

DETERMINAREA DISTANTELOR CEREȘTI

Determinarea distanțelor corpurilor cerești se bazează pe metoda trigonometrică simplă a determinării distanței la un punct inaccesibil, dar vizibil.

Fie un copac C situat dincolo de un riu. Se cere să aflăm distanța de la observatorul din A la copacul C (fig. 35). În acest scop, observatorul măsoară din A în B distanța numită bază. Apoi, cu ajutorul unui instrument universal (sau teodolit), măsoară unghiurile $\hat{A} = \hat{BAC}$ și $\hat{B} = \hat{ABC}$. Aplicând triunghiului ABC teorema sinusului, unde $AC = b$ și $AB = c$ avem:

$$\frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}, \text{ dar } \hat{C} = 180^\circ - (\hat{A} + \hat{B}),$$

deci:

$$\sin C = \sin [180^\circ - (A + B)] = \sin (A + B),$$

$$\text{prin urmare: } b = c \frac{\sin B}{\sin(A + B)}.$$

Observatorul, deplasându-se din A la B , aparent deplasează direcția de vizare spre C . Aceasta este deplasarea paralactică.

Păstrind baza aceeași, se vede că mărimea unghiului C depinde de distanță: este cu atât mai mare cu cât distanța este mai mică. Unghiul C sub care se vede baza privită din C se numește paralaxa punctului C . Distanța este determinată când se cunoaște paralaxa, de aceea determinarea distanțelor se reduce la aceea a paralaxelor.

Paralaxele depind de baza aleasă. Considerând în astronomie două baze, raza Pământului și raza orbitei sale terestre, definim două categorii de paralaxe: paralaxe în sistemul solar (numite diurne) și paralaxe stelare (numite anuale).

Paralaxe în sistemul solar. Pentru precizia determinărilor — întrucât paralaxele sînt mici — este necesar ca bazele să fie cît mai mari posibil și constante. De aceea luăm drept bază raza terestră corespunzătoare locului de observație.*

* Se mai numesc paralaxe diurne, deoarece, din cauza rotației Pământului, direcția formată de locul de observație și obiectul observat (direcția topocentrică), se modifică cu timpul, modificarea fiind periodică, și anume diurnă.

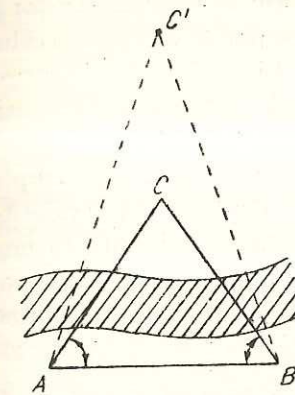


Fig. 35. Determinarea distanței la un punct inaccesibil.

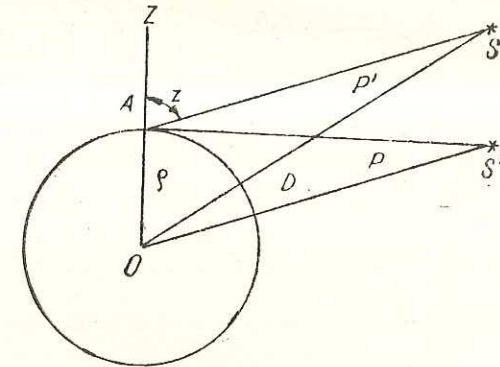


Fig. 36. Paralaxa de înălțime și paralaxa orizontală.

Numim paralaxă de înălțime (ϕ') unghiul sub care observatorul din astru ar vedea raza terestră corespunzătoare locului de observație. Fie astrul S , observat din localitatea A , unde îi determinăm distanța zenitală Z (fig. 36). Notăm cu D distanța la astrul S (considerată de la centrul Pământului) și cu ρ raza terestră corespunzătoare localității A . Pe baza teoremei sinusului aplicată triunghiului OAS , avem:

$$\frac{\rho}{\sin \phi'} = \frac{D}{\sin z}, \text{ de unde } \sin \phi' = \frac{\rho}{D} \sin z \approx \phi',$$

unghiul ϕ' fiind în general mic (de ordinul minutelor de arc) $\phi' \approx \sin \phi'$. Se vede că paralaxa de înălțime depinde, pe lângă distanța D , de distanța zenitală z , deci de înălțimea deasupra orizontului și de raza terestră ρ . Urmărim să definim paralaxa care să depindă numai de distanța D . Întii eliminăm efectul înălțimii, considerînd $\sin z = 1$, adică $z = 90^\circ$, adică astrul aflat la orizont în S' . Paralaxa corespunzătoare lui $z = 90^\circ$ se numește paralaxă orizontală (ϕ). Din triunghiul OAS avem:

$$\sin \phi \approx \phi = \frac{\rho}{D}, \text{ de unde } \phi' = \phi \sin z,$$

relație care leagă paralaxa de înălțime cu cea orizontală. Pentru a elimina efectul variației razei datorită turtirii Pământului, vom înlocui ρ cu raza terestră ecuatorială și vom obține astfel paralaxa orizontală ecuatorială.

$$\Pi = \frac{a}{D}.$$

Se vede că determinarea distanțelor depinde de aceea a paralaxelor.

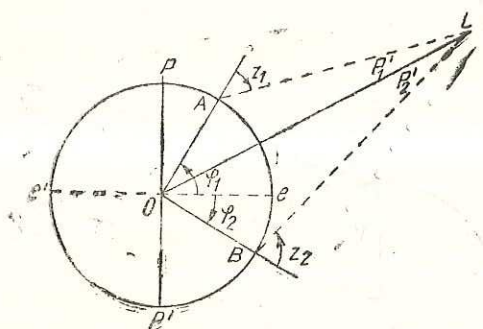


Fig. 37. Determinarea paralaxei Lunii.

latitudinile geografice ale celor două localități, p'_1 și p'_2 paralaxele de înălțime ale Lunii corespunzătoare celor doi observatori. Scriind că suma unghiurilor patrulaterului $OALB$, format de centrul Pământului, cei doi observatori și Lună, face 360° , avem:

$$\varphi_1 + 180^\circ - z_1 + p'_1 + p'_2 + 180^\circ - z_2 + \varphi_2 = 360^\circ,$$

de unde:

$$p'_1 + p'_2 = z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2.$$

Putem exprima paralaxele de înălțime prin cele orizontale:

$$p'_1 = p_1 \sin z_1; p'_2 = p_2 \sin z_2.$$

Considerînd în prima aproximație Pământul sferic, paralaxele orizontale se confundă cu cea orizontală ecuatorială:

$$p_1 = p_2 = \Pi,$$

deci:

$$p'_1 = \Pi \sin z_1; p'_2 = \Pi \sin z_2.$$

De aici, suma paralaxelor de înălțime va fi:

$$p'_1 + p'_2 = \Pi (\sin z_1 + \sin z_2) = z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2,$$

de unde paralaxa orizontală ecuatorială a Lunii:

$$\Pi = \frac{z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2}{\sin z_1 + \sin z_2}.$$

Pentru Lună s-a găsit $\Pi = 57'02''$. S-au determinat apoi paralaxele planetelor, ale Soarelui, care în general sînt mici. Mai mari sînt paralaxele micilor planete, ale cometelor și ale meteoriților care trec în apropierea Pământului. Pentru Soare s-a găsit:

$$\Pi = 8'',80.$$

Distanța D este dată de formula:

$$D = \frac{a \text{ km}}{\Pi \text{ radiani}} = \frac{206265''}{\Pi''} \cdot a \text{ km},$$

întrucît $1 \text{ rad} = 206265''$. Considerînd pentru raza ecuatorială terestră valoarea $a = 6378,16 \text{ km}$, avem pentru distanțe:

$$- \text{ la Soare: } D_{\odot} = 149\,500\,000 \text{ km};$$

$$- \text{ la Lună: } D_{\text{L}} = 384\,400 \text{ km} \approx 60 \text{ raze terestre.}$$

Metoda paralaxelor nu este unică pentru determinarea distanțelor. Radiolocația ne permite o determinare precisă a distanțelor la corpurile cerești învecinate. Ea constă în trimiterea unei radiunde de lungime de undă determinată, emisă în direcția corpului ceresc respectiv. Izbîndu-se de suprafața acestuia, radiunda se reflectă și este recepționată de observator. Măsurînd timpul dintre momentul emisie și cel al recepției radiunde și cunoscînd viteza ei, se determină precis distanța. Au fost emise radiunde spre Lună, spre planetele Venus, Mercur și Marte, găsindu-se rezultate care verifică pe cele determinate prin paralaxă, precizîndu-le. Astfel s-a găsit $D_{\odot} = 149\,600\,000 \text{ km}$.

Distanțele cerești sînt prea mari pentru a fi exprimate în unități de lungime terestră, de exemplu în kilometri. De aceea s-a ales o altă unitate potrivită pentru sistemul solar, și anume distanța medie de la Pământ la Soare, denumită *unitate astronomică*:

$$1 \text{ U.A.} = D_{\odot} = 149\,600\,000 \text{ km.}$$

Determinarea dimensiunilor corpurilor cerești. Fie Pământul P și un astru S , aflat la distanța D , cunoscută (fig. 38). Să notăm cu a raza terestră și cu R raza astrului. De pe Pământ putem măsura unghiul 2β sub care se vede diametrul astrului. Din triunghiul PAS avem:

$$R = D \sin \beta.$$

Pentru Lună, $\beta_{\text{L}} = 15',5$, de unde $R_{\text{L}} = 0,27$ raze terestre.

Pentru Soare, $\beta_{\odot} = 16'$, de unde $R_{\odot} = 109$ raze terestre.

Paralaxe stelare (anuale). Distanțele stelare fiind prea mari față de cele planetare, raza Pământului — neglijabilă față de distanța steii — nu poate constitui o bază. Natura ne furnizează o bază prin mișcarea anuală a Pământului. Este distanța medie de la Pământ la Soare, adică o unitate astronomică.

Se numește paralaxă anuală unghiul sub care se vede din centrul steii raza orbitei terestre în momentul cînd este perpendiculară pe direcția Pământ-stea (fig. 39).

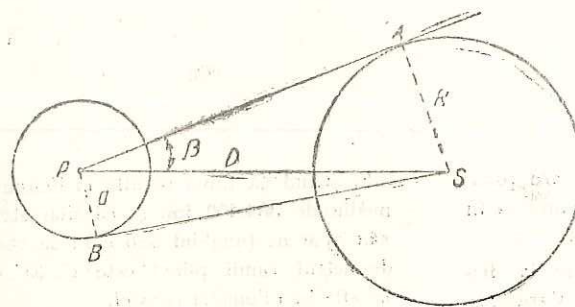


Fig. 38. Determinarea dimensiunilor corpurilor cerești.

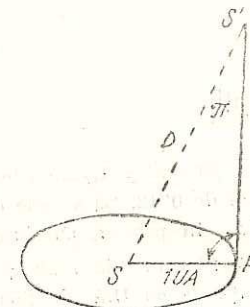


Fig. 39. Paralaxa stelară.

1 parsec = 3,26 ani lumină

Din triunghiul PSS' avem:

$$\sin \Pi = \frac{SP}{D} \text{ sau } \Pi \approx \frac{SP}{D} \text{ radiani, dar } SP = 1 \text{ U.A.,}$$

$$\text{de unde } D = \frac{1}{\Pi \text{ rad.}} \text{ U.A.} = \frac{206\,265''}{\Pi''} \text{ U.A.}$$

Paralaxei $\Pi = 1''$ îi corespunde distanța:

$$D = 206\,265 \text{ unități astronomice} = 1 \text{ parsec.}$$

Parsecul este unitatea pentru distanțele stelare. Exprimând distanța în parseci, rezultă formula simplă: $D = 1/\Pi''$. Deci distanța (în parseci) este inversul paralaxei (în secunde de arc).

O unitate frecvent folosită este *anul lumină*; este distanța parcursă de lumină timp de un an.

1 an lumină = numărul secundelor dintr-un an \times viteza luminii = 63 300 unități astronomice = 0,3 parseci.

1 parsec = 3,26 ani lumină.

Datorită mișcării anuale a Pământului, un observator terestru în cursul unei jumătăți de an sideral este transportat de la o extremitate la alta a unui diametru al orbitei terestre, de unde posibilitatea de a determina *paralaxele*, numite din acest motiv *anuale*.

Paralaxele stelare sînt foarte mici, de ordinul zecimilor și al sutimilor din secunda de arc, deoarece distanțele stelare sînt foarte mari. Cea mai mare paralaxă $\Pi = 0'',76$ s-a găsit pentru steaua Proxima Centauri, care este cea mai apropiată de noi, la distanța de 1,3 parseci = 4,3 ani lumină.

Cea mai mică paralaxă stelară măsurabilă cu mijloacele actuale este de $0'',01$, de unde rezultă că pe calea trigonometrică, descrisă mai sus, putem determina distanțele stelelor aflate pînă la 100 de parseci de noi.

Distanțele mai mari de 100 de parseci se determină pe alte căi.

Deplasările paralactice ale unei stele timp de un an dau elipsa de paralaxă anuală, care constituie, după cum am văzut, una din dovezile realității mișcării de revoluție a Pământului.

Exerciții

1. Steaua α Lyrae (Vega) are paralaxa de $0'',12$. Să se afle distanța sa în U.A., în parseci, ani lumină.

2. Planeta Pluto se găsește la distanța de 40 U.A. de Soare. Care este Paralaxa orizontală ecuatorială a acestei planete?

3. Știind că Luna se află la distanța medie de 384 400 km și că diametrul său aparent (unghiul sub care se vede diametrul Lunii pline) este de $31'$, să se afle în kilometri raza ei.

MIȘCAREA PLANETELOR

1. Mișcarea aparentă a planetelor și explicarea acestei mișcări

Din antichitate s-a observat că, în timp ce marea majoritate a aștrilor nu-și schimbă pozițiile unii în raport cu alții (reciproce), unii aștri rătăcesc printre stele prin diferite constelații zodiacale. Aceștia au fost numiți *planete*. Privite cu luneta, ele apar cu un diametru care crește odată cu puterea de mărire a lunetei. Mai mult, planetele nu scînteiază ca stelele (a căror strălucire și culoare variază în mod neîntrerupt din cauza atmosferei).

În antichitate se cunoșteau șapte planete, care, în ordinea așezării lor față de Pământ erau: Luna, Mercur, Venus, Soarele, Marte, Jupiter și Saturn. Soarele și Luna erau considerate planete, deoarece își schimbă poziția față de stele deplasîndu-se în sens direct. Celelalte planete se deplasează cînd în sens direct, cînd în sens retrograd, trecînd de la un sens la altul printr-o oprire aparentă numită *stație*.

Planetele Mercur și Venus au fost numite *inferioare*, deoarece, fiind între Pământ și Soare, erau considerate ca „mai jos” decît Soarele. Ele sînt văzute totdeauna în vecinătatea Soarelui fie seara după apusul Soarelui, în *elongație estică* (elongația fiind distanța unghiulară dintre Soare și planetă), fie dimineața înainte de răsăritul Soarelui, în *elongație vestică* (fig. 40).

Planetele Marte, Jupiter și Saturn erau numite *superioare* (adică „mai sus” decît Soarele). O planetă superioară se îndepărtează de Soare, descrie o buclă, apoi ajunge din urmă Soarele (fig. 41).

Poziția aparentă a planetei se definește față de Soare prin diferența dintre longitudinea sa (λ) și a Soarelui (λ_s):

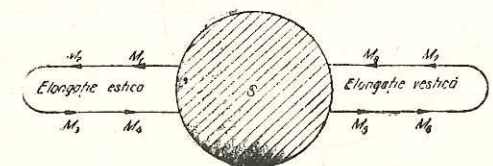


Fig. 40. Mișcarea aparentă a unei planete inferioare.