VPLIVI NA OPAZOVANJA

1 Merjenje navideznih zenitnih razdalj

Vsako izmerjeno zenitno razdaljo, ki jo osvobodimo sistematičnih pogreškov instrumenta in opazovalca, imenujemo navidezna zenitna razdalja:

$$z' = z_{izm} + \text{vpliv (inst. pogr + pogr. opaz.)}$$

Izmerjeno zenitno razdaljo dobimo s pomočjo dveh očitkov na vertikalnem krogu instrumenta:

$$Z_{izm} = \frac{KL - KD}{2}$$

KL in KD sta odčitka vertikalnega kroga. S pomočjo zgornje enačbe, tudi če ne poznamo indeksnega pogreška, lahko določimo pravilno zenitno razdaljo (brez vpliva indeksnega pogreška):

$$z = KL - HV$$
$$z = 360° - KD + HV$$

Če enačbi seštejemo:

$$2z = KL - KD + 3600$$
$$Z = \frac{KL + 360° - KD}{2}$$

Če enačbi odštejemo:

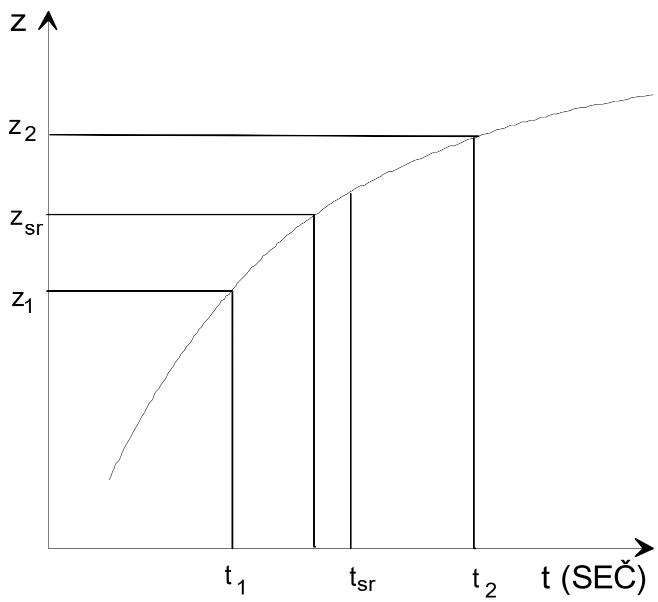
$$0 = KL - HV - 360° + KD - HV$$
$$2HV = KL - KD - 360°$$
$$HV = \frac{KL + KD - 360°}{2}$$

Primer: KL=86°25'38"
KD=273°34'13"

HV = –9"/2 = –4,5" z=172°51'25"/2
z=86°25'42,5"

Če želimo izmeriti zenitno razdaljo samo v eni krožni legi, moramo poznati indeksni pogrešek.

Pri nebesnih telesih se zenitna razdalja spreminja s časom. Zato moramo pri vsakem opazovanju nebesnega telesa zabeležiti ustrezni časovni trenutek na uri. Sprememba zenitne razdalje v splošnem ni premosorazmerna času. Zgornji obrazec velja za nebesna telesa le takrat, kadar se zenitna razdalja v krajšem časovnem razdobju spreminja premosorazmerno času. To je slučaj v prvem vertikalu in največji digresiji in v bližini nebesnega pola, npr. če opazujemo zvezdo Severnico. Opazovanji nebesnega telesa je treba opraviti v obeh krožnih legah in v čim krajšem časovnem presledku, ki naj po možnosti ne bo daljši od 5 minut. Po zgornjem obrazcu izračunana zenitna razdalja, potem dovolj natančno ustreza aritmetični sredini obeh izmerjenih časovnih trenutkov.



z_1 =KL − HV ob SEČ1 (t1)

z_2 =360°–KD+HV ob SEČ2 (t2)

$z_1 + z_2 = \text{KL} - \text{KD} + 360°$

$$Z = \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{\text{KL} + 360° - \text{KD}}{2}$$

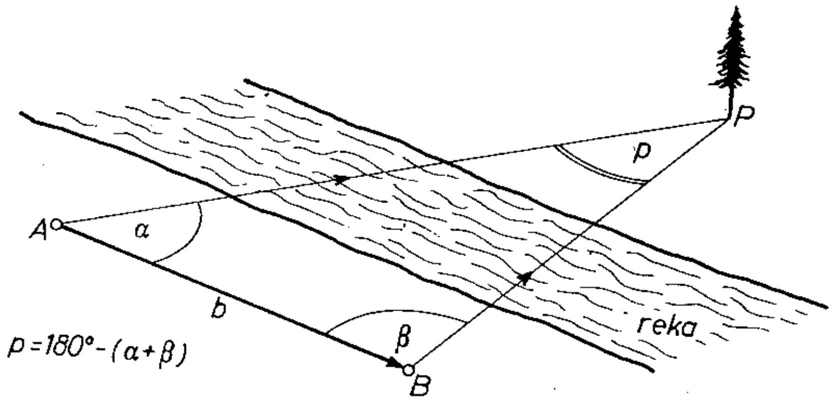
ne ustreza (SEČ1+SEČ2)/2= t(sr)

Funkcija $z = f\,(\text{SEČ})$ je linearna samo, ko je telo v prvem vertikalu

2 Paralaksa

Splošno je paralaksa kot, v katerem iz oddaljene točke vidimo izbrano dolžino (bazo). Na sliki spodaj je to kot APB. S premikanjem točke P, se spreminja tudi kot (paralaksa). Prevedeno v astronomijo, predstavlja paralaksa spremembo smeri, v kateri vidimo nebesno telo, ker se je premaknilo opazovališče.

Do sedaj nismo pri preučevanju navideznih položajev nebesnih teles upoštevali velikosti Zemlje. Predpostavili smo, da se na vseh točkah na Zemlji nebesna telesa projicirajo v isti smeri. Torej privzeli smo, da so razdalje do nebesnih teles neskončne v primerjavi z dimenzijami Zemlje. To drži samo za zvezde. Z opazovanjem je dokazano, da se koordinate zvezd α in δ ne spreminjajo s spremembo položaja opazovalca na Zemlji. Torej lahko trdimo, da je kot pod katerim se vidi iz vsake zvezde zemljin polmer enak nič.

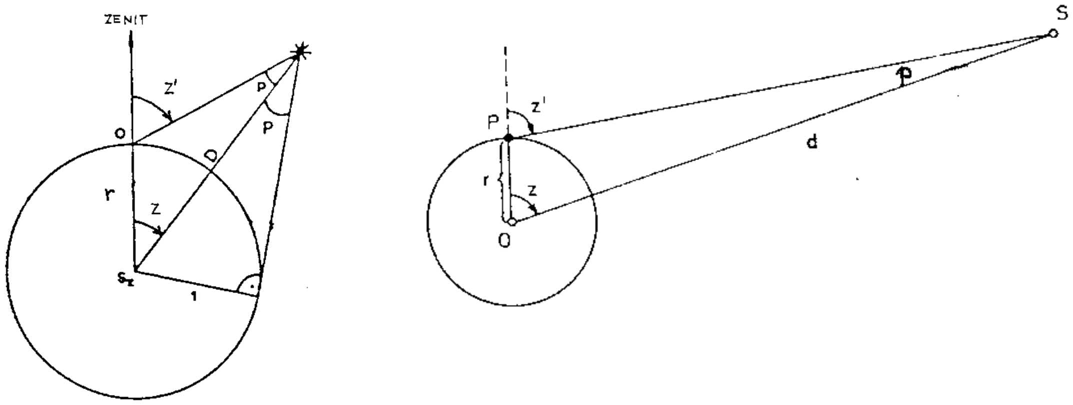


slika 1: paralaksa

Zaradi gibanja Zemlje (rotacija in revolucija) se spreminja tudi položaj opazovalca na površini Zemlje glede na zvezde. Paralaksa, ki nastane zaradi dnevnega vrtenja Zemlja se imenuje *dnevna paralaksa.* Kot bazo upoštevamo velikost Zemlje (njen polmer). Paralaksa, ki nastane zaradi gibanja Zemlje okoli Sonca se imenuje *letna paralaksa.* Kot bazo upoštevamo velikost Zemljinega tira okoli Sonca (astronomska enota).

Smeri proti Luni, Soncu in planetom niso vzporedne med seboj. Bližnjih nebesnih teles ne vidimo v istem trenutku iz različnih točk Zemlje v isti smeri. Smeri oz. zenitne razdalje, ki se nanašajo na točko na površini Zemlje so topocentrične zenitne razdalje, zenitne razdalje, ki se nanašajo na središče Zemlje so geocentrične zenitne razdalje. Prehod s topocentričnih na geocentrične smeri predstavlja redukcijo zaradi dnevne paralakse. Dnevna paralaksa je torej kot med topocentrično in geocentrično smerjo proti nebesnemu telesu. To redukcijo imenujemo tudi *geocentrična paralaksa.*
Lahko rečemo, da je dnevna paralaksa kot pod katerim bi videli iz nebesnega telesa (njegovega središča) tisti polmer Zemlje, ki veže opazovalca s središčem Zemlje –

krogle. Dnevna paralaksa je odvisna (pri nespremenjeni razdalji nebesnega telesa) od njegove zenitne razdalje. Ta je največja, kadar je telo v horizontu, Takrat govorimo o horizontski paralaksi P. Odvisna je samo od oddaljenosti nebesnega telesa od središča Zemlje in je torej merilo za njegovo oddaljenost.



z' – topocentrična zen .razdalja

z – geocentrična zen. razdalja

p – paralaksa

Slika 2: geocentrična in topocentrična zenitna razdalja

Horizontska paralaksa Sonca znaša $P_{\odot}$=8,8" in se bistveno ne spreminja tekom leta. Zaradi močne sploščenosti Luninega tira, se njena paralaksa menja v mejah od 53,9' do 61,5'.

Zvezo med paralakso in horizontsko paralakso dobimo iz trikotniko s pomočjo sinusovega stavka:

$$\sin p = \frac{r}{d}\sin(180^\circ - z')$$, oz. dovolj natančno velja: $p = \rho'' \, (r/d) \sin z'$.

Za $z'=90^0$ doseže paralaksa svoj maksimum, nastopi horizontska paralaksa:

$$P = \rho'' r/d$$

za paralakso torej velja: $p = P \sin z'$.

Za Sonce velja: $p_{\odot} = 8{,}8'' \sin z'$.

Iz slike 2 je razvidno, da je zenitna razdalja *z*' večja od tiste, ki bi jo izmerili v središču Zemlje. Navidezno zenitno razdaljo je zato potrebno zmanjšati za velikost paralakse *p*, da dobimo popravljeno zenitno razdaljo:

$$z = z' - p$$

Dnevna paralaksa ne spreminja izmerjenih azimutov nebesnih teles.

Pri obravnavi letne paralakse (π) se kot baza upošteva srednja oddaljenost Zemlje od Sonca (astronomska enota 1 ae). Vendar je za večino zvezd tudi ta baza premajhna. Letna paralaksa zvezd predstavlja tudi dokaz gibanja Zemlje okoli Sonca.

$$\pi = \frac{1\,\mathrm{ae}}{d}\rho''$$

Astronomski koledarji podajajo paralakse vseh zvezd, pri katerih je ta večja od 0,01". Največjo letno paralakso ima zvezda Proxima Centauri π=0,742", Sirius (α Canis Majoris) π=0,337".

Paralaktični kot vrednosti 1" omogoča izražanje velikanskih razdalj v Vesolju, saj sta enoti [km] in celo [ae] premeali.

$$d = \frac{1\,\mathrm{ae}}{1''/\rho''} = 206\,265\,\mathrm{ae} = 3{,}00856 \cdot 10^{13}\ \mathrm{km} = 3{,}2616\ \mathrm{sv.let}$$

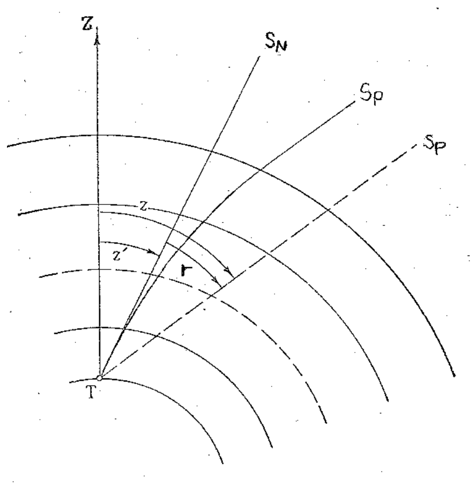
Ta razdalja, ki ustreza paralaksi 1" se v astronomiji imenuje parsek [pc]. Zvezda Proxima je na primer od Zemlje oddaljena 1,39 pc oz. 4,39 sv.let.

3 Astronomska refrakcija

Žarek, ki prihaja od nebesnega telesa do opazovalca se v ozračju Zemlje lomi. Zato se nebesno telo vidi na drugem delu nebesne krogle. Nastopi astronomska refrakcija, ki predstavlja kot med smerjo proti pravi legi nebesnega telesa in smerjo proti kateri nebesno telo vidimo.

V posameznih primerih znaša ta kot več kot 30', kar je več od kotnega premera Sonca in Lune. Zato je pojav astronomske refrakcije bil znan že grškim astronomom stare dobe. V XVI. stoletju (že pred odkritjem teleskopa) je danski astronom Tycho Brahe, na podlagi opazovanj, izdelal tablice za refrakcijo. Prvo teorijo refrakcije in še bolj dodelane tablice je, v XVII stoletju, podal Kepler. Kasneje se je bolj temeljito z refrakcijo ukvarjal tudi Newton.

Astronomska refrakcija navidez približa nebesno telo zenitu, zenitna razdalja je navidez manjša. Azimut ostaja pri tem nespremenjen. Navidezno zenitno razdaljo *z'* je treba povečati za vrednost refrakcije *r*, da dobimo popravljeno zenitno razdaljo.



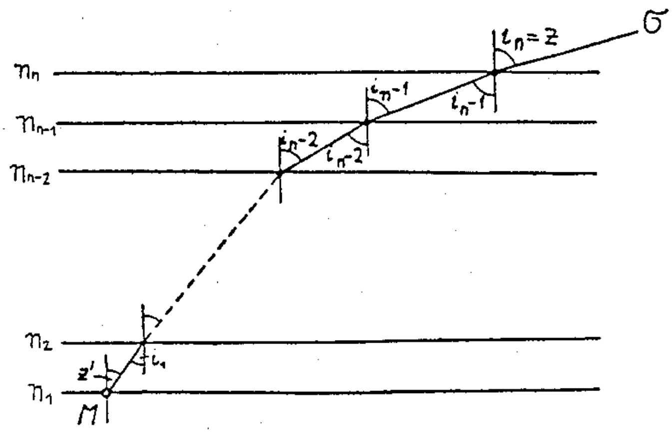
Po lomnem zakonu se žarek, ki prihaja iz optično redkejše snovi v optično gostejšo snov lomi k vpadni pravokotnici. Gosotota ozračja se v smeri proti površini Zemlje povečuje, žarek se vedno bolj lomi. Pot žarka v ozračju je krivulja, ki leži v vertikalni ravnini skozi nebesno telo. Žarek prihaja iz smeri SP (prava smer), nebesno telo pa vidimo v smeri SN (navidezna smer), tj. v smeri tangente na krivuljo žarka. Če ne bi bilo ozračja, bi bila prava smer do zvezde premica (SP črtasto).

Slika 3: astronomska refrakcija

Astronomska refrakcija je v zenitu nič, z rastočo zenitno razdaljo pa se njen vpliv na zenitno razdaljo povečuje in znaša v horizontu približno 36'.

Debelina zračne plasti v kateri se žarek pretežno lomi ni večja od 50km. Ta debelina je majhna v primerjavi z polmerom Zemlje. Zato smemo ukrivljenost zemeljske površine zanemariti če zenitne razdalje niso velike, tj. niso večje od 60^0.

Približno enačbo za refrakcijo lahko izpeljemo pod naslednjimi predpostavkami: predpostavimo, da je zemeljsko površje ravno; ozračje si lahko predstavimo kot vrsto vzporednih planparalelnih plošč (plasti).



Slika 4: potek žarka proti instrumentu

Vsaka plast ima svoj lomni količnik: če začnemo od opazovališča n_1, n_2, ...,n_{n-2}, n_{n-1}, n_n. n_n=1 ustreza praznemu prostoru, kjer ni atmosfere. Prava zenitna razdalja z je enaka vpadnemu kotu i_n, (z=i_n), navidezna zenitna razdalja z' pa je enaka vpadnemu kotu i_1 (z'=i_1). Če napišemo lomni zakon za vse

$$\frac{\sin i_n}{\sin i_{n-1}} = \frac{n_{n-1}}{1}$$

$$\frac{\sin i_{n-1}}{\sin i_{n-2}} = \frac{n_{n-2}}{n_{n-1}}$$

. . . .

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Sedaj zmnožimo medsebojno vsa sorazmerja, in po krajšanju dobimo sledeče:

$$\frac{\sin i_n}{\sin i_1} = n_1$$

če zamenjamo vrednosti vpadnega in lomnega kota z zenitnimi razdaljami:

$$\frac{\sin(z'+r)}{\sin z'} = n_1$$ n_1 je lomni količnik ozračja na mestu opazovanja.

Ker je kot r mali, upoštevajoč da je $\cos r \approx 1$, $\sin r \approx r$ dobimo:

$$1 + r \operatorname{ctg} z' = n1$$

$$r = (n1 - 1) \tan z'$$

Vrednost lomnega količnika na mestu opazovanja je odvisna, predvsem od zračnega pritiska in temperature. Za t.i. srednje meteorološke pogoje (pritisk 760 mmHg =1013,2 mb in temperatura 0°C) znaša lomni količnik: n_1=1,000293, tako da se približni izraz za refrakcijo glasi:

$$r_0 = 60{,}15'' \ \mathrm{tg}z'$$

r_0 je srednja astronomska refrakcija.

Če zenitne razdalje niso prevelike, je srednja refrakcija približno sorazmerna tangensu opazovane zenitne razdalje.

Točnejši izraz za srednjo astronomsko refrakcijo se glasi:

$$r_o = 60{,}15'' \ \mathrm{tg}z' - 0{,}07''\mathrm{tg}^3 z'$$

Ker astronomska refrakcija ni odvisna samo od navidezne zenitne razdalje, pač pa tudi od pritiska in temperature na mestu opazovanja, lahko napišemo izraz, ki nam poda astronomsko refrakcijo, v odvisnosti od zračnega pritiska in temperature, upoštevajoč Boyle-Mariottov in Gay-Lussacov zakon:

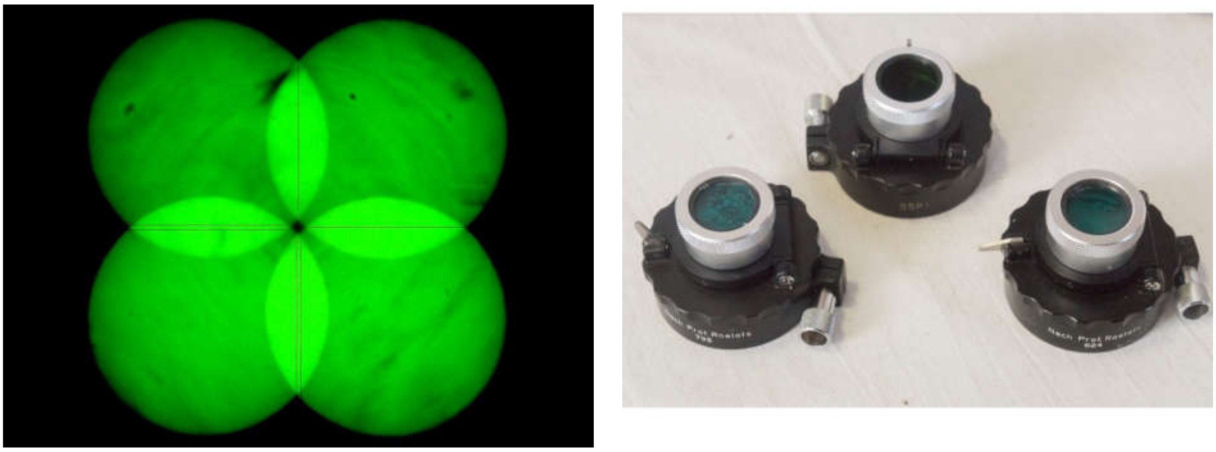
$$r = r_o \frac{p_{mm}}{760} \frac{273}{273 + t^o C}$$

Enačba je tudi približna, vendar zadošča za naše potrebe. Z navidezne zenitne razdalje, ki so manjše od 70^0 daje vrednosti, ki se od dejanskih ne razlikujejo več kakor za ±1”. Za vpliv astronomske refrakcije na izmerjene zenitne razdalje se v praksi uporabljajo tudi različne tabele.

4 Navidezni polmer

Sonca, Lune in planetov ne vidimo kot točke, ampak kot okrogle ploskvice, ki imajo določen navidezni tj. kotni polmer. Navidezni polmer je odvisen predvsem od oddaljenosti nebesnega telesa od Zemlje. Sonce spremeni svoj navidezni polmer v šestih mesecih od vrednosti 15'46" (julij) do vrednosti 16'18" (januar), Luna pa približno v 15 dneh od 14'44" do 16'41". Navidezni polmer Sonca (in Lune) dobimo iz astronomskega koledarja za vsak dan in ustrezno leto. Srednja vrednost navideznega polmera Sonca je 16'02".

Pri opazovanju Sonca je odličen pripomoček t.i. *Roelefsova prizma*, ki omogoča neposredno opazovanje središča navidezne sončeve ploskvice. Priprava daje štiri sončeve slike, ki se delno prekrivajo, tako, da ostaja v sredini temnejši pravokotnik. Če je nitni križ instrumenta naravnan na pravokotnik, je daljnogled usmerjen natančno proti središču navidezne sončeve ploskvice.



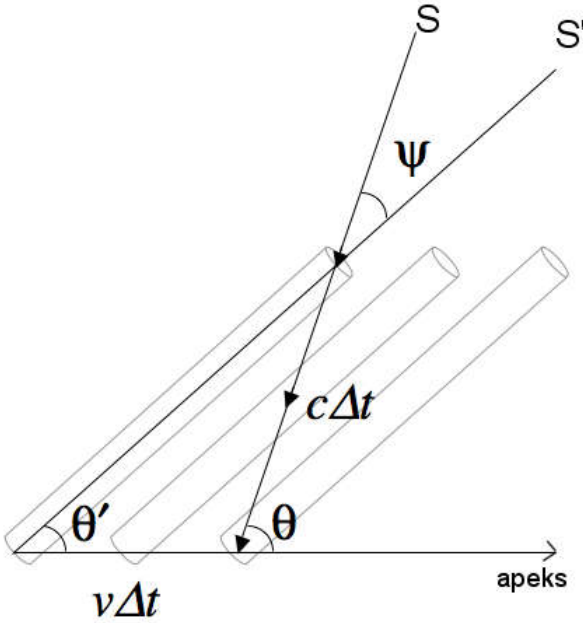
Slika 5: Roelofsova prizma

Astronomski koledarji dajejo koordinate za središče navidezne ploskvice nebesnega telesa. Pri merjenju zenitne razdalje pa lahko opazujemo samo zgornji ali spodnji rob navidezne ploskvice. Zato moramo izmerjeno navidezno razdaljo popraviti za navidezni polmer. Polmer moramo prišteti če smo opazovali zgornji rob in odšteti če smo opazovali spodnji rob.

V geodeziji, razen zvezd, opazujemo tudi Sonce, kot edino nebesno telo z navideznim polmerom. V pomorstvu (astronomska navigacija) pa se opazujejo tudi Luna in planeti.

5 Aberacija

Aberacijo je odkril leta 1728 angleški astronom J. Bradley. Aberacija je pojav, da opazovalec, ki se giblje, v nekem določenem trenutku ne vidi nebesnega telesa v isti smeri, kot bi ga videl, če bi miroval. Znana je tudi kot aberacija svetlobe, astronomska oz. zvezdna aberacija.



Slika 6: aberacija

Žarek iz zvezde pade v objektiv daljnogleda (teleskopa) pod kotom θ in potuje s svetlobno hitrostjo c vzdolž teleskopa. Opazovalec se giblje v smeri (vodoravno na sliki) s hitrostjo v. Med potovanjem žarka po teleskopu, se opazovalec premakne za pot $v\Delta t$. Svetlobni žarek, ki prihaja od zvezde S ne pade v oko opazovalca, saj se je ta v tem času premaknil. Da bo slika zvezde (žarek) padla v opazovalčevo oko, je treba daljnogled nagniti za kot ψ, tako da bo smer iz zvezde S' pod kotom θ'. Smer proti zvezdi S' se imenuje *navidezna smer*, smer S pa *prava smer*. Kot med njimi ψ je *aberacija* nebesnega telesa. To je kot za katerega moramo nagniti teleskop, da vidimo pravo smer proti zvezdi, namesto njene navidezne smeri.

Opazovalec se skupaj z Zemljo giblje v določeni smeri na nebesni krogli. Ta se imenuje *apeks* gibanja Zemlje. Kot θ' je kot med navidezno smerjo proti zvezdi in smerjo proti apeksu.

Aberacijo izračunamo po sinusovem stavku:
$\sin \psi = (v/c) \sin \theta'$
Kot ψ je majhen, tako da lahko napišemo izraz v obliki:
$\psi'' = \rho'' \, (v/c) \sin \theta'$

V primeru ko je smer gibanja Zemlje pravokoten na smer prihajajoče svetlobe je kotni odklon največji in ga imenujemo *konstanta aberacije* (κ) :

$$\kappa = \frac{v}{c}$$

Opazovalec na Zemlji ima dve gibanji. Dnevno gibanje zaradi vrtenja Zemlje in letno gibanje zaradi kroženja Zemlje okoli Sonca. Zato ločimo *dnevno* in *letno* aberacijo. Za praktične potrebe je potrebno poznati konstanto dnevne in letne aberacije in tudi apeks Zemljinega dnevnega in letnega gibanja. Apeks letnega gibanja se nahaja na ekliptiki (v ozvezdju Herkula).

Dnevna aberacija je največja za opazovalca na ekvatorju in se imenuje konstanta dnevne aberacije. Izračunamo jo lahko kot kvocient med hitrostjo opazovalca na ekvatorju in hitrostjo svetlobe:

$$\kappa_{dnevna} = \frac{v_d}{c} = \frac{0{,}5\ km/s}{299792\ km/s}\rho'' = 0{,}32''$$

Za poljubno točko na površju Zemlje je dnevna aberacija funkcija geocentrične širine ϕ opazovališča:

$$\kappa_{\mathrm{dnevna}}(\phi) = 0{,}32''\cos\phi$$

Konstanta letne aberacije je kvocient srednje hitrosti Zemljinega gibanja okoli Sonca in hitrosti svetlobe:

$$\kappa_{\mathrm{letna}} = \frac{\overline{v}}{c} = \frac{29{,}8\,\mathrm{kms}^{-1}}{299792\,\mathrm{kms}^{-1}}.\rho'' = 20{,}5''$$

V splošnem je kot letne aberacije enak:

$$\alpha_{\mathrm{L}} = \kappa_{\mathrm{letna}}\sin\theta'$$

Dnevna aberacija spreminja ekvatorske koordinate nebesnih teles, letna pa ekvatorske in ekliptične.

6 Lastna gibanja zvezd

Vse omenjene spremembe položaja zvezd nastajajo predstavljajo navidezni premik smeri v kateri zvezde vidimo bodisi zaradi vpliva ozračja, bodisi zaradi gibanja Zemlje. Zvezde pa same spreminjajo svojo lego v vesolju, zaradi splošnega gibanja v Vesolju. Tej spremembi položaja pravimo *lastna gibanja zvezd*. Določimo jih lahko samo na osnovi opazovanj koordinat v različnih epohah. Lastna gibanja zvezd so za večino zvezd manjša od 0,1" letno.

Lastna gibanja zvezd je prvi odkril E. Haley leta 1718, ko je primerjal položaj zvezd, ki jih je določil s sam, s položaji, ki so jih določili Tycho Brache in še prej grški astronomi (Almagest).

7 Navidezni in pravi položaji zvezd

Teorija in praksa sta zahtevali uvedbo več terminov za položaj zvezd na nebesni krogli, ki nakazujejo katero spremembo položaj vsebuje. Tako imamo:

1. Srednji ("mean") položaj zvezde, ki jo podajata srednji koordinati zvezde (α_S, δ_S) - koordinati zvezde na baricentrični nebesni krogli, ki se nanašata na srednji ekvator in srednje pomladišče datuma (epoha ekvatorja in pomladišča je ista kot trenutek za katerega koordinati računamo). Srednji koordinati se spreminjata zaradi precesije in lastnega gibanja.
2. Pravi ("true") položaj podajata pravi koordinati (α_P, δ_P) - koordinati zvezde na baricentrični nebesni krogli, ki se nanašajo na pravi ekvator in pravo pomladišče. Pravi položaj dobimo če srednjemu dodamo vpliv spremembe zaradi nutacije. V praksi je pravi položaj samo vmesna stopnja pri transformaciji srednjih položajev v navidezne.
3. Navidezni ("apparent") položaj zvezde podajata navidezni koordinati (α, δ) - koordinate na geocentrični nebesni krogli , ki se nanašajo na pravi ekvator in pravo pomladišče datuma. Navidezni položaj dobimo če pravim koordinatam prištejemo popravke zaradi letne aberacije in letne paralakse.
4. Navidezne koordinate se razlikujejo od opazovanih koordinat samo za vrednost vpliva refrakcije in dnevne aberacije. Ta dva vpliva sta odvisna od opazovališča, izračunamo jih s določenima popravkama.

Pri obazovanju bližnjih nebesnih teles (Sonca) moramo opazovanja reducirati za vpliv astronomske refrakcije, paralakse in eventualno navideznega polmera. Skupen vpliv vseh navedenih vplivov dobimo tako, da posamezne vplive seštejemo. Navidezno zenitno razdaljo je treba popraviti za vpliv astronomske refrakcije, paralakse in za vpliv navideznega polmera. Tako popravljena navidezna zenitna razdalja se imenuje *prava zenitna razdalja.* Prava zenitna razdalja je tista, ki bi jo v istem trenutku izmeril opazovalec v središču Zemlje in sicer če Zemlja ne bi imela ozračja.

$z = z' + r - p \pm R$ velja za Sonce, planete in Luno

$z = z' + r$ velja za zvezde

Za določitev časa, geografskih koordinat in azimutov zemeljskih ciljev uporabljamo navidezni položaj zvezd (nebesnih teles).

7.1 Katalogi zvezd in astronomski almanahi

Ugotovili smo, da je zvezdni CIS, Konvencionalni Inercialni koordinatni Sistem, čeprav kvazi–inercialen, eden izmed najboljših približkov idealnega inercialnega sistema. Konvencionalni referenčni sestav zvezdnega kataloga tvorijo zvezde (kot oblika materializacije koordinatnega sistema) ter njihove nebesne ekvatorske koordinate (rektascenzija α in deklinacija δ).

Fundamentalni zvezdni katalogi vsebujejo srednje koordinate zvezd in lastna gibanja zvezd za standardno epoho (T_0) kataloga.

Eden primer zvezdnega kataloga je nemški t.i. Fundamentalni katalog FK5, ki se nanaša na standardno epoho J2000,0 in vsebuje podatke za več kot 3000 zvezd. Sedaj ga zamenjuje Fundamentalni katalog 6 (FK 6), ki je kombinacija prejšnjega in Kataloga Hipparcos. Kataloga Hipparcos in Tycho sta projekta ESA.

Poleg fundamentalnih katalogov, obstajajo tudi *astronomske efemeride* oz. *astronomski almanahi*, ki podajajo navidezne lege določenega števila zvezd za določene intervale časa (na primer vsako deseto zgornjo kulminacijo v Greenwichu). Znane publikacije so Berliner Astronomisches Jahresbuch, The Astronomical Almanac, Apparent Places of Fundamental Stars.

Da bi lahko uporabili koordinate zvezd, podane v astronomskih efemeridah in zvezdnih katalogih, za izračun astronomskih geografskih koordinat, moramo upoštevati vse vplive, ki spreminjajo opazovane količine (zenitna razdalja) in same koordinate zvezd. Ko iz opazovanj odstranimo vpliv sistematičnih pogreškov instrumenta in opazovalca dobimo *merjeni (opazovani) položaj* zvezde za trenutek opazovanja T. Ko odstranimo vpliv astronomske refrakcije, dnevne aberacije in dnevne (geocentrične) paralakse dobimo *navidezni položaj* za trenutek T. Odstranitev letne aberacije in letne paralakse nam da *pravi položaj zvezde* za trenutek opazovanja T. Z upoštevanjem vpliva nutacije preidemo na *srednji položaj* zvezde za opazovani trenutek T. Prehod na *srednji položaj za epoho kataloga* T_0 je možen z upoštevanjem vpliva precesije in lastnega gibanja zvezd v obdobju T in T_0.

Diagram: prehod iz srednjega položaja (katalog, epoha T_0) v opazovani položaj (za trenutek opazovanj T)