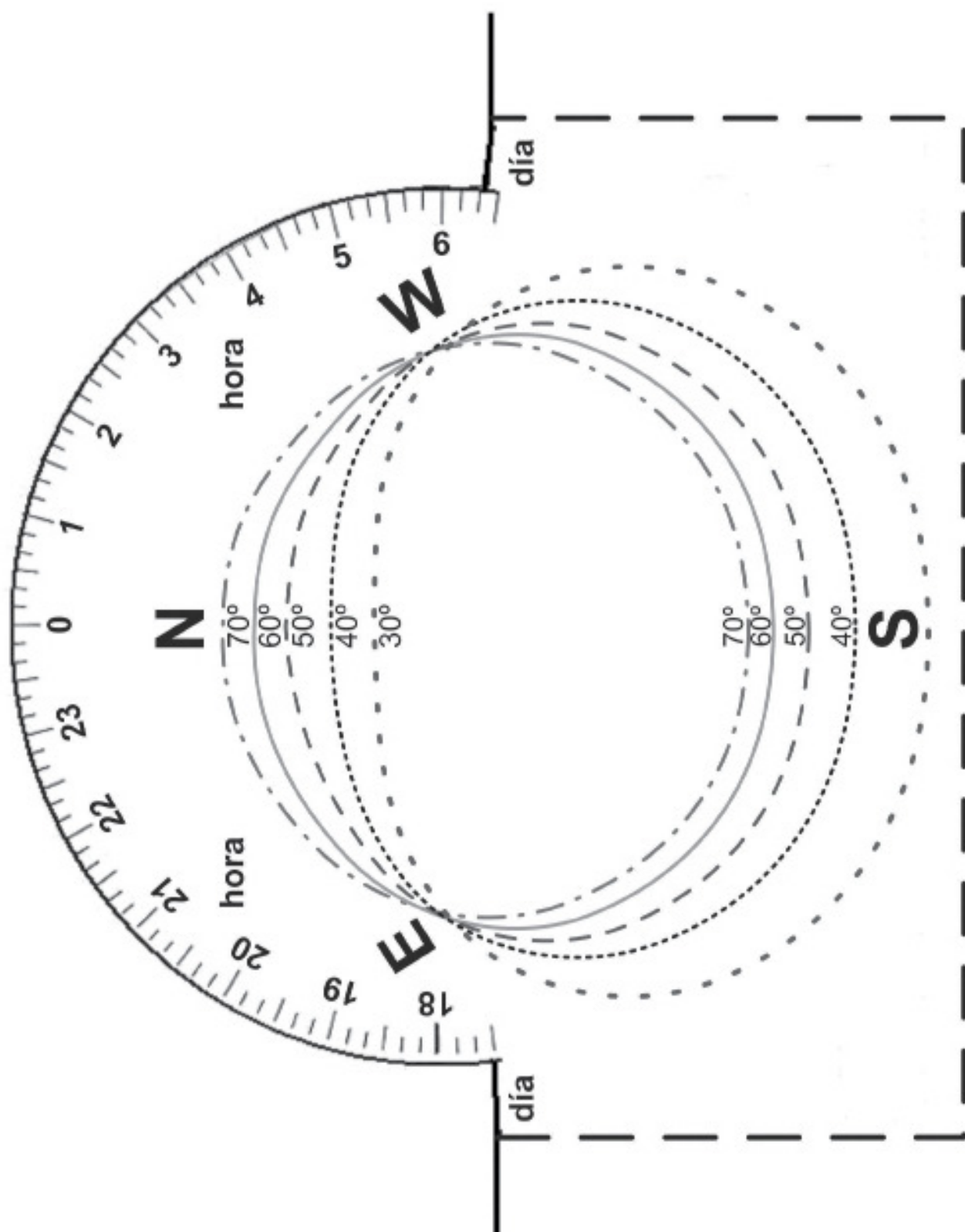


Fig. 9e: Buzunar pentru ambele orizonturi din emisfera nordică

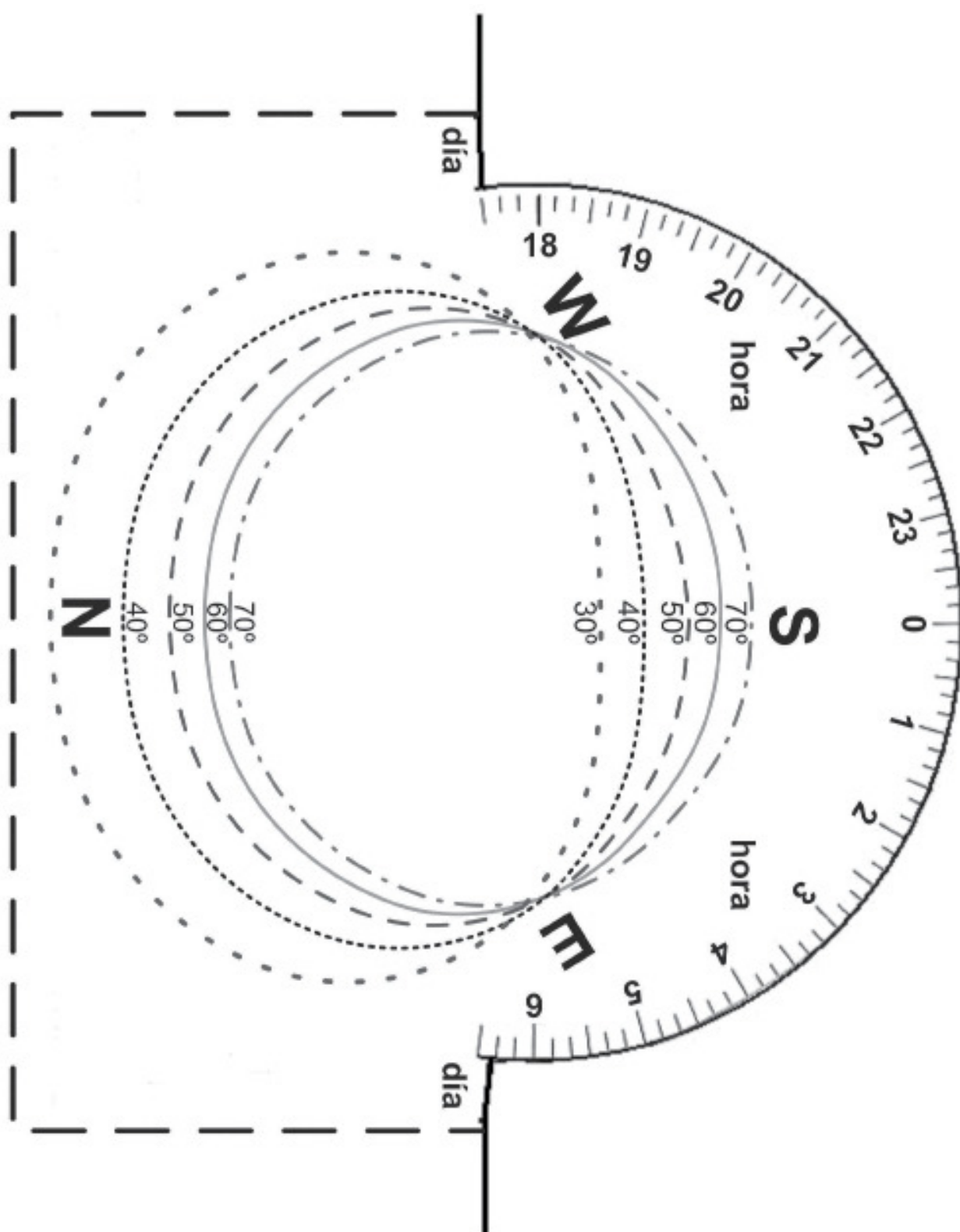


Fig. 9f: Buzunar pentru ambele orizonturi din emisfera sudică

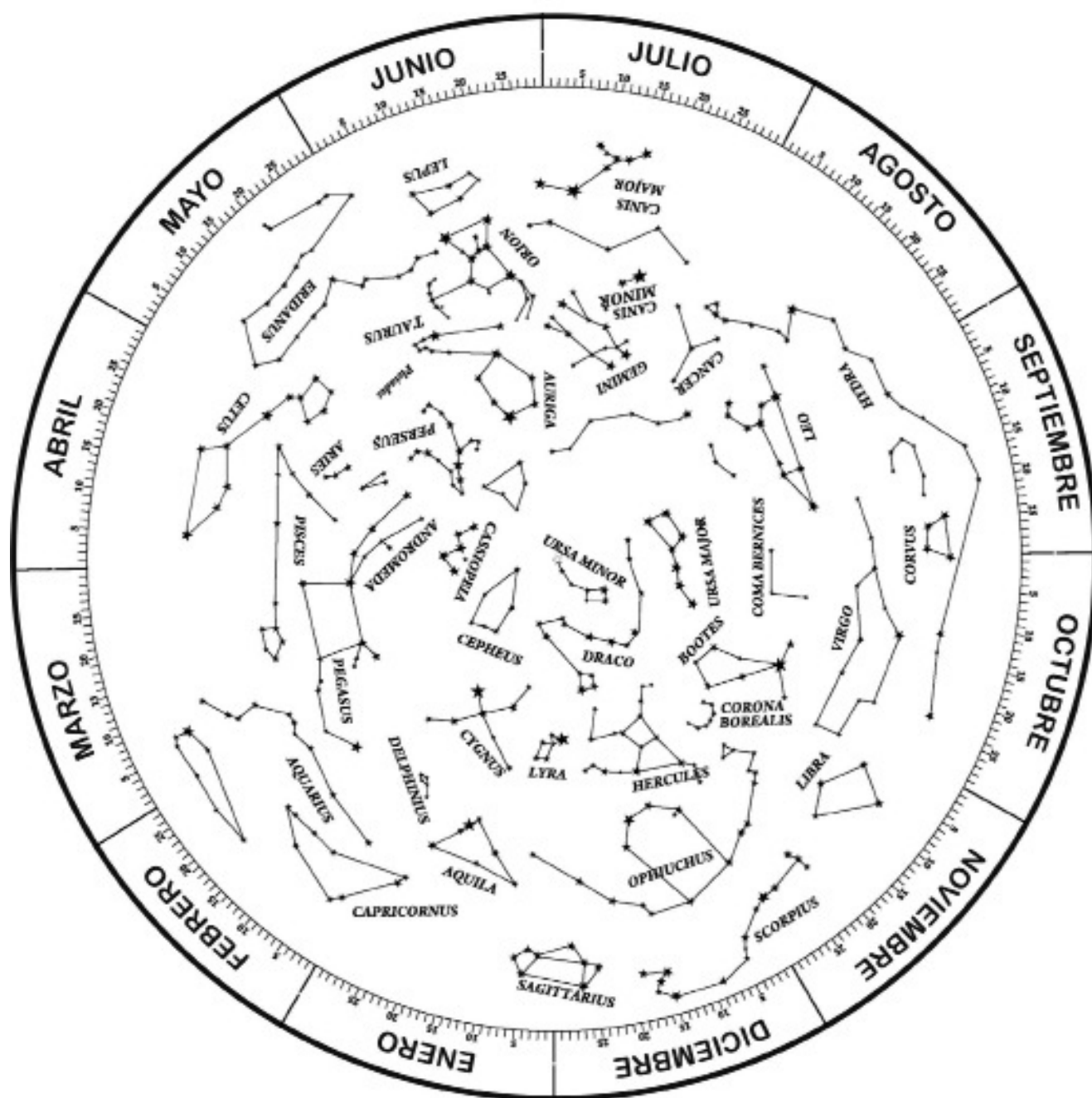


Fig. 10a: Harta cerului pentru emisfera nordică

Spectroscop

Trecerea luminii solare prin acest dispozitiv sensibil va permite elevului să vizualizeze spectrul luminii naturale. Este o metodă simplă ce permite elevilor să observe spectrul solar cu ajutorul unui instrument construit de ei înșiși.

Construire: Pictează în negru interiorul unei cutii de chibrituri (de preferință o cutie mare). Fă o tăietură longitudinală (figura 11b) prin care vei observa spectrul. Taie un CD în 8 părți egale și plasează una din bucăți în interiorul cutiei, cu fața lucioasă în sus. Închide cutia, lăsând doar o mică parte deschisă, în partea opusă tăieturii pentru observație.

Mod de utilizare:

- Orientează cutia astfel încât lumina de la Soare să pătrundă prin deschizătură și observă interiorul cutiei prin tăietură (figura 11a)
- În interiorul cutiei, veți observa descompunerea luminii în culorile spectrului

Exerciții propuse

Comparați spectrul solar cu cel al unei lămpi fluorescente sau al altei lămpi din școală.

Vei putea observa variațiile care apar în spectru în funcție de natura luminii analizate.

Harta Lunii

Cutia micului astronom trebuie să conțină și o hartă a Lunii. Este suficientă o hartă în care sunt redată principalele mări sau cratere care se pot observa cu binoclul sau cu un telescop mic.

Construcție: ai nevoie de o bucată pătrată de carton (aproximativ 20x20 cm) (figura 12 sau figura 13).

Mod de utilizare:

Acuratețea observațiilor depinde de modul de observare (cu ochiul liber, cu binoclul sau cu un telescop), de localizare (emisfera nordică sau sudică). Este mai ușor dacă începi prin identificarea mărilor și apoi continui cu verificarea altor formațiuni lunare.



Fig. 11a și 11b: Cum se folosește un spectrometru

Exerciții propuse:

Unde este craterul Tycho?

Privește Luna în momentul în care mai mult de jumătate este luminată și vei observa în zona centrală un crater cu numeroase linii (care sunt orientate în toate direcțiile).

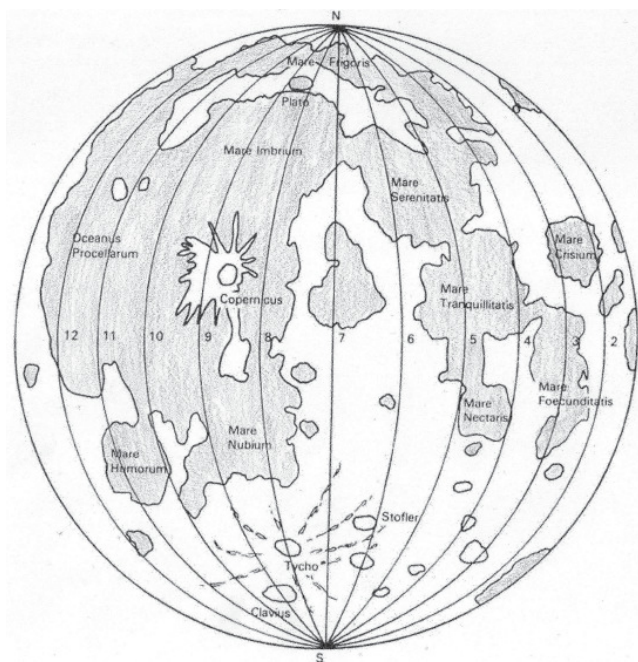


Fig. 12. Harta schematică a Lunii.



Fig. 13. Harta simplificată a Lunii

Organizarea unei cutii

Pune o pungă de hârtie pe partea superioară a cutiei deschise (figura 14), pentru a stoca planisfera, harta Lunii, cvadrantul solar, etc.

Pune instrumentele în cutie astfel încât acestea să nu se poată deplasa, folosind agrafe, ace sau curele mici. Șurubul cvadrantului ar trebui să fie poziționat în centru deoarece cutia conține instrumente sensibile. Un grup de elevi au propus lipirea unei liste cu toate obiectele din cutie, astfel încât la finalul activității elevul să fie sigur că le-a strâns pe toate. În plus, elevul trebuie să noteze pe cutie numele său și este permisă, desigur, și personalizarea cutiei.



Fig. 14: Cutia micului astronom

Concluzii

Observarea cerului în timpul nopții, zilei sau întregului an este un exercițiu important pentru tinerii astronomi. În urma acestor activități, elevii vor putea să:

- câștige încredere în măsurătorile proprii;
- să își asume responsabilitatea pentru instrumentele construite de ei;
- să își dezvolte creativitatea și abilitățile manuale;
- să înțeleagă importanța colectării sistematice a datelor;
- să poată să înțeleagă mai ușor instrumente mai complicate;
- să înțeleagă importanța observațiilor cu ochiul liber realizate în trecut și în prezent.

.....

Bibliografie

Palici di Suni, C., "First Aid Kit, What is necessary for a good astronomer to do an Observation in any moment?", Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 99, 116, Barcelona, 2005.

Palici di Suni, C., Ros, R.M., Viñuales, E., Dahringer, F., "Equipode Astronomía para jóvenes astrónomos", Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Vol. 2, 54, 68, Barcelona, 2006.

Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., El planisferio y 40 actividades más, Antares, Barcelona, 2005.

Spectrul solar și petele solare

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno

Uniunea Astronomică Internațională, Școala Secundară Loulé (Portugalia), Universitatea Tehnologică Națională (Mendoza, Argentina), Școala Retamar (Madrid, Spania)

Sumar

Acest workshop include o abordare teoretică asupra spectrului luminii și poate fi folosit pentru a preda acest subiect la clasele de liceu. Activitățile propuse sunt potrivite pentru nivelul primar și secundar.

Soarele este sursa principală a majorității lungimilor de undă ale radiațiilor. Însă, atmosfera noastră absoarbe puternic aproape în totalitate lungimile de undă care nu sunt vizibile. Așadar, vom lua în considerare doar experimentele în spectrul vizibil, care este parte a spectrului prezent în viața de zi cu zi a elevilor. Pentru activitățile cu lungimi de undă care nu sunt vizibile, vedeți workshopul corespunzător.

În primul rând, vom prezenta considerațiile teoretice urmate de demonstrații ale experimentelor pentru toate conceptele dezvoltate. Aceste experimente simple pot fi reproduse de către profesori într-o sală de clasă și introduc subiecte ca polarizarea, extincția, radiația unui corp negru, spectrul continuu, spectrul de emisie, spectrul de absorbție (de ex. Spectrul luminii Soarelui) și liniile Fraunhofer.

De asemenea, vom discuta despre diferențele dintre regiunile cu emisii solare normale și emisiile petelor solare. În plus, demonstrăm rotația solară și modul în care aceasta poate fi folosită în proiecte școlare.

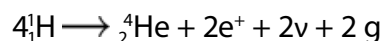
Obiective

- Înțelegerea noțiunii de spectru al Soarelui.
- Înțelegerea spectrului luminii solare.
- Înțelegerea noțiunii de pată solară.
- Înțelegerea semnificațiilor istorice ale petelor solare și ale studiilor lui Galileo despre rotația Soarelui.

Radiația solară

Energia solară este generată în interiorul Soarelui într-o zonă numită miez. Aici temperaturile pot atinge 15 milioane de grade, iar presiunea este foarte mare. Aceste condiții permit apariția reacțiilor nucleare. În principala reacție nucleară din miezul Soarelui, patru protoni

(nuclee de hidrogen) sunt transformați în particule alfa (nuclee de heliu) și generează doi pozitroni, doi neutrini și doi fotoni gamma conform ecuației:



Masa rezultantă este mai mică decât suma maselor celor patru protoni. Masa pierdută este transformată în energie, conform ecuației descoperite de către Einstein.

$$E=mc^2$$

În fiecare secundă, 600 de milioane de tone de hidrogen sunt transformate în heliu, dar în același timp este o pierdere de 4-5 milioane de tone, care este convertită în energie. Aceasta poate părea o pierdere foarte mare, dar masa Soarelui este destul de mare ca procesul să poată continua timp de miliarde de ani.

Energia produsă în interior va urma o cale lungă pentru a ajunge la suprafața Soarelui.

După emiterea ei, energia se propagă prin spațiu cu viteza de 299.793 km/s, sub forma radiațiilor electromagnetice.

Radiațiile electromagnetice au diferite lungimi de undă și sunt grupate în diferite regiuni, așa cum se poate observa în figura 1.

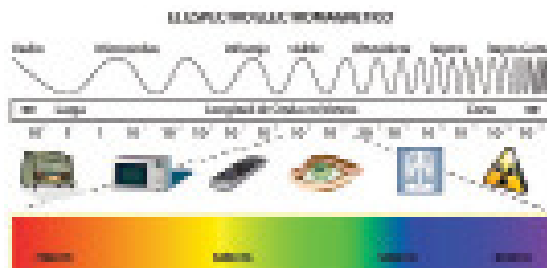


Fig. 1: Spectrul solar

Frecvența ν , lungimea de undă λ și viteza luminii sunt legate prin această expresie:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Chiar dacă Soarele este o sursă majoră a multor lungimi de undă ale luminii, noi vom folosi doar cele din spectrul vizibil. Exceptând undele radio, cele infraroșii și ultraviolete, lungimile de undă ale luminii vizibile sunt cele pentru care atmosfera noastră este transparentă (fig. 3) și aceste lungimi de undă nu necesită echipament sofisticat pentru a putea fi văzute. În concluzie, acestea sunt cele mai bune pentru a fi folosite în experimente școlare.

Polarizarea luminii

Radiația electromagnetică total polarizată liniar are o configurație similară cu cea din figura 2.

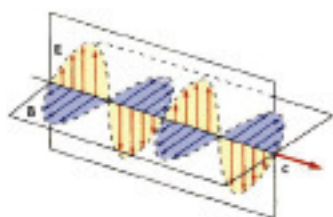


Fig. 2: Lumina polarizată

Lumina solară nu are o direcție privilegiată a vibrației, dar poate fi polarizată când este reflectată sub un unghi bine definit sau dacă aceasta trece prin anumite filtre, numite filtre polarizatoare.

Lumina care trece prin unul dintre aceste filtre (fig. 3), vibrează doar într-un singur plan. Dacă se adaugă un al doilea filtru, apar două posibilități: când cele două filtre au o orientare paralelă a polarizării, lumina trece prin amândouă (fig. 4a). Dacă orientarea filtrelor este perpendiculară, lumina care trece prin primul filtru este blocată de cel de-al doilea (fig. 3), iar filtrele devin opace.

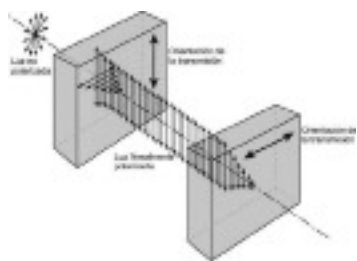


Fig. 3: Când cele două filtre au direcțiile de transmisie perpendiculare, lumina care trece prin primul este blocată de cel de-al doilea

Ochelarii de soare sunt polarizați să filtreze lumina reflectată, de exemplu cea reflectată de zăpadă sau de apa mării, care este de obicei polarizată (fig. 5a și 5b). Filtrele polarizatoare sunt folosite și pentru fotografiile profesionale, eliminând reflexiile, iar cerul pare să fie mai întunecat.

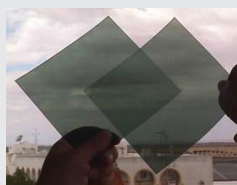


Fig. 4a: Dacă filtrele au aceeași orientare lumina trece prin ele

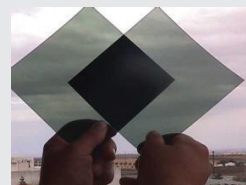


Fig. 4b: Dacă unul dintre filtre este rotit la 90°, lumina este blocată

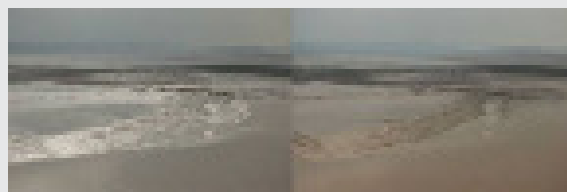


Fig. 5a și 5b: Lumina reflectată, fotografiată cu și fără filtru de polarizare.

Majoritatea sistemelor de cinema 3D înregistrează filmul cu două camere, separate la aceeași distanță la care sunt separați și ochii noștri. Apoi, în cinematografe, cele două imagini capturate sunt proiectate de către două proiectoare, folosind lumina polarizată în direcții perpendiculare. Spectatorii poartă și ei ochelari speciali care au diferite filtre polarizatoare în direcții perpendiculare. Asta înseamnă că fiecare ochi vede doar una din cele două imagini, iar spectatorul vede imaginile în 3D.

Activitate 1: Polarizarea luminii

Ca să faceți filtre polarizatoare, tăiați partea care stă pe nas a unor ochelari incolori 3D (ochelarii care au lentile verzi și roșii nu pot fi folosiți pentru acest experiment) și astfel veți avea două piese. Acestea vor fi folosite pentru experimentele din figurile 4a și 4b. Alternativ, puteți lua două perechi de ochelari 3D și să-i orientați în așa fel încât să polarizeze lumina. În acest fel nu trebuie să dezmembrați ochelarii.

Mulți ochelari de soare sunt polarizați să filtreze lumina Soarelui, iar ecranele TFT și televizoarele (excluzând cele cu plasmă) emit lumină polarizată. Puteți să verificați aceasta folosind niște ochelari de soare și priviți către un monitor de laptop. Dacă ochelarii sunt polarizați, rotind capul, la anumite unghiuri ecranul va părea negru.

Există unele materiale plastice și sticle care, în funcție de grosime și compoziție, afectează lumina polarizată care trece prin ele. Dacă le priviți prin ochelari de soare polarizați, acestea vor avea culori diferite.



Fig. 6: Lumina de la monitorul TFT al calculatorului este polarizată, iar banda adezivă schimbă unghiul de polarizare. Putem observa diferite culori când folosim ochelari polarizați

Lipiți mai multe benzi adezive transparente pe o bucată de sticlă (ca cea a unei rame foto) în așa fel încât în unele zone se suprapun 3 straturi, în alte zone se suprapun două straturi, iar în alte zone există doar un strat (fig. 6). Afișați pe un televizor sau un ecran TFT culoarea albă ca fundal, de exemplu, un fundal alb poate fi obținut prin deschiderea unui editor de text. Puneți sticla în fața ecranului și priviți prin ochelarii de soare polarizați. Dacă rotiți sticla, veți observa schimbarea culorii benzilor. Puteți înlocui sticla cu o carcasă transparentă a unui CD. Veți observa punctele în care tensiunea asupra plasticului este mai mare, iar dacă îndoiți plasticul, veți observa schimbarea culorilor.

Structura Soarelui, pe scurt

Structura Soarelui poate fi împărțită în cinci părți principale:

1) Miezul și zona radiativă sunt regiunile unde se produc reacțiile de fuziune termonucleară.

În interiorul miezului temperaturile sunt de 15 milioane de kelvini (K), iar în zona radiativă sunt ceva mai scăzute, 8 milioane de kelvini. Energia este transferată prin radiație spre regiunea cea mai apropiată de miez. Cele două zone (miezul și zona radiativă) ar trebui considerate ca două regiuni separate, dar este foarte dificil de determinat unde o zonă se termină iar cealaltă începe, funcțiile lor fiind amestecate.

2) Zona de convecție este partea în care energia este transportată prin convecție, temperaturile fiind sub 500 000 de kelvini. Această zonă începe la o treime din raza Soarelui și ajunge până la fotosferă.

3) Fotosfera, care poate fi considerată "suprafața" Soarelui, este sursa spectrelor continue și de absorbție. Temperatura variază de la 6400 K până la 4200K. Fotosfera este fragmentată în celule de câte 1000 km², care rezistă doar pentru câteva ore. Mai mult, fotosfera are niște zone mai reci ("doar" 4200 K), care arată ca niște

pete întunecate.

4) Cromosfera se află în afara fotosferei, iar temperatura poate varia de la 4200 la un milion de kelvini. Fotosfera arată ca niște filamente verticale, "o preerie arzând" cu proeminențe (umflături) și scântei luminoase.

5) Coroana solară este sursa principală de vânturi solare și are temperatura cuprinsă între 1 și 2 milioane de kelvini.

Activitatea 2: Model simplu al straturilor Soarelui

Această activitate poate fi făcută și de către cei mici. Trebuie doar să taie diferitele figuri de mai de jos (fig. 7 și 8). Acestea pot fi tăiate din diferite hârtii colorate sau să fie pictate cu următoarele culori: coroana cu alb, cromosfera cu roșu, fotosfera cu galben, zona de convecție cu portocaliu, zona radiativă cu albastru, iar miezul cu maro.

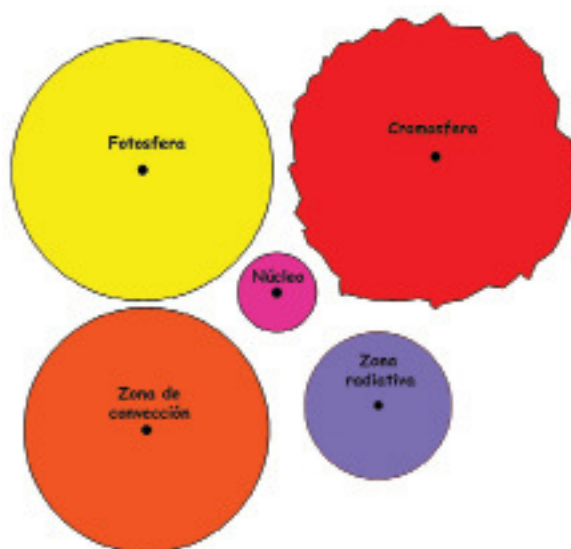


Fig. 7: Părțile Soarelui care trebuie tăiate

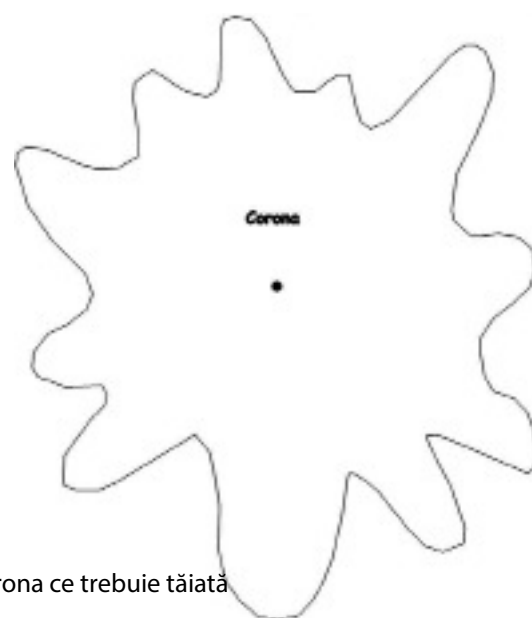


Fig. 8: Coroana ce trebuie tăiată

La sfârșit se pot lipi una peste cealaltă în ordinea lor (mărimea fiecărei bucăți reprezintă ordinea).

Petele solare

Petele întunecate, numite pete solare, sunt observate în fotosferă destul de frecvent. O pată solară este formată de obicei dintr-o regiune întunecată centrală, numită umbră, înconjurată de o zonă cu filamente luminoase și întunecate, acestea radiind în afara umbrei. Filamentele petelor solare sunt înconjurate de granulele tipice ale fotosferei (figura 9).

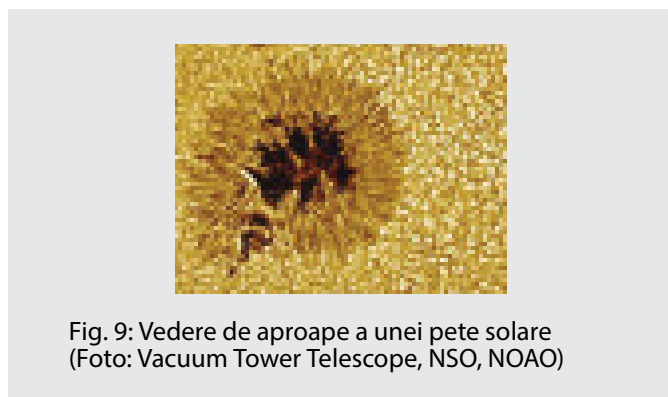


Fig. 9: Vedere de aproape a unei pete solare (Foto: Vacuum Tower Telescope, NSO, NOAO)

Petele par a fi negre la observarea printr-un telescop de mică putere, din cauza contrastului. Dacă o pată ar putea fi observată separat, s-ar observa că aceasta este mai luminoasă decât Luna Plină. Diferența de intensitate a petelor este dată de temperatura lor, care este cu 500 până la 2000°C mai joasă decât a fotosferei care le înconjoară. Petele solare sunt rezultatul interacțiunii dintre câmpurile magnetice puternice verticale și fotosferă.

Petele solare au o importanță istorică deoarece i-au permis lui Galileo Galilei să determine perioada de rotație a Soarelui și să-și dea seama că rotația sa este diferită. De exemplu, acesta se rotește mai repede la ecuator (perioada de rotație este 25,05 zile) decât la poli (perioada de rotație este 34,3 zile).

Activitatea 3: Determinarea perioadei de rotație a Soarelui

Un alt experiment simplu, care poate fi făcut într-o sală de clasă, este măsurarea perioadei de rotație solare, folosind petele solare. În acest experiment, trebuie urmărite petele solare pe parcursul a câtorva zile, pentru a măsura rotația Soarelui. Soarele trebuie observat întotdeauna prin proiecția imaginii Soarelui printr-un telescop (fig. 10a) sau binoclu (fig. 10b). Este foarte important ca nimeni să nu se uite direct spre Soare, mai ales dacă acesta este observat prin binoclu sau telescop, deoarece pot fi provocate leziuni permanente ochilor



Fig. 10a: Observație solară cu proiecție printr-un telescop (nu vă uitați direct la Soare).

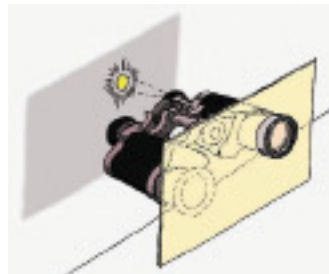


Fig. 10b: Observație solară cu proiecție printr-un binoclu (nu vă uitați direct la Soare).

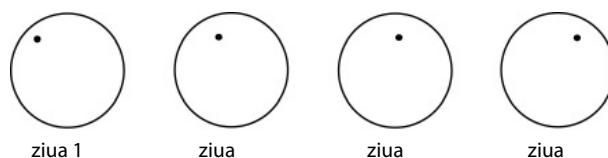


Fig. 11: Schimbare de poziție a unei pete solare timp de câteva zile.

Țineți minte că nu trebuie să vă uitați direct înspre Soare, fie că o faceți cu binoclu, telescop sau cu ochiul liber. Aceasta dăunează grav ochilor și poate cauza leziuni permanente. Dacă observați petele solare timp de câteva zile, mișcarea unei pete va fi similară cu cea din exemplul dat în figura 11.

$$\frac{T}{t} = \frac{360^\circ}{a}$$

Suprapuneți observațiile pe o foaie transparentă, ca în figura 12. Perioada poate fi calculată printr-o proporție simplă:

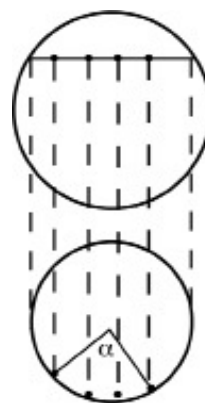


Fig. 12: Calculul unghiului de rotație al petelor solare

unde t este intervalul de timp dintre două observări ale aceleiași pete solare, α este unghiul la centru dintre deplasarea celor două pete (fig. 12) și T este perioada de rotație solară pe care vrem să o calculăm. Acest calcul oferă un nivel bun de acuratețe.

$$T = \frac{360^\circ \cdot 7 \text{ zile}}{92^\circ} = 27,3 \text{ zile}$$

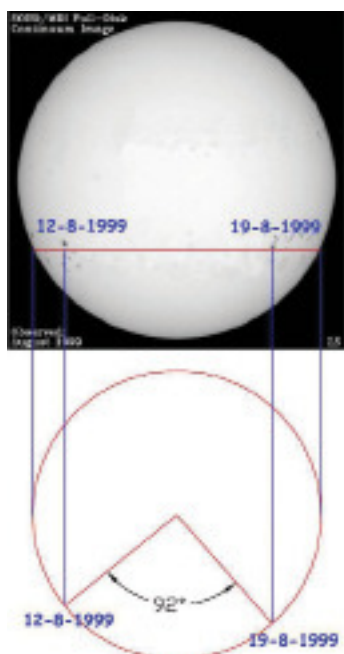


Fig. 13: Determinarea perioadei de rotație a Soarelui

Spre exemplu: figura 13 este suprapunerea a două fotografii, făcute pe data de 12 august 1999 și 19 august 1999. Desenăm un cerc, ce reprezintă Soarele, iar apoi trasăm câte o linie de la centru către fiecare pată. Apoi măsurăm unghiul dintre cele două linii și obținem 92° . Deci, rotația solară va fi:

Radiația produsă de Soare

Soarele este un reactor nuclear gigantic, unde cantități imense de energie sunt produse continuu și transportate către suprafață, sub formă de fotoni. Fotonii sunt particulele responsabile pentru radiația electromagnetică, iar energia pe care fiecare o transportă poate fi calculată folosind expresia:

$$E = h \cdot \nu$$

unde E este energia fotonului, h este constanta lui Planck ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$) și ν este frecvența radiației electromagnetice asociată fotonului. Fotonii generați de către Soare sunt responsabili și pentru spectrul sau.

Luminozitatea totală a Soarelui (sau puterea) este enormă: în fiecare secundă acesta emite mai multă

energie decât 10^{12} de bombe atomice. Ne putem imagina transmisia energiei prin spațiu sub forma unei sfere care devine din ce în ce mai mare odată cu distanța. Aria acestei sfere este $4\pi R^2$. Dacă puterea Soarelui este P , energia disipată într-o secundă pe un metru pătrat aflat la distanța R este:

$$E = \frac{\pi}{4\pi R^2}$$

Cu alte cuvinte, energia transmisă depinde invers proporțional de pătratul distanței, iar dacă cunoaștem distanța până la obiect, atunci îi putem calcula puterea totală.

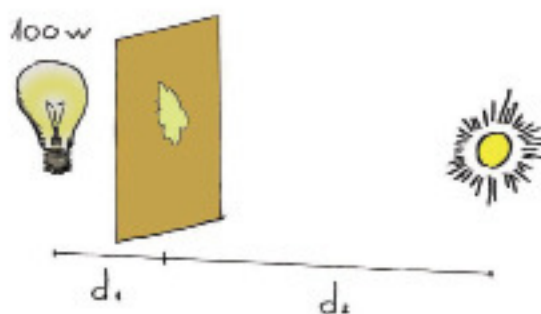


Fig. 14: Comparație între puterea Soarelui și cea a unui bec de 100W.

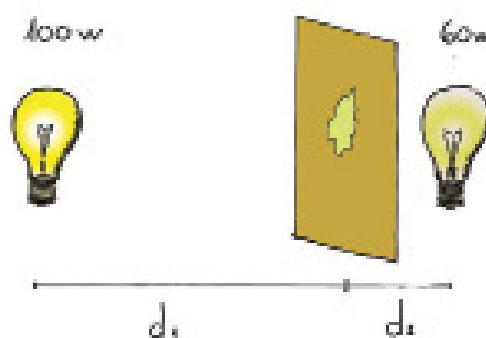


Fig. 15: Dacă lumina care ajunge pe fiecare parte a ecranului este aceeași, pata de ulei nu se vede

Activitatea 4 : Determinarea luminozității solare

Luminozitatea, sau puterea Soarelui, este energia emisă de acesta într-o secundă. Soarele este o sursă foarte puternică de lumină. Așadar, vom compara puterea Soarelui cu cea a unui bec de 100 W (figura 14).

Putem construi un fotometru care ne va permite să comparăm intensitatea luminii de la cele două surse. Pentru a face asta, vom pune câteva picături de ulei pe mijlocul unei hârtii. Pata formată va face hârtia un pic transparentă. Pata este de fapt fotometrul nostru. Introduceți foaia de hârtie între cele două surse de lumină (becuri: fig. 15, 16). Ajustați distanțele dintre surse și hârtie până când pata nu mai este vizibilă. În acest



Fig. 16: Fotometrul cu pata de ulei, între două becuri

fel, iluminările de pe fiecare dintre fețele foi și respectiv energiile care ajunge pe fiecare față sunt egale. În cazul a două becuri de 60 și respectiv 100W:

$$\frac{100}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{60}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$

Într-o zi însorită, duceți fotometrul și un bec de cel puțin 100 W afară (cu cât mai luminos cu atât mai bine). Puneți fotometrul între Soare și bec, în așa fel încât fotometrul să apară la fel de luminos pe fiecare parte. Măsurați distanța d_1 , în metri, de la fotometru la filamentul becului.

Cunoscând faptul că distanța de la Soare la Pământ este aproximativ $d_2 = 150.000.000.000$ m, putem calcula puterea Soarelui P folosind legea pătratului invers (am simplificat ecuația cu 4π):

$$\frac{100 \text{ W}}{d_1^2} = \frac{P_{\text{Soare}}}{d_2^2}$$

Rezultatul ar trebui să fie apropiat de puterea reală a Soarelui, care este de $3,83 \cdot 10^{26}$ W.

Opacitatea

Energia înaltă asociată fotonilor produși în miezul Soarelui va trebui să călătorească până la un milion de ani ca să ajungă la fotosferă, deoarece este produsă chiar în centrul Soarelui, unde fotonii interacționează cu materie foarte densă. Aceste interacțiuni se produc în număr foarte mare în miezul Soarelui, și se răresc cu cât ne apropiem de fotosferă. Mișcarea fotonilor



Fig. 17: Fotonii au nevoie de 1 milion de ani ca să părăsească fotosfera

are o traiectorie în zig-zag (fig. 17) de la miez până la extremitățile Soarelui, aceasta întârziind mult emisia fotonilor în spațiu.

Când radiația ajunge în fotosferă, adică în atmosfera Soarelui, este radiată în exterior aproape fără nici o interacțiune cu majoritatea lungimilor de undă, creând spectrul continuu pe care îl putem vedea în fotosferă. Aceasta deoarece miezul și interiorul Soarelui sunt opace pentru toate lungimile de undă ale radiațiilor, iar atmosfera sa este transparentă. În astronomie, conceptele despre opacitate și transparență sunt oarecum diferite de cele pe care le folosim zi de zi.

Un gaz poate fi transparent sau opac, depinzând de cât absoarbe sau cum împrășteie fotonii care trec prin el. De exemplu, atmosfera noastră este transparentă pentru lungimile de undă vizibile. Dar într-o zi cu ceață nu putem vedea prea multe, deci este opacă. Ar trebui menționat că transparent nu înseamnă invizibil. O flacără a unui arzător sau a unei lumânări este transparentă pentru lungimile de undă a unui proiector multimedia.

Activitatea 5: Transparență și opacitate

Putem demonstra aceste concepte folosind flacăra unui arzător sau a unei lumânări (arzătorul este mai util, deoarece lumânarea va produce fum negru care este opac, combustia nefiind completă). Demonstrația este foarte simplă. Puneți obiecte transparente și opace în calea fasciculului de lumină trimis de către un proiector pe ecran și întrebați mai întâi elevii dacă obiectele sunt transparente sau opace. Pentru obiecte comune, majoritatea persoanelor vor ști răspunsul.

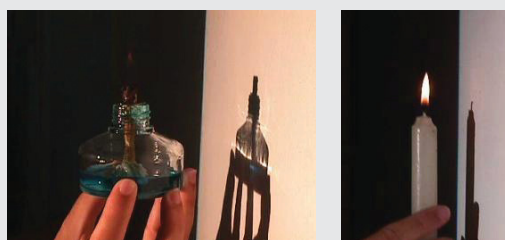


Fig. 18a și 18b: Flacăra de la lampa cu alcool sau de la lumânare nu produce o umbră pe perete. Observă că sticla nu este complet transparentă

Flacăra unei lumânări, a unui arzător Bunsen sau a unei brichete este și ea transparentă, iar elevilor li se va părea surprinzător faptul că flacăra nu produce o umbră pe perete (fig. 11). Puteți explica aceasta prin faptul că flacăra este, ca și fotosfera Soarelui, aproape transparentă pentru orice radiație.

Spectrele

În 1701, Newton a folosit pentru prima dată în istorie o prismă pentru a descompune lumina Soarelui în culorile componente. Orice lumină poate fi dispersată folosind o prismă sau o rețea de difracție, iar rezultatul este spectrul luminii. Spectrele pot fi explicate prin cele trei legi pe care Gustav Kirchhoff și Robert Bunsen le-au descoperit în secolul al XIX-lea. Cele trei legi sunt reprezentate în figura 19.

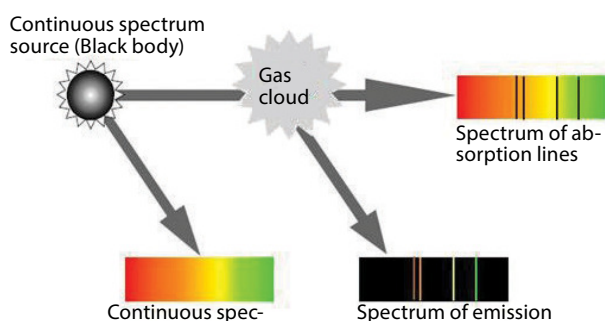


Fig. 19: Legile lui Kirchhoff și Bunsen

- Prima lege - Un obiect incandescent solid produce lumină într-un spectru continuu.
- A doua lege - Un gaz rarefiat fierbinte produce lumină cu linii spectrale cu lungimi de undă discrete, depinzând de compoziția chimică a gazului (spectru de emisie).
- A treia lege - Un obiect solid incandescent, care este înconjurat de gaz cu presiune mică, produce un spectru continuu cu linii de absorbție (negre) la lungimi de undă discrete. Pozițiile acestora depind de compoziția chimică a gazului și coincid cu cele din cea de-a doua lege (spectrul de absorbție).

Liniile spectrului de emisie se datorează tranziției electronilor între două niveluri de energie. Această tranziție se petrece când fotonii interacționează cu materia. Niels Bohr explică, mai târziu, faptul că nivelurile de energie în atomi sunt perfect cuantificate, iar frecvențele emise sunt același deoarece diferența de energie dintre nivelurile considerate este constantă. (figura 20)

Un gaz rece poate absorbi aceeași energie pe care poate să o emită când este fierbinte. Deci, dacă un gaz este pus între o sursă incandescentă și un spectroscop,

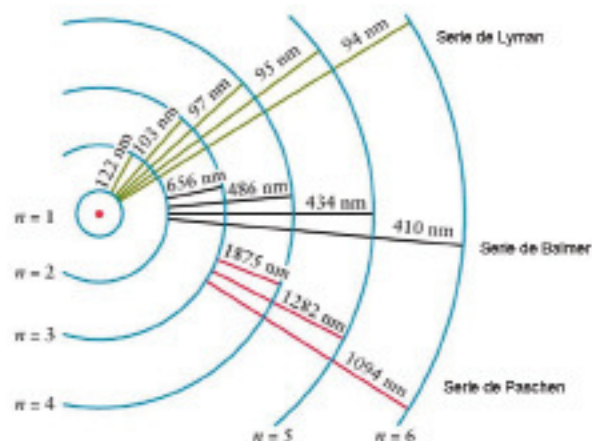


Fig.20: Seriile spectrale de emisie ale atomului de hidrogen. Tranzițiile posibile au întotdeauna aceeași diferență de energie între niveluri

gazul absoarbe aceleași linii din spectrul continuu pe care le și emite când este fierbinte, generând un spectru de absorbție.

Acesta este procesul care se întâmplă în atmosfera Soarelui. Elementele chimice conținute în gazul atmosferei solare absorb energiile corespunzătoare frecvențelor asociate cu liniile spectrale ale acestor elemente. Acest fapt a fost confirmat de către Joseph Fraunhofer în 1814, astfel că liniile spectrale se numesc linii Fraunhofer. Liniile principale sunt prezentate în tabelul de mai jos, cu notarea originală a lui Fraunhofer (1817). Liniile de absorbție ale spectrului solar sunt notate cu litere.

Lite-ra	Lungimea de undă (nm)	Originea chimică	Gama de culori
A	759	O ₂ atmosferic	roșu întunecat
B	687	O ₂ atmosferic	roșu
C	656	Hidrogen alpha	roșu
D1	590	Sodiu neutru	roșu portocaliu
D2	589	Sodiu neutru	galben
E	527	Fier neutru	verde
F	486	H beta	turcoaz
G	431	CH molecular	albastru
H	397	Calciu ionizat	violet întunecat
K	393	Calciu ionizat	violet întunecat

Tabelul 1: Liniile Fraunhofer pentru Soare.

Este important să realizăm că, analizând lumina care vine dinspre Soare sau o altă stea, putem să ne dăm seama din ce este compusă acea stea, fără ca să trebuiască să călătorim până la ea. Spectrele de astăzi sunt rezultatul folosirii instrumentelor cu rezoluție înaltă, pentru a detecta multe linii.

Radiația corpului negru

Când un metal este încălzit destul, devine roșu. Într-un loc întunecat, metalul devine vizibil la temperatura de 400 °C. Dacă temperatura continuă să crească, culoarea metalului va deveni portocalie, apoi galbenă și în final albastră, trecând prin faza de emisie a luminii albe, la aproximativ 10.000 °C. Un corp opac, de metal sau nu, va radia cu aceste caracteristici.

Când un corp întunecat (un corp ideal care nu reflectă lumina) este încălzit, emite radiație cu mai multe lungimi de undă. Dacă măsurăm intensitatea radiației pentru fiecare lungime de undă, aceasta poate fi reprezentată de o curbă numită curba Planck. În figura 21, curbele sunt reprezentate pentru diferite temperaturi ale corpului negru. Curba are un vârf la o anumită lungime de undă, care ne dă culoarea predominantă a obiectului. Valoarea maximă $I_{\max}$ este dependentă de temperatura corpului, în conformitate cu legea lui Wien:

$$I_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ (m)}$$

unde T este temperatura corpului. Țineți minte că, din cauza acestei legi, studiind radiația care vine de la un corp îndepărtat, putem să-i aflăm temperatura fără a fi nevoie să ne deplasăm acolo și să o măsurăm direct.

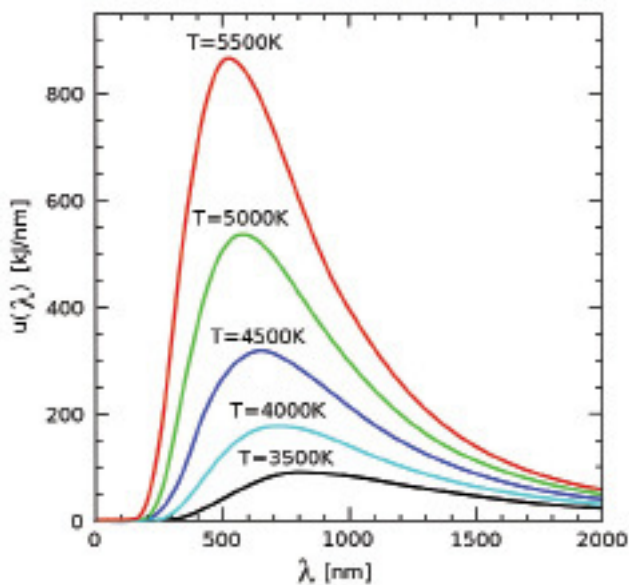


Fig. 21: Curbele lui Planck pentru corpul negru la diferite temperaturi.

Exemple de obiecte astronomice care pot fi numite corpuri negre opace (excluzând atmosfera și coroana lor) sunt stelele, planetele, asteroizii sau radiația cosmică de fond (din domeniul microundelor).

Legea lui Wien este o lege generală pentru emisia termică a corpurilor opace. Spre exemplu, corpul uman radiază unde în domeniul infraroșu, cu un maxim de

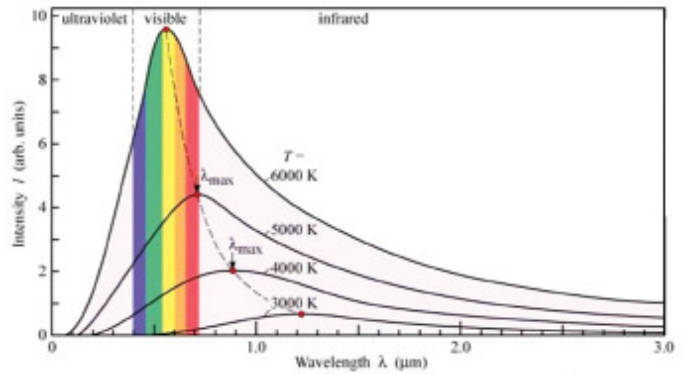


Fig. 22: Curba de emisie pentru "spectrul continuu" al Soarelui

emisie la lungimea de undă de 9,4 μm, așa cum rezultă din legea lui Wien (folosind temperatura de 37 °C, adică 310 K). Deci, armata folosește dispozitive de observare pentru noapte cu aceste lungimi de undă.

Întorcându-ne la Soare, deoarece atmosfera este transparentă, radiația corpului negru este determinată de temperatura fotosferei, unde Soarele devine transparent (aprox. 5800 K), deci radiația corpului negru nu ar trebui să depășească lungimea de undă de 500 nm, după cum este ilustrat în figura 22.

Atmosfera noastră absoarbe razele infraroșii și ultraviolete. Este interesant că ochiul uman a evoluat în așa fel încât noi putem vedea doar porțiunea vizibilă din lumina Soarelui care ajunge pe Pământ.

Difuzia luminii solare

Când o rază de lumină albă trece printr-un gaz care conține particule mai mari decât lungimea de undă a luminii, lumina nu suferă o difracție ci o împrăștiere, difuzia luminii. Acest fenomen se întâmplă când lumina Soarelui trece printr-un nor care conține picături mici de apă: acesta pare alb. Același lucru se întâmplă când lumina trece prin zahăr sau sare. Dar, dacă lumina este împrăștiată de particule cu dimensiunea similară cu o lungime de undă (culoare) a fotonilor, atunci numai acei fotoni sunt dispersați, nu și restul. Acest fenomen este numit împrăștierea Rayleigh.

În atmosfera noastră, lumina albastră este împrăștiată mai mult decât cea roșie, fotonii ajungând pe Pământ din toate direcțiile. Acesta este motivul pentru care cerul ne apare albastru (figura 23), în loc să fie negru, cum este văzut din spațiu. La amurg, lumina trece prin mai multe straturi din atmosferă și la noi ajunge mai puțină lumină albastră, deci pare mai galbenă. Apusurile de soare difuzează și ele fotonii roșii.

Acesta este și motivul pentru care, atunci când lumina trece printr-un strat gros de gaz (e.g. nebuloasele),

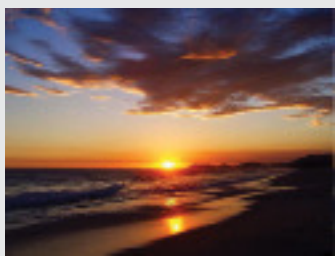


Fig. 23: Culoarea cerului depinde de împrăștierea Rayleigh.

Activitatea 6: Extincție și împrăștiere

Acest experiment necesită un proiector multimedia, o soluție diluată de lapte, o bucată de carton negru și un pahar mai înalt. Preparați soluția de lapte cu o picătură de lapte pentru 50 ml de apă (acest pas este cel mai important, iar concentrația soluției trebuie testată înainte de oră).

Tăiați un cerc din cartonul negru de forma și dimensiunea fundului paharului. Puneți paharul gol în cercul tăiat și porniți proiectorul (figura 24a). Lumina proiectată pe perete va fi albă.

Umpleți paharul cu soluția diluată de lapte. Lumina proiectată pe perete va începe să pară roșie (figurile 24b și 24c), iar marginile paharului alb-albăstrii.



Fig. 24a: La început, lumina care ajunge la perete este de culoare albă



Fig. 24b: Cu un pic de soluție, lumina va fi galbenă



Fig. 24c: În cazul în care paharul este plin, lumina care ajunge la perete este de culoare roșie

Dale, A. O., Carrol, B. W, Modern Stellar Astrophysics, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.

Ferreira, M., Almeida, G, Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas, Plátano Ed. Téc., Lisboa, 1996.

Johnson, P.E., Canterna, R, Laboratory Experiments For Astronomy, Saunders College Publishing, Novalorque, 1987.

Lang, K.R, Sun, Earth & Sky, Springer-Verlag, Heidelberg, 1995.

Levy, D, Skywatching-The Ultimate Guide to the Universe, Harper Collins Publishers, London, 1995.

Moreno, R. Experimentos para todas las edades, Editorial Rialp, Madrid, 2008

Rybicki, G.B., Lightman, A.P, Radiative Processes in Astrophysics, John Wiley & Sons, E.U.A, 1979.

Sousa, A.S, Propriedades Físicas do Sol, Ed. ASTRO, Porto, 2000.

Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.V.P, Introductory Astronomy and Astrophysics, 3rd Ed., Saunders College Publishing, Orlando, E.U.A, 1992.

Surse Internet

NASA Polar Wind and Geotail Projects

<http://www-istp.gsfc.nasa.gov>.

Space & astronomy experiments

<http://www.csiro.au/csiro/channel/pchdr.html>

The Sun

<http://www.astromia.com/solar/sol.htm>

Nine planets

<http://www.astrored.net/nueveplanetas/solarsystem/sol.html>

Bibliografie:

Broman, L, Estalella, R, Ros, R.M. Experimentos en Astronomía. Editorial Alhambra Longman S.A., Madrid, 1993.

Costa, A, "Sunlight Spectra", 3rd EAAE Summer School Proceedings, Ed. Rosa Ros, Briey, 1999.

Costa, A, "Simple Experiments with the Sun", 6th International Conference on Teaching Astronomy Proceedings, Ed. Rosa Ros, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, 1999.

Viața Stelelor

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno, Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, Școala Secundară Loulé (Portugalia), Universitatea Tehnologică Națională (Mendoza, Argentina), Școala Retamar (Madrid, Spania), Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania)

Sumar

Pentru a înțelege viața stelelor este necesar să înțelegem: ce sunt acestea, cum putem afla cât de departe se află, cum evoluează și care sunt diferențele dintre ele. Putem explica elevilor, prin experimente simple, cum lucrează oamenii de știință pentru a studia compoziția stelelor și, de asemenea, cum se pot construi modele simple.

Obiective

Acest workshop este complementar cursului NASE despre evoluția stelară, prezentând diverse activități și demonstrații centrate pe înțelegerea evoluției stelare. Principalele scopuri sunt următoarele:

- Înțelegerea diferenței dintre magnitudinea aparentă și magnitudinea absolută.
- Înțelegerea diagramei Hertzsprung-Russell cu ajutorul unei diagrame simple culoare-magnitudine.
- Înțelegerea unor concepte cum ar fi: supernovă, stea neutronică, pulsar și gaură neagră.

Activitatea 1: Conceptul de parallaxă

Paralaxa este un concept care este utilizat în astronomie pentru a calcula distanțele. Vom realiza o activitate simplă care va permite elevilor să înțeleagă ce este paralaxa. Fiecare elev se așază cu fața spre un perete situat la o anumită distanță față de el, astfel încât să aibă în jur diverse repere: un dulap, mese, uși etc. Întinde o mână înainte și ține degetul mare în poziție verticală (figurile 1a și 1b).

Închide mai întâi ochiul drept, vezi exemplul cu degetul în centrul unei imagini. Fără a mișca degetul mare, închide ochiul drept și deschide ochiul stâng. Degetul pare că s-a deplasat, nu mai ocupă poziția corespunzătoare centrului imaginii, ci o altă poziție aproape de marginea acesteia.

Din acest motiv, atunci când observăm cerul din două localități aflate la distanță mare una față de cealaltă,

corpurile care sunt mai apropiate, cum ar fi Luna, apar deplasate față de stelele din fundal, care sunt la distanță mult mai mare. Deplasarea este mai mare dacă distanța dintre cele două locuri din care se realizează observațiile este mai mare. Această distanță se numește linia de bază.

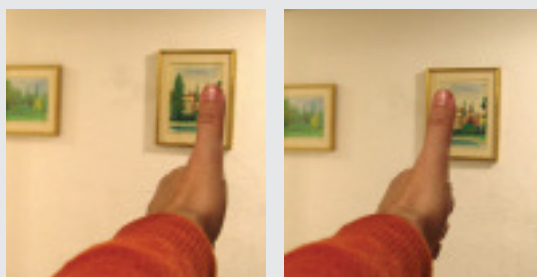


Fig. 1a: Cu brațul întins se privește poziția degetului mare față de obiectul din fundal, mai întâi cu ochiul stâng (închizând ochiul drept) apoi (Fig. 1b) se privește cu ochiul drept (închizând ochiul stâng)

Calcularea distanței la stele cu ajutorul paralaxei

Paralaxa este modificarea aparentă a poziției unui obiect când este privit din locuri diferite. Poziția unei stele apropiate relativ la stelele din fundal, care sunt mult mai îndepărtate, pare să se schimbe când este privită din două locuri diferite. Putem determina astfel distanța până la stelele mai apropiate. Paralaxa este apreciabilă dacă distanța care reprezintă linia de bază este maximizată. Această distanță este diametrul orbitei Pământului în jurul Soarelui (figura 2).



Fig. 2: Unghiul de paralaxă p este deplasarea unghiulară pe care o vedem când observăm o stea din două locuri care se află la o distanță egală cu distanța Pământ-Soare.

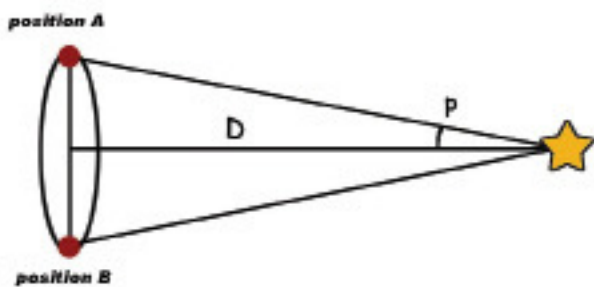


Fig. 3: Prin măsurarea unghiului de parallaxă, p , este apoi posibil să se calculăm distanța D până la obiect.

De exemplu, dacă observăm, față de stelele din fundal, o stea apropiată din două poziții A și B situate pe orbita Pământului (figura 3), la un interval de șase luni, putem calcula distanța D la care se află steaua, obținând:

$$\tan p = \frac{AB/2}{D}$$

Deoarece p este un unghi foarte mic, tangenta poate fi aproximată cu unghiul măsurat în radiani:

$$D = \frac{AB/2}{p}$$

Baza triunghiului $AB/2$ este distanța Pământ-Soare, 150 milioane km. Dacă avem unghiul de parallaxă p , atunci distanța până la stea, în kilometri, va fi $D = 150.000.000 / p$, cu unghiul p exprimat în radiani. De exemplu, dacă unghiul p este de o secundă de arc, distanța la stea este:

$$D = \frac{150000000}{2\pi/(360 \cdot 60 \cdot 60)} = 30939720937064 \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.}$$

Aceasta este unitatea de măsură consacrată utilizată în astronomie. Dacă vezi o stea cu o parallaxă de o secundă de arc, atunci aceasta este la distanța de 1 parsec (pc). Un parsec este echivalent cu o distanță de 3,26 ani lumină (a.l.). O parallaxă mai mică înseamnă o distanță mai mare până la stea. Relația dintre distanță (în pc) și parallaxă (în secunde de arc) este:

$$d = \frac{1}{p}$$

Simplitatea acestei expresii este motivul pentru care este utilizată. De exemplu, cea mai apropiată stea, Proxima Centauri, are o parallaxă de $0,76''$, ceea ce corespunde unei distanțe de 1,31 pc, echivalentă cu 4,28 a.l. Prima observare a paraxei efectuată pentru o stea (61 Cygni) a fost realizată de Bessel în anul 1838, deși la acel moment se considera că stelele ar fi atât de depărtate încât distanțele respective nu ar putea fi măsurate precis.

De regulă, utilizăm paraxa pentru a măsura distanțele până la stelele care se află până la 300 ani lumină față de noi. La distanțe mai mari decât aceasta, unghiul de parallaxă este neglijabil și de aceea trebuie să utilizăm alte metode pentru a calcula distanțele. Acestea se bazează, în general, pe comparația cu alte stele a căror distanță este cunoscută prin metoda paraxei. Parallaxa oferă o bază pentru alte măsurători de distanțe din astronomie, scara distanțelor cosmice. Parallaxa este, de regulă, prima treaptă a acestei scări de distanțe.

Activitatea 2: Legea $1/r^2$

Se poate utiliza un experiment simplu pentru a înțelege relația dintre luminozitate, strălucire și distanță. Acesta va arăta că magnitudinea aparentă este o funcție de distanță. Așa cum este ilustrat în figura 11, veți utiliza un bec electric și un carton (sau o cutie) cu un mic orificiu pătrat tăiat în acesta. Cartonul cu orificiul pătrat este plasat de o parte a becului electric. Becul electric radiază lumină în toate direcțiile. O anumită cantitate de lumină trece prin orificiu și iluminează un ecran mobil aflat paralel cu cartonul găurit. Pe ecran sunt reprezentate pătrate având aceeași dimensiune ca orificiul din carton. Cantitatea de lumină care trece prin orificiu și care ajunge la ecran nu depinde de cât de departe este situat ecranul. Dacă așezăm ecranul mai departe, aceeași cantitate de lumină trebuie să acopere o suprafață mai mare și, în consecință, strălucirea pe ecran scade. Pentru a simula o sursă punctuală și a reduce umbrele putem, de asemenea, să plasăm un al treilea carton cu orificiu foarte aproape de becul electric. Oricum, fiți atenți să nu așezați cartonul prea aproape de becul electric pentru prea mult timp, deoarece s-ar putea aprinde.

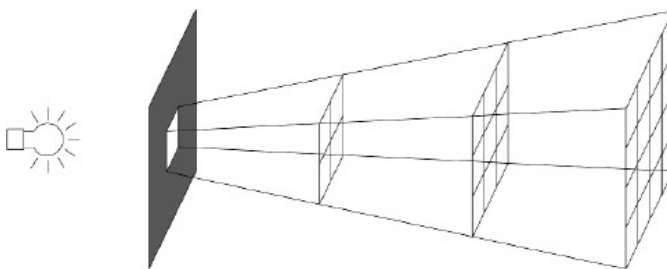


Fig. 4: Montajul experimental

Este evident că atunci când distanța dintre ecran și becul electric se dublează, suprafața care este iluminată devine de patru ori mai mare. Aceasta implică faptul că intensitatea luminii (lumina care ajunge pe unitatea de suprafață) devine a patra parte din cantitatea inițială. Dacă se triplează distanța, suprafața de pe ecran pe care se împrășteie lumina devine de nouă ori mai mare, deci intensitatea luminii va fi a noua parte din cantitatea inițială. Astfel, putem spune că intensitatea este invers proporțională cu pătratul distanței față de sursă.

Cu alte cuvinte, intensitatea este invers proporțională cu suprafața totală pe care se distribuie radiația, care este o sferă cu aria suprafeței $4\pi D^2$.

Sistemul de magnitudini

Să ne imaginăm că o stea este ca un bec electric. Strălucirea depinde de puterea steii sau a becului electric și de distanța de la care o vedem. Acesta se poate verifica așezând în partea opusă a unei lămpi, a unei bucăți de hârtie: cantitatea de lumină care ajunge pe foaia de hârtie depinde de puterea becului și de distanța dintre foaie și bec. Lumina provenită de la bec este împrăștiată în mod uniform pe suprafața unei sfere, care are o arie de $4\pi R^2$, unde R este distanța dintre cele două obiecte. Prin urmare, dacă se dublează distanța (R) dintre foaia de hârtie și becul electric (figura 5), intensitatea care ajunge la foaia de hârtie nu scade de două ori, ci de patru ori (aria pe care s-a distribuit lumina este de patru ori mai mare). Dacă se triplează distanța, atunci intensitatea care ajunge pe foaia de hârtie scade de nouă ori (aria sferei pe care este distribuită lumina este de nouă ori mai mare).

Strălucirea unei stele B poate fi definită ca intensitatea (sau fluxul) de energie care ajunge pe o suprafață cu aria de un metru pătrat, aflată pe Pământ (figura 5). Dacă luminozitatea (sau puterea) unei stele este L , atunci:

$$B = F = \frac{L}{4\pi D^2}$$

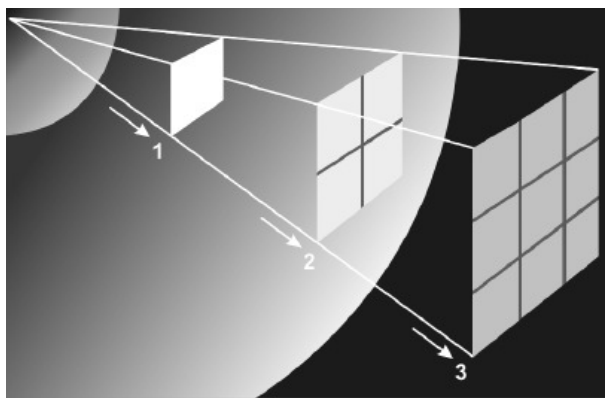


Fig. 5: Lumina devine cu atât mai puțin intensă cu cât sursa sa este mai îndepărtată

Deoarece strălucirea depinde de luminozitatea steii și de distanța față de stea, se poate constata că o stea care luminează slab, dar care este mai apropiată, poate fi observată ca având aceeași strălucire cu o stea mai luminoasă, dar care se află mai departe.

Hiparh din Samos, în al doilea secol î.H., a întocmit primul catalog stelar. El a clasificat cele mai strălucitoare stele drept stele cu magnitudinea 1, iar cele mai puțin strălucitoare stele drept stele cu magnitudinea 6. El a

inventat un sistem de divizare a strălucirii stelelor care este utilizat și în zilele noastre, deși a fost ușor recalibrat cu ajutorul unor măsurători mai precise decât cele originale, realizate cu ochiul liber.

O stea cu magnitudinea 2 este mai strălucitoare decât o stea cu magnitudinea 3. Există stele care au magnitudinea 0 și stele cu magnitudini negative, cum ar fi Sirius, care are magnitudinea -1,5. Extinzând scala la obiecte și mai strălucitoare, Venus are magnitudinea -4, Luna plină are magnitudinea -13, iar Soarele are magnitudinea -26,8.

Aceste valori sunt numite, în mod corect, magnitudini aparente m , deoarece ele măsoară strălucirea stelelor așa cum se văd ele de pe Pământ. Această scală respectă regula că o stea cu magnitudinea 1 este de 2,51 ori mai strălucitoare decât o stea cu magnitudinea 2, iar această stea este de 2,51 ori mai strălucitoare decât o altă stea cu magnitudinea 3, ș.a.m.d. Aceasta înseamnă că o diferență de 5 magnitudini între două stele este echivalentă cu faptul că steaua cu magnitudinea mai mică este de $2,51^5 = 100$ ori mai strălucitoare. Această relație matematică poate fi exprimată ca:

$$\frac{B_1}{B_2} = (\sqrt[5]{100})^{m_2 - m_1} \text{ sau } m_2 - m_1 = 2,5 \log \frac{B_1}{B_2}$$

Magnitudinea aparentă m este o mărime corelată cu fluxul de lumină dintr-un telescop, flux care provine de la o stea. De fapt, m se calculează din fluxul F și o constantă C (care depinde de unitățile fluxului și de banda de observare) prin expresia:

$$m = -2,5 \log F + C$$

Această ecuație ne spune că cu cât fluxul este mai mare, cu atât va fi mai negativă magnitudinea steii. Magnitudinea absolută M se definește ca magnitudinea aparentă m pe care ar avea-o un obiect dacă ar fi văzut de la o distanță de 10 parseci.

Pentru a transforma magnitudinea aparentă într-o magnitudine absolută este necesar să cunoaștem distanța exactă până la stea. Uneori acest lucru este o problemă deoarece distanțele în astronomie sunt deseori dificil de determinat precis. Dacă distanța d exprimată în parseci este cunoscută, magnitudinea absolută M a steii poate fi calculată folosind ecuația:

$$M = m - 5 \log d + 5$$

Culoarea stelelor

Se știe că stelele au diferite culori. La prima vedere, cu ochiul liber, se pot distinge variații între culorile stele-



Fig. 6: Tipurile spectrale ale stelelor, în funcție de culoarea lor

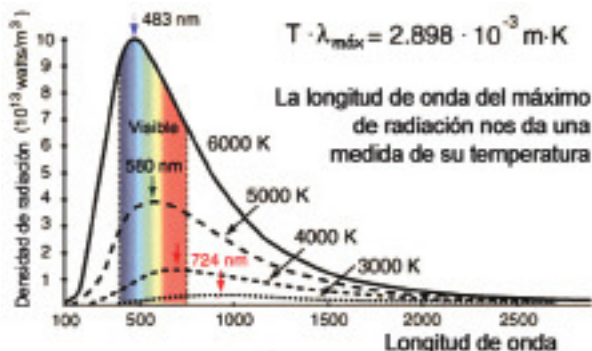


Fig. 7: Dacă temperatura crește, maximum intensității de emisie a stelei se deplasează de la roșu spre albastru.

Conform legii lui Wien (figura 7), o stea care are maximum intensității sale de emisie în domeniul luminii albastre corespunde unei temperaturi mai ridicate, în timp ce dacă o stea are maximum intensității în domeniul luminii roșii este mai rece. Cu alte cuvinte, culoarea unei stele indică temperatura la suprafața stelei.

Activitatea 3: Culoarea Stelelor

În primul rând, vom utiliza o lampă simplă cu incandescență care are un rezistor variabil pentru a ilustra radiația de corp negru. Prin așezarea de filtre colorate între lampă și spectroscop elevii pot examina lungimea de undă a luminii transmise prin filtre. Comparând aceasta cu spectrul lămpii, elevii pot demonstra faptul că filtrele absorb anumite lungimi de undă. Apoi, pentru a înțelege culorile stelelor, elevii pot utiliza un dispozitiv similar cu cel din figura 3, care are lumină albastră, roșie și verde și este echipat cu potențiometre. Acest dispozitiv poate fi construit cu ajutorul unor lămpi, ale căror tuburi sunt realizate din hârtie neagră mai groasă, iar deschiderea opusă becului este acoperită cu foi de celofan colorat. Folosind acest dispozitiv, putem analiza figura 2 și să încercăm să reproducem efectul creșterii temperaturii stelare. La temperaturi joase steaua emite, în cantități semnificative, numai lumină roșie.

Dacă temperatura crește atunci vor exista și emisii de lumină cu lungimi de undă care trec prin filtrul verde. Pe măsură ce această contribuție devine tot mai importantă, culoarea stelei va trece prin portocaliu la galben. Când temperatura crește mai mult, lumina cu lungimi de undă care trec prin filtrul albastru devine mai importantă și, din această cauză, culoarea stelei devine albă. Dacă intensitatea luminii cu lungimea de undă în domeniul albastru continuă să crească, astfel

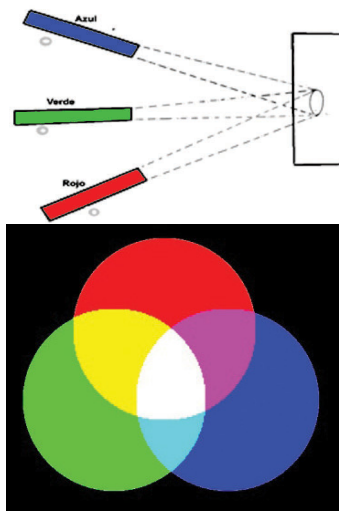


Fig. 8a: Dispozitivul necesar pentru a explica culoarea stelei. Fig. 8b: Proiecție pentru explicarea culorii stelelor și producerea albului.

încât devine semnificativ mai mare decât intensitățile corespunzătoare luminii cu lungimea de undă care trece prin filtrele roșu și verde, steaua devine albastră. Pentru a evidenția acest ultim pas este necesar să se reducă intensitatea luminii lămpii pentru roșu și verde, în cazul în care se folosește puterea maximă a lămpilor pentru a produce lumina albă.

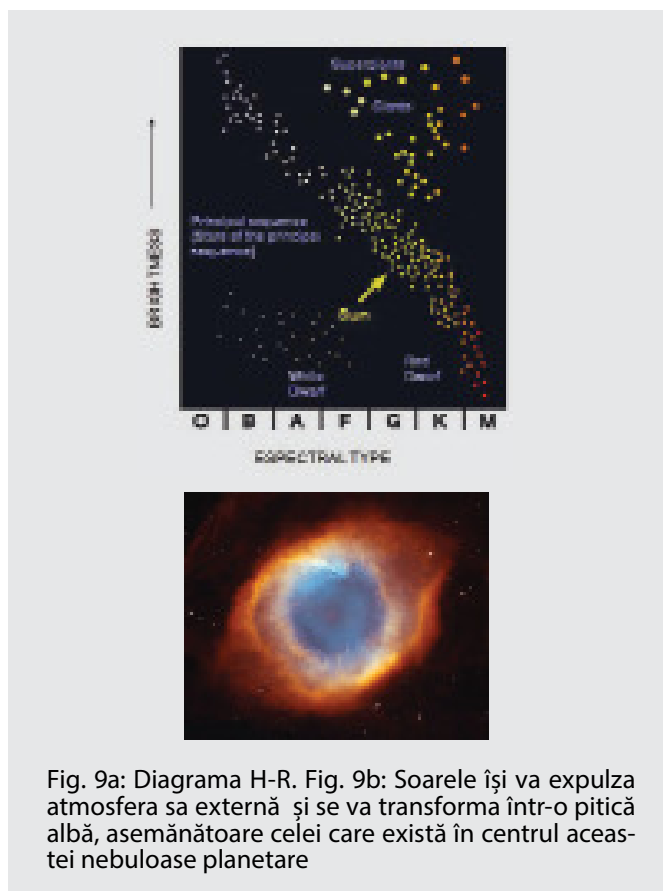


Fig. 9a: Diagrama H-R. Fig. 9b: Soarele își va expulza atmosfera sa externă și se va transforma într-o pitică albă, asemănătoare celei care există în centrul acestei nebuloase planetare

De unde știm că stelele evoluează?

Stelele pot fi așezate pe o diagramă Hertzsprung-Russell (figura 9a) care ilustrează grafic intensitatea stelelor (luminozitatea sau magnitudinea absolută) în funcție de temperatura sau de culoarea stelelor. Stelele reci

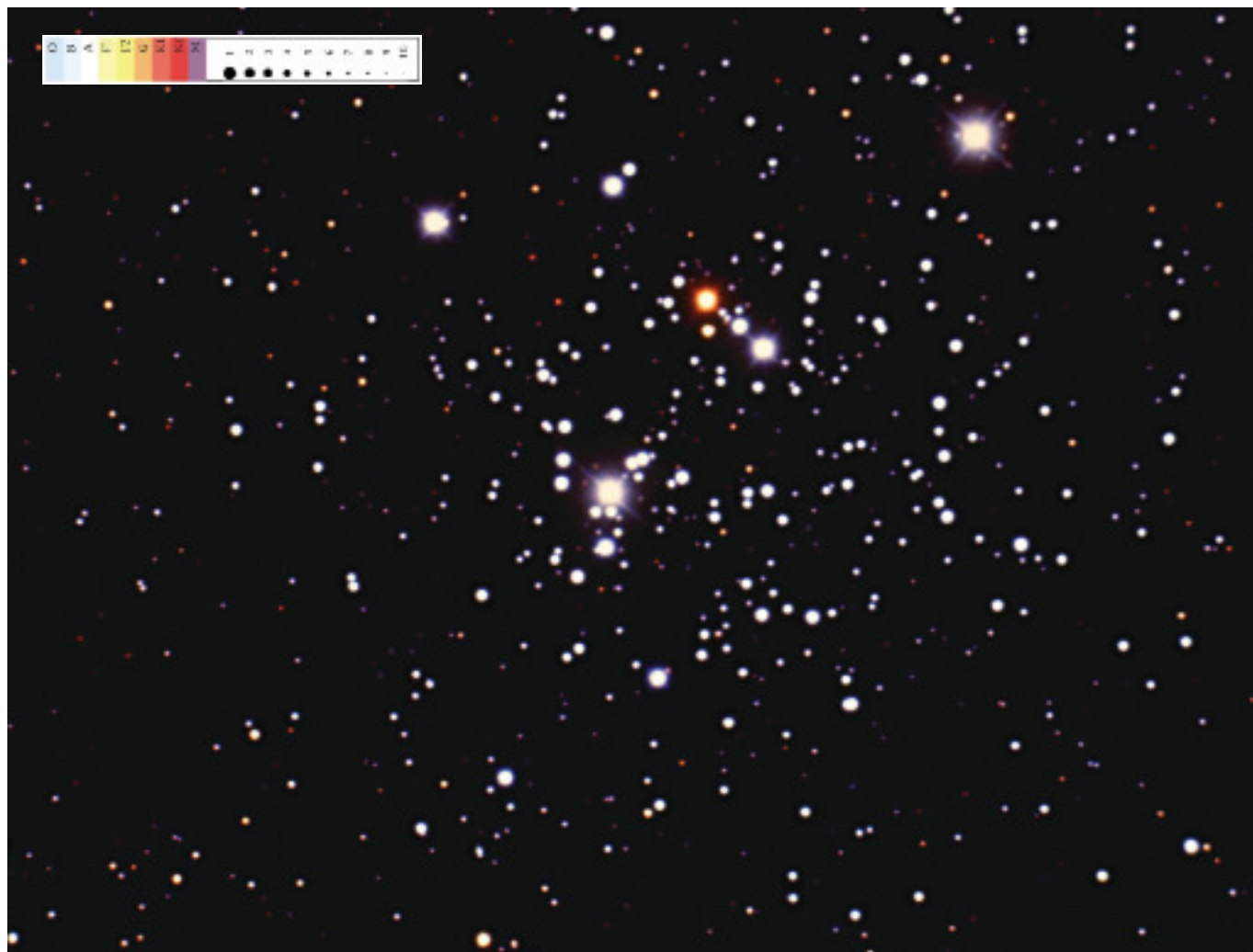


Fig. 10: Imaginea roiului Jewel Box

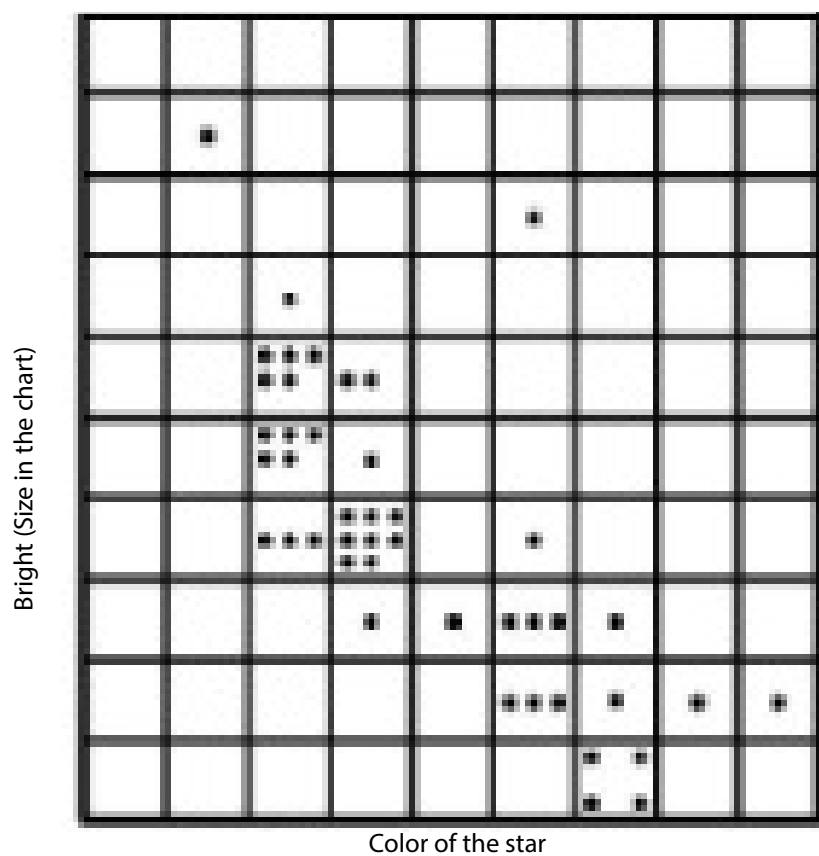


Fig. 11: Fișa de lucru

au o luminozitate mai redusă (partea din dreapta jos a graficului); stelele fierbinți sunt mai strălucitoare și au o intensitate mai mare (partea din stânga sus a graficului). Această succesiune (grupare) a stelelor care formează o secvență de stele, pornind de la temperaturi joase/luminozitate redusă până la temperaturi înalte/luminozitate mare, este cunoscută sub numele de secvență principală. Unele stele care sunt mai evoluate s-au "deplasat în afara" secvenței principale. Stelele care sunt foarte fierbinți, dar care au o luminozitate redusă se numesc pitice albe. Stelele care au temperaturi reduse, dar care sunt foarte strălucitoare se numesc supergigante.

În timp, o stea poate evolua și se poate "deplasa" în diagrama HR. De exemplu, Soarele (situat în centru), aflat la finalul vieții sale, se va umfla și va deveni o gigantă roșie. După acel moment, Soarele va expulza straturile sale exterioare și va deveni, în final, o pitică albă, ca în figura 9b.

Activitatea 4: Vârsta roiurilor deschise

Să analizăm imaginea (figura 10) roiului Jewel Box sau Kappa Crucis, din constelația Crucii Sudului.

Este evident că nu toate stelele au aceeași culoare. De asemenea, este dificil să se spună unde se termină roiul de stele. Indică în figura 10 unde crezi tu că se termină roiul.

În aceeași figură 10, notează cu un "X" locul în care crezi tu că se află centrul roiului. Apoi, folosește o riglă pentru a măsura și trasează un pătrat cu o latură de 4 cm în jurul centrului. Măsoară strălucirea celei mai apropiate stele față de colțul din stânga sus al pătratului pe care l-ai trasat, pe baza comparației cu ghidul de pe marginea figurii 10. Estimează culoarea stelei cu ajutorul ghidului pentru compararea culorilor, situat în partea stângă sus a figurii 10. Marchează cu un punct culoarea

și dimensiunea primei stele de pe fișa de lucru culoare-strălucire (figura 11). Țineți minte faptul că pe axa x este culoarea, iar pe axa y este strălucirea (dimensiunea). După ce ați marcat prima stea, repetați procesul de măsurare și marcarea a culorii și strălucirii (dimensiunii) pentru toate stelele din pătratul cu latura de 4 cm..

Stelele din roiul Jewel Box ar trebui să formeze o anumită configurație, pe graficul realizat în figura 11. În figura 10, există, de asemenea, stele care sunt situate înaintea și în spatele roiului și care, de fapt, nu fac parte din acesta. Astronomii le numesc "câmp stelar". Dacă aveți timp, puteți încerca să estimați cât de multe stele din câmpul stelar au fost incluse în pătratul cu latura de 4 cm, care a fost utilizat în analiza anterioară și să estimați culoarea și strălucirea acestora. Pentru a realiza acest lucru, localizați stelele câmpului în diagrama culoare-magnitudine și se marchează cu "x" în loc de punct. Rețineți că un câmp stelar are o distribuție haotică pe grafic și că nu pare să formeze nici o configurație specifică.

Majoritatea stelelor sunt situate în reprezentarea grafică pe o bandă care pornește din partea stângă sus și ajunge până în partea dreaptă jos. Cele mai puțin masive stele sunt cele mai reci și apar ca având culoarea roșie. Cele mai masive stele sunt cele mai fierbinți și cele mai strălucitoare și apar ca având culoarea albastră. Această bandă de stele de pe diagrama culoare-magnitudine este numită "secvența principală". Stelele de pe secvența principală sunt clasificate în clase care încep cu clasa O (cele mai strălucitoare, mai masive și mai fierbinți: cca 40.000 K) până la clasa M (cele mai puțin strălucitoare, mai puțin masive și cu cea mai mică temperatură la suprafață: cca 3500 K).

Pe cea mai mare parte a duratei vieții unei stele, aceleași forțe interne care produc energia stelei sunt și cele care stabilizează steaua împiedicând colapsul acesteia.

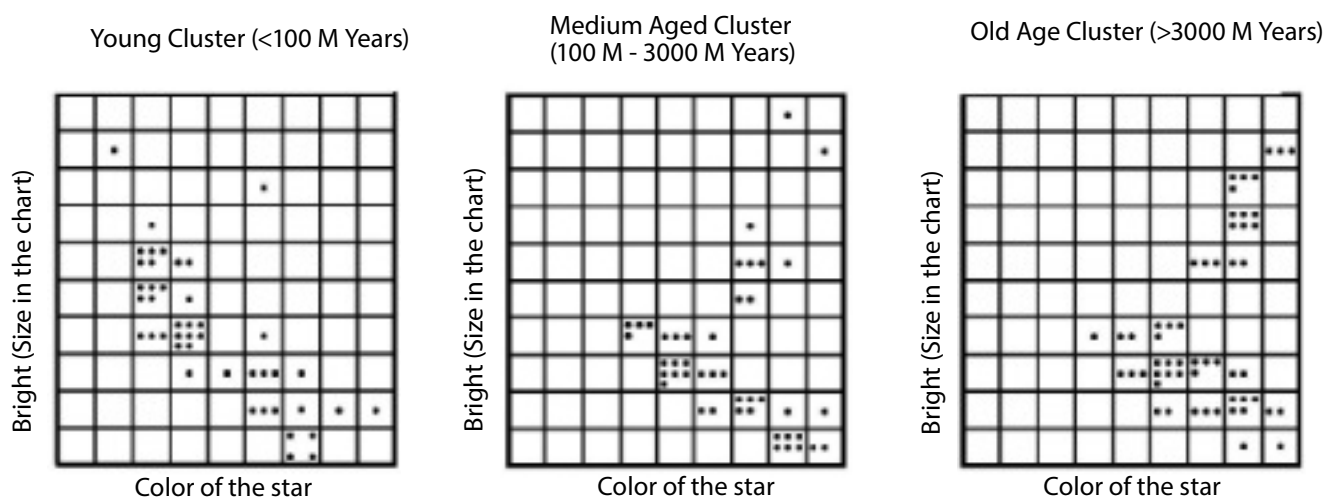


Fig. 12a, 12b, și 12c: Diagrame HR de referință pentru roiuri

Atunci când o stea își epuizează combustibilul, acest echilibru este rupt și imensa forță gravitațională a stelei determină colapsul și moartea acesteia.

Tranziția între viața pe secvența principală și colaps este o parte a ciclului stelar, numit stadiul de "gigantă roșie". Stelele care sunt gigante roșii sunt strălucitoare, deoarece au diametre stelare care pot fi cuprinse în intervalul de la de 10 la mai mult de 300 ori dimensiunea Soarelui. Gigantele roșii au această culoare deoarece temperatura suprafeței lor este redusă. Pe foaia de lucru pot fi clasificate ca stele K sau M, dar ele sunt foarte strălucitoare. Cele mai masive stele își consumă mult mai rapid combustibilul față de stelele cu masa mai mică și de aceea sunt primele care părăsesc secvența principală și devin gigante roșii. Datorită dimensiunii lor mari, care poate fi de peste 1000 de diametre ale Soarelui, gigantele roșii cu mase între 10 și 50 de mase solare se numesc "supergigante roșii" (sau hipergigante roșii dacă ele provin din clasa O de stele). Gigantele roșii se dilată și se răcesc, devenind roșii și strălucitoare și de aceea sunt situate în partea dreaptă sus a diagramei culoare-magnitudine. Cu cât roiul devine mai bătrân, numărul de stele care părăsesc secvența principală pentru a deveni gigante roșii crește. De aceea, vârsta unui roi de stele poate fi determinată prin culoarea celei mai mari și mai strălucitoare stele care mai rămâne pe secvența principală.

Multe stele aflate în roiuri bătrâne au evoluat dincolo de stadiul de gigante roșii la un alt stadiu: ele au devenit pitice albe. Piticele albe sunt stele foarte mici care au dimensiunea aproximativ egală cu dimensiunea

Pământului. Ele luminează, de asemenea, foarte slab și de aceea nu pot fi văzute în această imagine a roiului Jewel Box. Puteți estima vârsta unei stele din roiul Jewel Box pornind de la reprezentarea grafică din figura 11, comparând-o cu graficele roiurilor de stele cu vârste diferite, prezentate în figurile 12a, 12b și 12c?

Moartea stelelor

Sfârșitul vieții unei stele depinde de masa stelei la naștere, așa cum se poate vedea din figura 13. La un anumit punct în evoluția unui roi de stele, cele mai masive stele dispar din diagrama Hertzsprung-Russell. În timp ce stelele cu masă mai mică vor evolua în pitice albe, aceste stele masive își vor sfârși viețile prin unul din cele mai violente fenomene din Univers: vor deveni supernove. Rămășițele acestui fel de fenomene vor fi obiecte care nu au emisie termică (pulsari și găuri negre) și de aceea nu sunt vizibile în diagrama Hertzsprung-Russell.

Ce este o supernovă?

Moartea unei stele masive este o supernovă. Secvența stelară principală este caracterizată de fuziunea hidrogenului pentru a se produce heliu, urmată apoi de producerea de carbon și ajungând la elemente mai grele. Produsul final este fierul. Fuziunea fierului nu este posibilă deoarece această reacție are nevoie să absoarbă energie pentru a se desfășura, în loc să degaje energie. Fuziunea diferitelor elemente se desfășoară până când acestea se epuizează. Acest proces de fuziune are loc de la miez spre exterior, astfel încât după un timp, steaua dobândește o structură stratificată, asemănătoare oarecum cu o ceapă (figura 14b), având

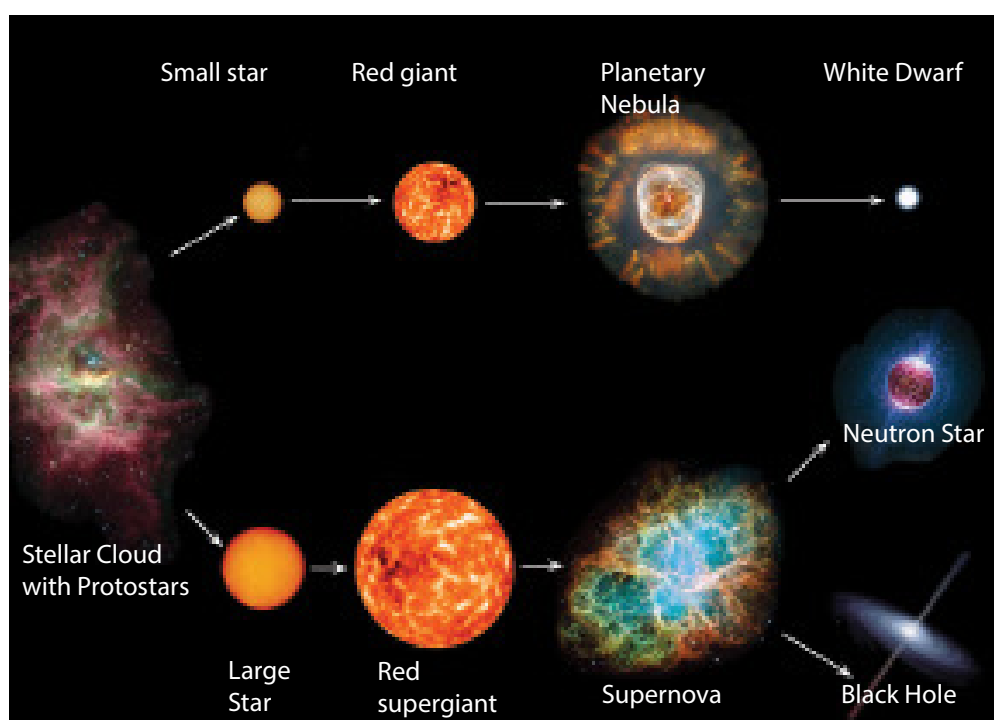


Fig. 13: Evoluția stelelor în funcție de masa lor.



Fig. 14a: Restul unei supernove.

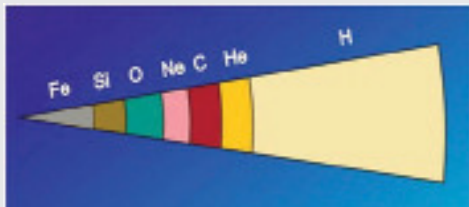


Fig. 14b: Structura stratificată a interiorului unei stele înainte de a exploda ca supernovă.

elementele mai grele în straturile aflate mai adânc, mai aproape de miezul stelei.

O stea având masa egală cu masa a 20 mase solare parcurge aceste stadii:

10 milioane de ani arderea hidrogenului în miez (secvența principală)

1 milion de ani arderea heliului

300 de ani arderea carbonului

200 de zile arderea oxigenului

2 zile pentru a consuma siliciul: explozia de tip supernova este iminentă.

Când steaua are în final un miez din fier, atunci nu mai sunt posibile alte reacții nucleare. În absența presiunii radiației care rezultă în urma fuziunii, presiune necesară pentru a echilibra gravitația, colapsul stelei este inevitabil, fără posibilitatea inițierii niciunei reacții nucleare noi. Pe durata colapsului, nucleeele atomice și electronii sunt împinși unii spre ceilalți pentru a forma neutroni, iar partea centrală a miezului devine o stea neutronică.

Stelele neutronice sunt atât de dense încât o linguriță ar cântări cât toate clădirile dintr-un oraș mare. Deoarece neutronii sunt presați între ei, contracția nu mai poate continua. Particulele care cad spre interior dinspre straturile exterioare ale stelei, având viteze de aproximativ un sfert din viteza luminii, lovesc miezul neutronic și sunt frânate brusc. Acest proces le determină să revină înapoi sub forma unei unde de șoc, rezultând unul dintre cele mai energetice procese cunoscute în univers (figura 14a): o singură stea care explodează poate depăși ca strălucire o întreagă galaxie formată din miliarde de stele. Pe durata acestui proces reorganizarea energiilor este atât de mare încât se creează unele elemente mai grele decât fierul (de ex. plumb, aur, uraniu etc.). Aceste elemente emerg violent pe durata exploziei și sunt expulzate împreună cu toată materia exterioară a stelei. În

centrul materialului expulzat rămâne o stea neutronică, rotindu-se cu o viteză mare sau, dacă steaua inițială a fost suficient de masivă, rezultă o gaură neagră.

Activitatea 5: Simularea exploziei unei supernove

Atunci când o stea explodează ca o supernovă, atomii ușori din straturile exterioare cad spre elementele mai grele din interior și, în final, lovesc miezul solid central. Un model simplificat al acestui proces poate fi reprezentat într-un mod simplu și spectaculos cu ajutorul unei mingi de baschet și al unei mingi de tenis, așezate deasupra și lăsate să cadă împreună pe o suprafață rigidă, cum ar fi podeaua (figura 15). În acest model, podeaua reprezintă miezul dens stelar, mingea de baschet reprezintă un atom greu care revine dinspre miez și împinge atomul ușor din spatele său, reprezentat de mingea de tenis.



Fig. 15: Lăsăm să cadă în același moment atât mingea de tenis cât și mingea de baschet.

Pentru a prezenta modelul, țineți mingea de baschet la nivelul ochilor cu mingea de tenis exact deasupra ei, cât mai vertical posibil. Lăsați cele două mingi să cadă deodată. Se pot face predicții: ambele mingi vor reveni la aceeași înălțime de la care au căzut sau vor reveni la o înălțime mai mică datorită frecării și energiei disipate în urma ciocnirii cu podeaua. Oricum, rezultatul este destul de surprinzător.

Când se lasă cele două mingi să cadă, acestea sosesc aproape simultan jos. Mingea mare se ciocnește elastic și revine cu aproximativ aceeași viteză pe care a avut-o când a atins podeaua. În acel moment ea se ciocnește cu mingea mai mică de tenis, minge care a căzut cu aceeași viteză ca și mingea de baschet. Mingea de tenis ciocnește mingea de baschet și sare înapoi cu o viteză mare și ajunge mult mai sus decât înălțimea de la care au fost lăsate să cadă mingile. Dacă se repetă acest experiment folosind un număr mare de mingi chiar și mai ușoare, vitezele lor de revenire pot fi fantastice.

În prezentarea modelului, mingea de tenis revine la o înălțime de două ori mai mare decât înălțimea inițială de la care au căzut cele două mingi. De fapt, fiți atenți să nu spargeți ceva dacă realizați acest experiment în interior. Acest experiment poate fi realizat în sala de clasă sau într-o altă încăpere închisă, dar este preferabil ca acesta să fie realizat în spațiu deschis. Poate fi realizat și de la o fereastră aflată la înălțime, dar atunci ne-ar fi mai greu să ne asigurăm că mingile cad vertical și de asemenea în acest caz mingile pot sări cu o forță mare în direcții imprevizibile. Unele magazine de jucării sau magazine ale muzeelor de știință vând o jucărie numită "Astro Blaster", jucărie a cărei funcționare se bazează pe același principiu. Jucăria constă din patru mici mingi din cauciuc de diferite dimensiuni legate printr-o axă. Mingile mai mici cad în aer, revenind după ce sistemul lovește solul. Această jucărie poate fi găsită la adresa: <http://explore4fun.com/astroblaster.html>

Ce este o stea neutronică?

O stea neutronică este ceea ce rămâne dintr-o stea masivă după ce a suferit procesul de colaps și a expulzat straturile sale exterioare printr-o explozie de supernovă. Stelele neutronice nu au de obicei mai mult de câteva zeci de kilometri. Așa cum sugerează și numele, ele constau din neutroni împachetați împreună până la o densitate incredibilă: doar un degetar din această materie ar cântări milioane de tone. O stea neutronică se formează dacă partea care rămâne dintr-o supernovă are masa între 1,44 și cca 8 mase solare.

Ce este un pulsar?

Un pulsar este o stea neutronică care se rotește cu o viteză extrem de mare (figura 16). Când o stea masivă suferă colapsul, straturile exterioare cad spre miez și încep să se rotească mai repede, datorită conservării momentului cinetic. Acest comportament este similar cu mișcarea unui patinator care se rotește tot mai repede ca urmare a apropierei brațelor de corp. Câmpul magnetic al steii generează o emisie puternică de radiație electromagnetică de sincrotron pe direcția axei sale. Deoarece axa câmpului magnetic nu coincide de obicei cu axa de rotație (așa cum este și cazul Pământului), steaua neutronică rotitoare acționează ca un gigantic far cosmic. Dacă această emisie se nimerește să fie direcționată spre Pământ, noi vom detecta un puls la intervale de timp regulate.

În anul 1967, Bell și Hewish au descoperit primul pulsar. Semnalul pulsator a venit dintr-un punct din spațiu în care nu fusese observat nici un corp care să pulseze în lumină vizibilă. Repetarea rapidă a pulsurilor a fost uimitoare – de câteva ori pe secundă, cu o precizie uimitoare. În primul moment s-a crezut că pulsurile ar putea fi semnale extraterestre inteligente. Apoi, în



Fig. 16: Un pulsar este o stea neutronică ce se rotește.

timp, au fost descoperite mai multe surse radio pulsatore, inclusiv centrul nebuloasei Crabului. Oamenii de știință știau că această nebuloasă a fost produsă de o supernovă și așa au putut explica în final originea pulsarilor. Pulsarul PSR B1937+21 este unul dintre cei mai rapizi pulsari cunoscuți și se rotește cu mai mult de 600 de ori într-o secundă. Acesta are diametrul de cca 5 km și, dacă s-ar roti cu cca 10% mai repede, atunci ar fi distrus de forța centrifugă. Hewish a câștigat premiul Nobel în anul 1974. Un alt pulsar foarte interesant este un sistem binar numit PSR 1913+16 din constelația Vulturului. Mișcarea orbitală mutuală a stelelor într-un câmp gravitațional foarte intens produce unele ușoare întârzieri în emisiile pe care le recepționăm. Russell Hulse și Joseph Taylor au studiat acest sistem și au confirmat multe predicții ale teoriei relativității, inclusiv emisia undelor gravitaționale. Cei doi americani au fost recompensați pentru cercetările lor cu premiul Nobel în anul 1993.

Activitatea 6. Simularea unui pulsar

Un pulsar este o stea neutronică care se rotește rapid. Acesta emite radiații, dar sursa nu este complet aliniată cu axa de rotație, astfel încât fasciculul de radiații emis se rotește ca un far. Dacă acest fascicul este orientat spre Pământ, observăm un puls de radiație de câteva ori pe secundă. Putem simula un pulsar cu ajutorul unei lanterne (figura 17a), legată cu o sfoară de tavan. Dacă răsucim sfoara și o lăsăm să se rotească liber (figura 17b), atunci vom vedea lumina intermitent de câte ori lanterna este îndreptată spre noi (figura 17c). Dacă se înclină lanterna astfel încât să nu fie orizontală, atunci nu vom mai putea vedea fasciculul de lumină din aceeași poziție. De aceea, putem să observăm emisiile unui pulsar numai dacă suntem aliniați cu axa sa de rotație.

Ce este o gaură neagră?

Dacă aruncăm o piatră în sus, gravitația îi încetinește mișcarea până când aceasta revine înapoi pe sol. Dacă

aruncăm piatra cu o viteză inițială mai mare, atunci piatra va urca mai sus înainte de a cădea jos.

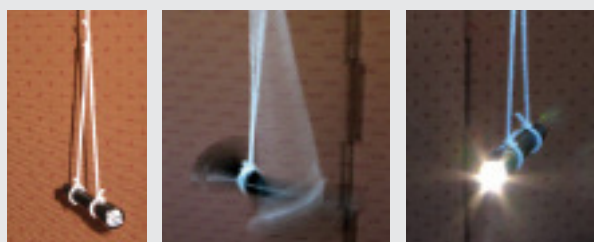


Fig. 17a: Vedere de ansamblu

Fig. 17b: Rotirea lanternei

Fig.17c: Pe măsură ce se rotește observăm fasciculul de lumină periodic

Dacă viteza inițială ar fi 11 km/s, viteza de evadare de pe Pământ, piatra nu ar mai cădea înapoi (presupunând că nu există frecarea cu aerul). Dacă Pământul ar fi suferit un proces de colaps păstrându-și masa, viteza de evadare la suprafața sa ar crește deoarece am fi mai aproape de centrul Pământului. Dacă procesul de colaps are loc până la o rază de 0,8 cm, viteza de evadare ar deveni mai mare decât viteza luminii. Deoarece nici un corp nu poate depăși viteza luminii, nimic nu ar putea să evadeze de pe suprafață, nici măcar lumina. Pământul ar deveni o gaură neagră de dimensiunea unei mici pietricele. Teoretic, este posibil ca găurile negre să aibă mase foarte mici. În realitate, există numai un singur mecanism cunoscut care să poată concentra masa până la densitățile necesare: colapsul gravitațional. Pentru a avea loc colapsul gravitațional, este necesară o masă foarte mare. Știm că stelele neutronice sunt rămășițele stelelor cu masa între 1,44 și 8 mase solare.

Dacă steaua inițială este și mai masivă, gravitația este atât de puternică încât interiorul său poate continua să colapseze până ce devine o gaură neagră. De aceea, acest tip de gaură neagră va avea masa de câteva ori mai mare decât cea solară. Densitatea găurii negre este impresionantă. O mică pietricică de materie cu această densitate ar cântări la fel de mult ca Pământul.

Deși nu le putem observa direct, cunoaștem în univers câțiva candidați de găuri negre, prin intermediul emisiei materialului care are o mișcare de revoluție cu viteză mare în jurul găurii negre. De exemplu, exact în centrul galaxiei noastre nu vedem nimic, dar putem detecta un inel de gaz, răscindându-se cu o viteză incredibilă în jurul centrului. Singura explicație posibilă este aceea că există o imensă masă invizibilă în centrul acestui inel, cântărind cât trei sau patru milioane de sori. Aceasta poate fi numai o gaură neagră cu o rază Schwarzschild ușor mai mare decât a Soarelui nostru. Aceste tipuri de găuri negre care sunt situate în centrul multor galaxii sunt numite găuri negre supermasive.



Fig. 18: Traiectoria mingii de tenis nu este o linie dreaptă ci o curbă.

Activitatea 7. Simularea curburii spațiului și a găurii negre

E ușor de simulat curbura bidimensională a spațiului creată de o gaură neagră, folosind o bucată din fibre elastice Lycra (figura 18) sau o bucată mare de pânză. Mai întâi întindeți bucata de țesătură elastică. Apoi rostogoliți o mică minge (sau pietricică) de-a lungul materialului textil. Aceasta reprezintă un foton de lumină, iar traiectoria sa simulează traseul rectiliniu al unei raze de lumină în absența curbării. Dacă așezăm o minge grea în centrul materialului și apoi rostogolim o minge mai mică, traseul său va urma o curbă. Această minge simulează traseul unei raze de lumină într-un spațiu curbat, curbura fiind cauzată de prezența unei mase ce creează un câmp gravitațional apreciabil. Gradul în care se curbează traiectoria razei de lumină depinde de cât de aproape trece fasciculul de lumină față de masă și de cât de masiv este corpul respectiv. Unghiul de deviere este direct proporțional cu masa și invers proporțional cu distanța. Dacă alegem să reducem tensiunea în materialul textil, acesta simulează o gravitație mai mare, care va face și mai dificilă ieșirea micii mingi din apropierea centrului. În această situație avem un model al unei găurii negre.

Bibliografie

- Broman, L., Estalella, R. Ros. R.M, Experimentos en Astronomía, Ed. Alhambra Longman, Madrid, 1993.
 Dale, A. O., Carrol, B.W, Modern Stellar Astrophysics, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.
 Pasachoff, J. M, Astronomy: From the Earth to the Universe, 4th Edition, Saunders College Publishing, E.U.A, 1995.
 Rybicki, G. B., Lightman, A.P, Radiative Processes in Astrophysics, John Wiley & Sons, E.U.A, 1979
 Zeilik, M. Astronomy -The Evolving Universe, 8th Ed, John Willey & Sons, USA 1997.

Astronomia dincolo de vizibil

Beatriz García, Ricardo Moreno

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnologică Națională (Mendoza, Argentina), Școala Retamar (Madrid, Spania)

Sumar

Corpurile cerești emit radiații cu lungimi de undă diferite, alcătuind spectrul electromagnetic, dar ochiul uman percepe doar o parte foarte mică: domeniul vizibil. Există metode de a demonstra existența acestor radiații, dincolo de spectrul vizibil, metode ce folosesc experimente simple. În acest material veți face observații dincolo de ceea ce e observabil cu ajutorul unui telescop

Obiective

Aceste activități sunt propuse pentru a putea explica fenomene ce nu pot fi observate cu ajutorul unui telescop pentru amatori, cum ar fi existența:

- Lentilelor gravitaționale
- Corpurilor cerești ce emit energii electromagnetice ce nu pot fi detectate de ochiul uman. Astronomii sunt interesați de aceste radiații pentru că doar radiația din spectrul vizibil nu e suficientă pentru a crea o imagine a Universului cât mai aproape de realitate.
- Emisiilor vizibile în domeniile undelor radio, infraroșii, ultraviolete, microunde și razelor X.

Spectrul electromagnetic

Undele electromagnetice acoperă o varietate largă de frecvențe și lungimi de undă și pot fi clasificate după sursa principală a producerii lor. Clasificarea nu are limite precise. Mulțimea tuturor undelor electromagnetice se numește spectru electromagnetic.

În figura 1 sunt prezentate diferite regiuni ale spectrului electromagnetic. De asemenea, sunt indicate distanțele între două maxime ale undelor (lungimea de undă λ) și câteva obiecte cu aceleași dimensiuni: atomi, insecte, munți ..., pentru a-ți putea face o idee despre mărimea undelor. În aceeași figură putem aprecia cum "vedem" Soarele și pe Saturn, dacă observăm aceste corpuri cerești în lungimi de undă pe care ochiul nu le poate detecta. Fotografiiile au fost realizate cu detectori speciali, sensibili la aceste lungimi de undă.

În Univers se găsește materie având temperaturi

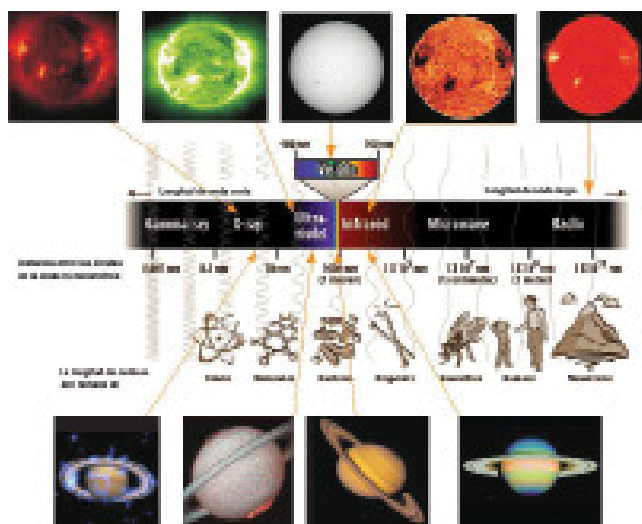


Fig. 1: Spectrul electromagnetic cu obiecte ale căror mărimi coincid cu mărimea undelor. Soarele (sus) și Saturn (jos), observate în diferite lungimi de undă (culorile sunt simulate)

mult mai scăzute decât stelele, de exemplu norii interstelari. Acești nori nu emit radiație vizibilă, dar pot fi detectați în lungimi mari de undă: infraroșu, microunde și unde radio. Observând Universul în toate regiunile spectrului electromagnetic, așa numitele "observații în mai multe lungimi de undă", obținem o imagine mult mai clară a structurii sale, temperaturii și energiei, putând crea modele mult mai realiste, legate de evoluția lor.

În figura 2 vedem imagini ale centrului galaxiei noastre, imagini luate de Spitzer Space Telescope (infraroșu), Hubble (în vizibil) și Chandra (raze X). În fiecare dintre cele trei imagini putem observa detalii și obiecte invizibile în alte lungimi de undă.

Activitatea 1: Construirea unui spectrometru

Lumina albă provenită de la un bec cu filament este compusă din toate culorile, în timp ce lumina de la o lampă cu gaz (tuburi fluorescente, becuri economice, lămpile stradale) are în compoziție doar anumite culori. Separând culorile din care este compusă lumina, obținem spectrul luminii, care, în cazul gazelor, este

alcătuit doar dintr-un set de linii colorate.

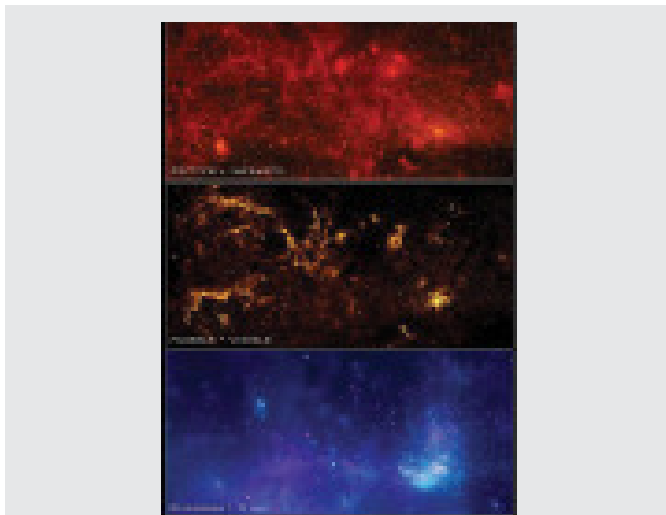


Fig. 2: Centrul Căii Lactee în diferite lungimi de undă

Fiecare tip de gaz are spectrul său, care reprezintă „codul de bare” al componentelor gazului. Privind printr-un spectrometru lumina provenită de la o galaxie îndepărtată, liniile caracteristice hidrogenului și ale altor gaze apar deplasate înspre roșu (deplasarea spre roșu), cu o deplasare mai mare cu cât galaxia este mai îndepărtată.

Cu ajutorul unei foarfecă tăiați o bucată dintr-un CD sau DVD (fig. 3a), care nu are etichetă. Dacă folosiți un DVD, separați stratul superior de partea de jos a DVD-ului (s-ar putea să aveți nevoie de o foarfecă) și astfel aveți pregătită rețeaua de difracție. În cazul unui CD există un singur strat de plastic, însă trebuie îndepărtat cu mare atenție stratul metalic (fig. 3b - ar fi de folos un cuțit ascuțit sau o lamă de ras).

Copiați macheta din figura 5, de preferat pe format A3, pentru a obține un spectrometru mai precis. Decupați după contur (inclusiv părțile albe și secțiunile curbe) și faceți un orificiu subțire în porțiunea gradată. Nu e nevoie să decupați întreaga porțiune gradată. Asamblați cutia cu partea neagră în interior, și lipiți marginile. În orificiul obținut cu secțiunea curbă inserați bucata de CD sau DVD.

Priviți prin bucata de DVD și îndreptați fanta făcută la cutie (nu scala gradată) către un bec sau un tub cu neon (figura 4). Ar trebui să observați liniile de emisie a gazelor din bec.

Dacă reușiți din prima încercare, mișcați fanta încet, înainte și înapoi, până când vor apărea liniile. Unitatea de măsură pentru scala dată este nanometrul (5 corespunde la 500 nm). Cu cât fanta e mai îngustă exactitatea

măsurării lungimilor de undă e mai mare. Cutia se poate construi și din carton, însă pentru scala de măsurat se decupează forma din carton și se lipește în loc scala făcută din hârtie pentru a putea vedea prin ea.

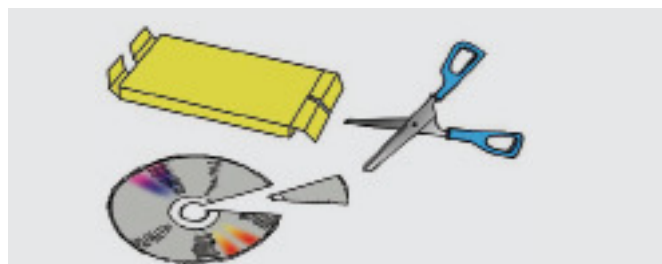


Fig. 3a: Materialele necesare pentru spectrometru: DVD, foarfecă și cutie din hârtie



Fig. 3b: Îndepărtarea stratului metalic de pe CD cu ajutorul unei benzi adezive

De asemenea, se pot observa luminile de la lămpile stradale (funcționează atât cu lumina portocalie-sodiu cât și cu lumina albă-mercur). Becurile clasice incandescente vor produce un spectru continuu.



Fig. 4: Privind spre un tub cu neon.

Elevii mai mici pot descompune lumina obținând un curcubeu. Se folosește un furtun cu o duză, având Soarele în spate (figura 6).

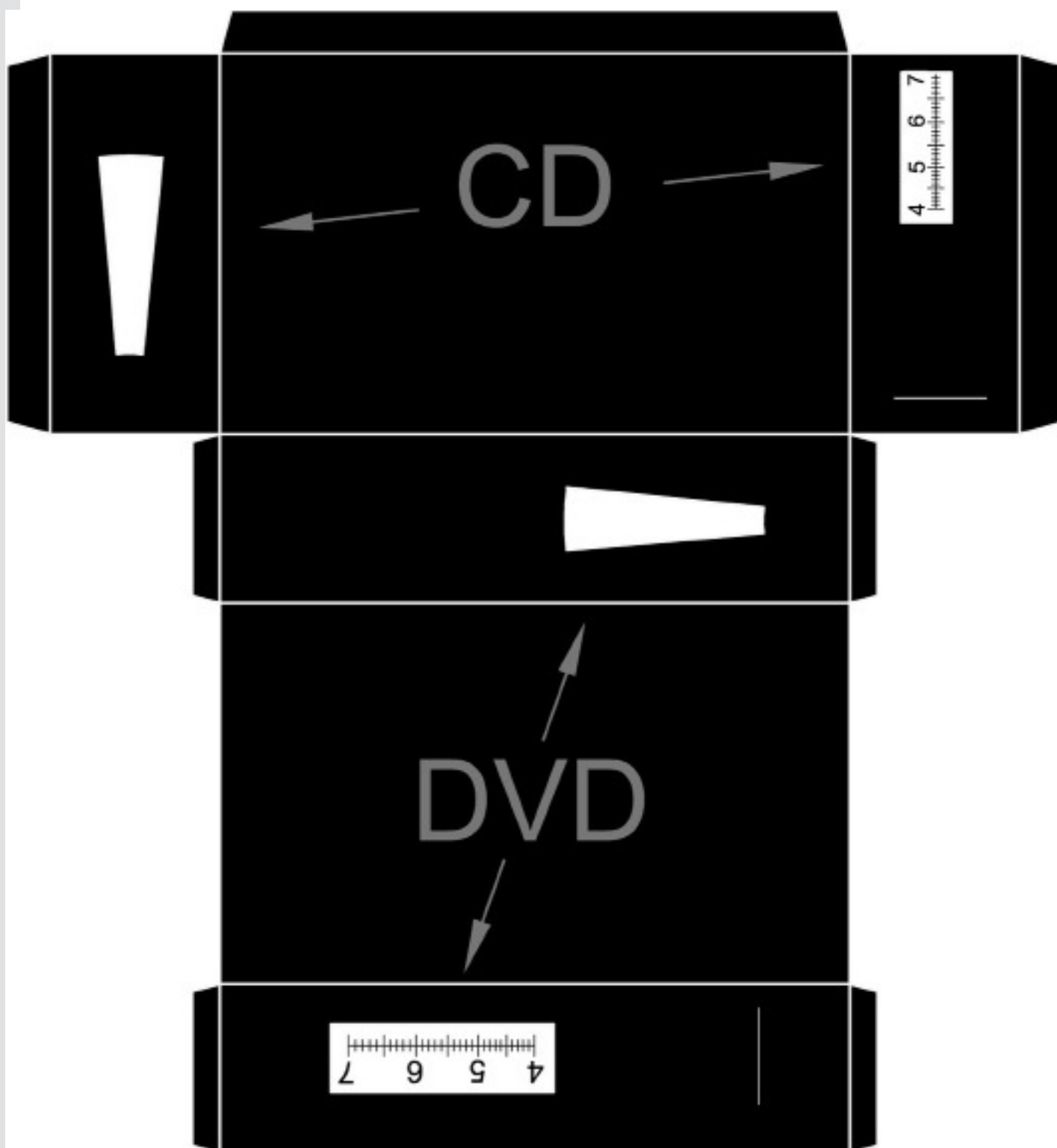


Fig. 5 Macheta pentru spectrometru.



Fig. 6: Descompunerea luminii folosind un furtun

Ce este radiația infraroșie?

Regiunea undelor infraroșii din spectru electromagnetic a fost descoperită de William Herschel (descoperitorul planetei Uranus) în anul 1800, folosind o prismă și un termometru. Herschel a obținut spectrul luminii, trecând lumina Soarelui printr-o prismă optică și a folosit patru termometre: unul în zona albastră a spectrului, unul în zona roșie a spectrului (ambele culori fiind detectate cu ochiul liber), iar al treilea l-a plasat dincolo de zona roșie. Cu al patrulea termometru a măsurat temperatura ambiantă. A observat că temperatura înregistrată de cel de-al treilea termometru (aflat „mai jos” de zona roșie - de aici și denumirea de „infra” roșu) era mai mare decât temperatura ambiantă.

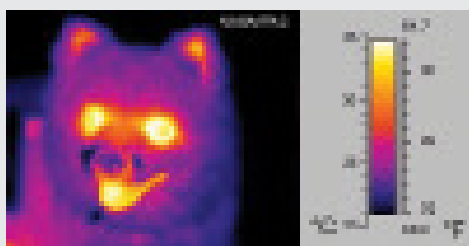


Fig. 7. Fotografie în infraroșu. Se pot identifica diferitele zone în funcție de temperatură.

Herschel a făcut și alte experimente cu „radiații calde” (după cum le-a numit) ce există dincolo de zona roșie a spectrului, demonstrând că sunt reflectate, refractate, absorbite și transmise exact ca lumina vizibilă. Aceste „radiații calde” au fost denumite, mai târziu, radiații infraroșii. Aceste descoperiri au fost urmate de altele, folosite în numeroase aplicații tehnologice.

Corpurile aflate la temperaturi joase nu emit în spectrul vizibil, ci în lungimi de undă mai lungi, astfel încât energia degajată este mai mică. De exemplu,

corpul nostru și animalele emit radiație infraroșie, nepercepută cu ochiul liber, însă percepută sub formă de căldură eliberată de corp. Toate obiectele la diverse temperaturi emit în infraroșu (figura 7). Instrumente specifice de vedere pe timp de noapte ne permit să înregistrăm această radiație.

Activitatea 2: Experimentul lui Herschel în infraroșu

Scopul acestei activități este reproducerea experimentului din anul 1800, în urma căruia Sir William Herschel a descoperit o altă formă de radiație în afara luminii vizibile. Materialele necesare sunt: o prismă de sticlă, patru termometre, marker permanent negru, foarfece, bandă adezivă, o cutie de carton și o foaie de hârtie albă. Acoperim bulbul termometrelor cu bandă adezivă și o colorăm în negru pentru a absorbi mai bine căldura

Experimentul ar trebui să fie efectuat în aer liber, într-o zi foarte însorită. Dacă este vânt, experimentul poate fi efectuat în interior, cu condiția să existe o fereastră prin care lumina soarelui intră direct. Punem o foaie albă de hârtie în partea de jos a cutiei de carton. Plasăm prisma cu grijă pe marginea de sus a cutiei, astfel încât să fie în partea din care bate Soarele. În interiorul cutiei trebuie să fie totul sau aproape totul în umbră (figurile 8 și 9 a, b, c). Rotim prisma cu atenție, până când pe fundul cutiei se formează un spectru cât mai larg.

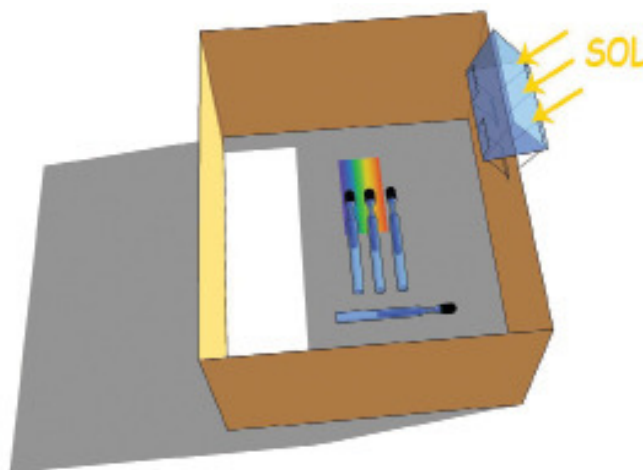


Fig. 8. Dispozitivul lui Herschel: cele 3 termometre din spectru măsoară temperaturi mai înalte decât temperatura ambiantă.

După fixarea prisme cu bandă adezivă în poziția corespunzătoare, plasăm cele trei termometre astfel încât fiecare bulb al termometrelor să fie pe câte o culoare din spectru: unul în regiunea albastră, unul în regiunea galbenă, iar cel de-al treilea dincolo de regiunea de roșu vizibil. Termometrele trebuie să fie fixate astfel încât să fie vizibilă scala lor, pentru a nu le mișca atunci când culegem datele (figurile 8 și 9 a, b, c).

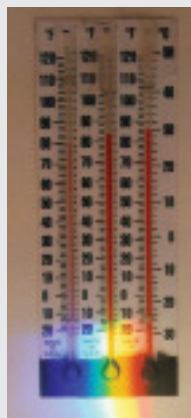
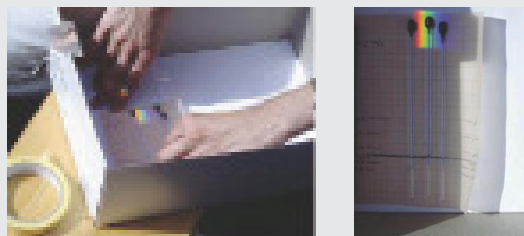


Fig.9a: Cele trei termometre se fixează cu bulbul , în partea umbră a cutiei. Fig.9b: Termometrele în albastru, galben și imediat după roșu. Fig.9c: Un exemplu de măsurătoare după 3 minute (www.spitzer.caltech.edu)

Valoarea temperaturii se va stabili după aproximativ cinci minute. În fiecare minut vom înregistra valorile temperaturii, într-un tabel asemănător cu cel de mai jos, pentru fiecare dintre cele trei zone precum și pentru mediul ambiant. Trebuie să nu mișcăm termometrele în timpul măsurătorilor.

Termometrul aflat în zona galbenă (figura 9c) ar trebui să indice o temperatură mai mare decât cel aflat în zona albastră, iar cel aflat lângă regiunea roșie ar trebui să indice o temperatură și mai mare, concluzia logică fiind că termometrul aflat lângă regiunea roșie absoarbe un tip de radiație solară, invizibilă pentru ochi.

Activitatea 3: Detectarea undelor IR cu un dispozitiv tehnologic modern

Instrumentele moderne de detectare a radiației în infraroșu emisă de corpul omenesc sunt extrem de costisitoare, nefiind la îndemâna oricui. Telecomanda televizorului sau cuptorului cu microunde este un exemplu de instrument care folosește radiația infraroșie, aflat la îndemâna oricui. Există oare o metodă prin care să vedem această radiație invizibilă și astfel ea să devină ușor observabilă?

Pentru aceasta trebuie să găsim un detector sensibil la IR. Un astfel de dispozitiv este camera CCD (Charged Coupled Device). Acest dispozitiv, folosit cu predilecție în astronomie pentru studiul semnalelor luminoase, poate captura și colecta fotoni de la o sursă într-o perioadă determinată de timp, astfel încât putem "vedea" obiectul ce emite sau reflectă lumină. Dispozitivul CCD este mai sensibil în regiunea roșie a spectrului și în unele cazuri acoperă chiar și infraroșul apropiat. Orice aparat de fotografiat modern sau cameră video este echipat cu un dispozitiv CCD pentru înregistrarea imaginilor. Acesta permite fotografierea în condiții de iluminare slabă. Cel mai la îndemână aparat ce are încorporată o cameră de luat vederi și implicit un dispozitiv CCD este telefonul mobil.



Fig. 10a Telecomanda activată privită cu ochiul liber. Fig. 10b Telecomanda activată, privită cu ajutorul camerei foto a mobilului

	Termometrul 1, în zona albastră	Termometrul 2, în zona galbenă	Termometrul 3, după zona roșie	Termometrul 4, la umbră
După 1 minut				
După 2 minute				
După 3 minute				
După 4 minute				
După 5 minute				

Tabelul 1: Tabelul de date

Privind telecomanda televizorului cu ochiul liber, nu observăm nici o diferență între telecomanda activată sau oprită figura 10a. Făcând însă o poză, folosind telefonul mobil, telecomenzii activate (figura 10b) ... surpriză! Instrumentul folosit pentru a transmite semnale la televizor sau alt echipament electronic folosește lumină infraroșie, lumină ce este invizibilă cu ochiul liber, dar care devine vizibilă cu ajutorul camerei de luat vederi.

Activitatea 4. Detectarea radiației infraroșii emise de un bec

Majoritatea corpurilor cerești emit mai multe lungimi de undă. Dacă între corpul ceresc și observator se interpune praf sau gaz, unele lungimi de undă vor fi blocate, dar celelalte nu. De exemplu, praful din centrul galaxiei noastre ne împiedică să vedem lumina puternică provenită de la milioanele de stele concentrate acolo. Dacă praful este transparent la radiația în infraroșu, aceasta poate fi detectată de pe Pământ. La fel se întâmplă cu orice nor de praf întunecat din Galaxia noastră (figurile 11a și 11b).

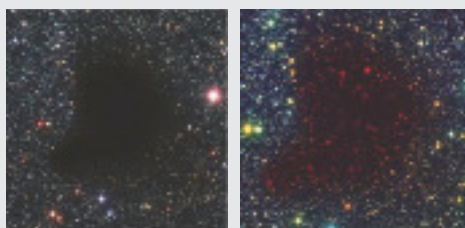


Fig. 11a: Nor de praf în domeniul vizibil
Fig. 11b: Prin suprapunerea imaginii în infraroșu

La bec cu filament majoritatea energiei emise este în domeniul vizibil, dar emite și în infraroșu. Radiația infraroșie poate trece prin materiale care sunt opace pentru spectrul vizibil.



Fig. 12a și 12b: Pâslă blochează lumina vizibilă, dar nu blochează radiația în infraroșu

Putem folosi o lanternă și un material de pâslă ce blochează lumina vizibilă (figura 12a). Într-o cameră întunecată aprindeți lanterna, acoperiți-o cu pâslă și dovediți că nu vedeți lumina. Dacă e necesar puteți folosi două sau trei straturi de pâslă; atenție însă, dacă

folosiți prea multe straturi, radiația în infraroșu poate fi de asemenea blocată. Cu ajutorul camerei foto de la telefonul mobil, în întuneric, puteți distinge becul lanternei (figura 12b).

Activitatea 5: Constelații cu ajutorul radiației infraroșii

Din magazinele de componente electronice sau online, puteți achiziționa LED-uri în infraroșu, similare cu cele folosite pentru telecomanda televizorului. Sunt foarte ieftine (aproximativ 0,2 euro). Funcționează cu baterii de 3 sau 9V, sau cu o sursă de alimentare de curent continuu. Puteți să conectați diodele în paralel și apoi în serie cu o rezistență cu valoarea cuprinsă între 100 Ω (pentru sursa de 3 V) și 500 Ω (pentru sursa de 9 V).

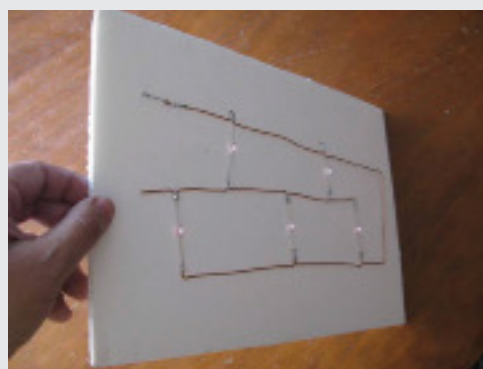


Fig. 13a și 13b: Cassiopeea realizată cu LED-uri infraroșii, conectate în paralel.

Puteți realiza un circuit folosind aceste LED-uri și să formați constelații cunoscute: Cassiopeea (fig.13a și 13b), Orion, Crucea Sudului sau Ursa Mare. Porniți camera foto și puteți observa aceste constelații în infraroșu.

Activitatea 6: Constelații cu telecomenzi

O activitate mult mai ușoară decât precedenta este formarea unei constelații folosind câteva telecomenzi cu infraroșu. Dacă le fotografiați într-o cameră întunecată,

puteți vedea constelația formată (figura 14a și 14b).

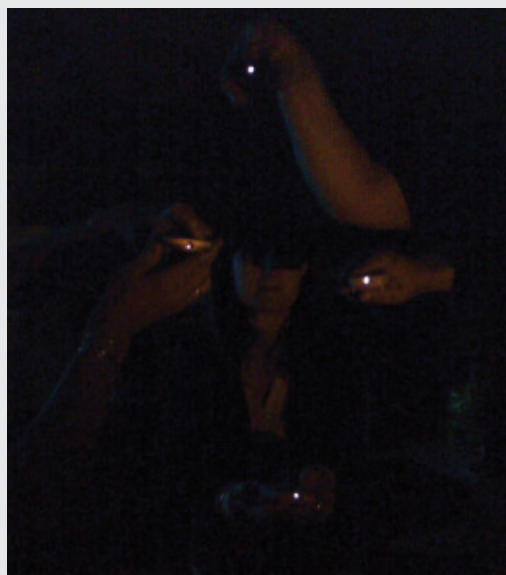


Fig. 14a și 14b: Constelația Crucea Sudului folosind telecomenzi

Energie electromagnetică în domeniul radio

Radiația electromagnetică cu lungimi de undă de la metri la kilometri se numește radiație radio (unde radio). Undele radio sunt folosite în scopuri comerciale (telecomunicații) însă ajung la noi și din spațiu, dezvăluind structuri pe care alte lungimi de undă nu reușesc să o facă (figurile 15a, 15b și 15c).

În Univers sunt foarte multe surse radio: centrul Galaxiei noastre, stelele neutronice aflate într-o mișcare de rotație rapidă sau chiar planetele, exemplu Jupiter.

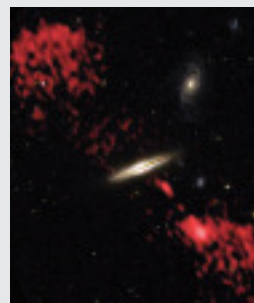


Fig. 15a: Jeturile emise de această galaxie sunt detectabile doar în domeniul radio (aici colorate artificial în roșu)

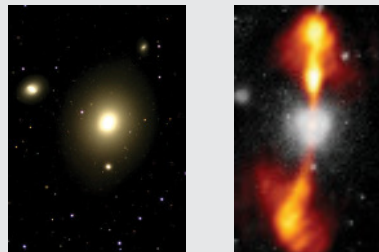


Fig. 15b: Galaxia NGC 4261 fotografiată în vizibil
Fig. 15c: Aceeași galaxie cu imaginea radio suprapusă (câteva jeturi de materie sunt colorate artificial în roșu)

Activitatea 7: Producerea undelor radio

Când deschideți și închideți un circuit electric se produc unde radio, similare cu cele emise comercial. Există posibilitatea de a le captura cu ajutorul unui aparat de radio în banda AM și a le transforma în sunet, care reprezintă un alt tip de unde. Puterea acestor emisii radio scade atunci când receptorul se îndepărtează de sursă. Undele radio pot trece prin orice fel de obstacole, chiar și prin ziduri.

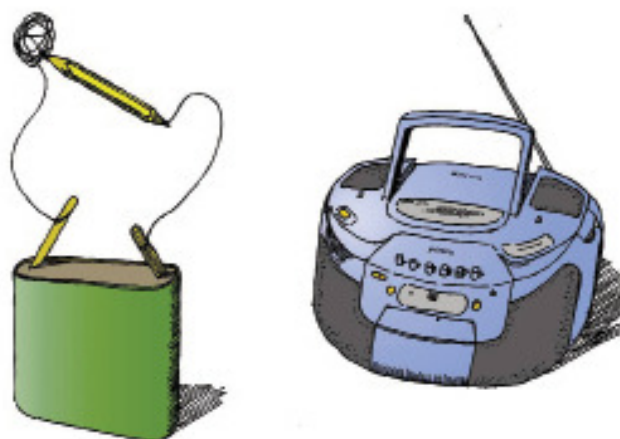


Fig. 16: Producerea de unde radio

Pentru a face acest lucru, vom lua două bucăți de cablu de aproximativ 20 cm fiecare. Eliminăm izolația la cele două capete ale unuia dintre cabluri. Pentru celălalt ca-

blu eliminăm izolația de la un capăt, lăsăm aproximativ 10 cm cu izolație, restul izolației îndepărtându-se. La capătul fără izolație, sârma se va strânge sub forma unei bile. Conectați celălalt capăt la o baterie de 9V.

Folosim un creion ascuțit la ambele capete. Grafitul creionului va fi sursa de unde radio. La un vârf al creionului conectăm a doua bucată de cablu, fixându-o cu bandă izolatoare. Celălalt capăt al cablului este legat la a doua bornă a bateriei (figura. 16).

Pornim radioul în banda AM (nu FM). Cu vârful liber al creionului lovim bila de sârmă. Schimbăm frecvența radioului până când auzim la radio cum lovim bila de sârmă. Putem încerca să mutăm mai departe radioul, să punem diferite obstacole între emițător și receptor. Putem muta radioul în altă cameră pentru a verifica dacă recepționăm undele radio sau nu. Trebuie să luăm în considerare faptul că energia electromagnetică este transformată întâi în energie electrică și apoi în sunete.

Activitatea 8: Ascultând vocea lui Jupiter

Jupiter emite unde radio cu diferite frecvențe. Originea lor este încă neclară, însă se pare că sunt legate de câmpul magnetic al lui Jupiter precum și de interacțiunea planetei cu satelitul Io. Transmisia este în banda de frecvență 18-22 MHz, cu un maxim la 21 MHz. Aceste valori sunt la îndemâna multor receptoare de acasă. Trebuie să aveți un radio pe unde scurte (SW), pentru a recepționa undele radio la aceste valori.

Emisia lui Jupiter nu este una continuă. Jupiter prezintă trei jeturi (emisii) mai mult sau mai puțin egale spațial, care se rotesc odată cu planeta la fiecare 10 ore. Aceste jeturi (emisii) nu sunt întotdeauna active, de aceea e nevoie de foarte multă răbdare pentru a le capta.

Pentru a le recepționa ai nevoie de un radio în unde scurte, poziționat pe frecvența 18 - 22 MHz, într-un loc unde nu este zgomot de fond mare. Sunetele captate se aseamănă cu sunetul valurilor oceanului pe plajă



Fig. 17: Antena pentru Jupiter.

(sau cu rafalele de vânt) și ating o frecvență de aproximativ trei într-o secundă. Intensitatea semnalului crește până la un maxim ce poate dura între câteva secunde până la câteva minute, apoi descrește treptat. Experiența spune că dacă ascuți timp de 20 de minute, ai o șansă din șase de a auzi undele radio de la Jupiter. Bineînțeles, Jupiter trebuie să fie deasupra orizontului, însă nu contează dacă sunt sau nu nori.

Și o antenă radio este potrivită pentru captarea undelor emise de Jupiter, însă aceasta va capta undele radio venite din toate direcțiile. Pentru a îmbunătăți recepția și a ne asigura că semnalul captat provine de la Jupiter, ne trebuie o antenă unidirecțională. Aceasta se poate realiza astfel: luăm 165 cm sârmă de cupru și facem cu ea un cerc, fără a-l închide. Sprijinim sârma pe patru bețe cu lungime de 30 cm fiecare. Acoperim, pe o parte, cu folie de aluminiu o bucată de lemn de formă pătrată (60x60 cm²). Fixăm cele patru bețe pe care se sprijină sârma de cupru pe bucata de lemn. Luăm un cablu coaxial și conectăm partea interioară la sârma de cupru, iar partea exterioară la folia de aluminiu. Conectăm celălalt capăt al cablului la radio, pentru a putea asculta undele radio receptate. În cele din urmă, îndreptăm noua antenă spre Jupiter.

Lumina ultravioletă

Fotonii radiației ultraviolete au mult mai multă energie decât cei ai luminii vizibile. De aceea, radiația ultravioletă în cantitate mare (la expunere îndelungată) poate distruge legăturile chimice ale moleculelor organice, fiind fatală pentru viață. Datorită acestor proprietăți, radiația ultravioletă este folosită pentru sterilizarea ustensilelor chirurgicale.

Soarele emite radiație ultravioletă, însă, din fericire, atmosfera terestră (în special stratul de ozon) filtrează majoritatea radiației ultraviolete, ajungând la noi doar cantitatea necesară pentru menținerea vieții. Datorită radiației ultraviolete, pielea se bronzează la expunerea la Soare, însă o expunere prea îndelungată poate cauza cancer de piele. Pentru fotosinteză plantele folosesc, de asemenea, radiație ultravioletă. Însă, dacă stratul de ozon se subțiază, Pământul va primi o cantitate mult prea mare de radiație ultravioletă, iar incidența bolilor de cancer va crește semnificativ.

Activitatea 9: Lumina neagră (UV)

Există becuri cu lumină neagră ce emit în ultraviolete și care sunt adesea utilizate pentru creșterea plantelor în sere sau locuri puțin luminate. Sticla acestor becuri este, de cele mai multe ori, aproape neagră, emițând o cantitate

tate foarte mică de lumină vizibilă albastru închis. Unele cămăși albe sintetice (mai ales cămășile spălate cu agenți de albire) reflectă radiația UV într-un violet luminos. De aceea, acest tip de iluminare este folosit în discotecă (cluburi), unde țesăturile albe devin strălucitoare.



Fig. 18: O bancnotă de 50 € iluminată cu lumină UV



Fig. 19: Detector de bancnote false, cu radiație UV.

Această proprietate e folosită și pentru fabricarea hârtiei majorității bancnotelor: se pot observa linii fluorescente în prezența radiației UV (figura 18). Avem dovada că bancnota nu este doar o fotocopie. Detectoarele de bancnote falsificate funcționează cu radiația ultravioletă (figura 19). Multe carduri oficiale au, de asemenea, însemne vizibile doar în UV.

Razele X

Radiația X este transmisă și mai multă energie decât cea UV. Este folosită, în medicină, în radiologie (figura 20a).



Fig. 20a: Razele X folosite în medicină

În Univers, radiația X este specifică evenimentelor și obiectelor foarte energetice: găuri negre, quasari, supernove etc. Misiunea telescopului spațial Chandra este de a detecta și monitoriza astfel de obiecte/evenimente (figura 20b).



Fig. 20b: Centrul galaxiei M81, fotografat cu raze X, sugerează prezența unei găuri negre supermasive

Radiația Gamma

La capătul spectrului, cu lungimi de undă mai scurte decât radiația X, se găsește radiația gamma. Este radiația cu energia cea mai mare și este produsă când materia (un electron) întâlnește antimateria (un pozitron). În Univers sunt diferite surse (figura 21a) și destul de frecvent se detectează erupții violente, ce emit o cantitate mare de radiație gamma pentru câteva minute sau câteva ore.

Având o lungime de undă atât de mică, este destul de greu de identificat cu exactitate sursa de radiație. Nucleele galactice active, pulsarii și supernovele au fost identificate până acum ca fiind emițătoare de radiații gamma. Pe Pământ, radiația gamma este emisă de majoritatea elementelor radioactive. La fel ca radiația X, radiația gamma este folosită în medicină în imagistică (figura 21b) și în terapii pentru boli precum cancerul.

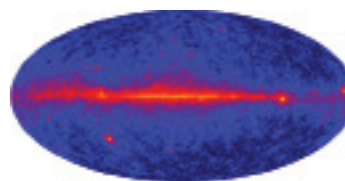


Fig. 21a: Harta Universului realizată cu "Fermi Gamma-ray Space Telescope". Linia centrală este Galaxia noastră.

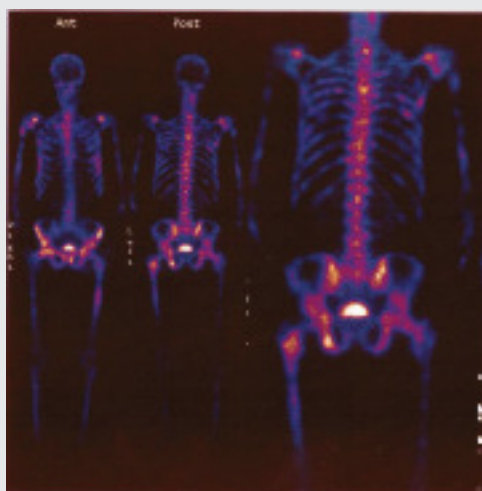


Fig. 21b: Scanarea oaselor cu radiație gama

Bibliografie

Mignone, C., Barnes, R., More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Eiro Forum, 2014

Moreno, R, Experimentos para todas las edades, Ed. Rialp. Madrid, 2008.

Surse Internet

Spitzer Telescope, Educacion, California Intitute of Technology.

<http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>

http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM_Astronomy

<https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/introduction-to-light>

Chandra X-ray Observatory <http://chandra.harvard.edu/about/>

The Fermi Gamma-ray Space Telescope <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

Expansiunea Universului

Ricardo Moreno, Susana Deustua, Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, Școala Retamar (Madrid, Spania), Institutul de Știință al Telescopului Spațial (Baltimore, SUA), Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania)

Sumar

Acest seminar propune câteva activități experimentale simple, în care vom utiliza conceptele cheie despre expansiunea Universului. În prima activitate construim un spectroscop să observăm spectrele gazelor. În a doua, al treia și a patra experimentăm calitativ utilizând întinderea unui elastic, a unui balon și a unei suprafețe cu puncte. În a cincea activitate lucrăm cantitativ cu extinderea unei suprafețe și chiar calculăm constanta Hubble pentru acest caz. În a șasea activitate detectăm microundele din radiația de fond.

Obiective

- Să înțelegem expansiunea Universului;
- Să înțelegem că nu există un centru al Universului;
- Să înțelegem Legea lui Hubble;
- Să înțelegem conceptul de materie întunecată și să simulăm lentilele gravitaționale

Originea Universului

Teoria, cea mai acceptată azi, despre originea universului este cunoscută ca Big Bang, o explozie uriașă care a determinat expansiunea spațiului. Nu galaxiile se mișcă prin spațiu, ci spațiul dintre galaxii se extinde, antrenându-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 îndepărtare a unei galaxii este proporțională cu distanța până la noi. Constanta care le leagă se numește constanta Hubble. Legea lui Hubble este o relație de direct proporționalitate între viteza de îndepărtare a galaxiei și distanța până la ea.

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 microundelor fondului cosmic.

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 anumite lun-

gimi de undă. Dacă facem același lucru cu lumina venită de la o galaxie îndepărtată, o să vedem aceste linii ușor deplasate (fig 1). Aceasta se numește deplasarea spre roșu deoarece pentru majoritatea galaxiilor liniile se mută spre această culoare.

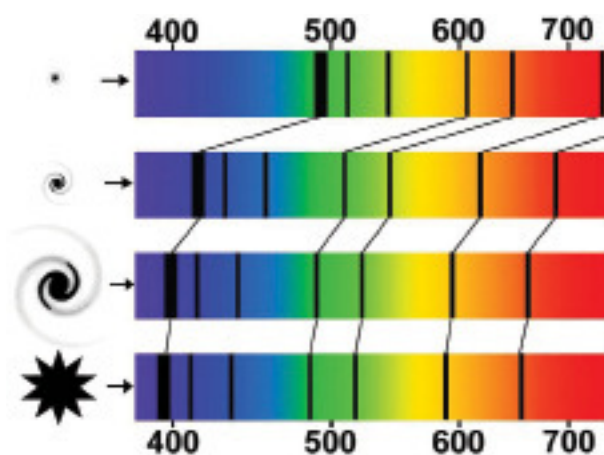


Fig. 1: Cu cât galaxia este mai îndepărtată, cu atât spectrul se deplasează mai tare spre roșu, ceea ce ne indică faptul că galaxia se îndepărtează de noi mai repede.

Deplasarea spre roșu se datorează îndepărtării galaxiei de noi, similar cu o locomotivă al cărei fluier își schimbă tonalitatea când se apropie sau se îndepărtează de noi. Cu cât deplasarea spre roșu e mai mare cu atât viteza de îndepărtare e mai mare.

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

Dar dacă privim roiul Virgo, care se află la o distanță medie de 50 milioane ani-lumină, vedem că se îndepărtează cu viteze între 1000 și 2000 km/s. La superroiul Coma Berenice, aflat 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 puțin strălucitoare, viteza de rîndepărtare 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, cu excepția celor 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 învîrtind 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 învîrtim deasupra capului (fig. 2b), ne dăm seama când se apropie de privitor: l scade și sunetul este mai înalt; când se îndepărtează de noi l crește și sunetul este cu frecvență mai joasă. Cel din poziția centrului de rotație nu sesizează aceste variații.

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 durată deplasării fotonului, cu atât

acesta suferă o alungire/întindere mai mare. Poți realiza un model al acestei întinderi cu un cablu semi-rigid folosit în instalațiile electrice ale caselor. Taie un metru de cablu și îndoaie-l cu mâna formând sinusoide, reprezentând diferite unde.(fig 3a)

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 se deplasează mai repede spre roșu (l mai mare).

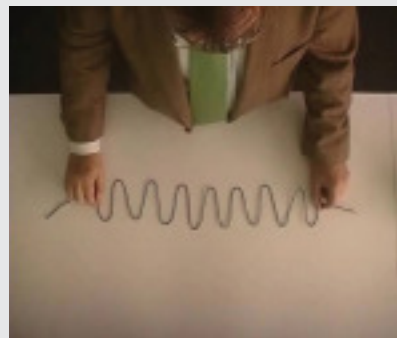


Fig. 3a: Faceți unde cu un cablu rigid

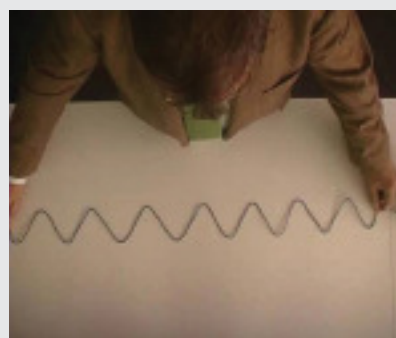


Fig. 3b: Aceleași unde cu o lungime de undă mai mare



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

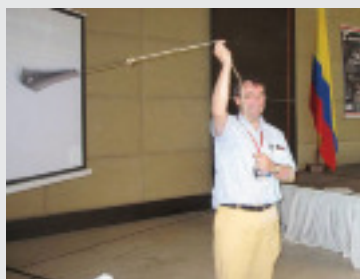


Fig. 2b: Învîrtim deasupra capului. Spectatorii vor observa diferența de ton a soneriei.

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 se întâmplă și într-o explozie de artificii l toate particulele luminoase vor fi împrăștiate prin explozia prafului de pușcă.

Cu toate acestea, în realitate nu este o galaxie ce se mișcă prin spațiu, ci spațiul dintre acestea, extinzându-se, antrenează după el aceste galaxii.



Fig. 4: Edwin Hubble Fig. 5: George Lemaître și Albert Einstein

Dacă spațiul se extinde în toate direcțiile inițial inițial, 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 (figura 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 elastic cu puncte desenate pe suprafața lui, reprezentând galaxiile (fig 6). Pe măsură ce îl umflăm, spațiul elastic dintre puncte va crește. La fel, cu trecerea timpului, spațiul se mărește și substanța conținută se separă.

Așadar, viteza de îndepărtare 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 valoarea constantei H, cunoscând viteza și distanța câtorva galaxii.

Viteza cu care o galaxie se depărtează este ușor de determinat cu ajutorul deplasării spre roșu, dar să

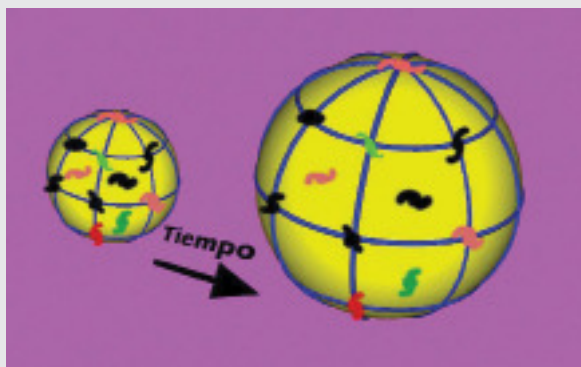


Fig. 6: Cu trecerea timpului, spațiul se extinde, și materia conținută se îndepărtează

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 aproximativ 70, indicând vârsta Universului ca fiind 13,7 miliarde 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 expansiunii Universului. Și, deși toate galaxiile se îndepărtează de noi, aceasta nu înseamnă că noi suntem centrul Universului.

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

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

Întindeți banda elastică (figura 7b), astfel încât galaxia noastră să rămână la 0 cm și următoarea galaxie (A) să fie în dreptul semnelui de 2 cm. Distanța de la aceasta la noi s-a dublat. Ce s-a întâmplat cu distanțele dintre celelalte galaxii B, C, D și a noastră? S-au dublat și ele?

Să presupunem că timpul necesar întinderii elasticului



Fig. 7a: Bandă elastică neîntinsă



Fig. 7b: Bandă elastică întinsă

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, doar spațiul dintre galaxii se mărește. Galaxiile înseși nu se măresc, așa cum nici casele noastre nu se măresc. Ceea ce este strâns legat prin intermediul gravitației 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 (de polistiren, monede) pe suprafață cu bandă adezivă. 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.

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:

$$H = v/d$$

Diagrama din figura 9 modelează 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 acum 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) pentru galaxia A, respectiv A', iar distanța d este obținută măsurând lungimea în cm cu rigla începând din centrul galaxiei noastre. Coloana de date Dd 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 (galaxiile nu se mișcă prin spațiu).
- Valoarea H este cât se poate de constantă raportată la galaxii.



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



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

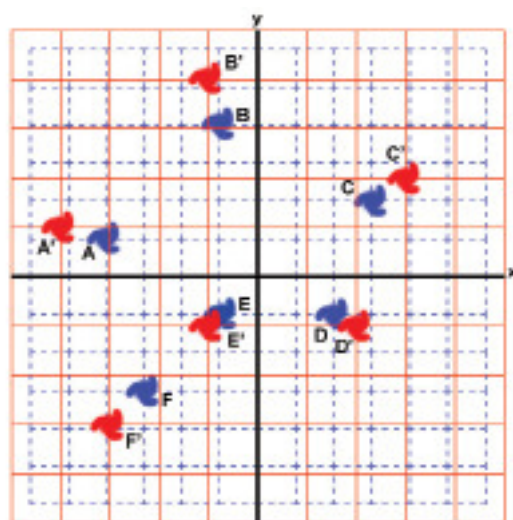


Fig 9: Caroiajul liniilor continue (roșii) este același cu al celor întrerupte (albastre) dar expandat. Galaxiile sunt atașate de caroiaj

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)				

Tabelul 1: Cu coordonatele scrise ca exemplu

Galaxy	Coordinates x, y	d =distance to origin	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 datele din figura 9.

Big Bang

În prezent, teoria originii Universului ca o uriașă explozie este larg acceptată în comunitatea științifică, deși mai există unii care o 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 "funcționarea" a ceea ce deja există. Știința poate încerca să explice cum merg lucrurile de la Big Bang înapoi, dar nu și de ce există materia. Acest

fel de întrebare este pentru filosofi, care studiază metafizica (dincolo de fizică).

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 a spațiului, nu este științifică, este metafizică. În nimic, nimic nu poate exista și fluctua.

Alte teorii vorbesc despre 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-ul a fost explozia spațiului la începutul timpului și, din acel moment, materia a devenit operațională cu legi scrise în ea și care au condus Universul la starea lui actuală.

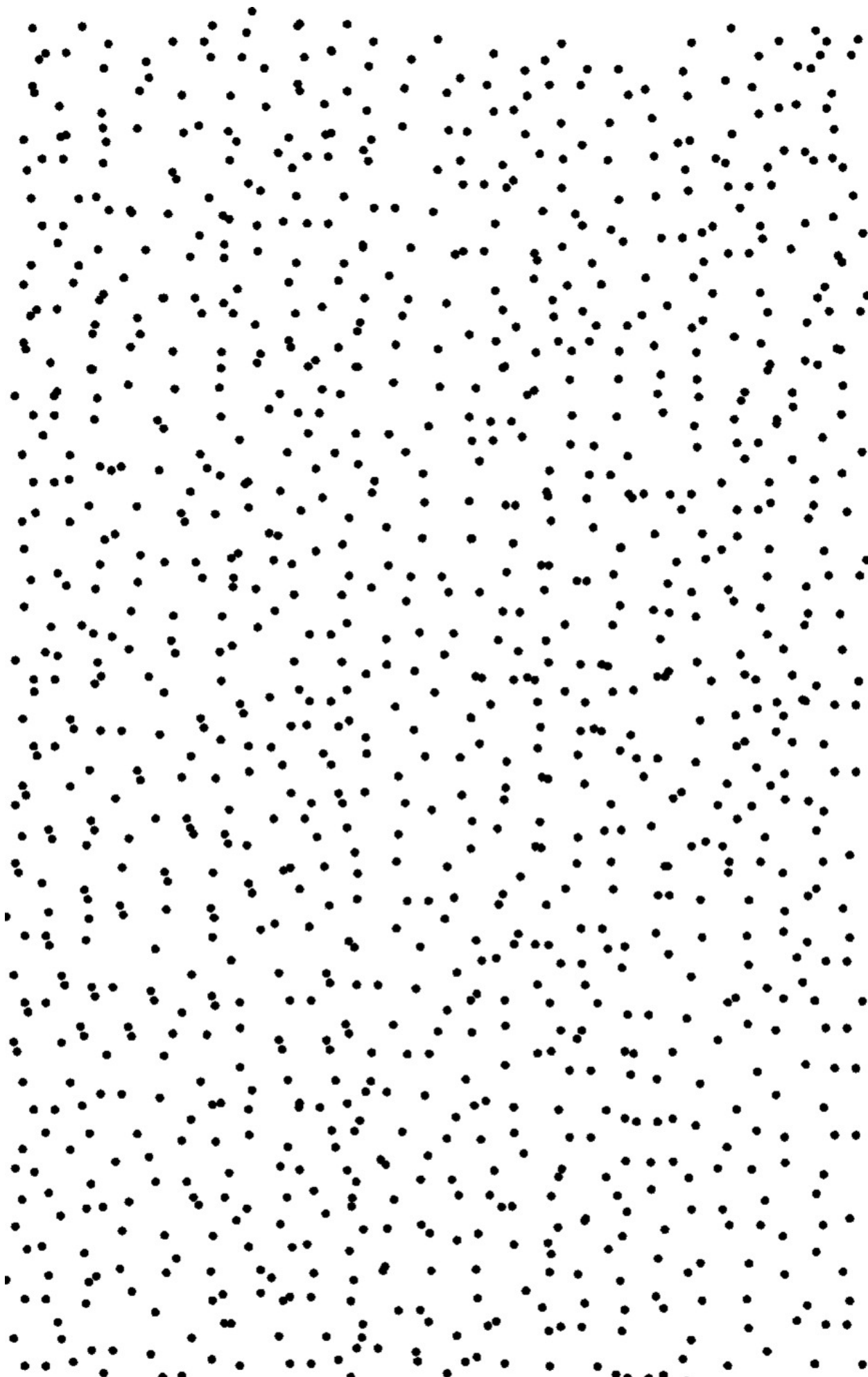


Fig. 10: Copiază această pagină pe o folie transparentă și apoi alta mărește-o la 105%.

Activitatea 6: Nu există un centru al expansiunii

În desenul din figura 10 sunt mu Așa se întâmplă Așa se întâmplă Ite 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 (figura 11a), obținem o imagine ce reprezintă o expansiune a spațiului în timp: potriviți imaginile într-un punct și puteți observa deplasările punctelor din jur foarte bine. Deplasările sunt tot mai mari cu cât depărtarea față de punctul de suprapunere ales crește. Pare că punctele ce se mișcă mai repede sunt mai depărtate de punctul de suprapunere?

Dar dacă potrivirea se face într-un alt punct (figura 11b), e la fel. Așa se întâmplă și în spațiu: din galaxia noastră vedem că toate se îndepărtează de noi și se mișcă cu atât 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. Realmente nu există un centru.

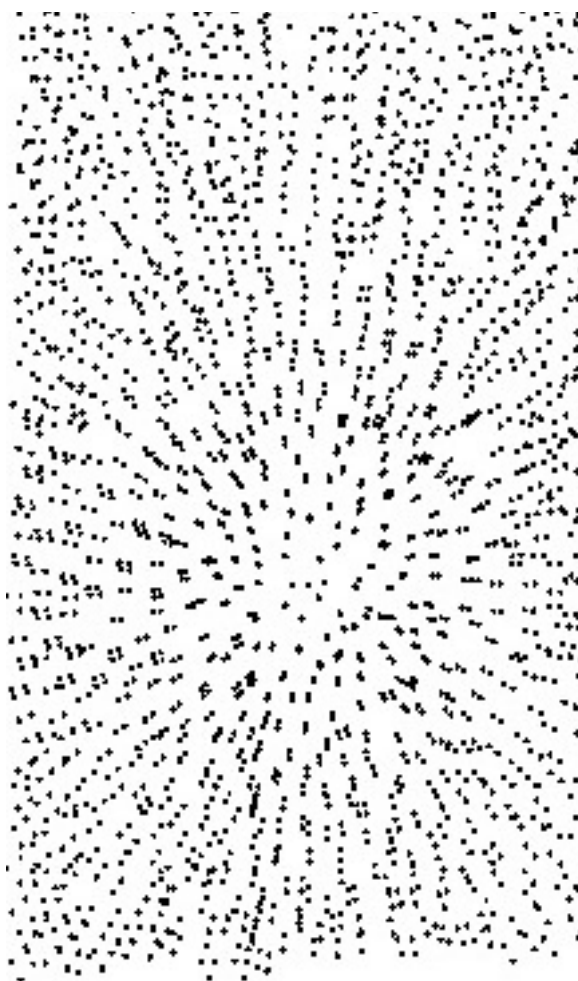


Fig. 11a: Suprapunerea celor două folii, una mărită la 105%

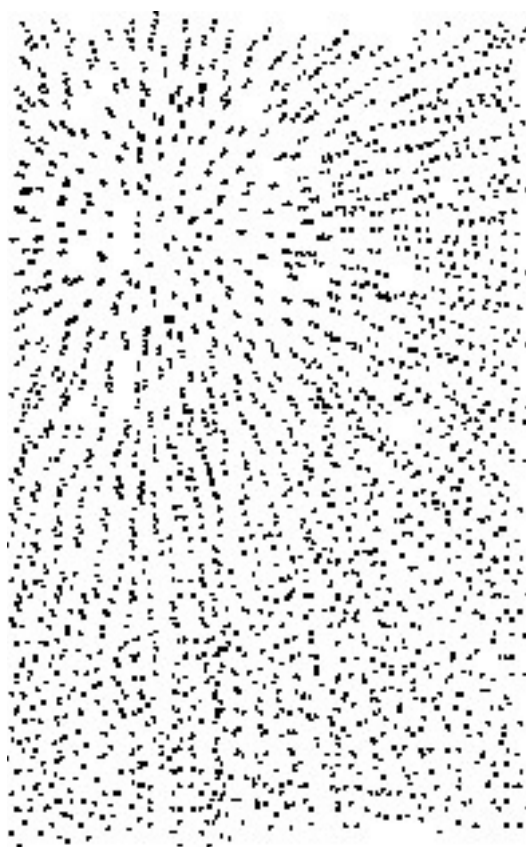


Fig. 11b: Pentru un observator aflat în alt punct, se pare că totul se îndepărtează de el: nu există un centru al Universului.

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 (vezi figura 12).

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.

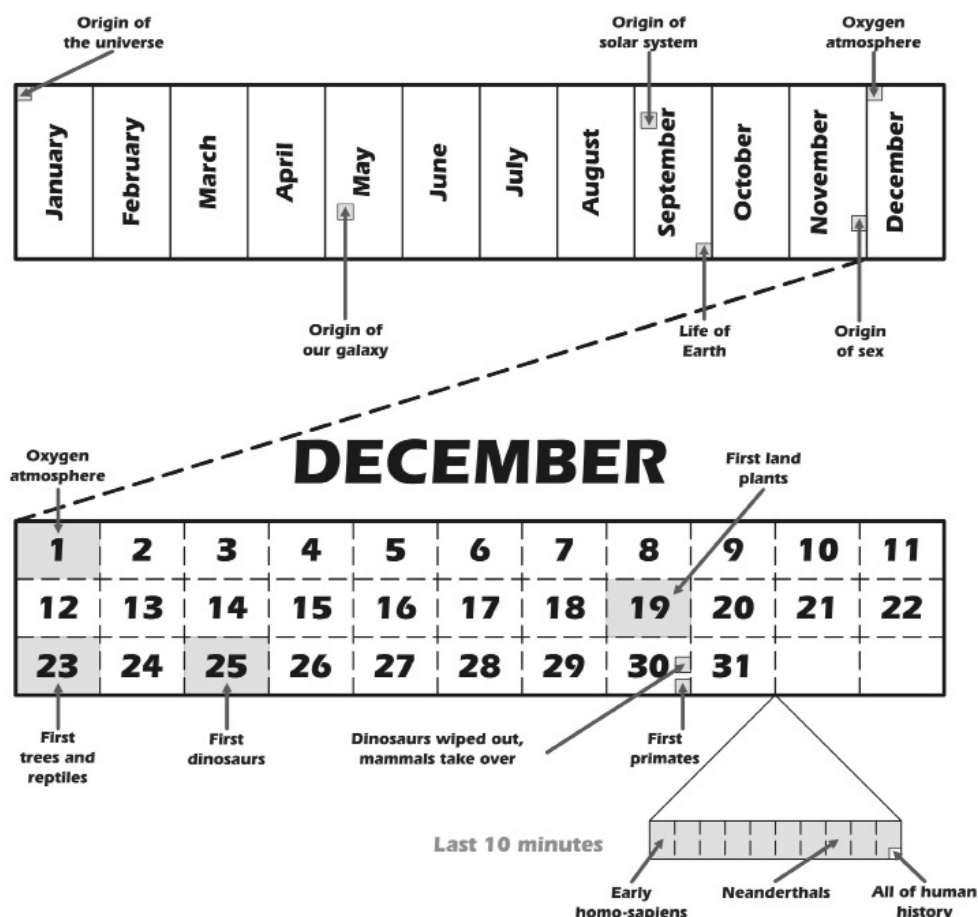


Fig. 12: Istoria Universului comprimată la durata unui an.

Calendar cosmic

Istoria Universului comprimată la durata unui an. Toată istoria civilizației umane se derulează în ultimele 21 secunde ale anului

Radiația cosmică de fond

La început, la temperaturi foarte înalte, cele patru forțe pe care le cunoaștem acum erau unificate. Forța de atracție gravitațională, 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 extinde, 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 (figura 13) și au devenit mai mult fotoni reci, care transmit o energie corespunzătoare temperaturii de 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 din radiotelescop când au detectat o emisie cu lungimea de undă de 7,35 cm, care era întotdeauna prezentă, indiferent încotro era îndreptată antena. Au controlat toată instalația și se gândeau chiar și la posibilitatea ca niște păsări să-și fi făcut cuib în antenă, dar nu au putut elimina nicicum acest zgo-



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

mot de fond. Ei au tras concluzia că acesta vine de la un transmițător - ceva care avea o temperatură de 2,7 K - temperatura obișnuită a universului - și nu dintr-un loc anume. Universul însuși era cel care emitea această radiație de fond, o relicvă a Big Bang-ului. Oricine poate să detecteze acest semnal cu un televizor analogic, recordat la un canal liber: cam 1 din 10 puncte pe care le vezi pe ecran provin de la radiația de fond.

Aceste emisii sunt în domeniul microundelor, similar celor din cuptoarele din casă, dar având energie foarte mică: poate încălzi mâncarea doar cu 2,7 K.

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 (figura 14a), de ordinul unei milionimi dintr-un grad. Simultan, aceste fluctuații au fost detectate și de pe Pământ, în experimentul din 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 (figura 14b).

Deși sunt mici, aceste variații sunt amprenta bulgărelui

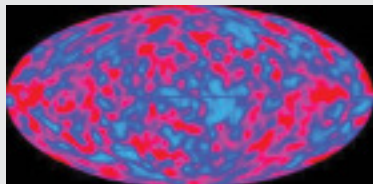


Fig. 14a: Imagine obținută de COBE .

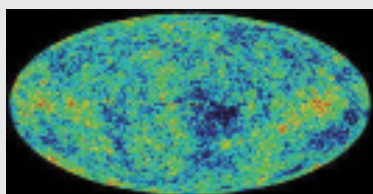


Fig. 14b: Imagine obținută de WMAP .

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.

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 (figura 14a) și mai apoi WMAP (figura 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.

Putem detecta această radiație de fond cu aju-

torul unui televizor (figura 15). Pentru a face asta, fixați televizorul analogic pe un canal liber. Imaginea este compusă dintr-o multitudine de puncte care se schimbă încontinuu. Aproximativ 10% - adică 1 din 10 - provin de la radiația de fond a universului.



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

De ce este întuneric noaptea?

Acesta a fost titlul unui interesant articol pe care germanul Heinrich Olbers l-a publicat în 1823. Anterior, 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. În "Eureka", un eseu științific publicat în februarie 1848, Poe dădea următoare explicație pentru "golul" întunecat dintre stelele observabile: "Putem înțelege golurile pe care le găsim telescoapele noastre în nenumărate direcții dacă presupunem că distanța de la invizibil până la noi este atât de imensă încât nici o rază de lumină nu a

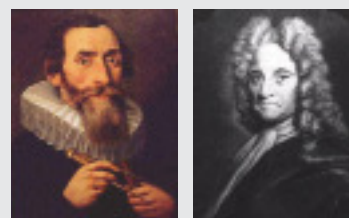


Fig. 16a: Johannes Kepler. Fig. 16b: Edmund Halley.

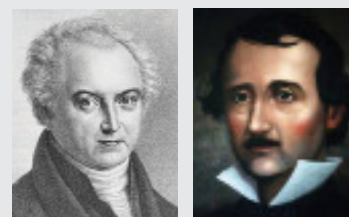


Fig. 16c: Heinrich Olbers. Fig. 16d: Edgar Allan Poe.

reușit încă să ne ajungă.” Oricum, această problemă a rămas în istorie ca Paradoxul lui Olbers.

Răspunsul pare banal și totuși nu este chiar așa de simplu după ce citești articolul lui Olbers. Argumentele lui Olbers conduc la paradoxul că cerul nopții ar trebui să fie la fel de luminos ca 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 sferic de stele pe cer, la o distanță R_1 . Numărul de stele conținute va fi N_1 . Să presupunem un al doi-

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 stelele 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 !

Lentile gravitaționale

Lumina parcurge întotdeauna cel mai scurt drum între două puncte. Dacă este prezentă o masă mare, atunci spațiul se curbează, și cea mai scurtă traiectorie a luminii este o curbă (figura 18a și 18b).

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.

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 unde de lumină, numită deflector (figura 19a).

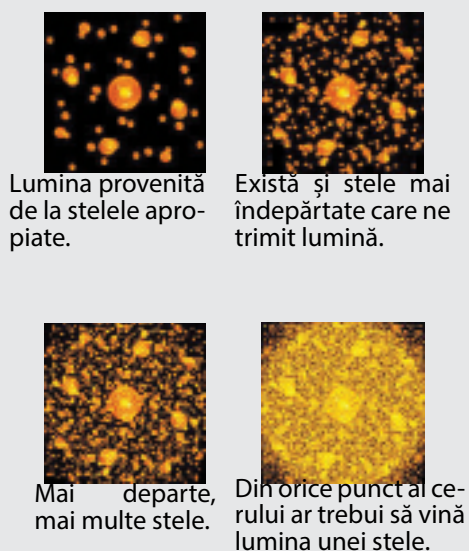


Fig. 17: Din wikimedia commons

Un strat sferic de stele la o distanță mai mare, R^2 . Fiecare stea ne iluminează mai puțin pentru că este mai departe, dar stratul este mai mare și este alcătuit din mai multe stele, conform principiului Nr. 2 și aceasta contracarează lumina mai slabă (intensitatea luminii descrește proporțional cu $1/R^2$, dar 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

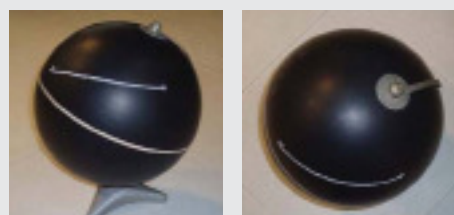


Fig. 18a și 18b: Dacă spațiul e curbat, cea mai scurtă distanță între două puncte este o linie curbă



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, devierea luminii este produsă de o masă mare aflată în calea unei de lumină, numită deflector (figura 19a).

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 distorsionată, sub forma unui arc luminos (figura 20a, 20b și 20c).

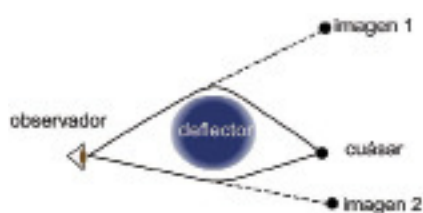


Fig. 19a: Observatorul vede două imagini deoarece lumina pare a veni de la două surse diferite.



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

Activitatea 8: Simularea lentilei gravitaționale cu ajutorul unui pahar de vin

Lentila gravitațională poate fi simulată 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 "distorsiune a spațiului", care poate fi observată.

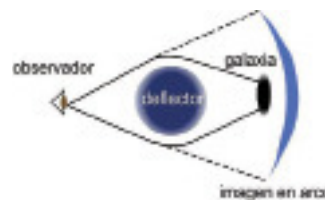


Fig. 20a: În cazul în care sursa este un obiect extins (galaxie), imaginile obținute sunt un set de arcuri strălucitoare sau un inel strălucitor în jurul obiectului (Inelul lui Einstein)

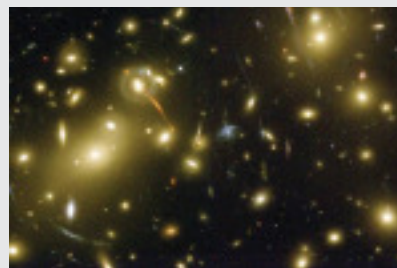


Fig. 20b: Arcuri luminoase gigant formate de roiul de galaxii Abell 2218

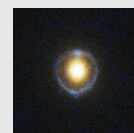


Fig. 20c: Inelul strălucitor al unei galaxii aflate în spatele unui deflector

Așează paharul plin pe o hârtie milimetrică și privește spre hârtie prin vin alb (sau suc de mere). Vedem distorsiunea liniilor caroiajului (figura 21a și 21b). Pentru a simula Inelul lui Einstein sau imaginile multiple folosim o lanternă poziționată în spatele unui pahar plin cu vin roșu (sau suc). Urmărește fasciculul de lumină provenit de la lanternă prin pahar, din diferite poziții: de la stânga la dreapta și de sus în jos. Putem observa cum lumina, trecând prin paharul plin, ce acționează ca o lentilă ce modifică traiectoria razei de lumină, produce imagini multiple sau diverse forme arcuite (figura 22a, 22b și 22c).

Lentilele gravitaționale pot fi simulate și cu ajutorul piciorului spart al unui pahar de vin. Așezăm acesta pe o hârtie milimetrică și privind prin piciorul paharului putem observa distorsiunile apărute în caroiajul hârtiei (figura 23).



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

Mișcând piciorul paharului încet, de la dreapta la stânga, deasupra unui obiect (ex. un cerc roșu cu un diametru de aproximativ 3 cm), putem reproduce formele

observate prin lentilele gravitaționale (figura 24a, 24b și 24c).

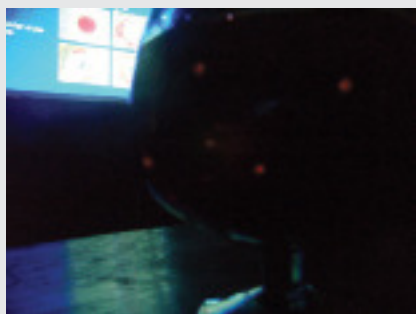
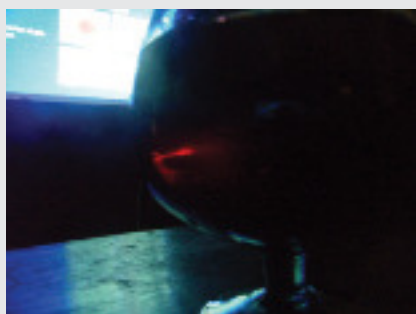


Fig. 22a: Raza de lumină este distorsionată în formă de arc, între două puncte roșii strălucitoare, Fig. 22b: ca un dreptunghi amorf, Fig. 22c: Crucea lui Einstein

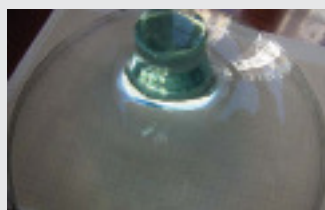


Fig. 23: deformarea caroiului hârtiei.

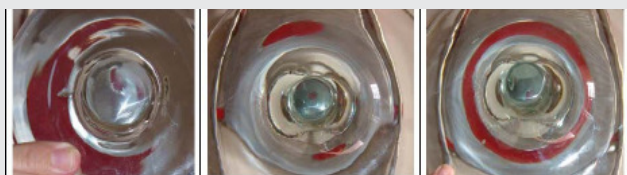


Fig. 24a, 24b și 24c: Piciorul unui pahar de vin poate simula diferite forme obținute prin lentilele gravitaționale: arcuri de cerc, puncte, inelele lui Einstein

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.

Ros, R.M, Experiments and exercises involving gravitational lenses, Proceedings 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School, Barcelona 2007.

Ros, R.M, Gravitational lenses in the classroom, Physics Education, 43, 5, 506, 514, Oxford, 2008.

Resurse pe Internet

<http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>

<http://www.dsi.uni-stuttgart.de>

<http://georgeslemaitre.blogspot.com/>

<http://www-ra.phys.utas.edu.au/~jlovell/simlens>

<http://leo.astronomy.cz/grlens/grl0.html>

Planete și exoplanete

Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania).

Sumar

Acest workshop oferă o serie de activități pentru a compara multe proprietăți observate (cum ar fi dimensiunea, distanțele, vitezele orbitale și vitezele de evadare) ale planetelor din sistemul nostru solar. Fiecare secțiune oferă contexte pentru diferitele tabele cu date planetare și oferă demonstrații sau calcule pentru a pune față în față proprietățile planetelor, dând elevilor un sens concret a ceea ce înseamnă aceste date. Ca activitate finală, sunt explorate și comparate unele proprietăți ale sistemelor planetare extrasolare, proprietățile Sistemul solar. În prezent, sunt utilizate câteva metode pentru a găsi exoplanete, mai mult sau mai puțin indirect. A fost posibil să fie detectate aproape 100 de sisteme planetare multiple. Un exemplu faimos este ilustrat în figura 1.

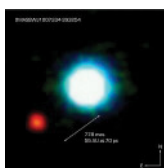


Fig. 1: Prima planetă observată direct: 2M1207b în 16 martie 2003. Aceasta are o masă de 3,3 ori masa planetei Jupiter și are orbita la 41 ua față de pitica brună. În anul 2006, a fost descoperit un disc de praf în jurul steii mamă. Acesta a oferit dovada faptului că formarea planetei se poate derula într-un mod similar cu cel observat în cazul stelelor mult mai masive de tip solar. (Fot. ESO).

Sumar

- Înțelegerea semnificației valorilor numerice din tabelele cu date referitoare la sistemul solar.
- Deducerea razei orbitale și a perioadei orbitale a sateliților Galileeni ai lui Jupiter, folosind un set de observații fotografice.
- Calcularea masei lui Jupiter cu ajutorul legii a treia a lui Kepler.
- Înțelegerea caracteristicilor principale ale sistemelor planetare extrasolare prin compararea proprietăților lor cu sistemul orbital format din planeta Jupiter și sateliții săi Galileeni.

Sistemul solar și tabelele cu date

Prin crearea de modele la scară ale sistemului solar elevii vor compara diferiți parametri planetari. Pentru a realiza aceste activități vom utiliza datele din Tabelul 1.

Planete	Diametrul (km)	Distanța față de Soare (km)
Soare	1.392.000	
Mercur	4.878	57,9 10^6
Venus	12.180	108,3 10^6
Pământ	12.756	149,7 10^6
Marte	6.760	228,1 10^6
Jupiter	142.800	778,7 10^6
Saturn	120.000	1.430,1 10^6

Tabelul1: Datele corespunzătoare planetelor din sistemul solar

În toate cazurile, scopul principal al modelului este de a face datele inteligibile. Milioane de kilometri nu sunt distanțe care să fie ușor de conceptualizat. Însă, dacă acestea sunt transformate în distanțe și dimensiuni la scară, elevii reușesc să le înțeleagă mai ușor.

Modelul Sistemului solar Modelele diametrelor

Folosim o bucată mare (sau mai multe bucăți dacă este necesar) de hârtie galbenă tăiată în formă de cerc care reprezintă Soarele. Dimensiunea Soarelui este reprezentată la scară ca fiind 139 cm în diametru, astfel încât 1 cm corespunde la 10 000 km. Taie diferitele planete din hârtie groasă sau din carton și reprezintă caracteristicile lor morfologice. Prin așezarea planetelor în apropierea discului solar elevii pot estima diferitele dimensiuni la care pot fi reprezentate planetele. Pentru o scară de 1 cm la 10 000 km, folosiți următoarele valori pentru diametrele planetelor: Soare 139 cm, Mercur 0,5 cm, Venus 1,2 cm, Pământ 1,3 cm, Marte 0,7 cm, Jupiter 14,3 cm, Saturn 12,0 cm, Uranus 5,0 cm și Neptun 4,9 cm. Sugestie: Este, de asemenea, posibil să se completeze modelul anterior prin pictarea planetelor pe un tricou păstrând scara pentru planete și pictând doar o fracțiune din Soare.

Modelul distanțelor

Prin compararea distanțelor dintre planete și Soare putem produce un alt model care este ușor de realizat pe holul oricărei școli. Mai întâi, tăiați pur și simplu benzi din carton de 10 cm lățime, lipiți-le una după alta pen-



Fig. 2a și 2b: Exemple de tricouri care prezintă comparații între diametrele Soarelui și cele ale planetelor

tru a obține o bandă lungă de câțiva metri (figura 3). Apoi așezați planetele decupate pe banda obținută la distanțele lor corecte față de Soare și unele față de altele. Reamintiți elevilor faptul că distanțele dintre planete nu sunt la scară cu diametrele. La scara sugerată, planetele ar fi de o mie de ori mai mici, deoarece pentru distanțe folosim scara 1 cm la 10 000 000 km, în timp ce în prima activitate de mai sus am folosit pentru diametre 1 cm la 10 000 km. Dacă folosim o scară de 1 cm la 10 milioane de km, distanțele la scară sunt: Mercur 6 cm, Venus 11 cm, Pământ 15 cm, Marte 23 cm, Jupiter 78 cm, Saturn 143 cm, Uranus 288 cm și Neptun 450 cm.

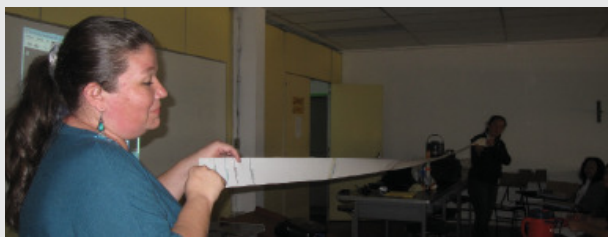


Fig. 3: Modelul distanțelor.

Sugestie: O variantă amuzantă a acestui model constă în utilizarea unei role de hârtie igienică pentru reprezentarea la scară a secvențelor. De exemplu, se poate lua ca scară o porțiune de hârtie pentru fiecare 20 milioane de km.

Modelarea diametrelor și distanțelor

Următoarea provocare este de a combina cele două activități de mai sus și a obține un model care reprezintă atât corpurile cerești la scară, precum și distanțele corespunzătoare dintre ele. De fapt, nu este chiar atât de ușor de definit o scară care să ne permită să reprezentăm planetele cu ajutorul unor obiecte, care să nu fie prea mici și totodată să se păstreze distanțele care

nu fie foarte mari, caz în care dimensiunile și distanțele nu sunt asimilate, iar modelul nu este foarte util elevilor. Ca sugestie, ar putea fi o bună idee să se apeleze la curtea școlii pentru a realiza modelul și să se folosească mingi pentru a ilustra planetele, mingi de diferite diametre existente și în dotarea școlii.

Ca un exemplu, oferim o posibilă soluție. La un capăt al curții școlii așezați o minge de baschet cu diametrul de 25 cm, care reprezintă Soarele. Mercur va fi vârful unui ac (diametru de 1 mm) așezat la 10 m față de Soare. Vârful unui ac de gămlie (diametrul de 2 mm) va reprezenta planeta Venus la 19 m față de Soare, în timp ce Pământul va fi capul unui ac similar cu anteriorul (2 mm) la 27 m față de Soare. Marte este un ac ceva mai mic (1 mm), situat la 41 m față de Soare. De obicei, curtea obișnuită a unei școli se termină la această distanță, dacă nu și mai repede. Va trebui să așezăm celelalte planete în alte locuri în afara curții școlii dar în locuri apropiate școlii, astfel încât elevii să fie familiarizați cu distanțele. O minge de ping-pong (diametrul de 2,5 cm) corespunde lui Jupiter la 140 m față de Soare. O altă minge de ping-pong (diametrul de 2 cm) va fi Saturn la 250 m față de Soare, o bilă de sticlă (diametrul de 1 cm) va reprezenta pe Uranus la 500 m față de Soare, iar o ultimă bilă (1 cm), situată la 800 m, va reprezenta pe Neptun. Trebuie subliniat că acest sistem planetar nu se potrivește în orice școală. Dacă reducem distanțele, atunci planetele vor fi mai mici decât vârful unui ac și ar fi aproape imposibil de vizualizat. Ca sarcină finală, puteți calcula ce scară a fost folosită pentru a dezvolta acest model.



Fig. 4: Soarele și planetele în modelul diametrelor și distanțelor.

Modelarea pe harta unui oraș

Ideea este simplă - folosirea hărții unui oraș pentru a stabili pozițiile diferitelor planete presupunând că Soarele este situat la intrarea în școală. Ca exemplu, prezentăm harta Barcelonei împreună cu diferite obiecte



Fig. 5: Harta Centrului Barcelonei împreună cu unele planete.

te (de exemplu fructe și legume) care vor fi așezate pe diferite străzi; astfel se poate imagina mai ușor dimensiunea planetelor. Ca exercițiu, sugerăm să se realizeze această activitate în propriul oraș. Folosind harta prezentată aici, Mercur ar fi o boabă de caviar, Venus și Pământul ar fi două boabe de fasole, Marte o boabă de piper, Jupiter o portocală, Saturn o mandarină și Uranus și Neptun o pereche de nuci. Pentru Soare, deoarece nu există o legumă suficient de mare, elevii își pot imagina o sferă având dimensiunea unei mașini de spălat. Profesorul poate realiza aceeași activitate folosind propriul oraș.

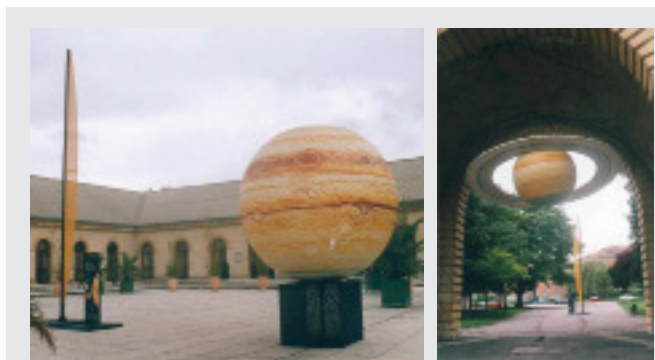


Fig. 6a și 6b: Fotografii ale orașului Metz.

În orașul Metz (Franța) există un sistem solar amplasat pe străzile și în piețele orașului, cu planetele corespunzătoare însoțite de panouri cu informații pentru trecători și turiști.

Modele ale distanțelor pentru lumină

În astronomie se obișnuiește să se utilizeze anul-lumină ca unitate de măsură, ceea ce poate fi adesea confundat cu o unitate de măsură a timpului. Acest concept poate fi ilustrat cu ajutorul unui model al sistemului solar. Deoarece viteza luminii este $c = 300.000 \text{ km/s}$, distanța care corespunde unei secunde este 300.000 km . De exemplu, pentru a călători de la Lună la Pământ, cele două corpuri cerești fiind la o distanță de 384.000 km , lumina are nevoie de $384.000/300.000 = 1,3$ secunde.

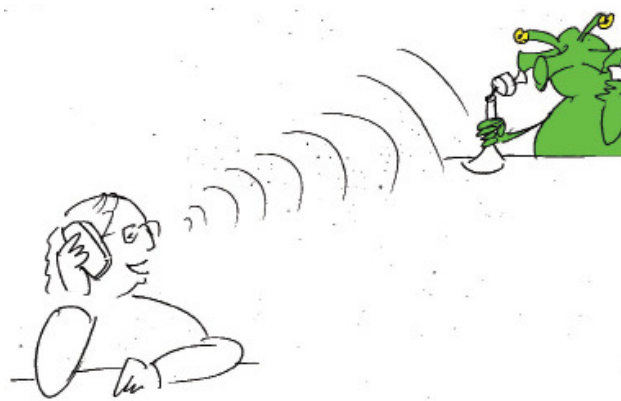


Fig. 7: Un alt exemplu

Folosind aceste unități, vom învăța elevii să calculeze timpul necesar luminii solare pentru a ajunge la fiecare dintre planetele din sistemului solar. (Pentru profesor, redăm aici timpii necesari: timpul necesar luminii solare să ajungă la Mercur este 3,3 minute, la Venus sunt necesare 6,0 minute, la Pământ 8,3 minute, la Marte 12,7 minute, la Jupiter 43,2 minute, la Saturn 1,32 ore, la Uranus 2,66 ore și la Neptun 4,16 ore. Puteți solicita elevilor să-și imagineze cum ar arăta o video-conferință între Soare și oricare dintre planetele sistemului solar.

Modelul dimensiunii aparente a discului solar văzut de pe fiecare planetă

De pe o planetă, de exemplu Pământ, Soarele subîntinde un unghi a (figura 8). Pentru valori foarte mici ale lui a , se poate lua $\tan a \approx a$ (în radiani).

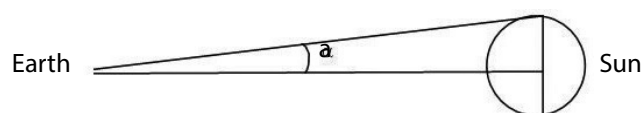


Fig. 8: De pe Pământ, Soarele subîntinde un unghi a .

Știind că diametrul Soarelui este $1,4 \times 10^6 \text{ km}$, adică raza este de $0,7 \times 10^6 \text{ km}$ și că distanța Pământ-Soare este $150 \times 10^6 \text{ km}$, se poate deduce:

$$a = \tan a = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0,0045 \text{ radiani}$$

și în grade:

$$a = \tan a = \frac{0,0045 \times 180}{\pi} = 0,255^\circ$$

Adică, de pe Pământ, Soarele are o dimensiune de $2 \times 0,255^\circ = 0,51^\circ$, deci, aproximativ, o jumătate de grad.

Repetând același procedeu pentru fiecare planetă, prezentăm rezultatele în tabelul 2 și putem reprezenta dimensiunile lor relative (figura 9).

Planete	tan a	a (°)	a (°)aprox
Mercur	0,024	1,383	1,4
Venus	0,0129	0,743	0,7
Marte	0,006	0,352	0,4
Jupiter	0,0018	0,1031	0,1
Saturn	0,000979	0,057	0,06
Uranus	0,00048	0,02786	0,03
Neptun	0,0003	0,0178	0,02

Tabelul 2: Rezultatele pentru diferite planete.

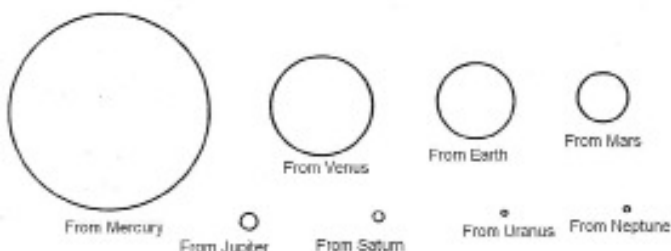


Fig. 9: Soarele văzut de pe fiecare planetă: Mercur, Venus, Pământ, Marte, Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun.

Model pentru densități

Obiectivul acestui model este de a căuta exemple de materiale care pot fi manipulate ușor și care au o densitate similară cu fiecare dintre corpurile care alcătuiesc sistemul solar. Așa elevii au posibilitatea de a "le simți cu propriile mâini."

	Densitatea (g/cm ³)
Soare	1,41
Mercur	5,41
Venus	5,25
Pământ	5,52
Luna	3,33
Marte	3,9
Jupiter	1,33
Saturn	0,71
Uranus	1,3
Neptun	1,7

Tabla 3: Densitățile corpurilor din sistemul solar

Valorile din tabelul 3 al densităților planetare, se compară pur și simplu cu densitățile diferitelor minerale (de regulă, în fiecare școală există o colecție de materiale) sau cu exemple al altor materiale care sunt ușor de găsit cum ar fi sticla, ceramica, lemnul, materialele plastice etc. Tabelul următor (tabelul 4) prezintă câteva exemple de astfel de materiale împreună cu densitățile lor.



Fig. 10: Modelul densităților.

Minerale	Densi-tate	Alte materiale	Densitate
Ipsos	2,3	Glicerină	1,3
Ortoclaz	2,6	Plută	0,24
Sulf	1,1-2,2	Aluminiu	2,7
Alită	2	Fier	7,86
Cuarț	2,65	Ciment	2,7 - 3,1
Borax	1,7	Sticlă	2,4 - 2,8
Blendă	4	Cositor	7,3
Pirită	5,2	Argilă	1,8 - 2,5
Eritrocit	5,4	Bachelită	1,25
Calcit	2,7	Stejar	0,90
Galenă	7,5	Pin	0,55

Tabelul 4: Exemple de densități ale unor materiale

$$d = \frac{m}{V}$$

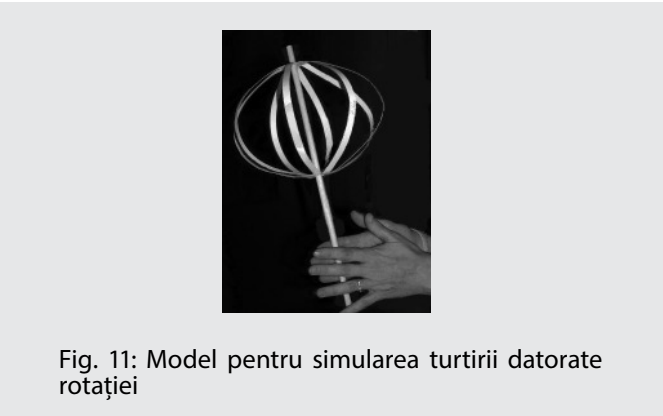
Elevii ar trebui să observe că Saturn ar "pluti" în apă, deoarece densitatea sa este mai mică decât 1.

Modelul turtirii planetelor

Pentru a vizualiza deformarea (turtirea) planetelor gazoase datorate forței centrifuge generate de propria lor rotație vom construi un model simplu. Așa cum se poate observa din figura 11, cu ajutorul unui băț și al câtorva benzi de carton, se poate realiza acest model simplu care reproduce turtirea planetelor din sistemul solar datorate rotației.

1. Tăiați câteva benzi de carton cu dimensiunea de 35 cm pe 1 cm.
2. Atașați ambele capete ale benzilor de carton pe un băț cilindric lung de 50 cm. Atașați capetele de sus ale benzilor de bețișor astfel încât să nu se poată mișca, lăsați capetele de jos să se miște liber de-a lungul bățului.
3. Puneți în mișcare bățul răsucindu-l rapid între cele

două palme, când într-un sens, când în sens opus. Veți putea observa modul în care forța centrifugă deformează benzile din carton (figura 11) într-un mod asemănător celui în care acționează asupra planetelor.



Model pentru vitezele orbitale ale planetelor
Este bine știut faptul că nu toate planetele orbitează în jurul Soarelui cu aceeași viteză (tabelul 5).

Planeta	Viteza orbitală medie (km/s)	Distanța față de Soare (km)
Mercur	47,87	57,9 10 ⁶
Venus	35,02	108,3 10 ⁶
Pământ	29,50	149,7 10 ⁶
Marte	24,13	228,1 10 ⁶
Jupiter	13,07	778,7 10 ⁶
Saturn	9,67	1.430,1 10 ⁶
Uranus	6,84	2.876,5 10 ⁶
Neptun	5,48	4.506,6 10 ⁶

Tabelul 5: Datele orbitale pentru corpurile din sistemul solar

După cum se poate observa, cel mai rapid este Mercur, care este și cel mai aproape de Soare și cel mai lent este Neptun, care este cel mai departe. Romanii observaseră deja faptul că Mercur este cea mai rapidă planetă și de aceea a fost identificat cu mesagerul zeilor și l-au reprezentat cu picioare înaripate.

Chiar dacă facem observații astronomice cu ochiul liber, este posibil să spunem că Jupiter și Saturn se mișcă mult mai lent de-a lungul constelațiilor zodiacale decât o fac Venus și Marte, de exemplu.

Din legea a treia a lui Kepler $P^2/a^3 = K$, s-a dedus că viteza orbitală descrește atunci când distanța față de Soare crește (P = perioada de rotație, a = semiaxa mare a orbitei).



Pentru a pune în evidență această relație, există un experiment simplu. Începem prin a lega un obiect greu, cum ar fi o nucă de o bucată de sfoară. Dacă ținem sfoara de capătul opus obiectului greu, rotim obiectul într-o mișcare circulară deasupra capului. Putem vedea apoi că dacă eliberăm din sfoară în timp ce o rotim (lăsând sfoara mai lungă), obiectul va pierde din viteză sa. Invers, dacă scurtăm sfoara, obiectul va câștiga viteză. De fapt, aceasta (vezi legea a treia a lui Kepler) este o consecință a conservării momentului cinetic.

Putem apoi dezvolta un model al Sistemului solar format din nuci și bucăți de sfoară având lungimea proporțională cu raza orbitelor planetare (presupunând, din nou, că toate se deplasează pe orbite circulare). Oricum, în loc de a tăia o bucată separată de sfoară pentru fiecare planetă, folosim o singură bucată. Folosind o relație potrivită de reprezentare la scară, măsurăm raza corectă de la obiectul greu, corespunzătoare pentru fiecare planetă și facem câte un semn. Apoi, sfoara poate fi ținută pentru fiecare poziție în care am făcut semn, în timp ce rotim obiectul greu. Pentru a utiliza modelul trebuie să ținem sfoara în dreptul semnului pe care l-am făcut și să-l rotim deasupra capetelor noastre într-un plan paralel cu solul cu viteza minimă posibilă, care păstrează corpul pe orbită. Vom vedea că această viteză este mai mare în cazurile în care raza este mai mică.

Model pentru accelerațiile gravitaționale de la suprafața planetelor

Formula pentru forța gravitațională

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Ne permite să calculăm accelerația gravitațională care acționează pe suprafața oricărei planete. Considerând masa ca fiind egală cu unitatea ($m = 1$) și $d = R$, vom obține

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2}$$

Dacă înlocuim apoi masa planetei cu $M = 4/3 \pi R^3 \rho$, găsim:

$$g = \frac{4}{3} \pi \cdot G \cdot \rho \cdot R$$

unde $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ este constanta atracției universale, ρ este densitatea și R este raza planetei. Înlocuind aceste ultime două mărimi cu valorile prezentate în Tabelul 1, putem calcula valoarea accelerației gravitaționale g , pentru toate planetele.

Planeta	R raza ecuatorială	g la suprafață	ρ Densitatea
Mercur	2.439 km	0,378	5,4
Venus	6.052 km	0,894	5,3
Pământ	6.378 km	1,000	5,5
Marte	3.397 km	0,379	3,9
Jupiter	71.492 km	2,540	1,3
Saturn	60.268 km	1,070	0,7
Uranus	25.559 km	0,800	1,2
Neptun	25.269	1,200	1,7

Tabla 6: Accelerațiile gravitaționale și densitățile corpurilor din sistemul solar

Să vedem câteva exemple:

$$g_{\text{mercur}} = \frac{4}{3} \pi G 5,4 2439 = 3,7$$

$$g_{\text{venus}} = \frac{4}{3} \pi G 5,3 6052 = 8,9$$

Analog, putem calcula g pentru celelalte planete. (Rezultatele corespunzătoare sunt în m/s²: Marte: 3,7, Jupiter: 24,9, Saturn: 10,5, Uranus: 7,8 și Neptun: 11,8)

Modelul cântarelor de baie

În acest caz, scopul modelului este de a dezvolta un set de 9 cântare de baie (8 planete și Luna), astfel încât elevii să poată simula greutatea propriei persoane, nu masa, pe fiecare dintre planete și pe Lună. Deoarece procedeul este același pentru fiecare planetă, vom prezenta în detaliu numai un exemplu. Ideea este de a demonta un cântar de baie și de a înlocui discul etalonat pentru masa pe Pământ cu un altul care să fie calibrat corespunzător greutății pe o altă planetă.

1. Mai întâi, desfacem cântarul. În cazul majorității cântarelor, există două resorturi care asigură fixarea față de bază. Țineți minte că va trebui să le fixăm înapoi împreună (figurile 13a și 13b).
2. Odată deschis, discul cântarului trebuie îndepărtat, fie pentru a-l înlocui, fie pentru a fi trasat cu greutatele corespunzătoare planetei considerate, exprimate în N.
3. În tabelul care urmează sunt prezentate accelerațiile gravitaționale superficiale ale Lunii și ale diferitelor planete din Sistemul solar. Pe o coloană sunt prezentate accelerațiile gravitaționale exprimate în valori absolute (m s⁻²), iar pe cealaltă aceeași mărime în valori relative față de accelerația gravitațională terestră. Aceste valori sunt cele pe care le vom utiliza pentru a transforma unitățile de greutate "terestre" în unitățile proporționale de greutate pe alte planete.
4. În final, vom închide din nou cântarul și putem afla greutatea noastră pe o altă planetă.

	Accelerația gravitațională (m s ⁻²)	Accelerația gravitațională (T=1)
Luna	1,62	0,16
Mercur	3,70	0,37
Venus	8,87	0,86
Pământ	9,80	1,00
Marte	3,71	0,38
Jupiter	23,12	2,36
Saturn	8,96	0,91
Uranus	8,69	0,88
Neptun	11,00	1,12

Tabelul 7: Accelerațiile gravitaționale pentru fiecare corp din sistemul solar.



Fig.13a și 13b: Cântare de baie cu discul înlocuit.



Fig. 14: Modelul sistemului solar cu ajutorul cântarelor de baie.

Modele de cratere

Majoritatea craterelor din Sistemul solar nu sunt de natură vulcanică ci sunt rezultatul căderii meteoriților pe suprafețele planetelor și sateliților.

1. Mai întâi, acoperiți parchetul cu ziare vechi astfel încât să-l protejați să nu se murdărească.
2. Turnați un strat de 2-3 cm de făină într-o tavă, distribuind-o atent astfel încât suprafața să fie foarte netedă.
3. Turnați un strat de câțiva milimetri de praf de cacao deasupra făinii (figura 15a).
4. De la o înălțime de circa 2 metri lăsați să cadă un proiectil: o lingură de praf de cacao. Căderea va lăsa urme similare celor ale craterelor de impact (figura 15b).
5. Puteți experimenta folosind diferite înălțimi, diferite tipuri, forme și mase ale proiectilelor. În unele cazuri, puteți obține chiar un crater având un vârf central.

Modelul vitezelor de evadare

Dacă viteza de lansare a unei rachete nu este suficient de mare, forța gravitațională a planetei va determina racheta să cadă înapoi pe suprafața planetei. Dacă viteza de lansare este suficient de mare, atunci racheta scapă de câmpul gravitațional al planetei. Să calculăm valoarea vitezei peste care o rachetă poate scăpa, adică viteza minimă de lansare sau viteza de evadare. Luând în considerare conservarea energiei mecanice, viteza de evadare este:

$$v = \sqrt{2gR}$$



Fig. 15a: Simularea craterelor. Fig. 15b: Craterelor rezultate

unde putem înlocui valorile g și R cu valorile care sunt prezentate în următorul tabel pentru a calcula viteza de evadare pentru fiecare planetă.

Ca un exemplu, calculăm viteza de evadare a unor planete.

Pentru Pământ, $v_{\text{pământ}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R} = (2 \cdot 9,81 \cdot 6378)^{1/2} \text{ km/s}$.

Pentru cea mai mică planetă, Mercur,
 $v_{\text{mercur}} = (2 \cdot 9,81 \cdot 0,378 \cdot 2439)^{1/2} = 4,2 \text{ km/s}$.

Pentru cea mai mare planetă, Jupiter,
 $v_{\text{jupiter}} = (2 \cdot 9,81 \cdot 2,540 \cdot 2439)^{1/2} = 60,9 \text{ km/s}$.

Planeta	R raza ecuatorială (km)	g (accelezația gravitațională redusă)
Mercur	2.439	0,378
Venus	6.052	0,894
Pământ	6.378	1,000
Marte	3.397	0,379
Jupiter	71.492	2,540
Saturn	60.268	1,070
Uranus	25.559	0,800
Neptun	25.269	1,200

Tabelul 8: Raza și accelezația gravitațională ale corpurilor din sistemul solar.

Este clar că este mai ușor să se lanseze o rachetă de pe Mercur decât de pe Pământ, dar este mai dificil să se lanseze o rachetă de pe Jupiter, unde viteza de evadare este aprox. 60 km/s.

(Pentru a compara rezultatele, putem folosi valorile acceptate pentru viteza de evadare a fiecărui corp din sistemul solar: Mercur 4,3 km/s, Venus 10,3 km/s, Pământ 11,2 km/s, Marte 5,0 km/s, Jupiter 59,5 km/s, Saturn 35,6 km/s, Uranus 21,2 km/s, Neptun 23,6 km/s. După cum se poate vedea, calculele simple pe care le-am făcut dau rezultate acceptabile.)

Modelul unei rachete cu ajutorul unei tablete efervescente

Ca un exemplu de rachetă, care poate fi lansată în mod sigur în sala de clasă, propunem următoarea rachetă, care utilizează pentru propulsie o aspirină sau o tabletă efervescentă. Începem prin a tăia modelul de rachetă pe liniile continue și apoi continuăm cu lipirea acesteia pe liniile punctate ca în fotografie.

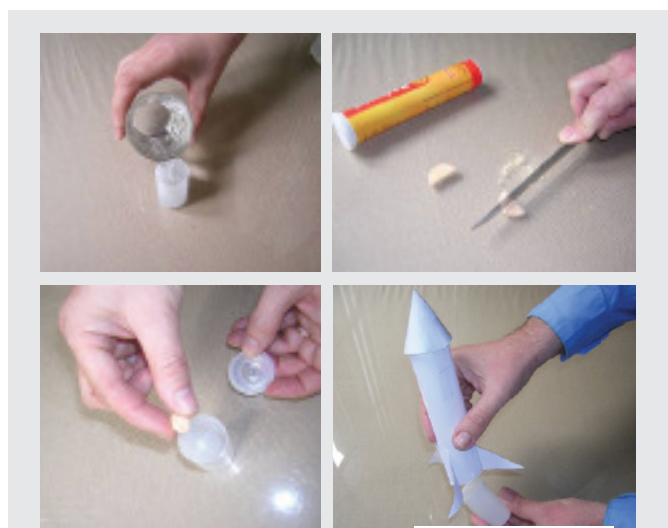
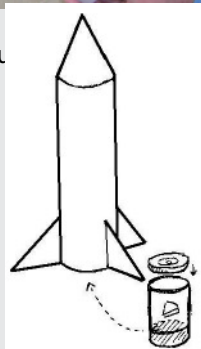


Fig. 16a, 16b, 16c și 16d: Procesul



Fig. 17: Exemple de rachete. Fig. 18: Schema simplificată



recipient de film, asigurându-ne să se potrivească atent capsula în interiorul cilindrului rachetei. Apoi, fixăm cele trei triunghiuri ca suporturi pe corpul rachetei și, la final, adăugăm conul în vârful cilindrului (figurile 16a, 16b, 16c, 16d, 17, 18, 19a, 19b, 19c).

După construirea rachetei, trebuie să efectuăm lansarea. Pentru aceasta, vom turna apă în capsula de plastic până la aproximativ 1/3 din înălțime (cca 1 cm). Adăugăm 1/4 dintr-o tabletă efervescentă de aspirină (sau altă tabletă efervescentă). Fixăm banda și racheta deasupra capsulei. După cca 1 minut, racheta decolează. Evident, putem repeta de câte ori dorim acest proces (cel puțin 3/4 din tableta de aspirină rămâne, astfel încât ne putem bucura mult timp lansând rachete!).

Modelul pentru sistemele exoplanetare

Laboratorul Jet Propulsion (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>) deține un catalog al obiectelor planetare descoperite în afara Sistemului nostru solar. Sunt mai bine de 2000 de planete candidate și mai mult de 700 confirmate. Acestea sunt denumite exoplanete (prescurtare pentru planete extrasolare); majoritatea sunt similare sau mai masive decât Jupiter, care este cea mai mare planetă din Sistemul nostru solar. Acesta este motivul pentru care deseori noi comparăm masele planetelor extrasolare cu masa lui Jupiter ($1,9 \times 10^{27}$ kg). Doar câteva dintre exoplanete sunt similare ca masă cu Pământul, dar acest rezultat se datorează cel mai probabil obstacolelor de natură observațională, deoarece cele mai recente tehnici de detecție sunt mai performante pentru detectarea obiectelor masive.

În această secțiune, vom lua în considerare unele exemple de sisteme planetare extrasolare care au mai mult de trei planete cunoscute.

Nomenclatura exoplanetelor este simplă. O literă este plasată după numele stelei, începând cu "b" pentru prima planetă descoperită în sistemul respectiv (ex. 51 Pegas b). Următoarea planetă detectată în sistem este notată cu următoarea literă din alfabet: c, d, e, f, etc (51 Pegas c, 51 Pegas d, 51 Pegasi e sau 51 Pegasi f).

Unele exoplanete sunt situate foarte aproape de steaua centrală, de exemplu Gliese 876 are orbite mai apropiate decât are Mercur față de Soare. Alte sisteme extrasolare au planete situate la distanțe mult mai mari (HD 8799 are un sistem planetar format din trei planete situate aproximativ la fel de departe ca și Neptun față de Soare.) O modalitate posibilă pentru a prezenta aceste date constă în a construi modele la scară ale unui anumit sistem planetar. Aceasta ne permite să comparăm diferitele sisteme planetare între ele sau cu sistemul nostru solar.

Vom utiliza o capsulă din material plastic cum ar fi un

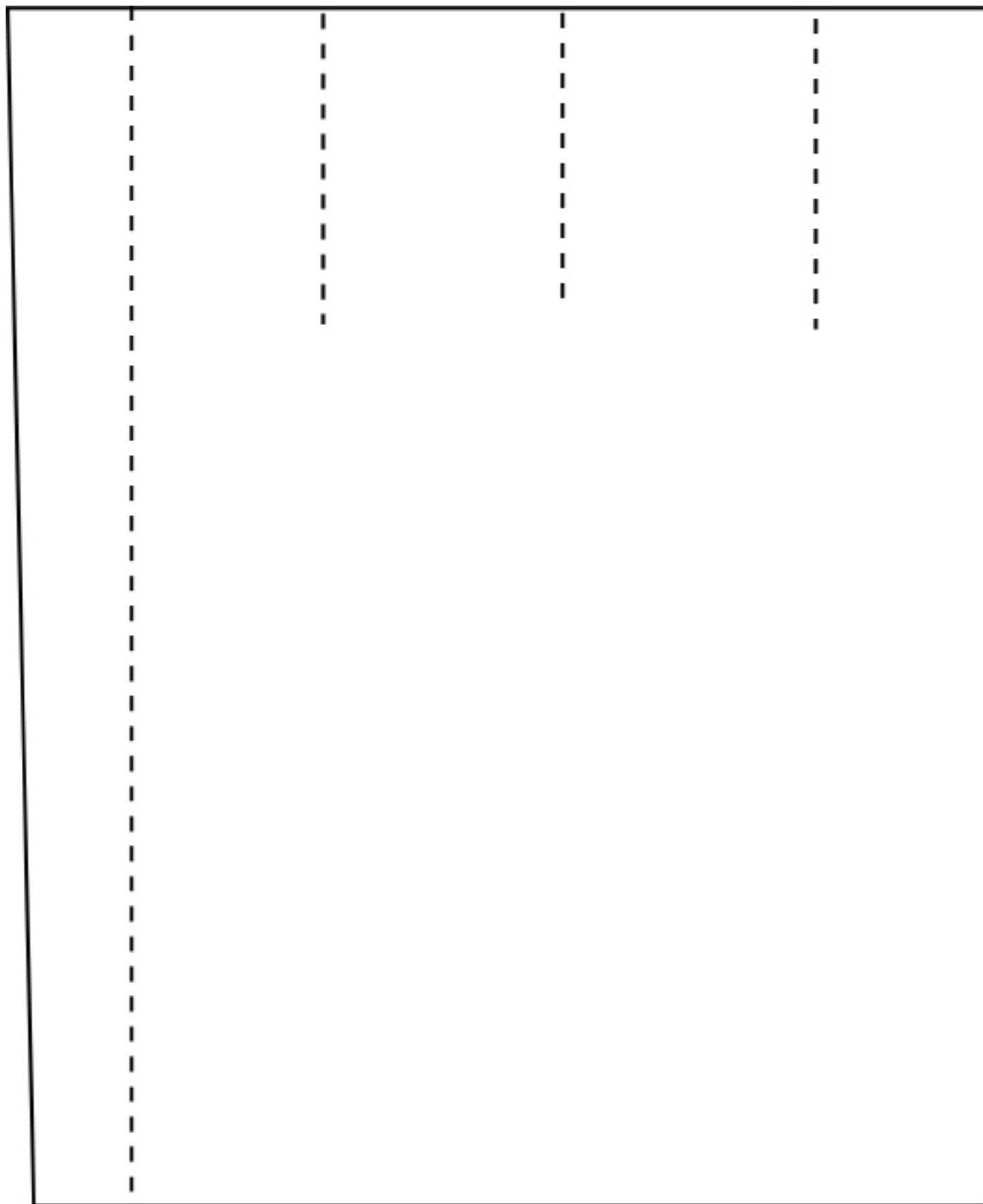
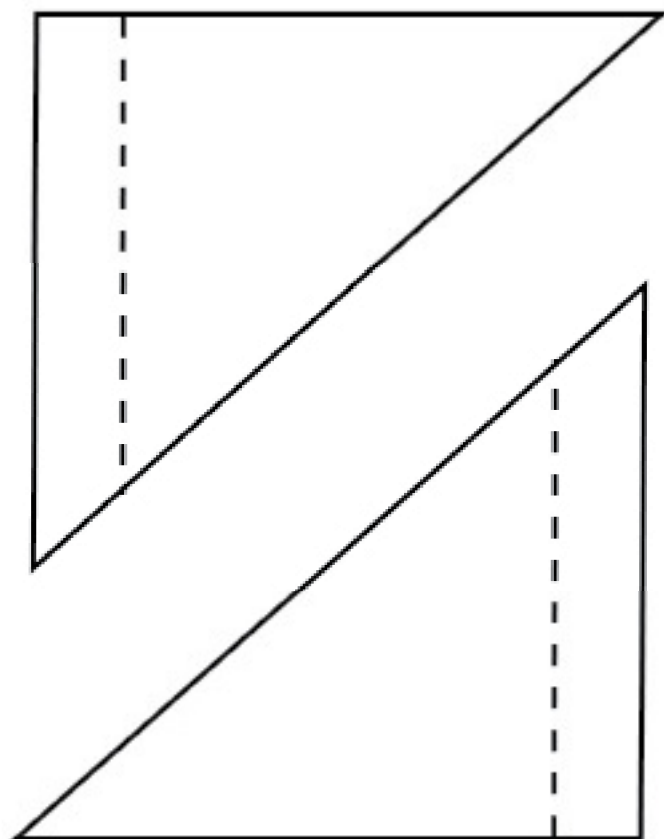


Fig. 19a: Corpul rachetei. Lipiți aripioare pe zona punctată.



În prezent știm că există exoplanete în jurul diferitelor tipuri de stele. În anul 1992, radioastronomii au anunțat descoperirea unor planete în jurul pulsarului PSR 1257 +12. În anul 1995, a fost anunțată prima detectare a unei exoplanete în jurul unei stele de tip G și anume 51 Pegasus.

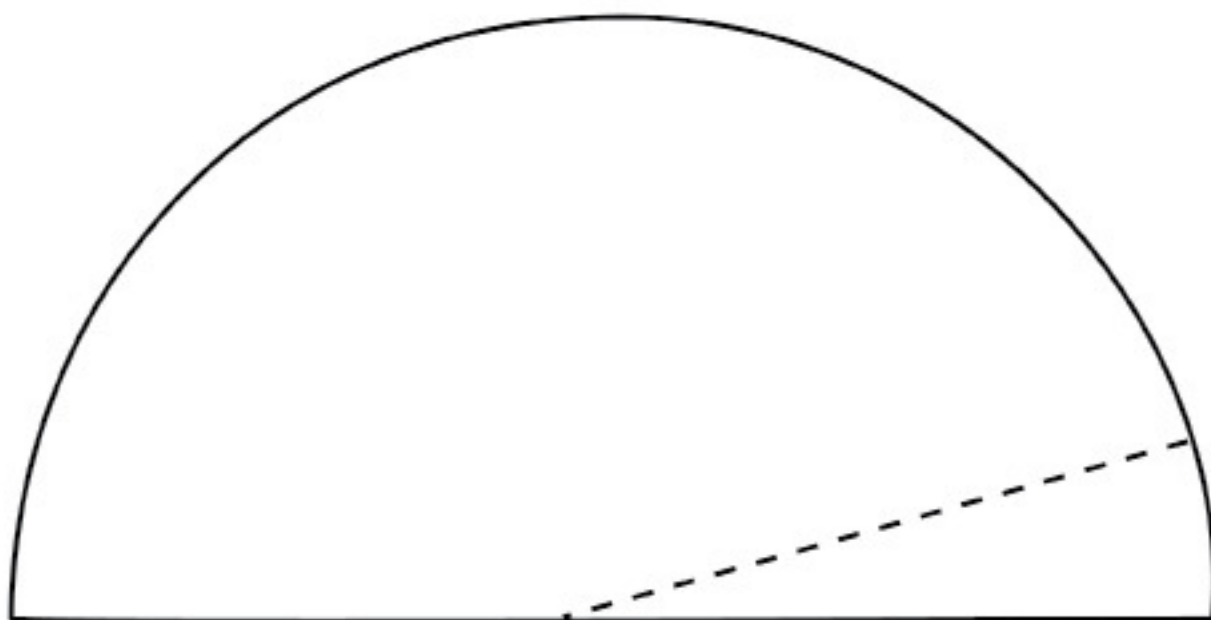
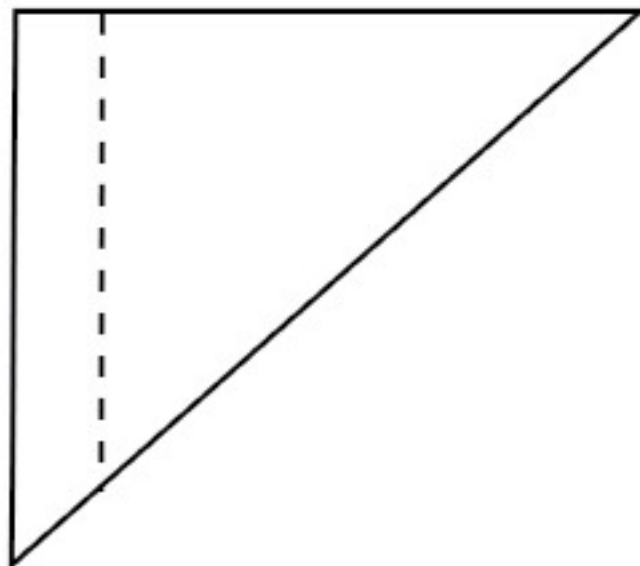


Fig. 19b: Modelul pentru cele trei aripioare. Fig. 19c: Conul rachetei

De de atunci au mai fost descoperite, printre altele, exoplanete pe orbite în jurul: unei pitice roșii (Gliese 876 în 1998), unei stele gigant (Iota Draconis în 2001), unei pitice maro (2M1207 în 2004), unei stele tip K (HD40307 în 2008) și unei stele tip A (Fomalhaut în 2008).

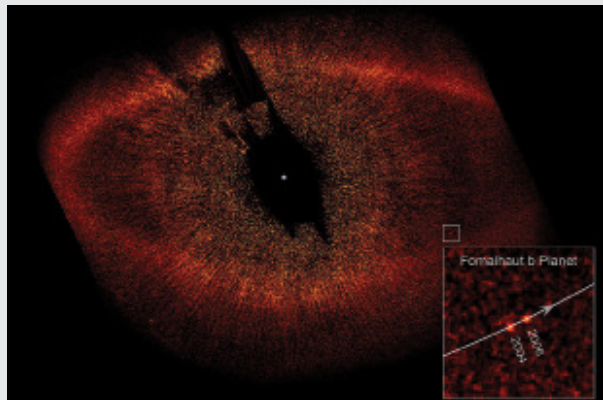


Fig. 20: Planeta Fomalhaut b situată într-un disc de praf/deșeuri, într-o imagine obținută cu ajutorul telescopului spațial Hubble (foto:NASA).

Determinarea diametrului exoplanetelor

Mai întâi, vom calcula diametrul câtorva exoplanete prezentate în Tabelul 9. Putem realiza acest lucru considerând că densitatea exoplanetei este cunoscută. În cazul nostru, considerăm că planetele gazoase au aceeași densitate ca Jupiter și că exoplanetele de tip terestru au aceeași densitate ca Pământul. Prin definiție, densitatea unui corp de masă m este dată de expresia:

$$\rho = m/V$$

Masa m a exoplanetei este dată în tabelul 8, iar volumul V poate fi obținut considerând planeta ca fiind o sferă:

$$V = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^3}{3}$$

Dacă înlocuim această formulă în cea anterioară putem obține raza exoplanetei:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}}$$

Propunem ca cititorul să calculeze diametrul exopla-

Numele planetei	Distanța medie, (ua)	Perioada orbitală (zile)	Masa minimă*, (mase ale lui Jupiter)	Data descoperirii (ani)	Diametrul**, (km)
Urs And b	0,059	4,617	0,69	1996	de tip Jupiter 124 000
Urs And c	0,83	241,52	1,98	1999	de tip Jupiter 176 000
Urs And d	2,51	1274,6	3,95	1999	de tip Jupiter 221 000
Gl 581 e	0,03	3,149	0,006	2009	de tip terestru 16000
Gl 581 b	0,04	5,368	0,049	2005	de tip terestru 32 000
Gl 581 c	0,07	12,929	0,016	2007	de tip terestru 22 000
Gl 581 g (neconfirmată)	0,14	36,562	0,009	2005	de tip terestru 18 000
Gl 581 d	0,22	68,8	0,024	2010	de tip terestru 25000

Tabelul 9: Sisteme extrasolare cu multiple planete (trei sau mai multe). Date oferite de Extrasolar Planets Catalog2 (cu excepția ultimei coloane). * Metoda vitezei radiale oferă doar masa minimă a planetei.

** Diametrul prezentat în ultima coloană a Tabelului 1 a fost calculat presupunând că densitatea planetei este egală cu densitatea lui Jupiter (1330 kg/m³) pentru planetele gazoase. Pentru planetele considerate de tip terestru, diametrul a fost calculat folosind densitatea Pământului (5520 kg/m³).

Numele planetei	Distanța medie, (ua)	Perioada orbitală, (ani)	Masa, (Mase ale lui Jupiter)	Diametrul, (km)
Mercur	0,3871	0,2409	0,0002	4879
Venus	0,7233	0,6152	0,0026	12 104
Pământul	1,0000	1,0000	0,0032	12 756
Marte	1,5237	1,8809	0,0003	6794
Jupiter	5,2026	11,8631	1	142 984
Saturn	9,5549	29,4714	0,2994	120 536
Uranus	19,2185	84,04	0,0456	51 118

Tabelul 10: Planetele Sistemului solar.

neteii Gliese 581d (exoplanetă de tip terestru) presupunând că densitatea sa este $\rho = 5520 \text{ kg/m}^3$ (densitatea Pământului). Apoi să repete calculul pentru o exoplanetă ne-terestră, cum ar fi primul sistem planetar multiplu care a fost descoperit în jurul steii de pe secvența principală, Upsilon Andromedae. Acest sistem constă din trei planete, toate similare cu Jupiter: planetele Upsilon b, c și d. Calculați diametrele lor, considerând $\rho = 1330 \text{ kg/m}^3$ (densitatea lui Jupiter) și comparați rezultatele cu cele prezentate în Tabelul 9.

Folosind aceste rezultate și distanța medie prezentată în Tabelul 9, putem produce un model în următoarea secțiune.

Determinarea masei steii centrale

Folosind valorile din tabelul 9 și legea a treia a lui Kepler, putem determina masa steii centrale M . Legea a treia a lui Kepler afirmă că, pentru o planetă având perioada P și o orbită de rază a , a^3/P^2 este o constantă. Putem demonstra că această constantă este masa steii centrale, exprimată în mase solare. Dacă vom considera că mișcarea exoplanetelor în jurul steii este pe o orbită circulară de rază a , putem scrie:

$$\frac{m v^2}{a} = \frac{G \cdot M \cdot m}{a^2}$$

Pentru o mișcare circulară, viteza v este

$$v^2 = \frac{G \cdot M}{a}$$

Perioada P pentru mișcarea circulară este

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{v}$$

Atunci, când introducem valoarea lui v , deducem că:

$$P^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{G \cdot M}$$

și, pentru fiecare exoplanetă, folosind legea a treia a lui Kepler,

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G \cdot M}{4 \cdot \pi^2}$$

Dacă scriem relația precedentă pentru mișcarea Pământului în jurul Soarelui, folosind $P=1$ an și $a=1$ ua, deducem următoarea ecuație:

$$1 = \frac{G \cdot M_s}{4 \pi^2}$$

Împărțind ultimele două egalități și considerând masa Soarelui ca fiind unitatea, obținem:

$$\frac{a^3}{P^2} = M$$

unde a este raza orbitei (în ua), P este perioada de revoluție (în ani). Această relație ne permite să determinăm masa steii centrale în unități de mase solare.

Exprimând aceeași relație în unități diferite, putem scrie:

$$M = 0,0395 \cdot 10^{-18} \frac{a^3}{P^2}$$

unde a este raza orbitei exoplanetei (în km), P este perioada de revoluție a exoplanetei (în zile) și M este masa steii centrale (în mase solare).

De exemplu, să calculăm masa stelelor Upsilon A și Gl 581 în mase solare (rezultatul ar trebui să fie egal cu 1,03 și respectiv 0,03 mase solare).

Modelul la scară al unui sistem exoplanetar

În primul rând vom alege scara modelului. Pentru distanțe, scara cea mai potrivită este: 1 ua = 1 m. În acest caz toate exoplanetele se potrivesc pentru dimensiunile unei săli de clasă ca și primele cinci planete din Sistemul nostru solar. Dacă această activitate este realizată în afara sălii de clasă (de ex., în curtea școlii), atunci putem construi un model complet. Este necesar să fie folosită o scară diferită pentru dimensiunea planetei, de exemplu: 10.000 km = 0,5 cm. În acest caz, cea mai mare planetă, Jupiter, are un diametru de 7 cm, iar cea mai mică planetă (Mercur) va avea un diametru de 0,2 cm.

Acum putem construi Sistemul solar, sistemele Upsilon Andromedae și Gliese 581 folosind valorile distanțelor medii din Tabelele 9 și 10, precum și diametrele calculate anterior.

În ultimii câțiva ani am aflat că există diverse configurații ale sistemelor planetare. Unele exoplanete orbitează în jurul stelelor lor mult mai aproape decât orice planetă din Sistemul nostru solar în jurul Soarelui. Astfel unele exoplanete sunt situate mai aproape de steaua lor centrală decât este Mercur față de Soare. Asta înseamnă că ele sunt foarte fierbinți. O altă diferență este că multe planete mari sunt situate aproape de stelele lor.

Partea interioară a Sistemului solar este populată cu planete mici, stâncoase, iar prima dintre planetele gazeoase gigant, cum ar fi Jupiter, este la 5,2 ua față de Soare. Se crede că aceste diferențe se datorează în principal unor obstacole observaționale. De exemplu, metoda vitezei radiale este mai sensibilă în cazul în care planetele au orbite mai mici și sunt mai masive. Dar putem

presupune că majoritatea exoplanetelor au orbite mult mai mari. Acest lucru pare plauzibil pentru majoritatea sistemelor exoplanetare, care au una sau două planete gigant cu orbite similare ca dimensiune cu cele ale lui Jupiter și Saturn.

Luăm în considerare acum capacitatea exoplanetelor de a putea fi locuite. Zona locuibilă este regiunea din jurul unei stele în care o planetă cu o valoare suficientă a presiunii atmosferice poate, de asemenea, menține apa în stare lichidă pe suprafața sa. Aceasta este o definiție conservativă și este restrânsă la viața, așa cum o cunoaștem pe Pământ. Unii oameni de știință au sugerat să se includă și zonele echivalente din jurul stelelor unde pot exista în stare lichidă stabilă și alți compuși cu proprietăți de solvent, cum ar fi amoniacul și metanul.

Calculule aproximative indică faptul că zona locuibilă a unui sistem solar, zona în care poate exista apa în stare lichidă (adică unde temperatura are valori în intervalul de la 0° la 100°C), este cuprinsă de la 0,56 la 1,04 ua. Limita interioară a acestei zone se situează între orbitele lui Mercur și Venus, iar limita exterioară este imediat în afara orbitei Pământului. Doar două planete din sistemul solar (Venus și Pământul) se află în interiorul zonei locuibile (zona albastră din figura 21). Așa cum știm, numai Pământul este locuit, deoarece Venus este prea fierbinte (dar numai datorită efectului de seră puternic de pe această planetă).

Se pare că Gliese 581d este un exemplu de exoplanetă de tip terestru situată în interiorul zonei locuibile a propriei sale stele și ar putea fi un candidat potențial pentru viața extraterestră.

Pe de altă parte, Gliese 581c ar putea fi situată în interiorul zonei locuibile a stelei sale. Durata mișcării sale orbitale este de 13 zile și este situată față de steaua sa la o distanță de 14 ori mai mică decât distanța la care se află Pământul față de Soare. În orice caz, cu cât steaua are o dimensiune mai mică, cu atât este mai probabilă existența unei distanțe favorabile pentru ca pe planetă să poată exista apă în stare lichidă, care să ofere posibilitatea vieții. Raza planetei este de 1,5 ori raza Pământului și aceasta indică faptul că este un corp stâncos. Temperatura sa este cuprinsă între 0°C și 40°C, ceea ce face posibilă existența din abundență a apei lichide. Problema este că aceasta are orientată spre steaua sa tot timpul aceeași față. Acest comportament sugerează că planeta ar putea fi stâncoasă ca Pământul sau că ar putea fi acoperită de oceane. Totuși, unele studii indică faptul că această planetă suferă de un semnificativ efect de seră ca și Venus.

Gliese 581 g este prima exoplanetă, încă neconfirmată,

descoperită în interiorul zonei locuibile și care are o valoare suficientă a gravitației pentru a păstra o atmosferă (masa de 3 până la 4 ori masa Pământului), precum și valori adecvate ale temperaturii pentru a exista apă în stare lichidă.

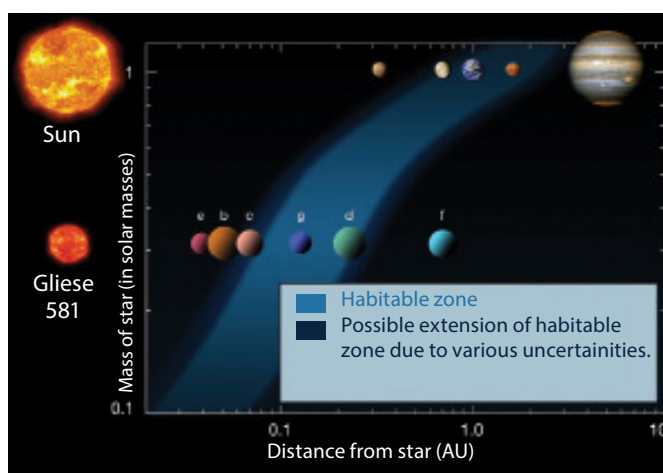


Fig. 21: Zona locuibilă. Comparatie între Sistemul solar și sistemul exoplanetelor din Gliese 581. Re-giunea colorată cu albastru indică zona în care ar putea exista viață, așa cum o cunoaștem pe Pământ.

Gliese 581 e este una dintre cele mai mici exoplanete care a fost descoperită până în prezent. Masa sa este 1,7 masa Pământului, ceea ce o face să fie cea mai mică planetă descoperită și totodată cea mai apropiată ca dimensiune cu Pământul, deși are o orbită foarte apropiată de steaua sa la 0,03 ua. Acest fapt face dificilă păstrarea unei atmosfere și o situează în afara zonei locuibile, în apropierea stelei sale, ceea ce înseamnă că are temperaturi de peste 100°C. La astfel de temperaturi, nu mai există apă în stare lichidă și viața așa cum o cunoaștem nu este posibilă.

Există încă multe întrebări fără răspuns referitor la proprietățile exoplanetelor și mai este mult de învățat despre proprietățile și caracteristicile lor.

Bibliografie

- Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., "Satellites of Jupiter observed by Galileo and Roemer in the 17th century", Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.
- Gaitsch, R., "Searching for Extrasolar Planets", Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.
- Ros, R.M., "A simple rocket model", Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.

Ros, R.M., "Estudio de la Superficie Lunar", Universo, 39, 62, 67, Barcelona, 1998.

Ros, R.M., "Measuring the Moon's Mountains", Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.

Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., Sistema Solar Actividades para el Aula, Antares, Barcelona, 2005.

Ros, R.M., Viñuales, E., "Determination of Jupiter's Mass", Proceedings of 1st EAAE International Summer School, 223, 233, Barcelona, 1997.

Ros, R.M., Viñuales, E., Saurina, C., Astronomía: Fotografía y Telescopio, Mira Editores, Zaragoza, 1993.

Vilks I., "Models of extra-solar planetary systems", Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

Pregătirea pentru observare

Francis Berthomieu, Ricardo Moreno, Beatriz García, Rosa M. Ros

Uniunea Astronomică Internațională, CLEA (Nisa, Franța), Școala Retamar (Madrid, Spania), Universitatea Tehnică Națională (Mendoza, Argentina), Universitatea Tehnică din Catalonia (Barcelona, Spania)

.....

Sumar

O petrecere dată în cinstea stelelor poate fi o modalitate de a învăța și de a se distra totodată, în special dacă acest gen de activitate are loc împreună cu un grup de prieteni. Este necesar să vă pregătiți serios pentru aceasta, mai ales dacă intenționezi să folosești diferite instrumente. Dar nu neglijați bucuria simplă de a privi cerul cu ochiul liber sau cu binoclul.

Obiective

- Explicarea modului de a alege locul, momentul și data potrivite, stabilirea echipamentului necesar și planificarea evenimentului.
 - Utilizarea programului Stellarium.
 - Recunoașterea problemei poluării luminoase.
-

Alegerea locului și a datei

Lumina din atmosferă influențează în foarte mare măsură modul în care percepem cerul. În orașe puteți vedea doar Soarele, Luna, câteva planete și câteva stele mai strălucitoare sau câțiva sateliți. Este mult mai bine să observăm cerul dintr-o zonă întunecată, deși asta înseamnă să renunți la confortul de acasă sau de la școală.

Dacă vrem să vedem mai multe stele și nebuloase, atunci trebuie să ne deplasăm cât mai departe de drumuri și de localități, deoarece orașele emit un halo luminos care împiedică observarea în bune condiții. Acest fenomen este cunoscut sub numele de "poluare luminoasă". De asemenea, este nevoie să evităm vecinătatea surseilor de iluminat public. Stați departe de șosele și drumuri unde automobilele pot deranja cu lumina farurilor; căutați o zonă deschisă în care să nu existe copaci mari, care să interfereze cu direcția pe care priviți cerul.

Pentru alegerea datei, este de dorit, bineînțeles, să fie vreme frumoasă, senin și fără nori. Este și mai bine atunci când temperatura are valori confortabile (recomandăm

verificarea prognozei meteo pe internet). Fazele Lunii sunt și ele foarte importante. Cele mai rele zile sunt cele în care este Lună Plină, deoarece aceasta va crea o mare cantitate de lumină și se vor putea vedea doar stelele cele mai strălucitoare. Când Luna este în descreștere, ea va răsări mai târziu și până atunci putem observa cerul. Poate cele mai interesante sunt zilele în care Luna este la Primul Pătrar, deoarece în primele ore ale nopții putem vedea craterele de pe Lună și pe măsură ce Luna apune sub orizont, câteva ore mai târziu, rămâne cerul întunecat, potrivit pentru sesiunea noastră de observare.

Dacă avem un telescop ar trebui să mergem în locul ales înainte de apusul Soarelui, când mai avem suficientă lumină naturală pentru a instala echipamentul înainte de a se întuneca.

Echipamentul necesar

Planificarea observațiilor. Trebuie să ne amintim că cerul se modifică odată cu latitudinea observatorului. Puteți utiliza programul Stellarium (www.stellarium.org), pentru o scurtă ghidare vezi Anexa acestui capitol), vă puteți informa din revistele de astronomie sau puteți citi în cărți de specialitate. Pe web există multe adrese de unde puteți obține hărți ale cerului, de exemplu www.heavens-above.com/skychart sau www.skyandtelescope.com. Pentru a obține, folosind aceste surse, orice hartă a cerului, trebuie să indicați poziția, (de obicei, latitudinea și longitudinea), data și momentul zilei.

Lanternă cu lumină roșie. În întuneric, ochii noștri se deschid încet pentru a permite intrarea unei mai mari cantități de lumină, ceea ce ne asigură așa-numita "vedere" pe timpul nopții sau "vedere de noapte". Vederea de noapte este corelată cu unul din cele două tipuri de celule fotosensibile de pe retină: bastonașele. Pe retină există două tipuri de celule: conurile, sensibile la culori și care sunt activate de lumina zilei și bastonașele, care sunt active numai la niveluri reduse de lumină. Dacă zona în care ne aflăm și spre care privim se iluminează



Fig. 1: Exemplu de hartă a cerului. Acesta este pentru o latitudine nordică mijlocie, la jumătatea lunii iulie la ora 22



Fig. 2: Exemplu de hartă a cerului. Acesta este pentru o latitudine sudică mijlocie, la jumătatea lunii iulie la ora 22.

brusc, pupila se închide imediat, iar bastonașele sunt dezactivate. Dacă intrăm din nou în întuneric pupila va avea nevoie de o scurtă perioadă de timp pentru a se deschide din nou complet, iar bastonașele vor avea nevoie de cel puțin 10 minute pentru a permite reinstalarea vederii de noapte. Bastonașele sunt mai puțin sensibile la lumina roșie și, de aceea, folosirea unei lanterne cu lumină roșie păcălește ochiul, ca și cum ar fi mult mai întuneric. Ochii se vor adapta mai bine la vederea de noapte. Pentru a crea o lanternă cu lumină roșie folosim o lanternă obișnuită căreia îi adăugăm un filtru simplu, folosind o bucată de hârtie roșie transparentă.

Alimente. Trebuie să luăm în considerare că timpul real va fi de câteva ore, socotind călătoria, pregătirea materialelor, observațiile, strângerea materialelor și drumul înapoi. Activitatea va fi mai plăcută dacă, în grup, punem în comun mâncarea și băutura (caldă sau rece, în funcție de temperatura anotimpului).

Pointerul laser cu lumină verde este folositor pentru a indica stelele, constelațiile etc. Fiți foarte atenți cu acest tip de pointer. Nu îndreptați niciodată pointerul spre ochii participanților la activitate deoarece poate produce deteriorarea vederii. Nu îndreptați niciodată pointerul spre avioane. Acest instrument poate fi manipulat numai de adulți.

Hainele. Chiar și vara, pe durata nopții temperatura scade, deseori suflă vântul și trebuie să știm că vom rămâne afară timp de câteva ore, timp în care vremea se poate schimba. Planificați acest aspect ca și cum ar fi mult mai rece decât temperatura din timpul zilei.

Binocluri, telescoape, aparate de fotografiat (vezi mai jos) aceste materiale se schimbă în funcție de observațiile pe care le planificăm.

Dacă sunt nori. Un cer cu nori poate încurca tot planul.

De aceea trebuie să avem asigurat un plan alternativ: istorisirea de povești despre mitologia constelațiilor sau discuții despre diverse subiecte astronomice. Dacă avem Internet, ne putem delecta cu popularul Google-Earth, privind cerul cu Google Sky sau pe Marte cu un alt program de simulare a cerului sau se poate urmări un video despre o temă astronomică pe YouTube.

Ochiul liber

Este esențial să cunoaștem cerul văzut cu ochiul liber. Aceasta înseamnă să cunoaștem numele celor mai importante constelații și stelele strălucitoare, pentru care este nevoie doar de o hartă a cerului și, dacă este posibil, de un pointer cu lumină verde. De asemenea, există aplicații foarte utile pe iPhone/iPad or Android și împreună cu GPS-ul ne pot ajuta să ne orientăm, să găsim constelațiile și planetele. Telefonul nu este afectat de nori și astfel poate fi o variantă utilă când cerul este acoperit cu nori.

Stelele pe care le putem observa depind de locul în care ne aflăm: aproape de polul nord vom vedea numai 50% din stelele de pe cer, cele din emisfera cerească nordică. În apropierea ecuatorului vom vedea probabil toate stelele de pe cer, dar unele într-o singură noapte, în funcție de perioada din an. În apropierea polului sud, putem să vedem din nou numai jumătate din stelele de pe cer, de data aceasta cele care sunt în emisfera sudică.

Constelațiile și stelele pe care le recomandăm să fie cunoscute sunt:

EMISFERA NORDICĂ

Constelații: Ursa Mare, Ursa Mică, Cassiopeia sunt de obicei circumpolare, deci vizibile întotdeauna. Vara se pot vedea de asemenea: Lebăda, Lira, Hercule, Boarul, Coroana Boreală, Leul, Săgetătorul și Scorpionul. Cele care se pot vedea iarna sunt: Orion, Câinele Mare, Taurul, Vizitiul, Andromeda, Pegas, Gemenii și roiul Pleiadelor.

Stele: Steaua Polară (aproape de polul nord ceresc), Sirius, Aldebaran, Betelgeuse, Rigel, Arcturus, Antares etc.

EMISFERA SUDICĂ

Constelații: Crucea Sudului, Săgetătorul, Scorpionul, Leul, Carena, Pupa și Velele (trei constelații au format vechea constelație Argo, corabia Argonauților). De asemenea, este posibil să se vadă din această emisferă Orion și Câinele Mare.

Stele: Antares, Aldebaran, Sirius, Betelgeuse. În emisfera sudică nu există o stea care să marcheze poziția polului sud ceresc.

Constelațiile care se află în regiunea numită "Zodiac",

pot fi văzute din majoritatea locurilor atât din emisfera nordică, cât și din emisfera sudică, deși acestea își schimbă orientarea pe sfera cerească.

Este interesant de urmărit schimbarea fazelor Lunii în fiecare zi, precum și schimbarea poziției sale față de stele. Acest gen de observare se poate realiza și pentru planete, fiind atenți la cât de lentă este mișcarea acestora față de alte planete apropiate sau față de stele. Acest comportament este observabil mai evident în cazul planetelor care se mișcă mai repede, cum sunt Venus sau Mercur, când sunt observate la apusul Soarelui. Aceste planete pot fi vizibile, de asemenea, la răsăritul Soarelui și apoi pot fi recunoscute pe cer în timpul nopții când se fac observații (vezi www.heavens-above.com).

Pentru câteva ore după apusul Soarelui se pot vedea stele căzătoare (meteoriți), cu o frecvență de cca 5 până la 10 pe oră. În anumite perioade ale anului se pot vedea mult mai multe "stele căzătoare". De exemplu: în jurul datei de 3 ianuarie sunt Quadrantidele, cu o frecvență de cca 120 pe oră, în jurul datei de 12 august Perseidele, cu 100/h, în jurul datei de 18 noiembrie este maximul pentru Leonide, cu cca 20/h, iar între 12 și 14 decembrie Geminidele, cu 120/h. Perseidele nu sunt vizibile din emisfera sudică.

Există un număr mare de sateliți care orbitează în jurul Pământului și care, atunci când sunt iluminați de Soare, pot fi văzuți de pe Pământ, mișcându-se lent pe bolta cerească. Dacă altitudinea lor nu este mare, aceștia pot fi văzuți dacă Soarele este ascuns, de exemplu, ISS (Stația Spațială Internațională) este foarte strălucitoare și are nevoie de cca 2-3 minute pentru a acoperi cerul vizibil. Momentele în care aceasta poate fi văzută împreună cu alți sateliți pot fi prevăzute pentru o anumită poziție geografică înainte cu o săptămână pe situl www.heavens-above.com.

Observații cu binoclul

Un instrument astronomic util și ușor de procurat este binoclul. Deși capacitatea sa de mărire este de regulă



Fig.3: Traiectoria ISS



Fig.4: Expunerea și diametrul obiectivului

mică, binoclul colectează mult mai multă lumină decât pupila și ne ajută să vedem obiecte care la prima vedere sunt foarte slab luminoase, cum ar fi roiurile de stele, nebuloasele și stelele duble. De asemenea, binocurile au avantajul de a crește diferențele de culoare ale stele-

lor, în special când este ușor defocalizat.

Pe binocluri se găsesc, de regulă, inscripții cum ar fi 8x30 or 10x50. Prima valoare reprezintă mărirea iar a doua diametrul primei lentile în mm. O dimensiune frecvent recomandată pentru această activitate este 7x50. La mărimi mai mari, imaginea se mișcă mult deoarece este dificil să-l ținem nemișcat, iar deschideri mai mari cresc destul de mult prețul.

Obiecte interesante de văzut cu binoclul sunt: galaxia Andromeda (M31), roiul Hercule (M13), roiul dublu din Perseu, Praesepe (M44), nebuloasa Orion (M42), întreaga arie din Săgetătorul (nebuloase cum ar fi Lagoon M8, Trifid M20, Omega M17, câteva roiuri globulare M22, M55 etc.) și, în general, Calea Lactee, văzută cu mult mai multe stele decât cu ochiul liber. În emisfera sudică Omega Centauri și 47 Tucanae sunt roiuri globulare spectaculoase.

Telescopul observațional

Majoritatea oamenilor știu că rolul unui telescop este de a mări obiectele aflate la distanțe mari, dar mai puțini oameni știu că un alt rol la fel de important este de a captura mai multă lumină decât ochiul omului. Aceasta ne va permite să vedem obiecte care luminează slab și care rămân tot așa chiar dacă crește grosismul.

Un telescop are două părți principale: obiectivul și ocularul. Obiectivul este o lentilă cu diametru mare care deviază lumina (telescoape prin refracție) sau o oglindă care reflectă lumina (telescoape prin reflexie). Majoritatea oglinzilor obiectiv au formă parabolică. Ocularul este o mică lentilă prin care privim. De obicei ocularele se pot interschimba astfel încât diferitele dimensiuni ale ocularului permit o mărire mai mare sau mai mică.

Cu cât obiectivul este mai mare cu atât se colectează mai multă lumină și putem vedea obiecte care luminează mult mai slab. Lentilele de calitate înaltă sunt mai scumpe decât oglinzile de același diametru și de aceea telescoapele mari sunt mai frecvent telescoape prin reflexie. Cel mai comun tip este cel Newtonian, constând dintr-o oglindă concavă la capătul tubului și care are rolul de a devia razele spre partea de sus a tubului, unde există o a doua oglindă secundară, mai mică, orientată sub un unghi de 45°, care reflectă razele de lumină spre un punct din afara tubului, unde se află ocularul. A doua oglindă blochează o parte din lumina incidentă, dar nu în mod semnificativ. Un alt model este cel de tip Cassegrain care trimite lumina secundară spre un orificiu central din oglinda primară. Ocularul este situat în spatele aceluia orificiu central. În fine, există instrumente numite catadioptrice, asemănătoare în general cu telescopul Cassegrain, dar care are în plus o lentilă subțire

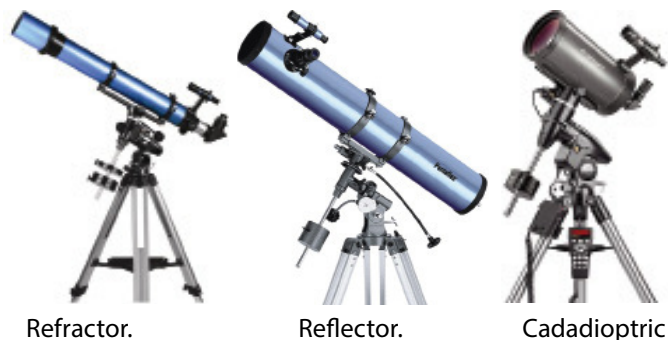


Fig.5: Diferite telescoape optice

la intrarea în tub și care reduce astfel în mare măsură lungimea tubului și îl face mai ușor și portabil.

Grosismul unui telescop este dat de raportul dintre distanța focală a obiectivului (fie că este lentilă sau oglindă) și distanța focală a ocularului. De exemplu, dacă avem un telescop cu o lentilă având distanța focală de 1000 mm și folosim un ocular cu distanța focală de 10 mm, vom obține o mărire de 100. Dacă dorim să dublăm grosismul vom avea nevoie fie de un obiectiv cu distanță focală mai mare, fie să folosim un ocular cu distanța focală mai mică. Acesta din urmă are o limită practică, deoarece ocularele cu distanță focală mică sunt dificil de produs și dau imagini difuze.

Producătorii descriu adeseori telescoapele în termeni de raport focal, de exemplu $f/6$ sau $f/8$. Raportul focal este distanța focală a lentilei sau oglinzii primare împărțită la apertură (diametru) și permite să se afle una dintre cele două mărimi dacă se cunoaște valoarea celeilalte. De exemplu, dacă avem un refractor $f/8$ și lentila obiectiv are diametrul de 60 mm, distanța focală reală a telescopului se va obține înmulțind diametrul cu apertura și anume $8 \times 60 = 480$ mm. Pentru aceeași lentilă, cu cât este mai mare raportul focal, cu atât sunt mai mici câmpul vizual și mărire.

Cu cât este mai mare apertura telescopului, cu atât acesta va capta mai multă lumină, ceea ce ne va permite să vedem obiecte care luminează mult mai slab. De asemenea, oferă un nivel mai înalt de rezoluție, aceasta însemnând capacitatea de a vedea detalii: când rezoluția este redusă se vor vedea doar imagini difuze, neclare, iar când rezoluția este mare se vor vedea imagini foarte clare, cu multe detalii. Apertura influențează observațiile. În nopțile cu Lună Plină sau în situația în care ne aflăm în zone luminate, nu putem vedea stelele care luminează slab.

O altă limitare importantă este stabilitatea atmosferică. Cunoaștem cu toții, cel puțin din scenele de film, modul în care atmosfera caldă a deșertului face să vibreze imaginea în depărtare. Atunci când privim printr-un telescop, micile perturbații din aer fac imaginea să se

miște. Astronomii numesc acest comportament cu cuvântul "vedere". Atmosfera este ceea ce face stelele să clipească.

Imaginea pe care o vedem cu ajutorul unui telescop este răsturnată, dar acest lucru nu contează prea mult: în cosmos pozițiile de sus și jos sunt relative. Există accesorii care răstoarnă imaginea și o aranjează corect, dar acestea au ca efect o reducere ușoară a strălucirii.

Montura este, de asemenea, un element important al unui telescop. O calitate redusă a monturii produce oscilația tubului telescopului de fiecare dată când este atins. Rezultatul este un dans al imaginii care, pe lângă disconfortul creat, determină și dificultăți în a observa detaliile. Este important ca montura să fie rigidă și stabilă.

Există două tipuri de monturi: azimutală și ecuatorială. Montura azimutală este cea mai simplă, dar este cea mai puțin utilă. În această montură este posibilă rotirea spre stânga și spre dreapta în jurul axei sale verticale, respectiv în sus și în jos în jurul axei orizontale. Montura de tip Dobsonian este o montură de tip azimutal care este ușor de transportat și folosit. În montura ecuatorială există două axe înclinate, situate la 90° una față de cealaltă. Axa polară, trebuie să fie direcționată spre polul rotațional al Pământului. Aceasta indică ascensia dreaptă. Cealaltă axă, ecuatorială, ne indică declinațiile. Această montură este utilizată atât de astronomii profesioniști cât și de mulți astronomi amatori. Se poate include un mic motor la axa ecuatorială care să compenseze rotația Pământului. Dacă nu există așa ceva, mai ales în cazul măririlor mari, imaginea părăsește câmpul vizual într-un timp surprinzător de scurt.

Dacă avem o montură ecuatorială, atunci ar trebui să ne orientăm astfel încât axa polară să fie aliniată cu polul nord (sau sud) al cerului. Acest lucru necesită timp dar este necesar pentru motorul ecuatorial de urmărire care servește ca privirea obiectului să nu se deplaseze în timp, aspect esențial în fotografie. Dacă nu avem niciun motor, alinierea exactă este mai puțin importantă dar, pentru a păstra obiectul urmărit în câmpul vizual,



Fig.6: Diferite monturi pentru suporturi de telescop

este bine să utilizăm pentru mișcare o singură roată.

În fine, telescoapele computerizate, au o bază de date cu pozițiile corpurilor cerești și sunt dotate cu două motoare. Îndată ce un astfel de telescop este așezat corect, el este mai ușor de folosit. Oricum, și acesta, pentru a fi fixat pe poziție, trebuie aliniat cu trei stele cunoscute, iar începătorii sunt deseori derutați de această etapă.

Mișcările cerului

Traectoriile stelelor pe cer sunt de fapt urmarea mișcărilor relative de rotație și de translație ale Pământului. Această situație ne face să percepem cerul ca un ansamblu cu două mișcări de bază: diurnă și anuală.

Mișcarea diurnă este foarte importantă. Ea este foarte rapidă și ne permite să observăm cu greu mișcarea anuală, care este mult mai înceată. Pământul se rotește cu 360° în 24 ore, aceasta înseamnă câte 15° în fiecare oră. Mișcarea de translație pe elipsă este de 360° în 365 de zile, ceea ce înseamnă aproape un grad în fiecare zi. Dacă ne imaginăm că nu ne-am rotit, am vedea în fiecare noapte aceeași stea pe cer, în același moment și în același loc, doar că deplasată cu un grad (adică grosimea degetului arătător când brațul este întins) în comparație cu noaptea precedentă. Această observație poate fi făcută dacă luăm ca referință o antenă sau un obiect ce ne permite să comparăm observația de azi cu cea de mâine. Mișcarea de un grad este aproape neglijabilă dacă nu avem o referință și de aceea nu este perceptibilă cu ochiul liber, dar putem constata că cerul este complet diferit după trei sau șase luni. După trei luni, translația corespunde la 90° sau $\frac{1}{4}$ din cer, iar după șase luni la $\frac{1}{2}$ din cer, adică cealaltă parte a bolții cerești, diametral opusă. Această mișcare este mascată în fiecare noapte de mișcarea de rotație, dar și în acest caz toți știm că dacă privim după trei luni cerul constelațiile sunt diferite.

Activitatea 1: Umbrela bolții cerești

O simplă umbrelă ne poate permite să vizualizăm mișcările cerului explicate anterior. O umbrelă, pe care o purtăm în mod obișnuit deasupra capului, este de fapt o boltă pe care putem desena constelațiile dorite. Vom utiliza o umbrelă neagră pe care vom desena cu alb (sau cu corector).

Pe acest model nu vom desena toate constelațiile, ci numai unele și cu cele mai importante stele. Nu căutăm o lucrare de artă frumoasă ci un model de lucru util.

Fiecare umbrelă va reprezenta una dintre cele două emisfere. Intersecția dintre bastonul umbrelei și material este polul emisferei considerate. Marginea materia-

lului corespunde ecuatorului ceresc.

Vom pregăti două umbrele, una pentru fiecare emisferă.

În emisfera nordică vom desena:

- În apropierea Polului Nord (aproape de bastonul umbrelei) Carul Mare, Cassiopeia și Steaua Polară, care este fix acolo unde bastonul umbrelei trece prin materialul textil
- În partea marginală a umbrelei vom desena patru constelații, una pentru fiecare anotimp; alegem cele mai comune și mai ușor de recunoscut:
 - Primăvara: Leu
 - Vara: Cygnus (Lebăda)
 - Toamna: Pegasus
 - Iarna: Orion.

Sigur că este posibil să alegeți alte constelații, dar acestea trebuie să fie distribuite echidistant, cam la 90° una de alta.

În emisfera sudică vom desena:

- În apropierea Polului Sud (lângă bastonul umbrelei) Steaua Sudului; Polul Sud este localizat exact acolo unde bastonul umbrelei trece prin materialul textil.
- În partea marginală a umbrelei vom desena patru constelații, una pentru fiecare anotimp, constelațiile cele mai cunoscute:
 - Primăvară: Vărsătorul
 - Vara: Orion
 - Toamna: Leu
 - Iarna: Scorpion

Ideea este de a alege constelații mari care sunt de obicei deasupra orizontului. Aceasta depinde de locul de observație, dar propunerea poate fi adaptată pentru fiecare caz.

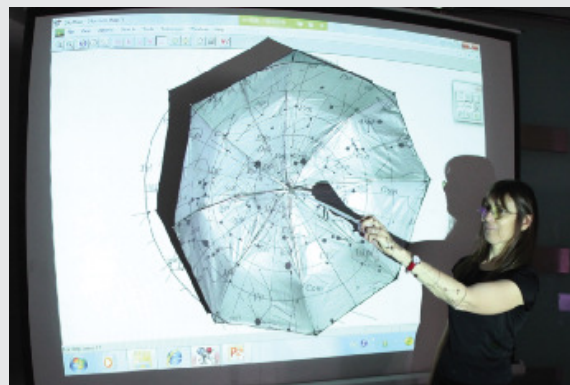


Fig.7: Proiectarea stelelor din emisfera nordică pe un ecran pentru a desena mai ușor constelațiile dorite. Recomandăm să desenați modelul pe o umbrelă neagră; aici pentru a fotografia s-a folosit o altă culoare.

Dacă orașul în care suntem este localizat în zona

ecuatorială între 20° latitudine nordică și 20° latitudine sudică, este necesar să desenăm două umbrele. Dacă suntem în emisfera nordică, la o latitudine între 30° și 90°, vom desena doar umbrela pentru această zonă și la fel vom proceda dacă suntem în emisfera sudică.

Pentru a desena constelațiile cu vopsea albă este convenabil să folosiți Stellarium sau un software similar și să suprapuneți imaginea cu un proiector pe materialul textil al umbrelei, fixând polul exact pe punctul de intersecție dintre bastonul umbrelei și materialul textil. Vom proiecta stelele din emisfera corespunzătoare (figura 7). După ce am finalizat umbrela o vom folosi cu elevii, plasând-o deasupra capului lor (figura 8).



Fig. 8 Folosirea umbrelei pentru emisfera nordică cu elevii

Vom așeza bastonul umbrelei înclinat în direcția polului corespunzător emisferei (ca axa de rotație a Pământului). Imaginează-ți podeaua camerei la nivelul capului nostru, acesta va fi orizontul. Astfel o parte din materialul textil al umbrelei va fi sub orizont. În acest caz distingem două părți utilizând acest orizont imaginar. În partea de lângă pol, cerul observat în decursul anului rămâne cam la fel (este partea de lângă intersecția dintre baston și material). Zona ecuatorială care rămâne mult deasupra orizontului este cea mai interesantă parte deoarece constelațiile se schimbă în decursul unui an (figura 9).

Trebuie să insistăm că acest model explică mișcarea de translație. Ne imaginăm că nu este rotație, aceasta este echivalent cu a face observarea în fiecare noapte la aceeași oră.

De asemenea trebuie să remarcăm că în acest model simplificat, noi vizualizăm mișcarea cerului discret din 90° în 90°, adică din 3 în 3 luni. Cum mișcarea cerului este continuă, când menționăm că o constelație anume este vizibilă în timpul unui anotimp, noi trebuie să înțelegem că e vorba de constelația pe care o vedem în centrul orizontului în luna de mijloc a anotimpului.

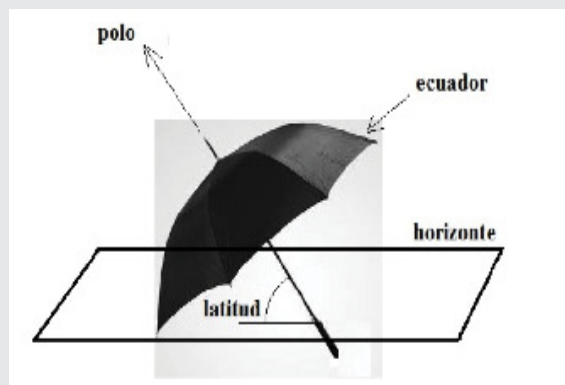


Fig.9: Bastonul umbrelei înclinat în direcția polului corespunzător latitudinii. Ne imaginăm că planul orizontului acoperă o parte a umbrelei.

CUM FOLOSIM MODELUL

Vom folosi umbrela pentru a înțelege mișcarea de translație a Pământului.

Emisfera nordică

Pentru a fixa ideile, să presupunem că suntem la latitudinea nordică de 40°. Punem umbrela pentru emisfera nordică cu bastonul îndreptat către Polul Nord (înclinat la 40° față de orizontală) deasupra capului nostru.

În emisfera nordică, Steaua Polară este practic localizată la Polul Nord. Este ușor de recunoscut Carul Mare sau Cassiopeia. De la Carul (Ursa Mare) se prelungește distanța dintre roțile din spate de cinci ori (spre baza mare a trapezului) și astfel se localizează Steaua Polară. Utilizând Cassiopeia, Steaua Polară se găsește la intersecția celor două bisectoare ale literelor V din care poate fi alcătuită litera W, ce reprezintă constelația.

Orizontul nordic

Privim către zona Stelei Polare. Dacă vom face o rotație vom observa constelațiile Carul Mare și Cassiopeia rotindu-se în jurul Polului Nord în timpul anului (figura 10).

Începem prin a plasa Carul Mare în partea de sus și Cassiopeia jos (ceea ce se întâmplă primăvara), întoarcem mânerul umbrelei cu 90°, astfel încât Carul Mare să fie în stânga și Cassiopeia în dreapta (atunci avem situația din timpul verii). Mai rotim mânerul cu 90°, astfel încât Carul Mare ajunge jos și Cassiopeia sus (aceasta este poziția corespunzătoare pentru toamnă) și în final la o nouă rotire cu 90°, Carul Mare va fi în dreapta și Cassiopeia în stânga (aceasta este poziția lor iarna). Dacă am continua să rotim mânerul am ajunge să reproducem situația inițială și să începem alte patru anotimpuri dintr-un nou an (figura 10).

Așa cum a fost descris întregul proces, s-a înțeles că această zonă a cerului, denumită orizontul nordic este zona orizontului corespunzătoare Polului Nord. Constelațiile pe care le vedem în decursul anului sunt întotdeauna aceleași, dar pozițiile lor variază.

Orizontul sudic

Considerăm acum zona ecuatorială, zona capetelor spițelor umbrelei. Constelațiile din această regiune a orizontului sudic variază odată cu anotimpul. Constelația centrală pentru primăvară este Leu. Așezăm umbrela cu această constelație în cea mai înaltă parte a orizontului. Apoi rotim umbrela cu 90° și vom obține constelația centrală pentru vară: triunghiul Lebadă, Lira și Acvila. După o altă rotație cu 90° ajungem la toamnă și constelația centrală va fi marele patrulater al lui Pegasus. Mai rotim o dată umbrela cu 90° și suntem în anotimpul de iarnă în care constelația Orion, cu câinii ei, domină orizontul cerului.

Emisfera sudică

Considerăm, de exemplu, latitudinea sudică de 40° . Poziționăm umbrela pentru emisfera sudică, deasupra capului cu bastonul îndreptat spre Polul Sud (înclinat la 40° față de podea).

În emisfera sudică nu există nicio stea polară care să ne permită vizualizarea poziției Polului Sud. Constelația Crucea Sudului este folosită pentru a marca poziția Polului Sud ceresc; aceasta se face prin prelungirea axei mari a crucii spre piciorul crucii de 4,5 ori. Constelația face o mișcare de revoluție în jurul polului în 24 de ore. Poziția ei se modifică în decursul unui an pentru același moment al nopții, așa cum se vede în figura 11. Presupunem că obser-

varea se face în același moment și de asemenea că observăm doar rotația cerului datorată translației.

Orizontul sudic

Privește spre zona de intersecție dintre bastonul umbrelei și materialul textil, unde este Polul Sud. Rotim încet mânerul și constatăm rotirea constelației Crucea Sudului în jurul Polului Sud în decursul anului. Începem prin a plasa Crucea Sudului deasupra (aceasta se întâmplă iarna), apoi rotim mânerul umbrelei cu 90° până ce Crucea Sudului ajunge în dreapta (poziția din timpul primăverii). Rotim în continuare în același sens, atunci Crucea Sudului ajunge jos (poziția corespunzătoare verii) și în final mai rotim cu 90° și constelația ajunge în stânga (așa e toamna). Dacă mai rotim vom reproduce situația inițială și astfel încep cele patru anotimpuri ale anului următor (figura 11).

Așa cum a fost descris întregul proces, s-a înțeles că această zonă a cerului, denumită orizontul sudic este zona orizontului corespunzătoare Polului Sud. Constelațiile pe care le vedem în decursul anului sunt întotdeauna aceleași, dar pozițiile lor variază.

Orizontul nordic

Privim spre materialul textil al umbrelei în zona ecuatorială, adică spre orizontul nordic. Această zonă este aceea unde constelațiile variază mai mult. Cele care sunt vizibile vara nu sunt vizibile iarna. Zeus, regele zeilor în mitologia greacă, l-a pus pe uriașul Orion pe cer după moartea lui în urma unei mușcături de scorpion. Tot Zeus a pus constelația Orion diametral opusă constelației Scorpion, pentru ca Orion să nu mai poată să fie atacat.

Constelația centrală din timpul primăverii este Vărsătorul. Rotim umbrela cu 90° și avem pe Orion cu câinii lui de vânătoare pe orizontul nordic, drept constelație centrală în timpul verii. Cu o nouă rotație suntem în anotimpul de toamnă și constelația centrală este Leu. Dacă mai rotim o dată umbrela cu 90° este iarnă și pe orizontul cerului apare frumoasa constelație Scorpion.

Concluzii pentru ambele emisfere

În urma schemei prezentate pentru cele două emisfere pentru cele două orizonturi, putem înțelege mișcarea stelelor pe cerul nopții, datorate mișcării de translație a Pământului.

Dacă vrem să includem și mișcarea de rotație, trebuie să considerăm aceasta în plus față de mișcarea

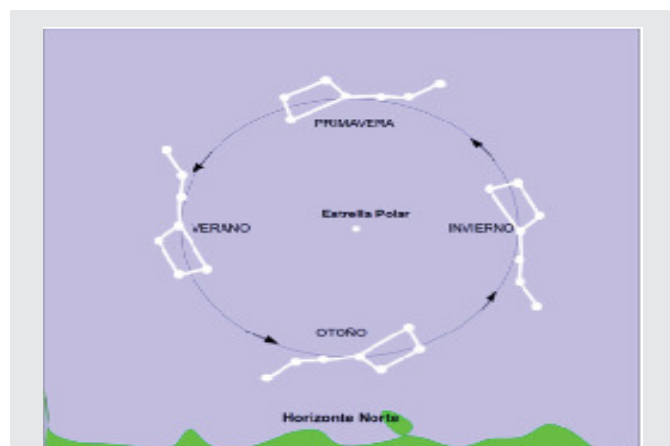


Fig. 10: Pozițiile relative ale Cerului Mare în jurul Polului Nord, în timpul anului

anuală. Într-o zi atât Carul Mare cât și Crucea Sudului fac o rotație completă față de polii corespunzători.

Pentru a simplifica activitatea, am considerat că facem observația în același moment al nopții, astfel că rotația în jurul axei Pământului a putut fi neglijată.

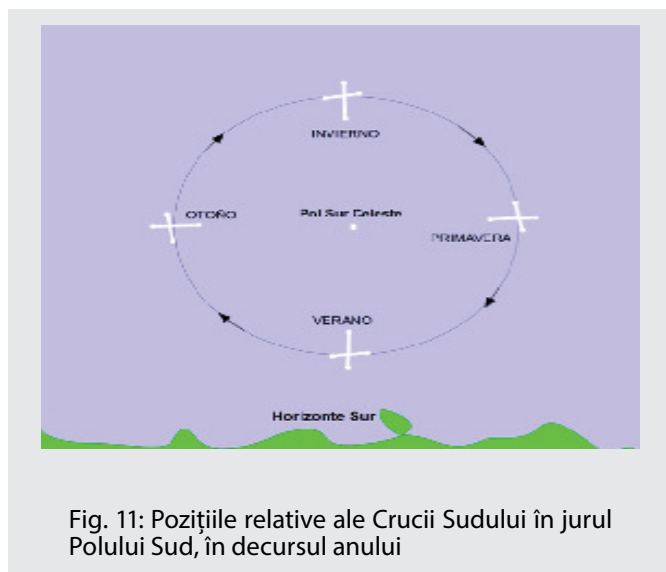


Fig. 11: Pozițiile relative ale Crucii Sudului în jurul Polului Sud, în decursul anului

Cerul întunecat și poluarea luminoasă

Pentru a observa stelele avem nevoie de un cer întunecat. Dar acest lucru este posibil numai dacă ne deplasăm departe, în afara localităților. Oamenii au uitat de cerul înstelat deoarece nu-l mai pot vedea. Această problemă apare deoarece cele mai multe surse de iluminat public produc mari cantități de energie, ce se pierde prin iluminarea cerului, ceea ce nu este necesar. Poluarea luminoasă este o formă de poluare a mediului înconjurător mai puțin cunoscută decât majoritatea celorlalte tipuri de poluare. Ea afectează vizibilitatea cerului nopții și, de asemenea, alterează echilibrul ecosistemului și afectează sănătatea oamenilor deoarece destabilizează ceasurile biologice, care sunt acordate cu perioadele naturale de lumină și întuneric. Pentru a fi atenți la acest subiect, este important ca elevii să învețe să recunoască problema, să-i prevină pe cei din jur în legătură cu consecințele acesteia și să caute și să găsească soluții.

Există trei tipuri de poluare luminoasă:

a) Strălucirea cerului este un fenomen care are loc, în general, datorită iluminatului public orientat înspre exterior. Acest fenomen este evident când călătorim în timpul nopții și ne apropiem de un oraș. În această situație vom vedea o lumină deasupra orașului. Lumina produsă de acest fenomen este pierdută, este cheltuită pentru a ilumina cerul, lucru care nu este necesar și, de aceea, nu numai că afectează vederea stelelor ci și risipește energia

în mod inutil. Acest tip de contaminare este redus prin alegerea cu grijă a tipurilor de becuri și a modului în care sunt direcționate acestea.

b) Intruziunea: lumina exterioară este proiectată în toate direcțiile și o parte din aceasta intră, chiar fără să vrem, în locuințele noastre. Dacă lumina este proiectată în camere, va trebui să o blocăm cu ajutorul perdelelor sau draperiilor.

c) Strălucirea orbitoare: Acest tip de poluare este legat de luminile autovehiculelor și chiar de iluminatul exterior în orașe sau case. Acest tip este evident în locurile în pantă, deoarece strălucirea orbitoare are loc atunci când vedem brusc, neașteptat, o sursă de lumină, de exemplu un reflector.

În ultimul timp, luminile de semnalizare din trafic, cu LED-uri, pot produce acest fel de poluare.

Este posibil ca, folosind diferite programe de pe Internet, să compilăm o serie de activități practice pentru a aborda acest aspect; în acest caz sugerăm numai acele activități care sunt interactive și pot fi ușor de organizat în orice context.

Activitatea 2: Poluarea luminoasă

Obiectivul acestei activități este de a ilustra efectul poluant al luminii neprotejate, recunoscând efectul benefic din punct de vedere astronomic prin alegerea unui sistem proiectat pentru a controla poluarea luminoasă și a evidenția posibilitatea de a îmbunătăți vederea stelelor, în contextul în care putem ilumina locurile în care dorim mai multă lumină.

Pentru a realiza această experiență, avem nevoie de o cutie de carton de anumite dimensiuni care să permită elevilor să privească în interior. Mai întâi desenați constelația pe care ați selectat-o (în exemplul nostru Orion) și marcați mai întâi stelele prin puncte; apoi în aceste puncte practicați mici găuri în funcție de diametrul fiecărei stele și de magnitudinea stelară (figurile 12a și 12b). Constelația reprezentată pe exteriorul cutiei ar trebui să fie imaginea în oglindă a constelației, astfel încât atunci când o privim să o vedem așa cum apare ea pe cer.

În interior cutia trebuie vopsită în negru astfel încât, dacă privim direct în interior, constelația va apărea așa cum este ilustrat în figura 13. "Stelele" sau punctele prin care acestea sunt reprezentate vor fi iluminate pătrunderea luminii exterioare în cutie.

Pregătiți două mingi de tenis de masă și realizați un orificiu care ne va permite să le fixăm pe fiecare la o lanternă. Una dintre mingi este lăsată neschimbată, iar cealaltă este colorată pe partea superioară cu o vopsea de orice culoare, aceasta reprezentând așa-numitul "paravan" care împiedică proiectarea în sus a luminii (figurile 14a și 14b).

Pentru a realiza experimentul este nevoie să folosiți o lanternă la care îndepărtați capacul protector, astfel încât becul electric să rămână liber, ca în figurile 15a și 15b. Atașați mingea de tenis de masă la lanternă.



Fig. 12a și Fig. 12b: Cutia de carton având desenată constelația Orion pe una din laturi

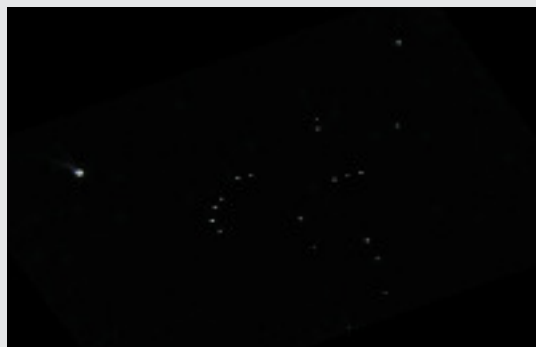


Fig. 13: Imaginea constelației Orion din interiorul cutiei. Fiecare gaură reprezintă o stea



Fig.14a: Mingea de tenis de masă fără paravan.
Fig.14b: Mingea de tenis de masă cu o emisferă vopsită.

Experimentul se realizează în doi pași: mai întâi folosiți numai sursa de lumină. Stingeți luminile pe durata experimentului. Ambele modele (mingi de tenis) sunt testate cu aceeași lanternă pentru a evita variațiile în intensitatea luminii. Proiectăm lumina, atât de la lampa fără paravan (fig. 16a) cât și de la lampa cu paravan (fig. 16b), astfel încât lumina să cadă pe o suprafață netedă aflată în apropiere, de exemplu un perete sau o bucată de carton.

Al doilea pas: privește ce se întâmplă în interiorul cutiei. În figurile 17a și 17b este prezentată situația pentru ambele cazuri, cu și respectiv fără paravan. Dacă participanții nu au posibilitatea să privească în interiorul cutiei, atunci puteți utiliza un aparat de fotografiat digital pentru a fotografia ce se întâmplă în interiorul cutiei. Luminile externe din camera în care se desfășoară experimental ar trebui să fie aprinse.

Veți observa foarte clar ce se întâmplă. În prima situație, în cazul iluminării exterioare putem vedea modul în care sistemul de acoperire folosit controlează poluarea luminoasă: emisia spre cer este mult redusă.

În a doua situație, când se folosesc ambele tipuri de

lanterne în interiorul cutiei, se simulează situația unei nopți în care se folosesc pentru iluminat lămpi fără paravan și care trimit spre cer lumină suplimentară, numită strălucire orbitoare și care împiedică vederea/observarea stelelor. În cazul aparatului de fotografiat digital, folosind expunerea automată, se observă că nu se poate nici măcar focaliza corespunzător spre stele. Dimpotrivă, pentru situația cu lanterna adaptată pentru a controla poluarea luminoasă, este clar că acest dispozitiv permite cerului să fie mult mai întunecat, iar aparatul de fotografiat poate înregistra clar constelația Orion



Fig.15a: Se îndepărtează capacul protector al lanternei. Fig. 15b: Lanterna cu mingea de tenis de masă simulând un corp de iluminat stradal

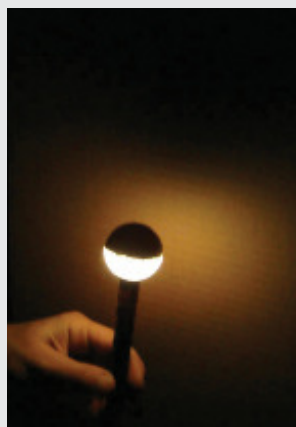


Fig. 16a: Corpul de iluminat fără paravan. Fig. 16b: Corpul de iluminat cu paravan

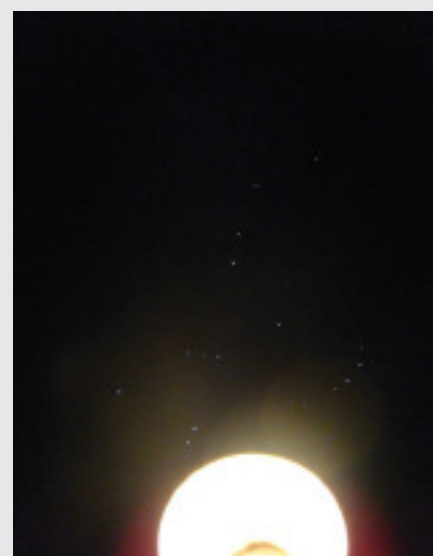
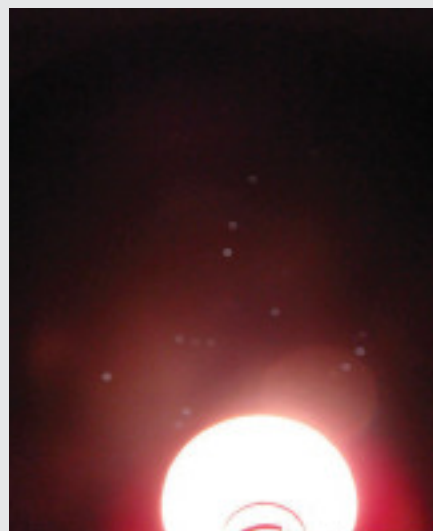


Fig. 17a: Modul în care apare cerul noaptea, cu lanterna fără paravan. Fig. 17b: Modul în care apare cerul noaptea, cu lanterna cu paravan

Bibliografie

- Berthier, D., Descubrir el cielo, Larousse, Barcelona, 2007.
- Bourte, P. y Lacroux, J., Observar el cielo a simple vista o con prismáticos, Larousse, Barcelona, 2010.
- García, B., Ladrones de Estrellas, Ed. Kaicron, Colección Astronomía, BsAs, 2010.
- Reynolds, M., Observación astronómica con prismáticos, Ed. Tutor, Madrid 2006.
- Roth, G.D. Guía de las estrellas y de los Planetas. Omega. Barcelona 1989.