Sistemul Pământ - Lună - Soare: Faze și eclipse

Rosa M. Ros
Uniunea Astronomică Internațională, Universitatea Tehnică din Catalonia
(Barcelona, Spania)

Sumar

Lucrarea următorare 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.

De asemenea, este explicată originea mareelor.

Obiective

- Să se înțeleagă de ce Luna are faze.
- Să se înțeleagă cauza eclipselor de Lună.
- Să se înțeleagă de ce apar eclipsele de Soare.
- Să se determine distanțele și diametrele sistemului Pământ - Lună - Soare.
- Să se înțeleagă 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 realtivă 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 orbitelor 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 le zero la de trei ori pe an.

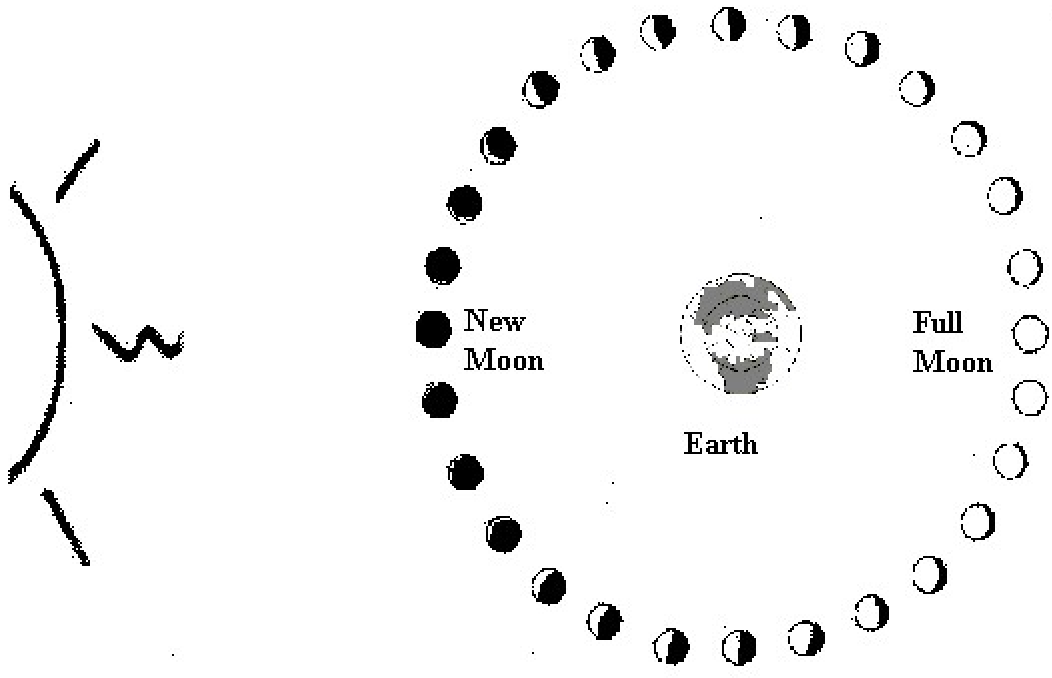

Fig.1: Eclipsele de Soare au loc atunci când Luna este poziționată între Soare și Pământ (Lună Nouă). Eclipsele de Lună apar atunci când Luna trece prin conul de umbră al Pământului (Pământul este poziționat între Soare și Luna Plină).

Modele cu măști

Modelul feței ascunse

Luna are două mișcări: rotația și translația, care au aproximativ aceeași durată, adică aproximativ patru săptămâni. Acesta este motivul pentru care de pe Pământ putem vedea întotdeauna aceeași față a Lunii.

Vom vedea această situație cu un model simplu. Începem prin plasarea voluntarului care joacă rolul Pământului și un singur voluntar „Lună" cu o mască albă. Plasăm voluntarul „Lună" în fața Pământului, privind spre Pământ, înainte de a începe să se miște. Astfel, dacă Luna se mișcă 90 de grade pe orbita sa în jurul Pământului, ea trebuie să se și întoarcă cu 90 de grade în jurul axei sale și prin urmare, va continua să privească cu fața spre Pământ și așa mai departe. Vom întreba voluntarul Pământ dacă poate vedea aceeași față a Lunii sau poate vedea o parte diferită. Repetăm aceasta de patru ori, deplasându-ne mereu cu 90^0. Este evident că la fiecare 90^0, adică în fiecare săptămână, Pământul poate vedea întotdeauna aceeași parte a Lunii, partea din spate a capului voluntarului nu este vizibilă niciodată.

Modelul fazelor Lunii

Pentru a explica fazele Lunii, cel mai bine este să folosiți un model cu o lanternă sau cu un proiector (care va reprezenta Soarele) și minimum cinci voluntari. Unul dintre ei va fi situat în centru, reprezentând Pământul, iar ceilalți vor fi situați în jurul „Pământului”, la distanțe egale, pentru a simula diferite faze ale Lunii.

Pentru a face modelul mai atractiv este o idee bună ca fiecare „Lună” să poarte o mască albă, care să imite culoarea lunii. Toți trebuie să stea cu fețele spre „Pământ” pentru că știm că întotdeauna Luna oferă aceeași față Pământului (figura 2). Vom așeza lanterna deasupra și în spatele unuia dintre acești voluntari și vom începe să vizualizăm fazele (așa cum se văd de pe Pământ, care este în centru). Este foarte ușor să descoperiți că uneori masca este complet luminată, alteori doar un sfert și alteori deloc (pentru că lanterna, „Soarele”, se află în spatele acelei „Luni”, iar lumina ei luminează scena). Cu cât este mai mare numărul de voluntari, „Luni”, cu atât mai multe faze pot fi văzute.

Fig. 2:Modelul fazelor Lunii 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 se fixează două sfere cu diametrele de 1 cm și respectiv de 4 cm (figura 3).

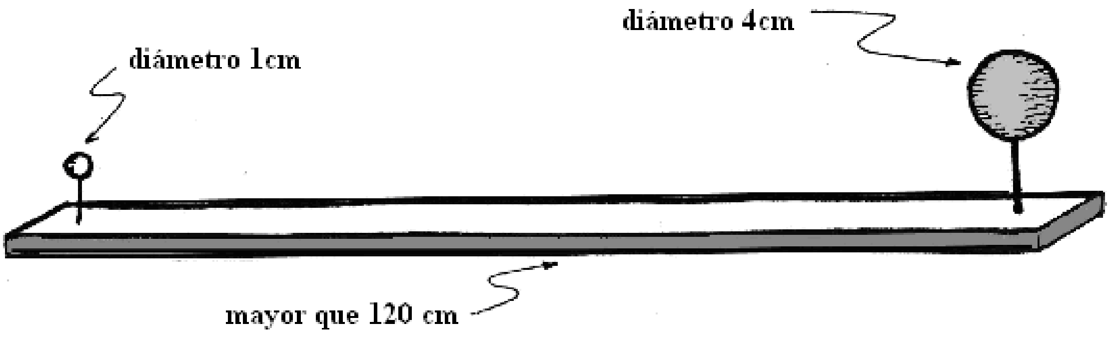

Fig. 3: Modelul Pământ – Lună

Este important să menţineţi aceste dimensiuni deoarece ele reprezintă un model la scară al sistemului Pământ – Lună.

Diametrul Pământului	12800 km	→	4 cm
Diametrul Lunii	3500 km	→	1 cm
Distanța Pământ - Lună	384000 km	→	120 cm
Diametrul Soarelui	1400000 km	→	440 cm = 4,4 m
Distanța Pământ - Soare	150000000 km	→	47000 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.

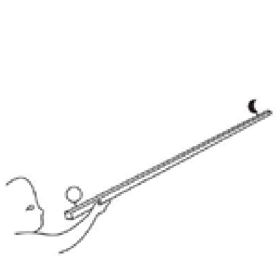

Fig.4: Folosirea modelului în curtea școlii

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

Modelul se ține astfel încât sfera, care reprezintă Pământul, să fie îndreptată spre Soare (este mai bine să se folosească un proiector 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 de a reproduce o eclipsă de Lună.

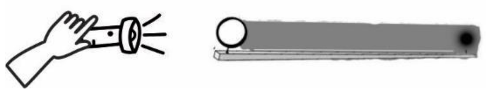

Fig.5a și 5b: Simularea eclipsei de Lună

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

Simularea eclipsei de Soare

Modelul este plasat astfel încât sfera care reprezintă Luna este îndreptată către Soare (este mai bine să fie utilizat un proiector) 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).

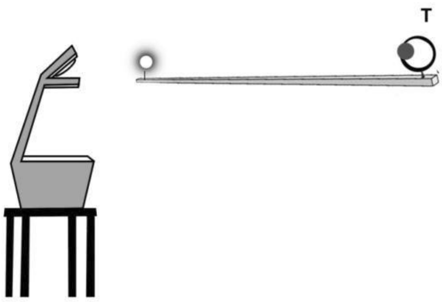

Fig. 7a și 7b Simularea eclipsei de Soare

Nu este ușor să se realizeze această situație pentru că înclinația modelului trebuie să fie atent reglată (acesta este motivul pentru care sunt mai puțin eclipse de Soare decât cele de Lună).

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

Observații

- O eclipsă de Lună poate avea loc numai atunci când este Lună Plină, iar una de Soare numai atunci când este Lună Nouă.
- O 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 - Lună

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 şi 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 surprinşi de faptul că ei pot acoperi marele Soare cu această mică Lună. Nu este uşor 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	1400 000 km	220 cm
Distanța Pământ-Soare	150 000 000 km	235 m

Tabel 2: Distanțe și diametre în sistemului Pământ-Lună-Soare

Fig. 10: Modelul pentru Soare

Fig. 11: Observarea Soarelui și a Lunii cu modelul

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.

Fig. 12 și 13: Model pentru camera obscură.

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

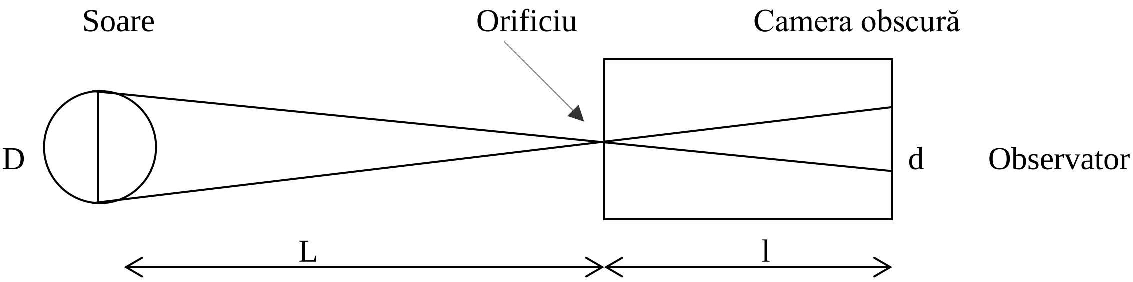

Fig. 14: Formarea imaginii - reprezentare geometrică

Stabilim relația de proporționalitate:

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

Aflăm valoarea diametrului Soarelui, D:

$$D = \frac{Ld}{l}$$

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, se poate calcula diametrul D al Soarelui. (Amintiți-vă că diametrul solar este de 1392000 km.).

Putem repeta exercițiul pentru Luna Plină, știind că Luna 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.

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 unghiul dintre linia Pământ-Soare și linia Pământ-Lună, când Luna se află în Primul Pătrar, ca fiind $\alpha=87^0$ (figura 15).

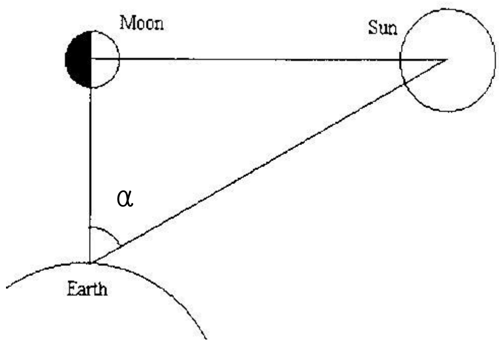

Fig. 15: Poziția relativă a Lunii în Primul Pătrar

În zilele noastre știm că el a greșit puțin, posibil din cauză că era foarte dificil să determine precis când era Luna fix în Primul Pătrar. De fapt unghiul este $\alpha = 89^0\ 51'$, dar metoda utilizată de Aristarchus este foarte corectă. În figura 15, dacă utilizăm funcția cosinus putem deduce:

$$\cos \alpha = EM/ES$$

unde ES este distanța de la Pământ la Soare, iar EM este distanța de la Pământ la Lună. Apoi obținem aproximativ:

$$ES = 400\ EM$$

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

Relația dintre raza Lunii și cea a 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 °. Deci, ambele rapoarte sunt egale. Astfel:

$$R_S = 400\ R_M$$

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

Aristarh presupune orbita Lunii ca un cerc în jurul Pământului. Deoarece diametrul observat al Lunii corespunde unui unghi de 0,5 grade, atunci unghiul total (360 °) al traiectoriei Lunii în jurul Pământului este de 720 de ori mai mare. Lungimea traiectoriei circulare este egală cu 2π înmulțit cu distanța Pământ-Lună, adică $2\cdot R_M \cdot 720 = 2\pi \cdot EM$. Rezolvând, găsim:

$$EM = (720 \cdot R_M)/\pi$$

Printr-un raționament similar găsim: $ES = (720 \cdot R_S)/\pi$

Aceste relații sunt între distanțele de la Pământ la Lună sau de la Pământ la Soare și raza Lunii, respectiv raza Soarelui.

Relația dintre distanțele de la Pământ la Soare și la Lună, raza lunară, raza solară și raza terestră.

În timpul unei eclipse de Lună, Aristarh a observat că timpul necesar Lunii pentru a traversa conul de umbră al Pământului a fost de două ori mai mare decât timpul necesar pentru acoperirea suprafeței Lunii (figurile 16a și 16b). Prin urmare, a concluzionat că umbra diametrului Pământului era de două ori mai mare decât diametrul Lunii, adică raportul ambelor diametre sau raze era de 2:1. Astăzi, se știe că această valoare este 2,6:1.

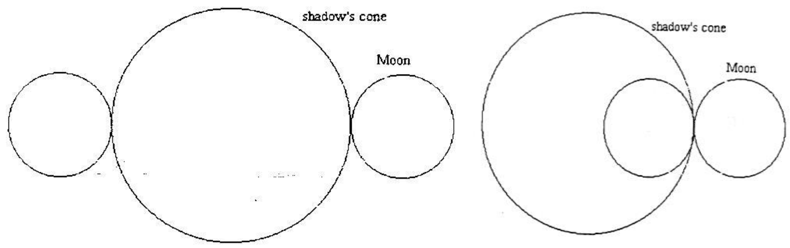

Fig. 16a: Măsurarea conului de umbră Fig.16b: Măsurarea diametrului Lunii

Rezumat final

Luând în considerare ultimele rezultate și figura 17, deducem următoarea relație:

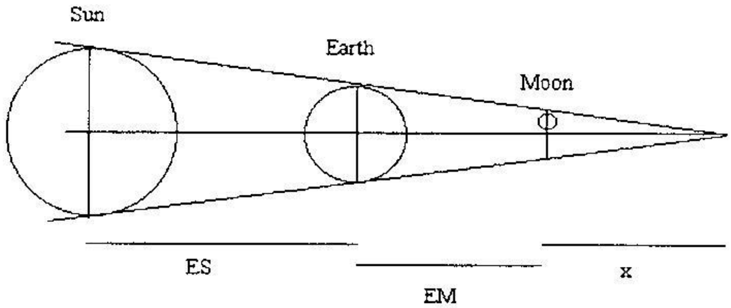

Fig. 17: Conul de umbră și pozițiile relative ale sistemului Pământ-Lună-Soare

$$x /(2{,}6\ R_M) = (x+EM) / R_E = (x+EM+ES) / R_S$$

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

$$R_M = (401/1440)\ R_E$$

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

$$R_S= (2005 /18)\ R_E,\ \ ES = (80200 /\pi)\ R_E,\ EM = (401 /(2\pi))\ R_E$$

Trebuie doar să înlocuim raza planetei noastre și obținem toate distanțele și razele sistemului Pământ-Lună-Soare.

Măsurători cu elevii

Este o idee bună să repetăm cu elevii măsurătorile făcute de Aristarh. În primul rând tebuie 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 $\alpha = 87^o$ sau $\alpha = 89^o\ 51'$ (această precizie este greu de obținut).

În al doilea rând, în timpul unei eclipse de Lună, folosind un cronometru, este posibil să se calculeze relația dintre următoarele intervale de timp: „durata dintre primul și ultimul contact al Lunii cu conul de umbră al Pământului”, corespunzătoare diametrului conului de umbră al Pământului (figura 16a) și „durata necesară pentru acoperirea suprafeței lunare”, corespunzătoare diametrului Lunii (figura 16b). În cele din urmă, este posibil să se verifice dacă raportul dintre acestea este 2 : 1 sau este 2,6 : 1 sau este diferit.

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 acest caz, ingeniozitatea lui Aristarh a fost foarte importantă pentru a da o ideie 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

Eratostene a fost directorul Bibliotecii din Alexandria. Într-unul dintre textele bibliotecii, el a citit că în orașul Syena (acum Aswan), în ziua solstițiului de vară, la amiazi, Soarele se reflecta pe apa unei fântâni adânci sau ceea ce înseamnă același lucru, un băț nu are umbră. El a menționat că în aceeași zi, în același moment al zilei, un băț nu produce umbră în Alexandria. De aici, el a dedus că suprafața Pământului nu poate fi plană, ci ar trebui să fie sferică (figurile 18a și 18b)

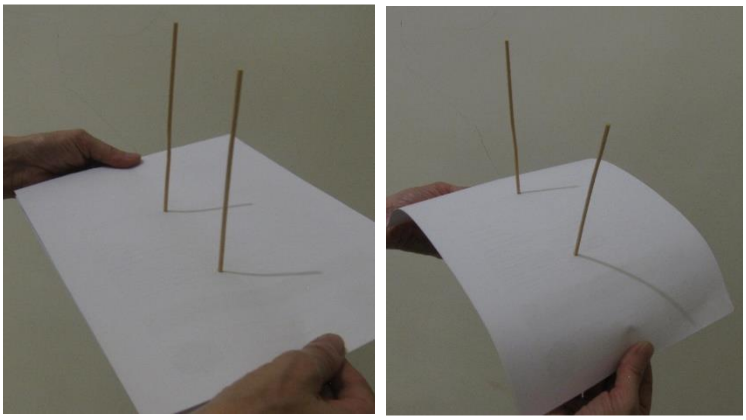

Fig. 18a și 18b: Pe o suprafață plană, cele două bețe produc aceeași umbră, dar când suprafața este curbă, umbrele sunt diferite.

Considerați două bețe/bastoane plasate perpendicular pe sol, în două orașe de pe suprafața Pământului, aflate pe același meridian. Bastoanele ar trebui să fie îndreptate spre centrul Pământului. De obicei, este mai bine să folosiți un fir cu plumb, pe care marcați un punct al firului pentru a putea măsura lungimile. Va trebui să măsurați lungimea firului cu plumb de la sol la semn și lungimea umbrei acestei porțiuni, de la umbra bazei firului cu plumb până la umbra semnului.

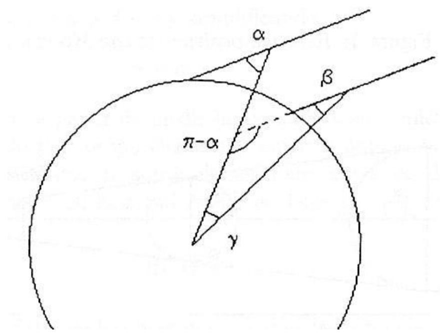

Fig. 19: Plasarea firelor cu plumb și unghiurile din experimentul lui Eratostene

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 α și β (figura 18). Unghiul la centru γ poate fi calculat, ținând cont că suma unghiurilor unui triunghi este egală cu π radiani. Atunci $\pi = \pi - \alpha + \beta + \gamma$ și simplificând rezultă:

$$\gamma = \alpha - \beta$$

unde α și β se obțin cu ajutorul firului cu plumb și a umbrei sale.

În final, știind că există proporționalitate între unghiul la centru γ 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:

$$\gamma/d = 2\gamma/(2\pi R_E).$$

Apoi deducem:

$$R_E = d/\gamma$$

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

În cazul lui Eratostene, unghiul β a fost zero și $\gamma = \alpha$, iar d a fost distanța dintre Alexandria și Siena. Astfel el a putut să obțină un bun rezultat pentru raza terestră.

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, 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.

Mareele se datorează în principal atracției dintre Lună și Pământ. Fluxurile apar pe părțile laterale ale Pământului, pe partea cea mai apropiată de Lună și pe partea opusă (figura 20). Refluxurile apar în regiunile intermediare.

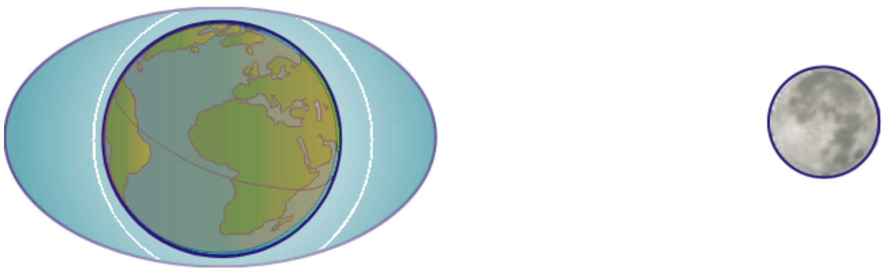

Fig. 20: Efectul de maree.

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).

$$F_g = k\frac{m_P m_L}{d^2}$$

unde k este cosntanta atracției universale, m_P este masa Pământului, m_L 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 accelearția gravitațională în conformitate cu a doua lege a lui Newton (F = ma). Astfel, accelerația determinată de Lună asupra unui corp de pe Pământ este dată de realația:

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

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 elpsoid (figura 21).

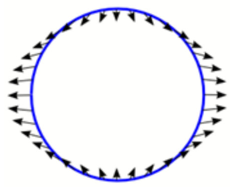

Fig. 21: Efectul asupra apei a variației relative a accelerației Pământului, în diferite zone ale oceanului

Acest elipsoid este mai extins spre Lună (figura 20). Astfel, fiecare punct de pe Pământ va avea un flux urmat de un reflux de două ori pe zi. Într-adevăr, perioada dintre două maree 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 360º în 29,5 zile, astfel încât se va mişca pe cer cu aproape 12,2º în fiecare zi sau cu 6,6 º la fiecare 12 ore. Deoarece în fiecare oră Pământul se rotește și el cu 15°, atunci 6,6° 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.

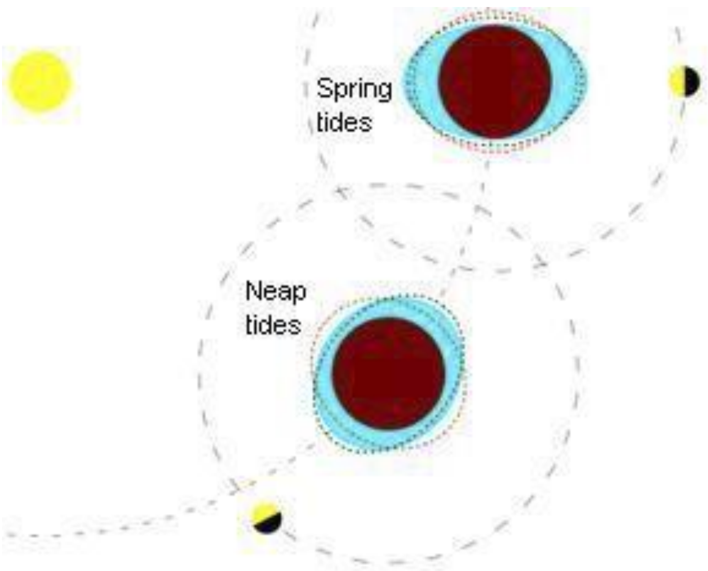

Fig. 22: Mareea de sizigii și mareea de cuadratură

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 22).

Bibliografie

- Alonso, M., Finn,E.Física - um curso universitário. Volume I. Ed. Edgard Blucher, 1972
- 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, Mexico, 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.
- Ros, R.M., Viñuales, E., Aristarchos' Proportions, Proceedings of 3rd EAAE
- International Summer School, 55, 64, Barcelona, 1999.
- Ros, R.M., Viñuales, E., El mundo a través de los astrónomos alejandrinos, Astronomía, Astrofotografía y Astronáutica, 63, 21. Lérida, 1993.