

## **Măsurând cerul și pământul**

Aventura măsurării cosmosului,  
de la Eratostene la paralaxa stelară

FERNANDO J. BALLESTEROS

Traducere de Luiza Stroe

## CUPRINS

### Capitolul 0

<b>Bețe, umbre și triunghiuri</b>	7
Umbra lui Eratostene	10
<i>Instrumente astronomice în Antichitate</i>	16
<i>Teorema lui Thales</i>	20
Centrul lui Aristarh	23
<i>Unghiul, măsură astronomică prin excelență</i>	26
Privirea alternativă a lui Hiparh	30
Dimensiunile universului	37

### Capitolul 1

<b>Renașterea științei</b>	41
Visul primului mileniu	43
<i>Astrolabul</i>	48
Ceasuri și giganți	53
<i>Alte instrumente medievale pentru măsurarea înălțimilor</i>	54
Renașterea științei	62
<i>Vernierul</i>	63
Unde mă aflu?	68
<i>Cadranul lui Davis</i>	70
<i>Sextantul</i>	78

**Capitolul 2**

<b>Dimensiunea Universului</b>	83
Unitatea astronomică	85
Forma Pământului	94
<i>Rotund sau oval?</i>	96
Măsurii tranzitorii	99
<i>Distanța până la Lună</i>	104
Un sistem internațional	107
Concluzie: pe Pământ așa cum este în cer	114
<b>Epilog</b>	
<b>Eppur si muove</b>	117
Anexa 1. Măsurarea distanței până la Lună de Lalande și Lacaille	121
Anexa 2. Măsurarea coordonatelor cerești ale unei stele	125
Anexa 3. Corecțiile înălțimii unei stele	129
Anexa 4. Măsurarea distanțelor dincolo de paralaxă	133
<b>Bibliografie recomandată</b>	139

## Bețe, umbre și triunghiuri

*„Eratostene nu avea alte instrumente decât bastoane, ochi, picioare, cap și o mare dorință de a experimenta; cu aceste instrumente a dedus corect circumferința Pământului cu o precizie excelentă și o marjă de eroare minimă.”*

(Carl Sagan, *Cosmos*)

Sufocat de vara fierbinte egipteană, directorul își șterge fruntea cu o cârpă și își cheamă asistentul.

— Mai adu-mi apă. Ce căldură!

— Maestre, astăzi este cea mai lungă zi a anului, este aproape amiază și suntem în plin soare. Este normal să fie atât de cald. De ce nu ne adăpostim la umbra făcută de perete?

— Pentru că exact asta îmi trebuie, un loc fără umbre. Nu vreau ca nimic să interfereze cu măsurătorile mele. Trebuie să măsurăm cu precizie lungimea umbrei gnomonului la prânz. Pune un alt semn.

Ascultător, asistentul marchează cu vârful unei dălți capătul umbrei care proiectează un băț vertical încorporat pe o tabletă de ceară, altul într-o lungă succesiune de semne. După aceea, pune un castron în butoiul de lângă perete, în timp ce greierii cântă pe terasa observatorului.

— Poftiți apă! Ce credeți că se va întâmpla la prânz?

— Acum câteva luni am citit un raport la bibliotecă care mi-a atras atenția. Spunea că în Siena<sup>1</sup> există o fântână celebră în care, la amiaza celei mai lungi zile ale anului, Soarele strălucește chiar în

<sup>1</sup> Nu se referă la orașul Siena din Italia, ci la orașul egiptean cunoscut azi ca Assuan.

adâncul ei, fără a lumina pereții. Am întrebat în piață câțiva negustori care au făcut comerț în Siena și unul dintre ei mi-a confirmat că a văzut o dată fenomenul.

— Și ce înseamnă asta?

— Asta înseamnă că, în Siena, în ziua cea mai lungă a anului, adică azi, Soarele va atinge apogeul. De aceea un gnomon ca acesta nu ar trebui să proiecteze nicio umbră. Ce crezi că se va întâmpla azi aici?

— Ei bine, fără îndoială, va fi la fel. Când Soarele va fi în punctul culminant, va atinge apogeul, iar gnomonul nu va umbri.

— Și aici există fântâni și nu am auzit pe nimeni să menționeze un fenomen similar. Mai pune un semn.

Asistentul marchează din nou pe tăblița de ceară capătul umbrei bățului vertical, și rămâne ușor surprins. „Cred că s-a înclinat”, își spune în sine sa, și, cu un fir cu plumb, verifică dacă bățul este perfect vertical.

— Ce se întâmplă, llotes?

— Maestre, aș spune că umbra este puțin mai lungă acum. Am crezut că s-a mișcat gnomonul, dar pare a fi în poziție corectă.

— Perfect! Înseamnă că a trecut de prânz. Și, prin urmare, avem măsurătorile noastre.

— Dar nu este posibil, umbra nu a dispărut încă...

— Așa este. Și ce înțelegi tu din faptul că, în acest moment, în Siena Soarele se află la apogeu, dar aici nu?

După câteva momente incomode în care chipul asistentului reflectă dorința-i evidentă de a se afla în alt loc decât sub privirea curioasă a profesorului său, el concluzionează:

— Oh, în numele lui Serapis, nu știu ce vă învață azi. Nu mai știți să gândiți? Concluzia este că Pământul este rotund, așa cum susține Aristotel în propria sa școală, *Lyceum*. Nici numele ăsta nu îți este cunoscut?

Paloarea de pe fața asistentului se accentuase atât de mult încât maestrului i se făcuse milă de el.

— Bine. Ascultă, Pământul este curbat, este o sferă. De aceea gnomonul acesta, chiar dacă este așezat vertical, nu este paralel cu un alt gnomon vertical din Siena, și de aceea umbrele lor sunt diferite. Acest lucru nu doar demonstrează ceea ce știam deja. Ne mai ajută și să putem măsura Pământul. Hai, măsoară dimensiunea umbrei de la baza gnomonului până la cel mai apropiat semn.

— Da, maestre, răspunse asistentul, și după ce măsoară, adaugă: Este de trei degete.

— Acest gnomon este de un cot, adică, douăzeci și patru de degete. Dar este înfipt în tablă până la bază, deci măsoară mai puțin. Măsoară grosimea tablei.

— Este de un sfert de deget.

Luând o altă tăbliță, maestrul începe să facă câteva calcule și, după ce a mâzgălit câteva clipe, un zâmbet îi luminează fața.

— Ilotes, am reușit. Raportul dintre umbră și gnomon corespunde unui unghi de cincizeci de ori mai mic decât cercul complet. Conform rapoartelor pe care le-am adunat despre armata lui Ptolemeu și despre diferite caravane comerciale, care vin în Alexandria mergând mereu spre nord, Siena este chiar la sud de aici. Distanțele prezentate coincid, Siena este la 5000 de stadii<sup>1</sup> distanță. Dacă aceasta corespunde cu o cincizecime din cercul lumii, lumea trebuie să fie de cincizeci de ori mai mare, adică 250 000 de stadii. *Eureka!*, cum îi place prietenului meu Arhimede să spună.

— Am reușit!

— Fără îndoială! Suntem primii oameni care cunosc dimensiunile lumii. Numai pentru asta, bunule meu Ilotes, numele tău va intra în istoria științei.

— Mulțumiri, maestre Eratostene!, răspunse asistentul, iar fața îi radia de satisfacție.

---

<sup>1</sup> *stadie* – veche unitate de măsură pentru lungime la greci, care varia între 147 și 192 de metri. (n.r.)

Dar directorul Bibliotecii nu îl mai auzea, deoarece capul lui era plin de idei despre cum să pună toate acestea într-o carte. Salutând, a intrat în clădirea mare, care era bijuteria științifică a Alexandriei.

## Umbra lui Eratostene

**Eratostene din Cyrene (276-194 î.Hr.)** a fost unul dintre primii directori ai Muzeului Alexandriei și al celebrei Biblioteci din Alexandria, fondată în jurul anului 300 î.Hr. de Ptolemeu I, primul faraon din perioada elenistică a Egiptului. În 236 î.Hr., nepotul acestuia, Ptolemeu al III-lea, l-a însărcinat pe Eratostene să conducă Muzeul. Inspirat de Lyceum lui Aristotel, Muzeul a fost un loc dedicat acumulării de cunoștințe, cercetării și predării, al cărui mod de funcționare era în multe privințe similar cu cel al universităților actuale, în timp ce biblioteca păstra cărțile necesare în activitatea multor universitari care lucrau la muzeu, plătiți de Stat. Biblioteca din Alexandria a fost cea mai mare din Antichitate și a avut o colecție imensă de cărți, ajungând la aproape un milion de volume. Eratostene a fost geograf și aparent primul care a folosit o rețea de linii de latitudine și longitudine pentru a desena o hartă a lumii, meridianul zero trecând prin Alexandria, extinzând astfel opera lui Dicearco din Messina (care a desenat în harta sa un singur meridian și o paralelă centrate pe Rodos, ca punct de referință). A fost și astronom, așa că una dintre primele sale acțiuni a fost aceea de a oferi instituției un observator astronomic pe care l-a instalat pe una dintre terasele bibliotecii (în anul 230 î.Hr.). Datorită măsurărilor realizate acolo, cei doi astronomi cunoscuți ai Antichității și-au făcut descoperirile. Pe de o parte, Hiparh, despre care vom discuta în această lucrare, care a realizat prima hartă de mărimi stelare despre care există dovezi și a descoperit precesiunea echinoctiilor (fenomenul curios prin care nordul ceresc își schimbă poziția de-a lungul secolelor). Și pe de altă parte, Claudio Ptolomeo, autorul unui tratat matematic al

sistemului solar care a dominat și corodat astronomia medievală până la apariția lui Copernic.

### **Contextul științific al activității lui Eratostene**

În prezent este clar că sistemul științific grecesc era de fapt mult mai avansat decât se credea și foarte modern în concepția sa. Avea o vastă rețea științifică de colaborări, transmitere de informații și călătorii academice (însuși Eratostene a studiat un sezon la Atena). Profunzimea revoluției științifice care a avut loc în Grecia antică a fost probabil comparabilă cu cea a Renașterii, deși mai târziu a căzut în uitare și doar fragmente au supraviețuit până în prezent. Lucio Russo în cartea sa *La rivoluzione dimenticata* (2003) atribuie declinul acesteia cuceririi romane, deoarece patricienii i-au luat pe înțelepții greci (pe care îi admirau, dar nu-i înțelegeau) drept sclavi păzitori ai copiilor lor, dezmembrând astfel sistemul științific elen. Artefacte foarte dezvoltate precum mecanismul Antikythera sau motorul cu aburi al lui Heron au fost posibile doar datorită unui context științific foarte dezvoltat. Relația științei grecești cu tehnologia a fost cheia dezvoltării acesteia, inclusiv în școlile care puneau accent pe calitate și deducere prin rațiune, ca *Lyceum* atenian, predomina abordarea empirică.

De fapt, când Eratostene a efectuat măsurătoarea amintită în dialogul cu care începe acest capitol, sfericitatea Pământului era bine stabilită: prima demonstrație a fost opera lui **Aristotel (384-322 î.Hr.)**, fondatorul școlii *Lyceum*, care a avut la bază fapte experimentale, două în mod concret. Primul se referă la eclipsele de Lună care au loc întotdeauna în faza lunii pline, când Luna este exact în direcția opusă Soarelui, așa cum se vede de pe Pământ. Prin urmare, Pământul se află între cele două corpuri, fapt din care a dedus că pata întunecată care umbrește Luna în timpul eclipsei era umbra Pământului însuși. Și al doilea experiment este că această umbră este întotdeauna rotundă. S-ar putea spune că lucrul acesta indică doar faptul că Pământul este

rotund, adică ar putea avea forma unui disc plat plutind în spațiu. Dar o eclipsă de Lună nu are loc întotdeauna în același timp; uneori eclipsa apare atunci când Luna plină este joasă la orizont, aproape de est, la scurt timp după apus; alteori, când este aproape de vest, cu puțin înainte de zori; și în alte momente când culminează în apropiere de sud, la miezul nopții.

După cum se poate vedea în figura 1, dacă Pământul ar fi într-adevăr un disc plat, umbra aruncată pe Lună ar fi diferită în fiecare dintre aceste situații și ar fi perfect circulară doar atunci când Luna ar fi perpendiculară pe Pământ, la miezul nopții (dacă

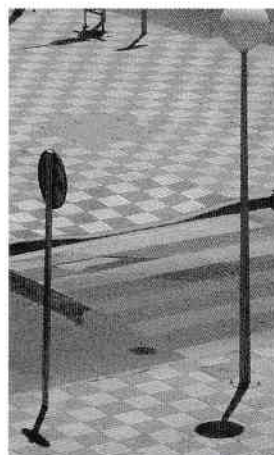
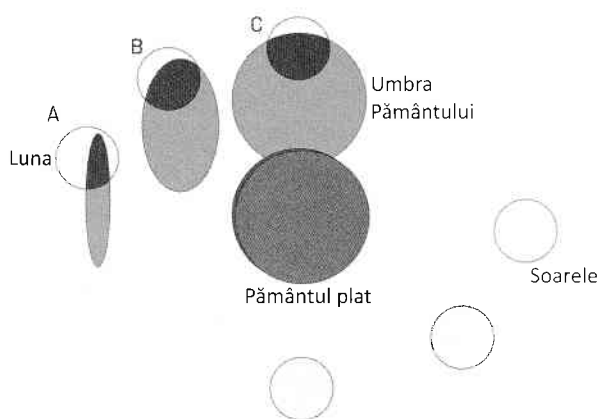


Figura 1. Stânga, primele faze ale unei eclipse de Lună presupunând că Pământul este plat, în funcție de momentul producerii eclipsei de Lună: dacă are loc aproape de zori/ amurg (A) sau doar la miezul nopții (C), și o situație intermediară. Doar în cazul unei eclipse produse chiar la miezul nopții, umbra unui Pământ în formă de disc ar fi perfect circulară, în timp ce dacă eclipsa are loc aproape de răsărit sau de apus, umbra ar arăta o excentricitate marcată. Pentru ca umbra să fie circulară în toate circumstanțele, Pământul trebuie să fie sferic. Umbra Pământului este prezentată în gri și partea care este proiectată pe Lună a fost întunecată. În dreapta, o umbră circulară proiectată pe sol de un lampion sferic și eliptic în cazul discului unui semnal de circulație (autorul imaginilor: Enric Marco).

se presupune că Soarele trece perpendicular *pe sub* Pământ, altfel nici măcar în această situație); ar arăta ca o elipsă de excentricitate în creștere odată cu apropierea de orizont. Faptul că este întotdeauna rotundă în toate situațiile, demonstrează că este de fapt o sferă.

În cartea sa, Aristotel oferă încă un argument. Când cineva se deplasează înspre nord sau sud, orizontul nopții se schimbă substanțial. Există câteva stele vizibile din Egipt care nu sunt vizibile din Grecia. Iar înălțimea la care culminează stelele se schimbă în funcție de latitudine. Când a observat că această schimbare este substanțială chiar și după distanțe relativ scurte, Aristotel a dedus că dimensiunea Pământului nu ar putea fi foarte mare, „nu este un cerc mare”. Tot lui Aristotel îi mai aparține o altă demonstrație clasică a sfericității Pământului, deși cel mai probabil este vorba de un apocrif. Ne referim la bine cunoscuta problemă conform căreia, atunci când o navă iese în larg, prima parte a acesteia care nu mai este vizibilă este carena și ultima parte este catargul (acest lucru este mai ușor de spus decât de observat datorită dispersiei atmosferice și a ceții). Cauza acestui fenomen nu poate fi numai distanța. Pe un Pământ plat, navele ar deveni din ce în ce mai mici până ar dispărea pur și simplu. De asemenea, dacă există un turn sau un far lângă țărm și cineva urcă în momentul în care nava a dispărut din vedere, brusc nava poate fi văzută din nou; ca și cum ar fi aruncat o privire din spatele unui deal, deși în acest caz dealul este curbura Pământului.

La momentul măsurării, lui Eratostene nu numai că îi era cunoscută sfericitatea Pământului, dar știa și că distanța față de Soare era suficient de mare pentru a considera că razele sale lovesc paralel. Fără aceste două premise, el nu ar fi putut calcula dimensiunea Pământului, deoarece rezultatul în sine nu dovedea nimic. Discrepanța dintre umbrele din Siena și Alexandria ar putea fi explicată și într-un context al Pământului plat, plasând Soarele suficient de aproape, așa cum se vede în figura 2.

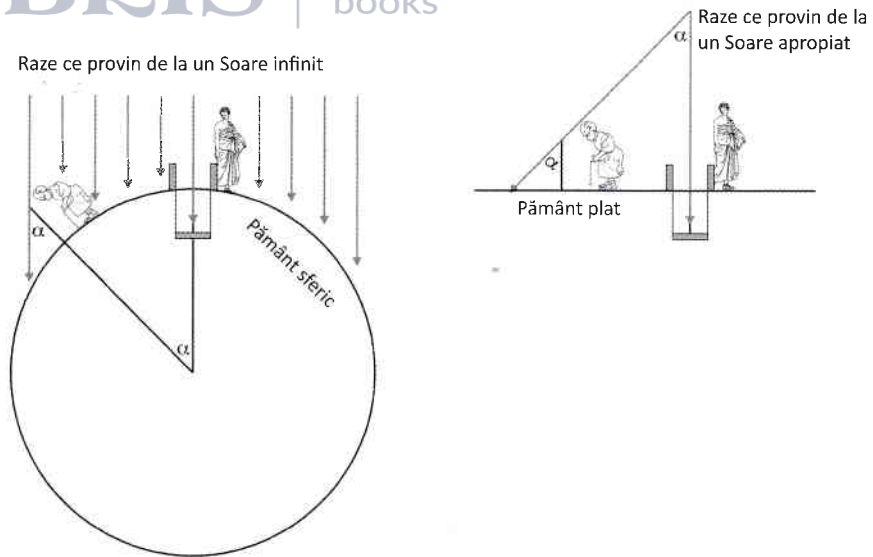


Figura 2. Două cazuri în care lumina Soarelui ar putea atinge fundul unei fântâni în Siena în același timp în care un gnomon aruncă o umbră consistentă în Alexandria: în stânga, un Pământ sferic și un Soare îndepărtat; în dreapta, un Pământ plat și un Soare apropiat. Numai din acest rezultat este imposibil să se deducă care este situația reală.

### **Măsurarea dimensiunii Pământului de Eratostene**

Munca lui Eratostene a ajuns la noi prin intermediul altor autori. Detaliile faimoasei sale măsurători ale perimetrului Pământului, pe care aparent le-a publicat într-o carte, s-au pierdut, cu excepția fragmentelor menționate de alți autori clasici, cum ar fi Heron din Alexandria (care dezvăluie chiar numele cărții: *Peri tēs anametrēsios tēs gēs*, „Măsurarea Pământului”), Pliniu, Strabon sau Cleomedes. Acesta din urmă a realizat, câteva secole mai târziu, un rezumat bine detaliat al măsurării lui Eratostene pe care se bazează în general dialogul de la începutul acestui capitol. În mod curios, deși cifra pe care Cleomedes o citează pentru perimetrul Pământului este

de 250 000 de stadii, ceilalți trei autori oferă măsurătorii făcute de Eratostene o valoare de 252 000 de stadii. Explicația tradițională pentru această diferență de 2000 de stadii este că la un moment dat cineva a modificat valoarea astfel încât să poată fi ușor împărțită în grade. Astfel,  $252\ 000 = 360 \times 700$ , iar un grad de arc de pe suprafața pământului corespunde cu 700 de stadii.

Desigur, nu știm dacă lungimile gnomonului și a umbrei sale care sunt povestite în dialog sunt corecte, dar sunt rezonabile. Dacă cititorul ar calcula, ar observa că din vârful gnomonului umbra a proiectat un unghi de  $7,2^\circ$ . Și într-adevăr,  $360^\circ/7,2^\circ = 50$ . Cu o distanță între Alexandria și Siena de 5000 de stadii, calculul perimetrului Pământului este ușor. Eratostene a considerat că această distanța nu este clară, dându-i ușoare nuanțe de legendă. Cea mai simplă ipoteză presupune că i-a întrebat pe cei care făceau adesea călătoria între cele două orașe, așa cum reiese din dialog. Această ipoteză este cea mai probabilă, deși topografia era destul de avansată în Egipt, deoarece de fiecare dată când Nilul se revărsa, granițele trebuiau redesenate. Pe de altă parte, Carl Sagan în cartea sa *Cosmos* (1980) oferă o altă versiune, afirmând că Eratostene a angajat pe cineva care să măsoare pe jos distanța dintre cele două orașe, deși nu citează sursa acestor informații.

Dar cu cât este egală o stadie? Această unitate de măsură corespundea cu 600 de picioare, lungimea unui stadion olimpic din Antichitate (de unde și numele unității), așa că știind cât de lung este un picior, vom avea răspunsul. Astăzi există standarde internaționale de măsurare, dar de-a lungul istoriei fiecare regiune a avut unități de greutate, de distanță, de volum etc., cu valori diferite chiar și atunci când aveau aceeași denumire. Astfel, în Grecia antică, piciorul atic, doric și ionic nu măsurau exact la fel, ci 294,1, 326,9, respectiv 348,7 milimetri, astfel încât, în funcție de valoarea piciorului folosit, vor fi obținute valori diferite pentru o stadie: 176,4, 196,1, respectiv 209,2 metri.

Continuă la p. 18

## INSTRUMENTE ASTRONOMICE ÎN ANTICHITATE

Cel mai simplu dintre instrumentele de măsurare este **gnomonul**, o tijă dreaptă plasată în poziție verticală pe o suprafață plană orizontală pe care își proiectează umbra produsă de razele Soarelui pentru a măsura înălțimea acestui astru la un moment dat. Gnomonul, probabil unul dintre cele mai vechi instrumente folosite în astronomie, era deja folosit în Babilon. Se crede că Anaximandru (610-545 î.Hr.) a introdus utilizarea sa în Grecia. Acesta a inventat **polosul**, echivalentul sferic al gnomonului; Acest instrument constă dintr-o suprafață semisferică concavă, pe ea existând un stil<sup>1</sup> al cărui capăt coincide cu centrul sferei (nu trebuie să fie vertical, ceea ce contează este capătul). Mișcarea Soarelui pe cer este circulară pe tot parcursul zilei, prin urmare umbra vârfului stilului descrie arce perfecte pe suprafața sferică, oferind astfel o reprezentare inversă a traiectoriei Soarelui. Polosul măsoară aceiași parametri ca și gnomonul (solstiții și echinocții, latitudine, puncte cardinale...), dar interpretarea sa este mai simplă, deoarece măsoară direct unghiuri. Un polos poate fi ușor transformat într-un cadran solar. Ceasul solar tipic roman era format dintr-un stâlp împărțit în jumătate. **Armila echinocțială**, cunoscută și sub numele de inelul lui Hiparh, deși ea exista anterior acestui astronom din secolul al II-lea î.Hr., era formată dintr-un inel paralel cu ecuatorul ceresc (proiecția pe cer a ecuatorului terestru), adică orientat spre nord și cu un unghi față de sol egal cu cel al latitudinii locale. Această configurație face posibilă determinarea echinocțiilor cu o precizie mai mare decât cu gnomonul sau polosul, deoarece în acel moment Soarele se află chiar la ecuatorul ceresc și, prin urmare, acea zi nu luminează interiorul armilei. Dacă este utilizat invers, permite măsurarea latitudinii, adică, dacă se știe cu certitudine că are loc un echinocțiu, atunci când se orientează

<sup>1</sup> *stil* – condei de metal sau de os, ascuțit la un capăt și turtit la celălalt, folosit în Antichitate pentru a scrie pe tăblițe de ceară. (n.r.)