1 Paralaxe si distante

Determinarea distantelor reprezinta una dintre problemele importante ale astrometriei, in particular, si astronomiei in general. Intrucat distantele dintre astri sunt mari comparativ cu unitatile de masura utilizate in viata cotidiana, in astronomie sunt utilizate in mod frecvent urmatoarele unitati:

a) raza terestra ecuatoriala ($R_0 = 6378,137\ km$);

b) unitatea astronomica ($1\ U.A. = 149,6\ 10^6\ Km$ distanta medie Pamant–Soare);

c) anul lumina $1\ a.l. = 6,32\ 10^4\ U.A. = 0,307\ pc$, distanta parcursa de lumina, in vid, in timp de un an);

d) parsecul ($1\ pc = 206264,8\ U.A. = 3,26\ a.l.$).

De–a lungul timpului au fost imaginate mai multe metode pentru determinarea distantelor in sistemul solar si Univers. Una dintre acestea o reprezinta metoda paralactica.

Deplasarea reala a observatorului in spatiu induce o schimbare a directiei astrului numita deplasare paralactica (vezi figura 1). In functie de deplasarea observatorului deosebim:

i) paralaxe diurne (geocentrice). Acestea se datoreaza miscarii de rotatie a Pamantului, iar efectele sunt resimtite doar in interiorul sistemului solar;

ii) paralaxe anuale (heliocentrice). Paralaxele anuale sunt produse de miscarea de revolutie a Pamantului in jurul Soarelui;

iii) paralaxe seculare, datorate miscarii de translatie a sistemului solar.

Paralaxa diurna si determinarea distantelor in sistemul solar

Definitia 1. Se numeste paralaxa diurna (geocentrica) unghiul sub care se vede din astru raza Pamantului. (vezi figura 2).

Aplicand teorema sinusului in triunghiul $OT\sigma'$, adica

$$\frac{\sin p'}{R} = \frac{\sin z'}{\Delta} \tag{1}$$

si tinand cont ca paralaxa p' este un unghi mic ($\sin p' = p'$), deducem

$$p' = \frac{R}{\Delta} \sin z'. \tag{2}$$

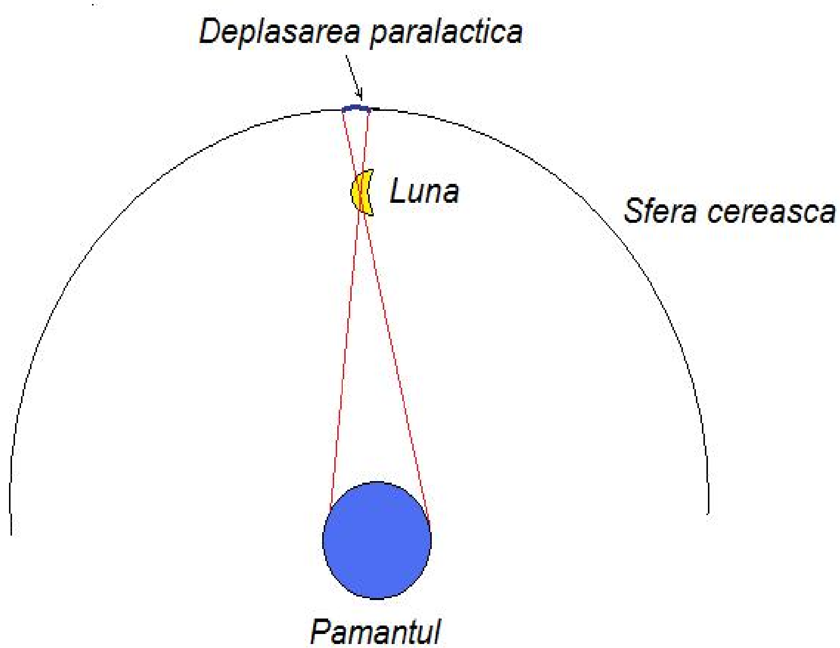

Figure 1: Deplasarea paralactica

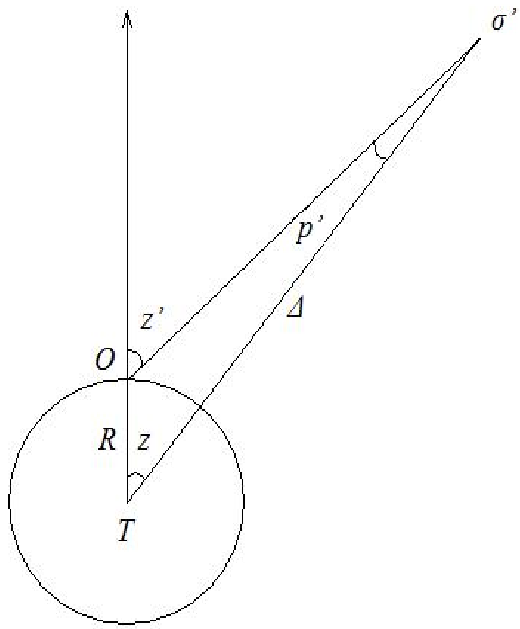

Figure 2: Paralaxa diurna

Din relatia (2) rezulta ca paralaxa depinde de distanta zenitala si de raza Pamantului. Paralaxa este maxima atunci cand R reprezinta raza ecuatoriala a Pamantului, iar $z' = 90^0$, adica astrul se afla in orizont.

Definitia 2. Se numeste paralaxa diurna orizontala ecuatoriala unghiul sub care se vede din astru raza ecuatoriala a Pamantului atunci cand astrul se afla la orizont.

Notand prin R_0 raza terestra ecuatoriala, iar prin p_0 paralaxa diurna orizontala ecuatoriala, din (2) deducem

$$p_0 = \frac{R_0}{\Delta}. \tag{3}$$

Din figura 2 se observa ca

$$z = z' - p'. \tag{4}$$

Observatii: 1) Coordonatele astrilor determinate din observatii care se realizeaza pe suprafata Pamantului se numesc topocentrice. Acestea sunt diferite pentru puncte diferite de pe suprafata Pamantului, chiar pentru acelasi moment. Diferentele sunt observabile doar la astrii din sistemul solar. Din acest motiv se considera fundamentala, directia care porneste din centrul Pamantului. Aceasta directie indica pozitia geocentrica.

2) In baza relatiei (3) obtinem formula

$$\Delta = \frac{206264,8}{p_0''} R_0 \tag{5}$$

cu ajutorul careia se determina distantele in sistemul solar, cunoscand paralaxa orizontala p_0'' (exprimata aici in secunde de arc). Paralaxa p_0'' se determina prin diverse metode. Spre exemplu: pentru Luna se determina prin observatii simultane, masurandu–i distanta zenitala din doua localitati situate pe acelasi meridian geografic. Paralaxa Soarelui se determina prin intermediul paralaxelor unor corpuri ceresti cere se apropie la o distanta mai mica decat distanta Soarelui. Pentru Luna se obtine $p_0'' = 57' \ 2'', 5$, $\Delta = 384,4 \ 10^3 \ km$, in timp ce pentru Soare $p_0'' = 8'', 79$, $\Delta = 149,6 \ 10^6 \ km$.

3) Pentru masurarea distantelor in sistemul solar se utilizeaza unitatea astronomica, $1 \ U.A. = 149,6 \ 10^6 \ km$.

Paralaxa anuala si determinarea distantelor stelare

Definitia 3. Se numeste paralaxa anuala (heliocentrica) a unei stele, unghiul sub care se vede din stea raza medie a orbitei terestre cand aceasta este perpendiculara pe directia Pamant-stea. (vezi figura 3)

Din triunghiul σST rezulta

$$\sin \pi = \frac{a}{\Delta} \tag{6}$$

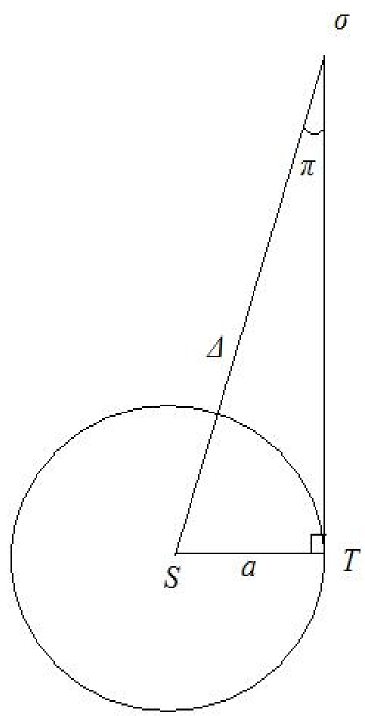

Figure 3: Paralaxa anuala

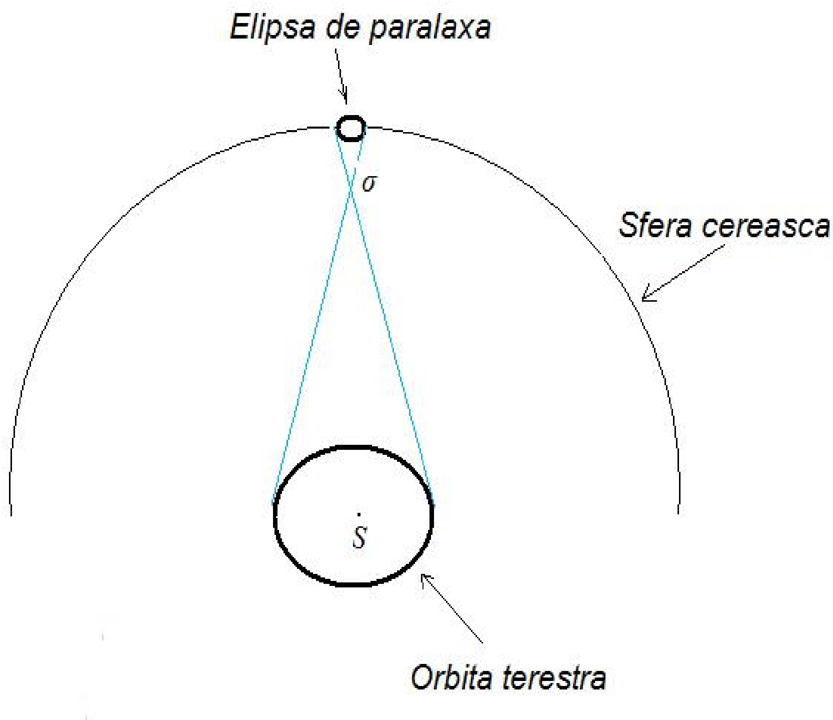

Figure 4: Elipsa de paralaxă

unde $a = 1$ $U.A.$, iar Δ este distnta Soare–stea. Deoarece paralaxele heliocentrice sunt mai mici decat o secunda de arc, rezulta

$$\pi = \frac{a}{\Delta}, \qquad \pi \text{ exprimat in radiani} \tag{7}$$

de unde detrminam distanta Δ

$$\Delta = \frac{206264,8}{\pi''} a = \frac{206264,8}{\pi''} \ U.A. \tag{8}$$

Datorita miscarii de revolutie a Pamantului, astrul descrie pe bolta cereasca o elipsa numita elipsa de paralaxa anuala (figura 4).

Observatii: 1) Determinarea paralaxelor anuale se face din observatii efectuate in punctele orbitei care sunt separate de 6 luni, obtinandu–se dublul paralaxei anuale;

2) Odata determinata paralaxa anuala, se determina distanta Δ. Spre exemplu, pentru steaua Proxima Centauri, $\pi'' = 0'',76$, $\Delta = 272000$ $U.A.$ Prima paralaxa a fost determinata de F.W. Bessel in 1838. El a determinat paralaxa stelei 61 Cygni, $\pi'' = 0'',3$.

3) Deoarece paralaxele stelelor sunt de ordinul secundelor de arc, unitatea astronomica este o distanta mult prea mica. Din acest motiv, s–au introdus alte unitati de masura pentru determinarea distantelor extrasolare. Parsecul (pc) reprezinta distanta corespunzatoare unei paralaxe de o secunda, 1 $pc = 206264,8$ $U.A.$, iar anul lumina ($a.l$) reprezinta distanta parcursa de lumina in timp de un an, 1 $a.l. = 63240$ $U.A. = 0,3067$ pc;

4) Elipsa de paralaxa constituie o dovada a miscarii anuale a Pamantului in jurul Soarelui.

2 Precesia si nutatia

Intrucat majoritatea corpurilor sistemului solar orbiteaza in planul eclipticii, acestea actioneaza gravitational asupra proeminentei ecuatoriale a Pamantului. Efectele cele mai insemnate le produc Soarele si Luna. Deoarece Pamantul se roteste in jurul axei sale, forta mareica nu modifica inclinatia ecuatorului relativ la ecliptica, ci face ca axa de rotatie sa se deplaseze intr–o directie perpendiculara pe axa de rotatie si pe directia fortei mareice. Astfel, axa de rotatie a Pamantului descrie un con odata la aproximativ 26000 ani. Aceasta rotatie lenta a axei de rotatie se numeste *precesie* (figura 5).

Ca efect al precesiei, punctul vernal se deplaseaza pe ecliptica in sens retrograd (sensul acelor de ceasornic) cu $50'',2$ pe an. Prin urmare, longitudinea ecliptica λ a unei stele creste in fiecare an cu aceasta rata, in timp ce latitudinea ecliptica β ramane neschimbata.

In cele ce urmeaza ne propunem sa determinam corectiile in ascensie si declinatie ca urmare a acestui fenomen. Pentru aceasta procedam astfel: Aplicam formula cosinusului pentru latura $90^0 - \delta$ in triunghiul sferic $P\Pi\sigma$ si formula sinusului in acelasi triunghi. Deducem relatiile:

$$\sin\delta = \cos\varepsilon \sin\beta + \sin\varepsilon \cos\beta \sin\lambda,$$

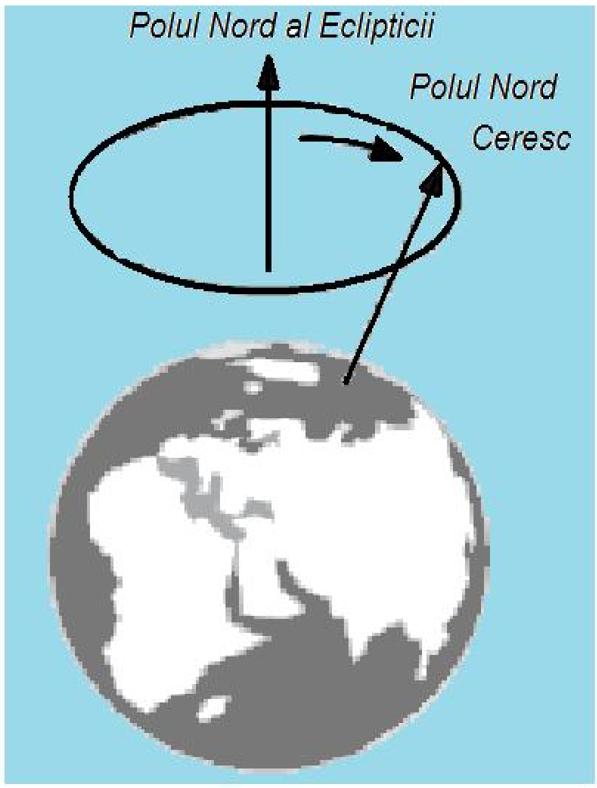

Figure 5: Precesia

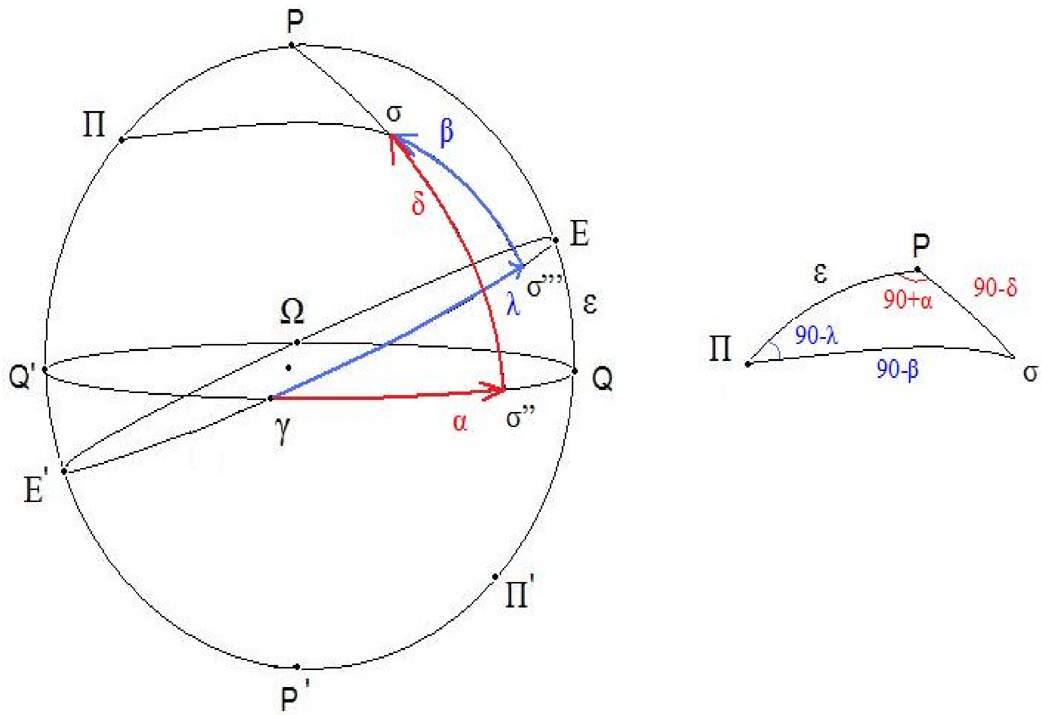

Figure 6: Sfera cereasca. Triunghiul paralactic

$$\cos\alpha\cos\delta = \cos\beta\cos\lambda. \tag{9}$$

Considerand δ, α si λ variabili, iar β si ε constanti, prin diferentierea primei ecuatii din (9), obtinem

$$\cos\delta\ d\delta = \sin\varepsilon\cos\beta\cos\lambda\ d\lambda. \tag{10}$$

Aplicand cea de–a doua ecuatie din (9) membrului drept al relatiei de mai sus, obtinem pentru corectia in declinatie, formula

$$d\delta = d\lambda\sin\varepsilon\cos\alpha. \tag{11}$$

Pentru determnarea corectiei in ascensie diferentiem cea de–a doua relatie din (9) pentru a obtine

$$\sin\alpha\cos\delta\ d\alpha + \sin\delta\cos\alpha\ d\delta = \cos\beta\sin\lambda\ d\lambda. \tag{12}$$

Inlocuind corectia in declinatie (11) in relatia de mai sus, deducem

$$\sin\alpha\cos\delta\ d\alpha = (\cos\beta\sin\lambda - \sin\delta\cos^2\alpha\sin\varepsilon)d\lambda. \tag{13}$$

Aplicand formula cu cinci elemente in triunghiul sferic $P\Pi\sigma$, rezulta ca termenul $\cos\beta\sin\lambda$ poate fi scris in forma

$$\cos\beta\sin\lambda = \sin\delta\sin\varepsilon + \cos\delta\cos\varepsilon\sin\alpha. \tag{14}$$

Din (13) si (14) gasim

$$d\alpha = (\sin\varepsilon\sin\alpha\ \mathrm{tg}\delta + \cos\varepsilon)d\lambda. \tag{15}$$

Luand $\varepsilon = 23^0 27'$, calculam coeficientii care nu depind de stea (sunt aceiasi pentru toate stelele):

$$m = \cos\varepsilon\ d\lambda = 0,9174\cdot 50'',2 = 3^s,07$$
$$n = \sin\varepsilon\ d\lambda = 0,3980\cdot 50'',2 = 20'',04 = 1^s,33 \tag{16}$$

Din (11), (15) si (16) deducem corectiile anuale ale coordonatelor ecuatoriale

$$d\alpha = m + n\sin\alpha\ \mathrm{tg}\delta = 3^s,07 + (1^s,33)\sin\alpha\ \mathrm{tg}\delta$$
$$d\delta = n\cos\alpha = 20''\cos\alpha. \tag{17}$$

Observatii: 1) Formulele (17) dau o aproximatie suficienta, daca este vorba de intervale de timp nu prea lungi (15-20 ani);

2) Formulele (17) sunt valide pentru stelele nu foarte apropiate de polul eclipticii, caci atunci tg δ devine foarte mare;

3) In prezent, unul dintre punctele de intersectie ale axei de rotatie a Pamantului cu bolta cereasca (Polul Nord ceresc) se afla la mai putin de un grad de steaua Polara. Peste aproximativ 12000 ani, Polul Nord ceresc va fi in directia stelei Vega;

Pe langa miscarea de precesie, s–a observat ca Polul Nord ceresc are si o miscare periodica in timp de 18,6 ani. Fenomenul, numit *nutatie*, se datoreaza precesiei planului orbital al Lunii cu aceeasi perioada de 18,6 ani. Polul lumii care se misca in urma precesiei numit si pol mediu este centrul unei elipse cu semiaxa mare egala cu $9'',21$ si semiaxa mica de $6'',86$ pe care se misca polul adevarat in sens retrograd.

3 Miscarile proprii ale stelelor

Multe stele se deplaseaza lent in directii care nu se modifica in timp. Acest efect este cauzat de deplasarea relativa a Soarelui si stelelor in spatiu.

Viteza unei stele relativ la Soare poate fi descompusa in doua componente, o componenta radiala (orientata de–a lungul directiei Soare–stea), si o componenta transversala (perpendiculara pe directia Soare–stea).

Pe sfera cereasca, este perceputa deplasarea transversala a stelelor. Deplasarea anuala a unei stele pe bolta cereasca poarta numele de *miscare proprie* si se noteaza prin μ.

Din figura 7, rezulta ca miscarea proprie se poate descompune in doua componente μ_δ si $\mu_\alpha \ \cos\delta$. In urma miscarii proprii, ascensia α se modifica cu μ_α, iar declinatia cu marimea μ_δ. Are loc relatia

$$\mu = \sqrt{\mu_\alpha^2 \cos^2\delta + \mu_\delta^2} \tag{18}$$

Observatii: 1) Miscarile proprii ale stelelor sunt diferite in marime, directie si sens. Cea mai mare miscare proprie o are steaua Barnard $10,27$ secunde de arc pe an. In mai putin de 200 de ani parcurge un arc de cerc egal cu diametrul Lunii;

2) Forma constelatiilor se schimba (a se vedea figura corespunzatoare Carului Mare).

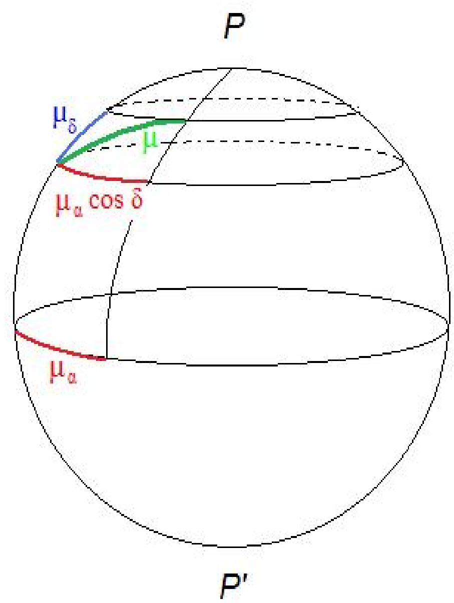

Figure 7: Miscarea proprie

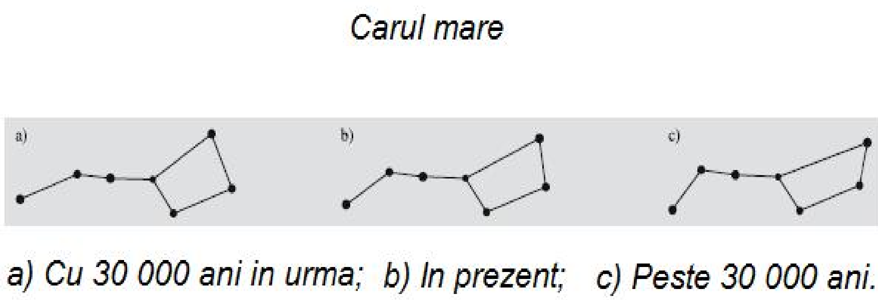

Figure 8: Carul Mare