



Ivan Šprajc

# ARHEOASTRONOMIJA

---

ARHEO

---

---

Ivan Šprajc

# ARHEOASTRONOMIJA

---

---

---

Arheološka obvestila. Glasilo arheološkega društva, zanj odgovarja *Mitja Guštin*, predsednik. Uredništvo: *Predrag Novakovič* (glavni urednik), *Darja Grosman*, *Zoran Stančič*, *Peter Turk*, *Ranko Novak* (grafična zasnova), *Milojka Žalik Huzjan* (DTP s programom Steve).

Posebna številka - *Ivan Šprajc*: Arheoastronomija. Ljubljana 1991. - Izdajateljski svet: *Janez Dular*, *Jože Kastelic*, *Peter Kos*, *Marijan Slabe*. Naslov uredništva: Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, (061) 332-661/334. Tekoči račun 50100-678-60382. Tisk *Jez*.

Po mnenju Republiškega komiteja za informiranje št. 42-1/72 šteje ARHEO med proizvode 7. točke prvega odstavka 36. člena zakona o obdavčevanju proizvodov in storitev v prometu, za katere se ne plačuje temeljni davek od prometa proizvodov

---



---

# Kazalo

3	Uvod
5	1. Nebesni svod
5	1.1. Zvezde
6	1.2. Imena zvezd in ozvezdij
7	2. Nebesna krogla in Zemlja
7	2.1. Glavne točke in krogi nebesne krogle
9	2.2. Nebesni koordinatni sistemi
9	2.2.1. Horizontski in ekvatorski koordinatni sistem
10	2.2.2. Odvisnost videza zvezdnega neba od geografske širine kraja
11	2.2.3. Razmerja med ekvatorskim in horizontskim koordinatnim sistemom
14	3. Navidezno gibanje Sonca, ekliptika
17	3.1. Ekliptični koordinatni sistem
20	3.2. Heliakalni fenomeni
21	4. Čas
24	5. Precesija
25	6. Zodiak
26	7. Luna
31	8. Mrki
35	9. Planeti
36	9.1. Notranja planeta
37	9.2. Zunanji planeti
41	10. Manj pogosti astronomski in atmosferski pojavi
42	11. Koledar
45	12. Merjenje, izračunavanje in ovrednotenje orientacij
45	12.1. Meritve na terenu
45	12.2. Izračun azimuta
46	12.3. Meritve s kompasom
48	12.4. Izračun deklinacije
49	12.5. Interpretacija orientacij
51	Dodatek (najpomembnejše formule)
53	Bibliografija

---



## UVOD

Arheoastronomija je sorazmerno mlada arheološka subdisciplina, ki je nastala kot rezultat sodelovanja med naravoslovnimi in družboslovnimi vedami. Kot posebna veda, čeprav izrazito interdisciplinarna ali celo multidisciplinarna, se je izoblikovala šele v 60. letih tega stoletja, odločilni dejavnik pa je bilo preučevanje astronomskega pomena prazgodovinskih megalitskih spomenikov Zahodne Evrope. Zlasti knjiga astronoma Geralda Hawkinsa (1965) *Stonehenge decoded* je izzvala velik odmev; polemične diskusije, v katerih so bili udeleženi strokovnjaki iz različnih disciplin, so pripeljale do kritičnega pretresa dotedanjšega dela in do izoblikovanja ustrežnejših metodoloških načel za vedo, ki se je prijelo ime *arheoastronomija* (čeprav se je sprva uporabljalo tudi ime *astroarheologija*)<sup>1</sup>. Danes izhajata v svetu dve reviji, specializirani za arheoastronomijo: *Archaeoastronomy: Journal of the Center for Archaeoastronomy* v College Parku, MD, USA, in *Archaeoastronomy: Supplement to Journal for the History of Astronomy* v Angliji.

Poseben značaj arheoastronomije je v njeni inter- oz. multidisciplinarnosti, saj zahteva na eni strani poznavanje osnov pozicijske ali sferne astronomije, na drugi pa vključuje dognanja arheologije, etnologije, zgodovine umetnosti, zgodovine religij, geografije, lingvistike in nemara še katere vede (Carlson 1979).

Arheoastronomijo je mogoče definirati kot vedo, ki preučuje astronomsko znanje in njegovo vlogo v družbah, ki jih sicer preučuje arheologija<sup>2</sup>. Predmet preučevanja so vsi tisti segmenti ali aspekti kulture, ki so tako ali drugače povezani z opazovanjem gibanja nebesnih teles. Spoznanja, ki izhajajo iz takšnih opazovanj, omogočajo orientacijo v prostoru in času. Za arheoastronomijo niso zanimive zgolj same oblike eksaktnega astronomskega znanja, temveč tudi mnogi drugi elementi kulture, od gospodarstva do religije. Med najbolj splošne in obenem najtežje naloge arheoastronomije spada ugotavljanje odvisnosti kozmoloških in drugih koncepcij, povezanih z astronomskim znanjem, od naravnega okolja in kulturnega konteksta, razlaganje podobnosti in razlik med temi koncepcijami in pojasnjevanje njihove vloge v splošnih procesih kulturne evolucije.

Že v sivi davnini je človeku vzbudil pozornost nebeški red, ki se je zdel nespremenljiv. Ciklične spremembe v

naravnem okolju se ponavljajo v istem ritmu kot spremembe na nebu, toda le-te so veliko bolj regularne in stabilne. Za razliko od, na primer, menjavanja letnih časov, periodične spremembe na nebu ne prehitujejo in ne zamujajo. Spoznanje teh pravilnosti je omogočilo človeku, da se je znašel v prostoru in času in da si je ustvaril koherentno sliko o svetu, ki ga je obkrožal: namesto "kaosa" se je v zavesti ljudi oblikoval "kozmos". Ni naključje, da je prvotni pomen grške besede *kosmos* samo "red"; ker je nebo oz. vesolje prototip reda, je beseda sčasoma dobila pomen, ki ga ima še danes.

Rezultat opazovanja nebesnih teles je bila, po eni strani, cela vrsta pravilnih spoznanj, ki so jih izkušnje vedno znova potrjevale. Po drugi strani pa je zavest o nebeškem redu, ki je superioren in vsekakor boljši od zemeljskega in človeškega reda, povzročila nastanek verovanj, po katerih nebesni pojavi določajo dogodke na Zemlji, ali pa vsaj vplivajo nanje; nastali so tudi raznovrstni miti, ki razlagajo izvor, sestavo in urejenost sveta in vesolja. Velja opozoriti, da je često izredno težko jasno ločevati pravilna pojmovanja o objektivni stvarnosti od tistih, ki to niso. Obe vrsti idej in predstav sta v določeni družbeni skupini med seboj prepleteni in tvorita kolikor toliko koherentno sliko o svetu, v kateri so vključene tako religiozne kot znanstvene koncepcije. Vsak poskus ločevanja znanstvenih od neznanstvenih idej je vsaj do neke mere arbitraren, saj je odvisen od pravilnosti znanja tistega, ki to počne. Ne moremo si delati utvar, da so današnji znanstveni kriteriji povsem objektivni; o znanstvenem pogledu na svet pravi ameriški astronom in zgodovinar znanosti Owen Gingerich (1989:38s) naslednje:

It is an interlocked and coherent picture, a most workable explanation, but it is not ultimate truth.

Arheoastronomijo kot družbenozgodovinsko vedo zanimajo *vsí kulturni pojavi, ki so povezani z opazovanjem neba*. Samo tak pristop lahko namreč prispeva k razumevanju *funkcioniranja neke družbe kot celote, razvoja posameznih kultur in evolucije kulture nasploh*. Prav v tem se arheoastronomija tudi bistveno razlikuje od zgodovine astronomije, ki je praviloma osredotočena na razvoj eksaktnih astronomskih znanj, ne da bi jo posebej zanimal *družbeni kontekst*, ki je razvoj teh znanj pogojeval, in razne "stranpoti", ki pa za zgodovinske in druž-

boslovne vede seveda niso nič manj zanimive, saj še kako osvetljujejo družbo, v kateri so nastale. Zgodovina astronomije temelji v glavnem na pisanih virih, medtem ko tipični izsledki arheoastronomije izhajajo iz preučevanja arheoloških virov, seveda z upoštevanjem vseh ostalih, ki so na razpolago in ki utegnejo prispevati k razreševanju konkretnih problemov (cf. Gibbs 1979; Gingerich 1989).

Najpomembnejši praktični funkciji astronomskega znanja sta orientacija v prostoru in orientacija v času. Smeri neba, določene s smermi vzhajanja in zahajanja nebesnih teles in z lego nebesnega pola, torej točke (ali zvezde) na nebu, ki se ne vrtili oz. okoli katere se vrtili nebesna sfera, so osnovne prostorske reference, saj tudi brez posebnih pripomočkov in znanja omogočajo vsaj grobo orientacijo v prostoru. Vsakomur, ki živi v večji odvisnosti od narave kot prebivalec modernih mest, je tudi jasno, da je določene zvezde in ozvezdja mogoče videti v določenem letnem času ob določenih urah. Koledarsko vlogo opazovanja zvezd, posebej pa še letnega gibanja Sonca, najdemo povsod po svetu in v zelo različnih obdobjih. Lunine mene prav tako predstavljajo zelo preprost pripomoček za merjenje časa, zato ni čudno, da so prvi lunarni koledarji nastali že v paleolitiku. Natančnejša orientacija v času je postala posebej pomembna z nastankom poljedelstva, saj je pri tem načinu gospodarjenja potrebno imeti ustrezno časovno razporeditev dejavnosti v letu, torej je treba znati predvideti menjavanje letnih časov. Koledar, ki edini omogoča takšno reguliranje del, lahko nastane samo na osnovi opazovanja gibanja nebesnih teles. Kateri astronomski pojavi so (bili) za določeno družbo pomembni in zakaj, pa je vselej odvisno od konkretnega naravnega okolja, klimatskih značilnosti, geografske širine (za različne zemljepisne širine so značilni različni astronomski pojavi), stopnje tehnološkega in družbenopolitičnega razvoja in raznih manj regularnih faktorjev. Ustrezen koledar daje uporabniku adaptivno prednost, saj mu omogoča bolj učinkovito gospodarjenje; prav zaradi tega so imela astronomska znanja velik pomen v zgodnjih državah, zlasti pri legitimaciji oblasti vladajočega sloja, ki je kot ekskluzivni nosilec astronomskega znanja omogočal boljše funkcioniranje celotne družbe, ob tem pa si je seveda ustvarjal mnoge privilegije. Pojasnjevanje **smisla**, ki so ga lahko imele v preučevani družbi določene kulturne

prvine, povezane z opazovanjem neba (koledar, pripisovanje pomena določenim astronomskim fenomenom, socialni status svečnikov-astronomov, mitologija in pogled na svet nasploh itd.), je ena najpomembnejših nalog arheoastronomije; opraviti jo je mogoče samo, če v interpretacijah upoštevamo čim več podatkov, ki jih imamo o tej družbi na razpolago. Po drugi strani pa je ugotavljanje družbenega pomena določenih astronomskih pojavov seveda nemogoče brez poznavanja teh pojavov samih, torej raznih astronomskih dejstev, ki jih je mogoče zaznati s prostim očesom.

Odseve ali sledove astronomskega znanja in s tem povezanih idej je mogoče najti tako v arheoloških kontekstih kot v pisanih virih (če so v konkretnem primeru na voljo), pri čemer je uporaba etnoloških analogij tako potrebna kot tudi sicer v arheoloških interpretacijah. Bolj ali manj zgovorni podatki so lahko razni ikonografski elementi, pojavljanje določenih astronomsko signifikantnih števil v ornamentih ali drugačnih oblikah arheološkega zapisa, predvsem pa astronomske orientacije stavb, kulturnih objektov, grobov, včasih pa tudi večjih naselbinskih kompleksov.

Pri mnogih ljudstvih že sama bivališča nimajo zgolj praktične funkcije, temveč so na neki način tudi materializacija kozmičnega reda. Še veliko bolj velja to za kulturne objekte, ki s svojo orientiranostjo v prostoru često poudarjajo astronomsko pomembne smeri, npr. proti značilnim vzhajalnim in zahajalnim točkam Sonca, Lune, pa celo planetov ali zvezd. Da bi ugotovili, na katero nebesno telo se določena orientacija nanaša (ali, če gre za Sonce, na kateri datum), je treba izračunati, katerim nebesnim koordinatam ustreza. Razen tega je potrebno orientacijo natančno izmeriti s teodolitom in s pomočjo astronomskih referenc. Vselej pa se je treba zavedati, da je vzrok za določeno orientacijo sicer lahko astronomski, lahko pa je tudi povsem drugačen (konfiguracija terena, klimatski pogoji - npr. osončenost -, razni geomantični principi itd.).

Pričujoči učbenik nima ambicij, da bi izčrpno predstavil problematiko arheoastronomije, marveč je njegov namen zgolj seznaniti arheologa z najbolj splošnimi temelji sferne astronomije in z osnovnimi metodami in tehnikami arheoastronomskega dela. Splošni metodološki in teoretski problemi arheoastronomije so deloma

# 1. NEBESNI SVOD

specifični, v precejšnji meri pa podobni problemom arheološke interpretacije nasploh (formuliranje in preverjanje hipotez, statistična ovrednotenja itd.). Čeprav ta obširna problematika na tem mestu ne bo obravnavana, *velja posebej poudariti, da je pri arheoastronomskih interpretacijah upoštevanje riguroznih metodoloških načel neobhodno*, saj lahko sicer kaj kmalu zaidemo v neutemeljene spekulacije.<sup>3</sup>

**Literatura:** poljudna dela, zgodovina astronomije in arheoastronomije, metodologija arheoastronomije: Aveni 1975; 1980; 1981; 1989; Brecher - Feirtag 1979; Krupp 1977; 1983; Neugebauer 1975; Hawkins 1968; Waerden 1974; Baity 1973; Heggie 1982; Iwaniszewski 1987; Williamson 1981; Barlai 1980.

Opombe:

1. Velja omeniti, da med pionirje arheoastronomskih raziskav sodi tudi naš antropolog Božo Škerlj (1952).
2. Sorodna veda je etnoastronomija, ki se od arheoastronomije razlikuje približno tako kot etnologija od arheologije.
3. Zahvaljujem se P. Ranzingerjevi, z Astronomsko-geofizikalnega observatorija na Golovcu v Ljubljani, za terminološka in druga pojasnila. Za morebitne napake in pomanjkljivosti sem seveda kriv sam.

Dnevno nebo je modro zaradi sipanja Sončeve svetlobe v atmosferi; zrak namreč siplje modro svetlobo močnejše kot druge spektre. Prav zaradi tega podnevi ne moremo videti zvezd. Čim više smo, torej čim redkejši je zrak, tem temnejše je videti nebo.

Na morju ali v ravnini se zdi, da ima nebo nad nami obliko polkrogle. V jasnih nočeh je nebesni svod posut z zvezdami in drugimi nebesnimi telesi, za vsa pa se zdi, da so pritrjena na nebesno kroglo in da so torej vsa enako oddaljena od nas.

## 1.1. Zvezde

Zvezde so nebesna telesa, ki izžarevajo lastno svetlobo, tako kot naše Sonce; njihov sij je sorazmerno šibak, saj so veliko bolj oddaljene od Zemlje kot Sonce. Sonce, Luna in planeti se premikajo glede na zvezdno ozadje, razporeditev zvezd pa je skorajda nespremenljiva: za opazovalca na Zemlji se položaj neke zvezde glede na druge praktično ne spreminja. Čeprav se zvezde v resnici gibljejo z velikimi hitrostmi, je to gibanje mogoče zaznati le z instrumenti. Oblike ozvezdij se zaradi lastnega gibanja zvezd občutno spremenijo šele po mnogih desetletjih.

Sij zvezd zavisi od njihove velikosti, sestave in oddaljenosti, meri pa se v *magnitudah* (<sup>m</sup>). Grški astronom *Hipparchos*, ki je živel v 2. stol. pr. n. št., je razporedil zvezde glede na sij, ki ga je označil z magnitudami od 1 do 6; najsvetlejše so imele magnitudo 1 in najšibkeje 6. V 19. stoletju je bil ta sistem izpopolnjen in natančneje definiran. Tabela 1.1. navaja najsvetlejše zvezde in njihov sij; najsvetlejša zvezda neba je *Sirius*, ki je na južni nebesni polobli, na severni pa je najsvetlejša *Vega*.

Zvezde se razlikujejo tudi po barvi: nekatere so bele (*Spica*, *Capella*, *Deneb*), druge modre (*Vega*, *Rigel*), rumene ali oranžne (*Arcturus*, *Pollux*, *Betelgeuse*) in rdeče (*Antares*) ali rdečkaste (*Fomalhaut*).

Nekatere zvezde spreminjajo sij in barvo; pri dvojnih zvezdah so vzrok "mrki", ko namreč ena zvezda zakrije drugo. V drugih primerih pa variira izsev samih zvezd; znan primer je zvezda *Mira*, katere sij se v necnakih intervalih spreminja od 1,7<sup>m</sup> do 9,5<sup>m</sup>.



Tabela 1.1.: Sij 20 najsvetlejših zvezd

ime zvezde	ozvezdje	sij ( <sup>m</sup> )
Sirius ( $\alpha$ CMa)	Canis Major	-1.58
Canopus ( $\alpha$ Car)	Carina	-0.86
Vega ( $\alpha$ Lyr)	Lyra	0.14
Capella ( $\alpha$ Aur)	Auriga	0.21
Arcturus ( $\alpha$ Boo)	Bootes	0.24
Rigil Kent ( $\alpha$ Cen)	Centaurus	0.33
Rigel ( $\beta$ Ori)	Orion	0.34
Procyon ( $\alpha$ CMi)	Canis Minor	0.48
Betelgeuse ( $\alpha$ Ori)	Orion	0.1-1.2
Achernar ( $\alpha$ Eri)	Eridanus	0.60
Hadar ( $\beta$ Cen)	Centaurus	0.86
Altair ( $\alpha$ Aql)	Aquila	0.89
Aldebaran ( $\alpha$ Tau)	Taurus	1.06
Spica ( $\alpha$ Vir)	Virgo	1.21
Pollux ( $\beta$ Gem)	Gemini	1.21
Antares ( $\alpha$ Sco)	Scorpius	1.22
Fomalhaut ( $\alpha$ PsA)	Piscis Australis	1.29
Deneb ( $\alpha$ Cyg)	Cygnus (Crux Borealis)	1.33
Regulus ( $\alpha$ Leo)	Leo	1.34
Acrux ( $\alpha$ Cru)	Crux	1.58

Za primerjavo omenimo, da ima Sonce sij  $-26,9^m$ , polna Luna pa  $-12,7^m$ .

### 1.2. Imena zvezd in ozvezdij

Na celotni nebesni sferi je kakih 5000 zvezd, ki jih je mogoče videti s prostim očesom. Seveda pa niso vidne vse s kateregakoli mesta na Zemlji. Različna ljudstva so videla ali vidijo na zvezdnem nebu različne podobe. Imena *ozvezdij* ali *konstelacij*, ki se uporabljajo v moderni astronomiji, imajo v veliki večini izvor v stari Grčiji. Grki so sintetizirali izročila Mediteranskega sveta in dodali nebeškim podobam lastne mitološke figure. Vso astronomsko tradicijo helenistične dobe je zbral Klaudios Ptolemaios v 2. stol. n. št. v svojem velikem delu, ki je znano kot *Almagest* (orig. naslov: Ἡ μεγάλη σύνταξις τῆς ἀστρονομίας) in v katerem so navedene koordinate in magnitude za 1022 zvezd, razporejenih v 48 ozvezdij. Znanje, zbrano v Ptolemejevem delu, je prišlo v Evropo preko Arabcev, zato so sedanja imena

zvezd v glavnem arabskega izvora; mnoga so pravzaprav prevodi imen, ki jih navaja Ptolemej. Imena ozvezdij so bila kasneje latinizirana, medtem ko so zvezde v glavnem ohranile arabska imena. Zaradi večkratnih prepisovanj in različnih pravopisnih pravil pa so sčasoma nastale grško-latinsko-arabske spačenke, ki so danes v rabi in katerih izvirni pomen je včasih težko ugotoviti. Običajno imena zvezd označujejo odnos zvezd do ozvezdij (npr. Arcturus, iz gr. *Arktouros* = "medvedov čuvaj"; Deneb, iz ar. *Al Dhanab* = "ptičji rep").

Poleg tradicionalnih imen se danes uporablja sistem, ki ga je uvedel Johann Bayer v svojem delu *Uranometria* (1603) in v katerem se zvezde nekega ozvezdja označujejo z grškimi črkami (najsvetlejša zvezda je običajno  $\alpha$ ) in imenom ozvezdja v genetivu (npr. Regulus =  $\alpha$  Leonis; Antares =  $\alpha$  Scorpii). Bayerjev sistem zajema okoli 1300 zvezd in je torej povsem primeren za rabo v arheo-astronomiji. Za manj svetle zvezde in razne druge nebesne objekte se danes v astronomiji uporabljajo še drugi sistemi označevanja.

Ptolemejev sistem, s 1022 zvezdami v 48 konstelacijah, se je ohranil brez sprememb skozi ves Srednji vek. Šele v Renesansi so začeli dodajati nova ozvezdja, predvsem tista, ki so jih odkrivali na južni nebesni poluti. V moderni astronomiji izraz *ozvezdje* ali *konstelacija* ne označuje zgolj figuro, ki jo sestavljajo zvezde, temveč celotno področje neba, na katerem je figura. Sedanja delitev nebesne sfere na 88 konstelacij je uvedla leta 1930 Mednarodna astronomska zveza; v tej razporeditvi so ohranjene tradicionalne figure, zaradi česar so velikosti ozvezdij zelo različne. Razmejitvene linije med ozvezdji tečejo vzdolž nebesnih poldnevnikov in vzporednikov. Beseda *ozvezdje* ima danes torej širši pomen kot beseda *asterizem*, ki označuje samo skupino zvezd: Plejade in Hijade sta, npr., asterizma v ozvezdju Bika.

Čeprav so ozvezdja raznih narodov lahko zelo različna, saj so plod človekove domišljije, so nekatere skupine zvezd ali asterizmi vzbujali pozornost širom sveta, npr. Plejade, Rimska cesta ali zvezde v konstelaciji Orion. Seveda pa nebeške podobe odsevajo tako naravno okolje ljudi, med katerimi so nastale, kot tudi njihovo mitologijo in splošno kulturno raven.

Od geografske širine kraja opazovanja je odvisno, kateri

## 2. NEBESNA KROGLA IN ZEMLJA

del nebesne sfere in katera ozvezdja je mogoče videti. Opazovalec na severnem/južnem Zemljinem polu lahko vidi samo severno/južno nebesno hemisfero. Na vseh ostalih zemljepisnih širinah je mogoče videti več kot polovico nebesne sfere.

**Literatura:** *Encyclopaedia Britannica: Macropaedia, s.v. "Star", "Astronomy & astrophysics", "Mechanics, celestial", "Astronomical maps".* O imenih zvezd in ozvezdij, izročilih gl.: Allen 1963; Le Boeuffle 1977; Waerden 1974; Matičetov 1972; 1973; Dicks 1985. Zvezdna karta in koordinate: Hlad *et al.* 1989.

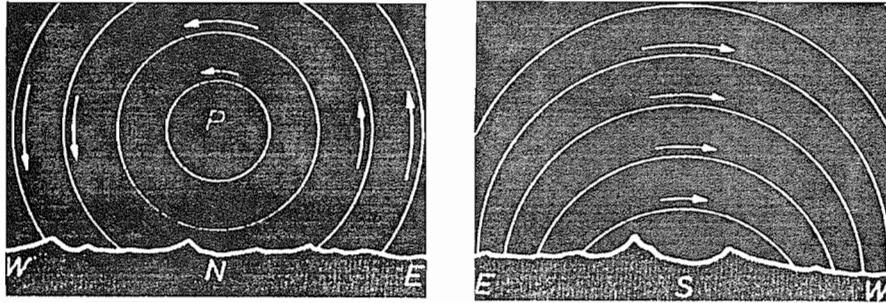
Zaradi rotacije Zemlje se nebesna krogla, z vsemi nebesnimi telesi, na videz vrti od vzhoda proti zahodu (slika 1). Zlasti ponoči nam nebo daje vtis vrteče se kupole, na katero so pripete zvezde. V sferični astronomiji niso pomembne dejanske razdalje do zvezd; govorimo o *nebesni sferi*, ki je namišljena krogla s poljubnim polmerom in središčem v očesu opazovalca in na katero projiciramo nebesna telesa. Vseeno je, kolikšen polmer ima ta namišljena nebesna krogla, saj na njej merimo le *kotne razdalje* med nebesnimi telesi (slika 2).

### 2.1. Glavne točke in krogi nebesne krogle

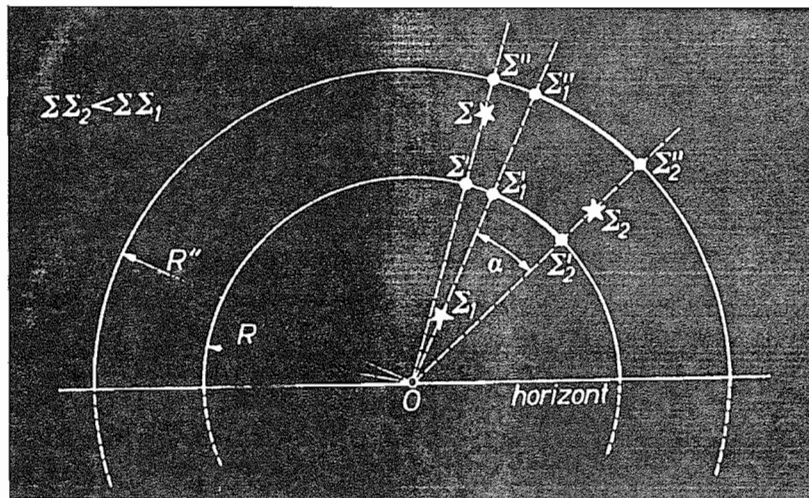
Preseki krogle so vselej krogi, ti pa so lahko veliki ali mali. Veliki krogi so tisti, katerih ravnina gre skozi krogline središče. V koordinatnem sistemu Zemlje so veliki krogi vsi poldnevnik ali meridiani. Med vzporedniki je edini veliki krog ekvator.

Na nebesni sferi (slika 3) so veliki krogi tisti, katerih središče je mesto opazovanja  $O$ ; vodoravna ravnina, ki gre skozi to točko - in ki je torej tangenta na Zemljo v točki  $O$  - seka nebesno kroglo v krogu, ki se imenuje *matematični* ali *astronomski horizont*. Navpičnica, ki gre skozi točko  $O$ , je pravokotna na ravnino horizonta in prebode nebesno kroglo v *zenitu* (nadglavišču) in *nadirju* (podnožišču). Če opazujemo nočno nebo dalj časa, opazimo, da se zvezde gibljejo po koncentričnih krožnicah (sl. 4); središča teh krožnic ležijo na premici, ki gre skozi naše oko. To je *nebesna os*, ki prebada nebesno sfero v *nebesnih polih* ali tečajih ( $P$  in  $P'$  na sliki 3)<sup>1</sup>. Veliki krog, ki gre skozi zenit opazovališča in skozi nebesna pola, je *lokalni nebesni meridian*. Ravnina, ki gre skozi opazovališče pravokotno na nebesno os, seka nebesno kroglo v *nebesnem ekvatorju*. Nebesni meridian seka matematični horizont v *severišču* in *južišču*, nebesni ekvator pa v *vzhodišču* in *zahodišču* (sl. 3).

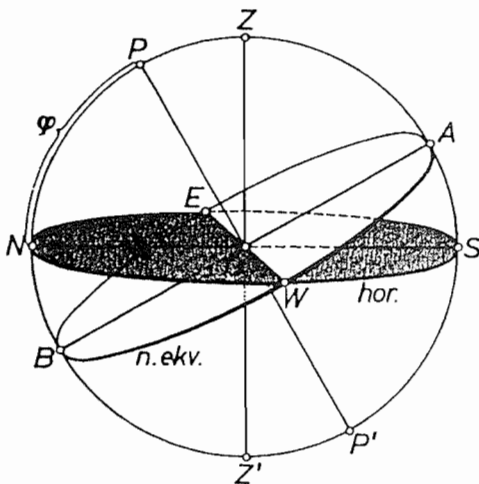
Ker je navidezno vrtenje neba pogojeno z Zemljino rotacijo, je nebesna os za vsakega opazovalca na Zemlji vzporedna z vrtilno osjo Zemlje. Za opazovalca na enem ali drugem Zemljinem polu se vrtilna os Zemlje in nebesna os ujemata. Ravnina nebesnega ekvatorja je pravokotna na nebesno os in vzporedna ravnini, v kateri leži Zemljin ekvator. Za opazovalce na Zemljinem ekvatorju ti ravnini sovpadata (sl. 5).



Slika 1. Navidezno vrtenje neba v naših krajih; levo - pogled proti severu, desno - pogled proti jugu (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 11).

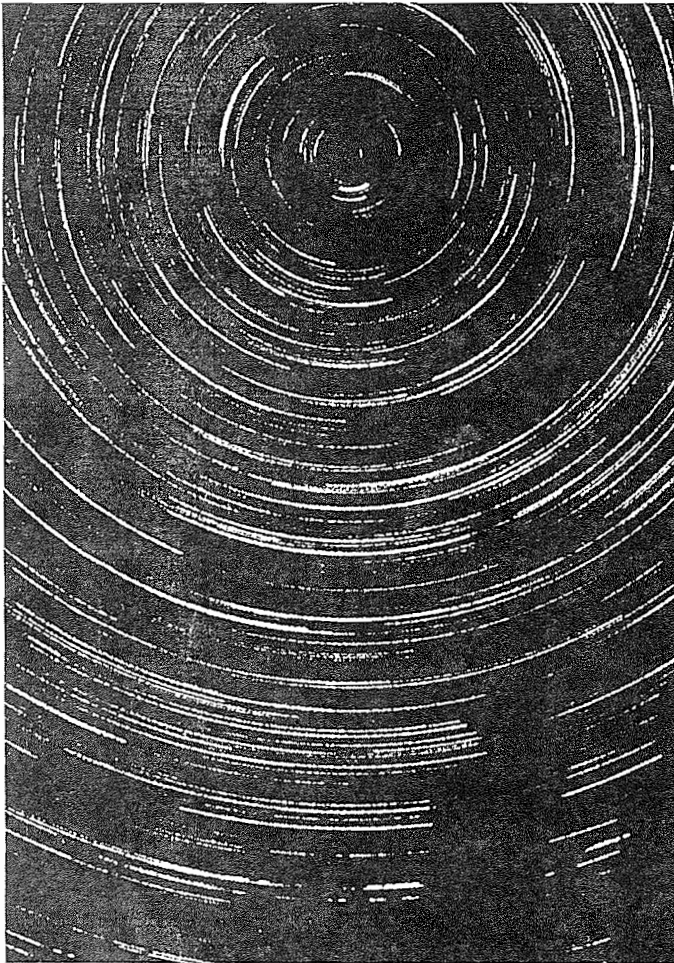


Slika 2. Projekcija nebesnih teles na nebesno kroglo (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 12).



Slika 3. Glavne točke in krogi nebesne krogle: O - središče nebesne krogle (opazovališče); Z - zenit; Z' - nadir; P - severni nebesni pol; P' - južni nebesni pol; N - severišče; S - južišče; E - vzhodišče; W - zahodišče; PP' - nebesna os; EA WB - nebesni ekvator; ESWN - matematični horizont; NPZ - nebesni meridian (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 14).

Poti, ki jih na videz opisujejo zvezde, so mali krogi, katerih ravnine so vzporedne ravnini nebesnega ekvatorja. V enem dnevu običajno dvakrat *kulminirajo* oz. gredo čez krajevni meridian; enkrat dosežejo najvišjo lego (*zgornja kulminacija*) in drugič najnižjo (*spodnja kulminacija*). Zvezde, ki so v nekem kraju vselej nad



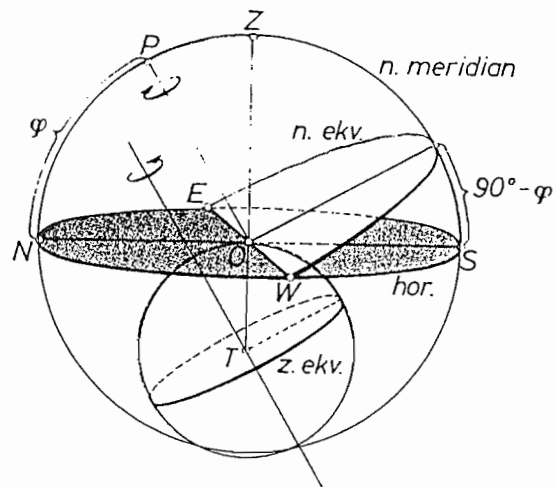
Slika 4. Vrtenje nebesne krogle (fotografski dokaz; iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 15).

horizontom (torej nikoli ne vzhajajo ali zahajajo) so za to opazovališče *nadobzornice* ali *cirkumpolarne zvezde*; tiste, ki niso nikoli vidne, so *podobzornice* (sl. 6).

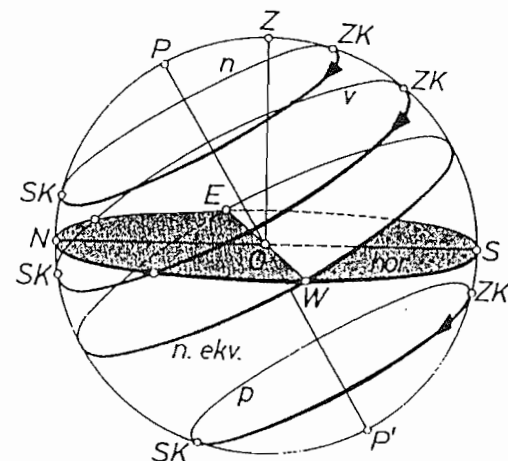
## 2.2. Nebesni koordinatni sistemi

### 2.2.1. Horizontski in ekvatorski koordinatni sistem

Koordinatni sistem na krogli običajno sestavljata dva pravokotno sekajoča se velika kroga, od katerih se štejejo razdalje do vseh točk na krogli. V astronomiji se uporabljajo različni koordinatni sistemi, za naše potrebe najpomembnejša pa sta horizontski in ekvatorski.



Slika 5. Horizontalna ravnina v opazovališču (iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 21).



Slika 6. Zgornja (ZK) in spodnja kulminacija (SK) nebesnih teles; *n* - nadobzornica (cirkumpolarne zvezda); *v* - vzhajalka; *p* - podobzornica (iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 22).

V **horizontskem koordinatnem sistemu** sta osnovna kroga horizont in nebesni meridian. Horizontski koordinati nebesnega telesa na sliki 7 sta **azimut** *A* in **višina** *h*. Azimut je horizontalni kot, ki se običajno meri od severišča v smeri urnih kazalcev (od severa proti vzhodu), višina pa vertikalni kot med horizontalno ravnino (ravnino matematičnega horizonta) in smerjo proti nebesnemu telesu. Azimut merimo običajno od  $0^\circ$  do

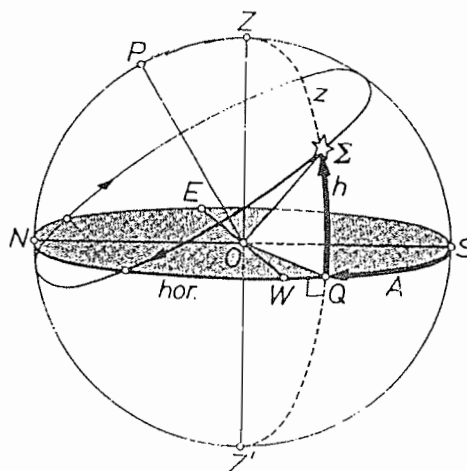
360°, višino pa od -90° (nadir) do +90° (zenit). Namesto višine se često uporablja **zenitna razdalja**  $z$ , ki je višini komplementarna:

$$z = 90 - h$$

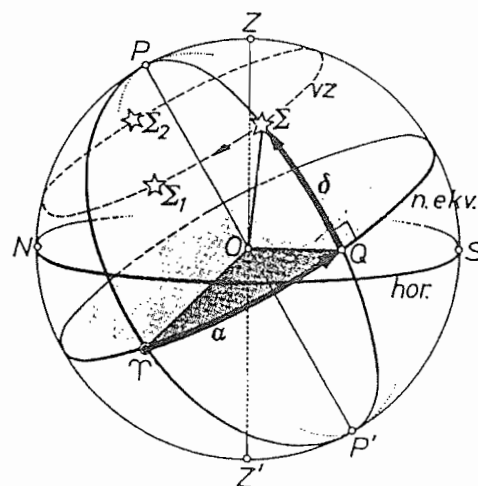
Zenitna razdalja se meri od 0° (zenit) do 180° (nadir). Za natančno merjenje višin in azimutov nebesnih teles je potreben teodolit (gl. poglavje 12).

Horizontske koordinate vseh nebesnih teles se neprestano spreminjajo zaradi navideznega vrtenja neba, razen tega so odvisne tudi od kraja opazovanja. Neodvisen od kraja in časa opazovanja pa je **ekvatorski koordinatni sistem**. Osnovna kroga v tem sistemu sta nebesni ekvator in veliki krog, ki gre skozi pola in skozi **pomladišče**  $\Upsilon$  (sl. 8); pomladišče je točka, v katero pride Sonce med svojim navideznim letnim gibanjem med zvezdami ob pomladnem enakonočju (gl. poglavje 3). Koordinati v ekvatorskem sistemu sta **deklinacija** ( $\delta$ ) in **rektascenzija** ( $\alpha$ ), ki sta primerljivi z zemljepisno širino ( $\varphi$ ) in dolžino ( $\lambda$ ) na Zemlji. Če potegnemo veliki krog skozi nebesno telo in oba nebesna pola, dobimo **deklinacijski krog** tega telesa. Kot med ravnino nebesnega ekvatorja in smerjo proti nebesnemu telesu, merjen vzdolž deklinacijskega kroga, je **deklinacija**; **rektascenzija** pa je kot od pomladišča do deklinacijskega kroga zadevnega nebesnega telesa, merjen od zahoda proti vzhodu vzdolž nebesnega ekvatorja (sl. 8). Deklinacija se meri od 0° (ekvator) do +90° (sev. neb. pol) in -90° (juž. neb. pol), rektascenzija pa od 0° do 360°, ali pa od 0<sup>h</sup> do 24<sup>h</sup> (1<sup>h</sup> = 15°)<sup>2</sup>.

Ekvatorske koordinate določajo položaj nebesnih teles na nebesni sferi. Lega zvezd glede na nebesni ekvator in pomladišče skoraj ni odvisna niti od časa niti od kraja na Zemlji; ekvatorske koordinate zvezd se občutno spreminijo šele po daljšem času (gl. pogl. 5). V tesni zvezi z ekvatorskim sistemom pa se uporablja tudi koordinata, ki se za vsako nebesno telo nenehno spreminja (naraščča). To je **časovni kot**, ki ga oklepata lokalni meridian in deklinacijski krog nebesnega telesa (sl. 9); označuje se s  $H$  ali  $LHA$  (*Local Hour Angle*), meri pa se od meridiana proti zahodu, torej v smeri navideznega vrtenja neba, od 0° do 360° ali od 0<sup>h</sup> do 24<sup>h</sup>. Ob zgornji kulminaciji zvezde je torej njen časovni kot 0° ali 360° (0<sup>h</sup> ali 24<sup>h</sup>), ob spodnji pa 180° (12<sup>h</sup>).



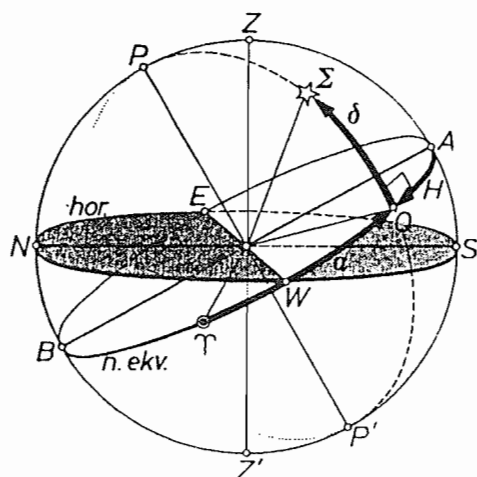
Slika 7. Horizontski koordinatni sistem (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 25).



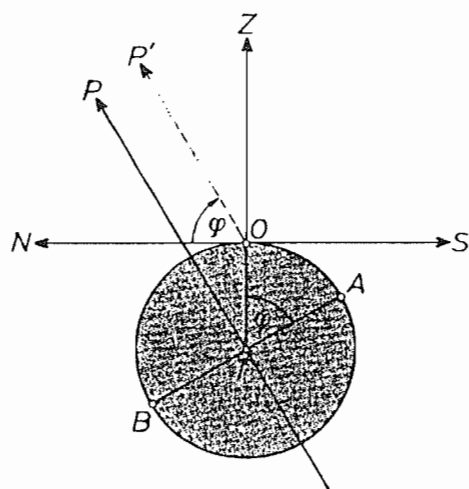
Slika 8. Ekvatorski koordinatni sistem (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 29).

### 2.2.2. Odvisnost videza zvezdne neba od geografske širine kraja

Če potujemo po severni Zemljini poluti proti severu, opazimo, da se Severnica vse bolj dviga nad horizont. Na severnem/južnem geografskem polu je severni/južni nebesni pol točno v zenitu (sl. 11a). Slika 10 ponazarja, da je **višina nebesnega pola enaka geografski širini opazovališča**.  $AB$  je Zemljin ekvator,  $TP$  vrtilna os Zemlje,  $NS$  vodoravna ravnina opazovališča  $O$  in  $Z$  smer proti



Slika 9. Časovni kot (iz: Avsec - Prosen: sl. 43).



Slika 10. Višina nebesnega pola nad horizontom (iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 31).

zenitu. Opazovalec v kraju  $O$  vidi nebesno os v smeri  $P'$ , ki je vzporedna vrtilni osi Zemlje  $TP$ . Kot  $P'ON$  je višina pola nad opazovališčem  $O$ ; kraka, ki oklepata ta kot, sta pravokotna na kraka kota  $ATO$ , ki predstavlja geografsko širino  $\varphi$  kraja  $O$ , zaradi česar sta kota enaka<sup>3</sup>.

Na Zemljinih polih ( $\varphi = \pm 90^\circ$ ) nebesni ekvator sovpada z ravnino matematičnega horizonta, nebesna pola pa sta v zenitu in nadirju. Zvezde torej opisujejo krožnice, vzporedne s horizontom. Na severnem/južnem polu Zemlje je mogoče videti samo zvezde severne/južne nebesne polute, vse pa so cirkumpolarne (sl. 11a).

Na ekvatorju ( $\varphi = 0^\circ$ ) ležita pola v ravnini horizonta in sovpadata s severiščem in južiščem. Nebesni ekvator je pravokoten na horizont in gre skozi zenit. Videti je mogoče tako rekoč vse zvezde severne in južne nebesne hemisfere, nobena pa ni cirkumpolarna (sl. 11c).

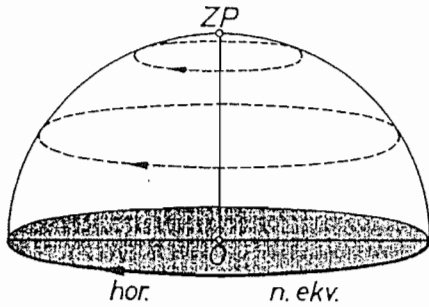
V srednjih širinah sta nebesna os in nebesni ekvator naklonjena k horizontu. Videti je mogoče več kot polovico nebesne krogle, nekatere zvezde so cirkumpolarne (sl. 11b).

Ker se videz neba spreminja z geografsko širino, so v različnih geografskih pasovih vzbujali pozornost različni pojavi. Znotraj *tropskega pasu* se nebesna telesa premikajo po poteh, ki so skoraj pravokotne na horizont. Vrtenje nebesne sfere okoli nebesnega pola ni zelo očitno, ker je pol zelo nizko nad horizontom. Zato ni naključje, da sever in jug pri ljudeh v tropih običajno nista zelo pomembni smeri.

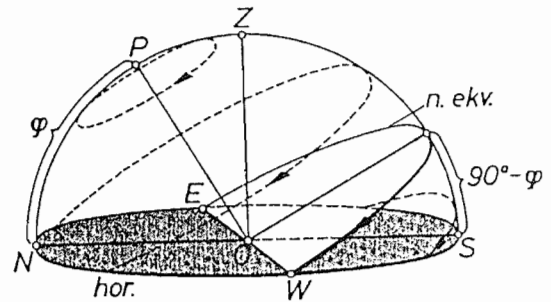
V zmernih širinah je vrtenje nebesne krogle okoli pola zelo očitno, zato se tudi pripisuje večji pomen smeri proti severu/jugu. Na Kitajskem, npr., se je cesar identificiral s Severnico in na ta način ponazarjal svojo stabilnost in centralnost. V hinduizmu je področje okoli severnega pola bivališče boga Višnuja. Odras pojmovanj o nebesnem polu je tudi podatek iz poznovedske literature, po katerem je ženin med ženitvenim obredom moral pokazati nevesti Severnico in s tem dejanjem simbolično izraziti misel, da mora njun zakon biti tako stabilen kot polarna zvezda. Ime za Severnico v sanskritu je *dhruva*, kar dobesedno pomeni "trden, stabilen".

### 2.2.3. Razmerja med ekvatorskim in horizontskim koordinatnim sistemom

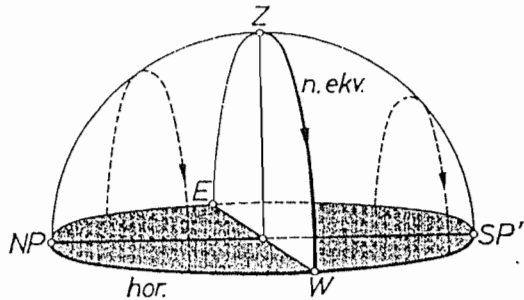
V arheoastronomiji je često potrebno pretvarjati horizontske koordinate v ekvatorialne in obratno. Npr. če želimo ugotoviti, kateremu nebesnemu pojavu ustreza določena orientacija, moramo azimut pretvoriti v pozicijo na nebesni sferi, torej v deklinacijo (rektascenzija v tem primeru ni potrebna; vsa nebesna telesa z enako deklinacijo leže na nebesnem vzporedniku in torej, tudi če imajo različne rektascenzije, v določenem kraju vzhajajo/zahajajo z istim azimutom). Določen azimut ustreza na različnih zemljepisnih širinah različnim deklinacijam;



Slika 11a. Videz zvezdnega neba na severnem geografskem polu (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 34c).

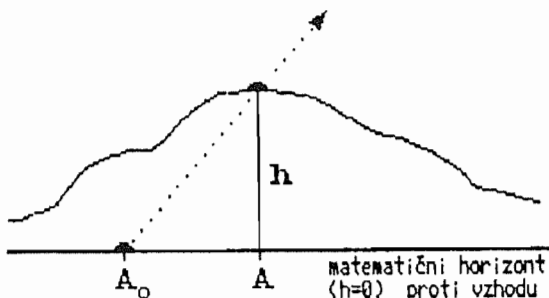


Slika 11b. Videz zvezdnega neba na srednjih geografskih širinah (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 34a).

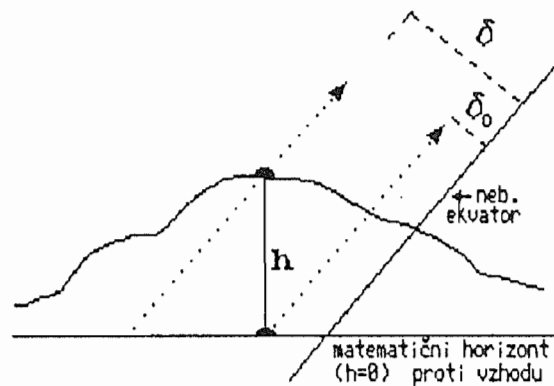


Slika 11c. Videz zvezdnega neba na ekvatorju (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 34b).

seveda velja tudi obratno: azimuti vzhajalnih/zahajalnih točk nebesnega telesa z določeno deklinacijo (razen  $\delta = 0^\circ$ ) so na različnih geografskih širinah različni (cf. solsticijski azimuti Sonca - sl. 18). Razen tega je (razen na ekvatorju) treba upoštevati višino horizonta. Če smo v ravnini ali na morju, nebesno telo vzhaja ob stiku z matematičnim horizontom, torej tedaj, ko ima višino  $0^\circ$ ; če mora zaradi naravnih preprek (hribov) doseči večjo višino, se zaradi naklona poti gibanja spremeni tudi azimut vzhajališča (sl. 12a). Ali drugače: isti azimut ustreza pri različnih višinah horizonta različnim deklinacijam (sl. 12b).

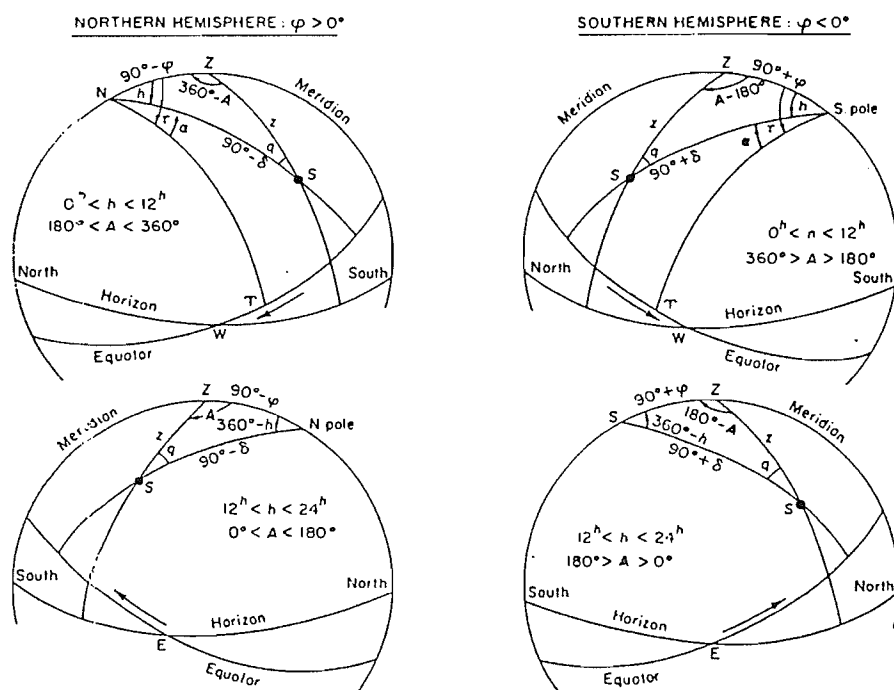


Slika 12a.

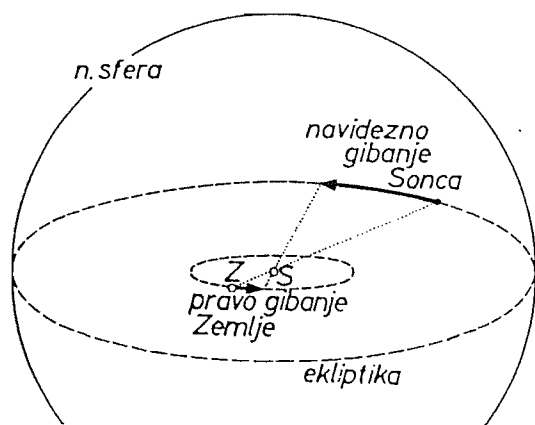


Slika 12b.





Slika 13. Astronomski trikotnik na vzhodni in zahodni strani severne in južne nebesne hemisfere.  $A$  - azimut;  $S$  - nebesno telo;  $\varphi$  - geografska širina opazovališča;  $\delta$  - deklinacija;  $h$  - časovni kot (LHA);  $z$  - zenitna razdalja;  $\alpha$  - rektascenzija;  $q$  - paralaktični kot;  $\tau$  - sidarski čas (iz: Woolard - Clemence 1966: Fig. 8).



Slika 14. Gibanje Zemlje okoli Sonca (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 40).

Konverzije med ekvatorskimi in horizontskimi koordinatami temeljijo na nekaterih osnovnih formulah sferične trigonometrije (gl. Dodatek), uporabljenih v t.i. *astro-*

*nomskem trikotniku*; to je sferični trikotnik, ki ima vrhove v zenitu ( $Z$ ), polu ( $N$  ali  $S$ ) in nebesnem telesu, katerega koordinate preračunavamo (sl. 13). Po izreku o kosinutih (gl. Dodatek) lahko izračunamo deklinacijo, če imamo dano geografsko širino opazovališča  $\varphi$ , višino nebesnega telesa  $h$  in njegov azimut  $A$ :

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos A \quad (1)$$

Če imamo dano deklinacijo, lahko iz iste formule izračunamo azimut:

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h} \quad (2)$$

Kadar višina  $h$  ni znana, jo lahko izračunamo, če poznamo lokalni časovni kot  $LHA$  (kako izračunamo le-tega, gl. spodaj, poglavje 4):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos LHA \quad (3)$$

Formule veljajo za katerikoli kraj na Zemlji ( $-90^\circ \leq \varphi \leq +90^\circ$ ), če merimo azimut od severišča proti vzhodu ( $0^\circ \leq$



### 3. NAVIDEZNO GIBANJE SONCA, EKLIPTIKA

$A \leq 360^\circ$ ) in časovni kot proti zahodu od meridianskega loka nasproti polu nad horizontom ( $0^\circ \leq LHA \leq 360^\circ$  ali  $0^h \leq LHA \leq 24^h$ ). Samo pri formuli (2) je treba upoštevati, da bomo vselej dobili vzhajalni azimut; rezultat bo torej  $0^\circ \leq A \leq 180^\circ$ ; če želimo ugotoviti, kakšen je pri danih podatkih azimut zahajanja, moramo rezultat odšteti od  $360^\circ$ .

**Literatura:** Avsec - Prosen 1971; McLaughlin 1961; Duffett-Smith 1981; Mueller 1969; Woolard - Clemence 1966; *Explanatory Supplement* 1974. O vplivu geografske širine na astronomska pojmovanja: Aveni 1981; Krupp 1983.

Opombe:

- 1 Zelo blizu severnega nebesnega pola je zvezda Severnica (*Polaris*) v ozvezdju Malega medveda ( $\alpha$  UMi). Blizu južnega nebesnega pola ni svetlejšje zvezde.
- 2 Zemlja se v 24 urah zavrti za  $360^\circ$ , torej se v 1 uri za  $15^\circ$ . Med obema sistemoma enot veljajo naslednja razmerja:
 

$1^h = 15^\circ$	$1^\circ = 4^m$
$1^m = 15'$	$1' = 4''$
$1^s = 15''$	$1'' = 1/15^s$
- 3 Naj na tem mestu omenimo, da je v preciznih geodetskih meritvah in preračunavanjih treba upoštevati vrsto parametrov in spremeljivk (elipsoidna oz. geoidna oblika Zemlje, gravitacijske iregularnosti Zemljine mase, premikanje geografskih polov, aberacija itd. - gl. Mueller 1969; Woolard - Clemence 1966), katerih učinek na variacije v nebesnih in zemeljskih koordinatah je tako neznamen, da jih lahko v arheoastronomiji povsem zanemarimo.

Ker Zemlja kroži okoli Sonca, se za opazovalca na Zemlji Sonce med letom navidezno giblje na zvezdnem ozadju od zahoda proti vzhodu (sl. 14). Če bi os Zemljinega vrtenja bila pravokotna na ravnino Zemljine orbite okoli Sonca, bi se Sonce navidezno premikalo po nebesnem ekvatorju. Toda Zemljina os je na to ravnino nagnjena za ca.  $66\frac{1}{2}^\circ$ , kar pomeni, da je ravnina Zemljinega (in nebesnega) ekvatorja nagnjena na ravnino Zemljinega tira za ca.  $23\frac{1}{2}^\circ$ . Sonce se med letom navidezno giblje po krožnici, ki se imenuje *ekliptika* in ki z nebesnim ekvatorjem oklepa kot  $\varepsilon$  (ca.  $23\frac{1}{2}^\circ$ ), seka pa ga v *pomladišču* ( $\Upsilon$ ) in *jesenišču* ( $\Omega$ ) (sl. 15). Zaradi tega se med letom ne spreminja le rektascenzija Sonca ( $\alpha_\odot$ ), marveč tudi njegova deklinacija ( $\delta_\odot$ ). Največjo pozitivno in negativno deklinacijo doseže Sonce ob *poletnem* in *zimskem Sončevem obratu* ali *solsticiju* (ok. 22. junija in 22. decembra), medtem ko je ob *pomladnem* in *jesenskem enakonočju* ali *ekvinokciji* (ok. 21. marca in 23. septembra) Sonce točno na nebesnem ekvatorju (sl. 15, 16):

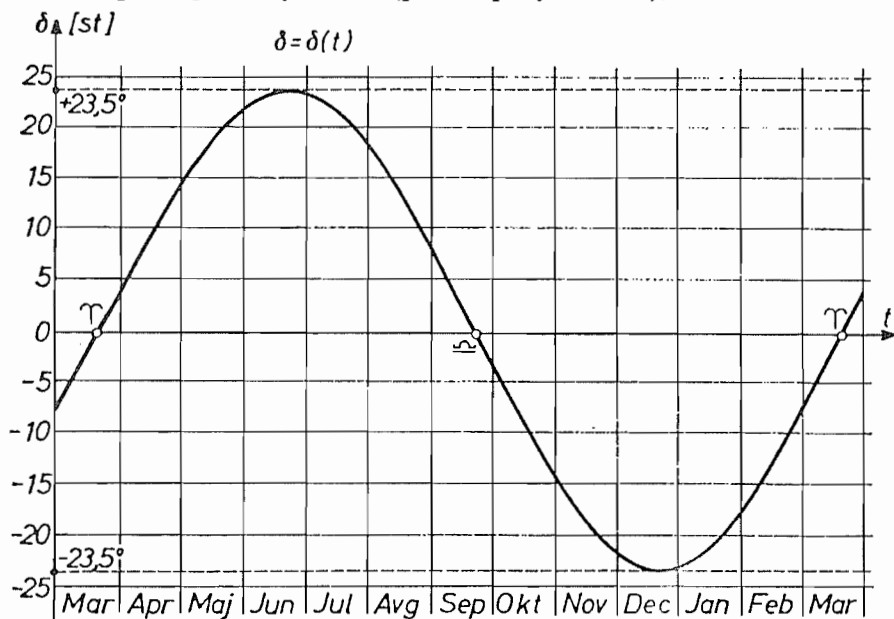
	$\alpha_\odot$	$\delta_\odot$
pomladni ekvinokcij	$0^\circ$	$0^\circ$
poletni solsticij	$90^\circ$	$+\varepsilon$
jesenski ekvinokcij	$180^\circ$	$0^\circ$
zimski solsticij	$270^\circ$	$-\varepsilon$

Na ekvatorju pada ob ekvinokcijah opoldansko Sonce pravokotno na Zemljo, torej je v zenitu ( $h = 90^\circ$ ); ob poletnem/zimskem solsticiju pa je opoldansko Sonce v zenitu v krajih, ki leže na *severnem/južnem povratniku*, torej na  $\pm 23\frac{1}{2}^\circ$  geografske širine (sl. 17a-c, 20). V vseh krajih znotraj tropskega pasu, ki ga omejujeta povratnika, gre Sonce čez zenit dvakrat na leto. Na obeh *tečajnikih* ali *polarnih krogih*, ki sta na  $\pm 66\frac{1}{2}^\circ$  geografske širine, pa sončni žarki dvakrat na leto padajo tangentno na Zemljo: ob enem solsticiju je Sonce ves dan na nebu in sploh ne zaide, ob drugem pa kulminira na horizontu in torej sploh ne vzide (sl. 17a-c).

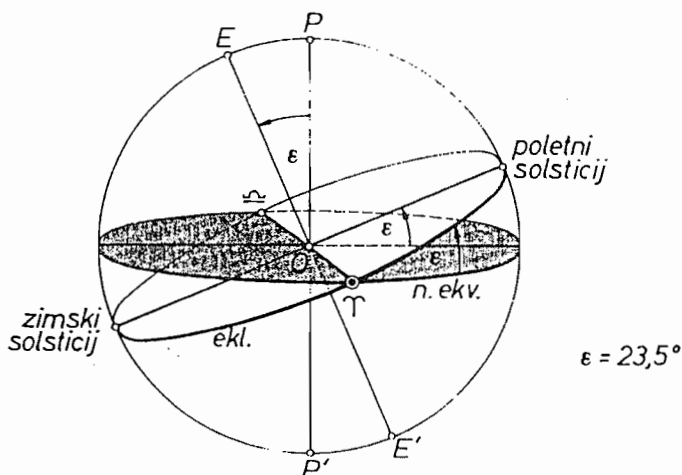
Navidezne Sončeve poti na različnih zemljepisnih širinah ponazarja slika 18. Letni časi so torej posledica naklona Zemljine osi, od geografske širine pa je odvisen naklon Sončeve poti na horizont, zato pa tudi klimatski pasovi in nekateri specifični pojavi, ki odsevajo v kulturi. Zenitni prehodi Sonca so pomemben fenomen v tropskih širinah (Aveni 1980; 1981). V zmernem pasu imajo

poseben pomen solsticiji, zlasti zimski, ki ponazarja ponovno rojstvo Sonca in njegovo zmago nad temo. Posebnost polarnih širin pa je predvsem dejstvo, da Sonce vsaj nekaj dni na leto sploh ne zaide (polarni dan), nekaj dni pa ostane pod horizontom (polarna noč). Znano je, da nekatera sibirskaja ljudstva izvajajo posebne obrede takrat, ko se Sonce po polarni noči zopet pojavi (Eliade 1964).

Časovni presledek med dvema zaporednima prihodom Sonca v pomladišče, torej obdobje od enega pomladnega enakonočja do naslednjega, je **tropsko leto**, ki traja 365 dni, 5 ur, 48 minut in 46 sekund ali 365.2422 dni. Štirje letni časi, omejeni s solsticijema in ekvinokcijema, pa ne trajajo vsak točno četrtnino tropskega leta, temveč so različno dolgi. To je posledica dejstva, da se planeti (torej tudi Zemlja) gibljejo okoli Sonca po elipsah, v katerih skupnem gorišču je Sonce (prvi Keplerjev zakon),



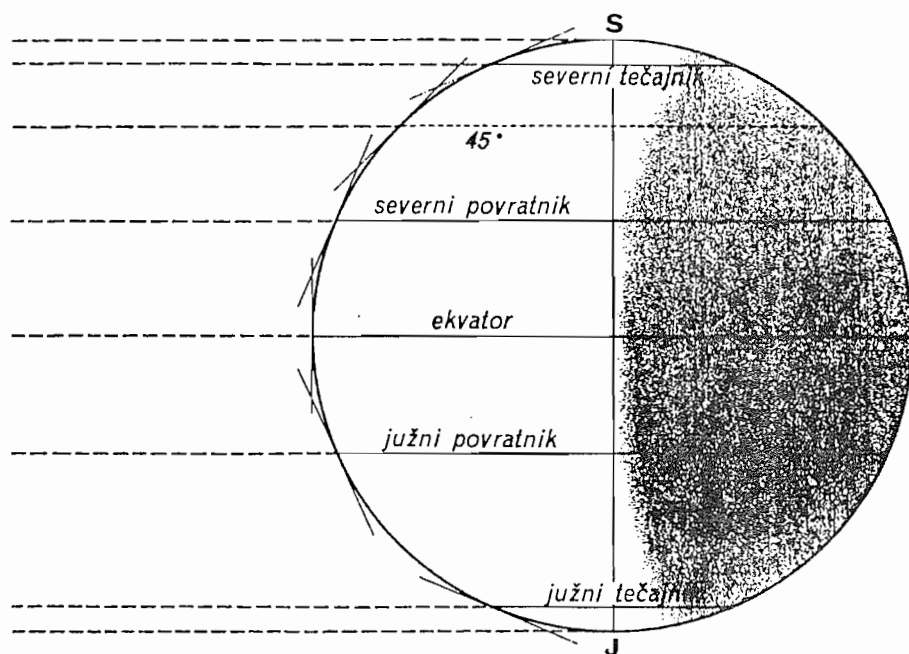
in da zveznica Sonce-planet popiše v enakih časih enake ploščine (drugi Keplerjev zakon). Kot vidimo na sl. 19, zaradi drugega Keplerjevega zakona hitrost gibanja planeta po tiru ni konstantna; največja je, ko je planet v *periheliju* (najbliže Soncu), najmanjša pa, ko je v *afeliju* (najdlje od Sonca). Ker je Zemlja v periheliju v začetku januarja, v afeliju pa v začetku julija,<sup>1</sup> sta jesen in zima krajša letna časa kot pomlad in poletje; natančno trajanje letnih časov je navedeno na sliki 20.



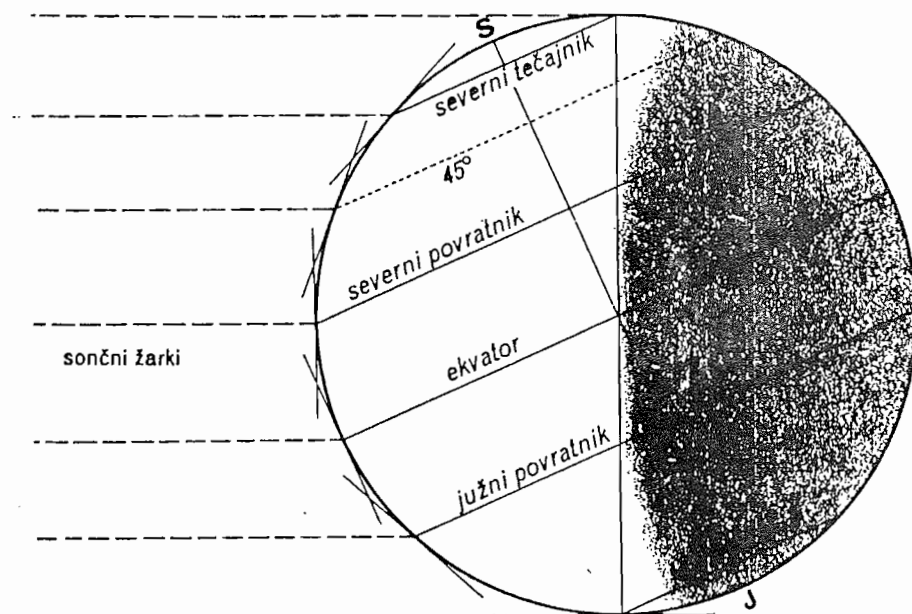
Slika 15. Ekliptika in nebesni ekvator;  $\epsilon$  - naklon ekliptike; E - severni pol ekliptike (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 37).

Slika 16. Spreminjanje deklinacije Sonca med letom (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 36).

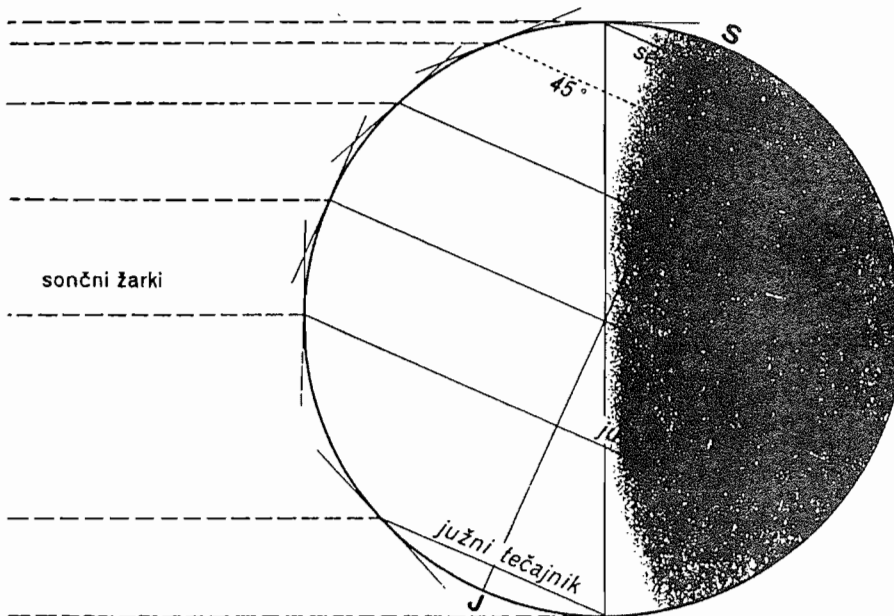
Te razlike v trajanju letnih časov so v arheoastronomiji pomembne. Če namreč štejemo samo polovico dni med zaporednima solsticijema, ne pridemo do astronomskih ekvinokcijev, ko ima Sonce deklinacijo  $0^\circ$ , temveč do datumov ok. 23. marca in 21. septembra. Ob teh dnevih, ki jih lahko imenujemo *numerični ekvinokciji*, ima Sonce deklinacijo ok.  $+1^\circ$ , kar pomeni, da vzhaja/zahaja nekoliko severno od pravega vzhoda/zahoda. Orientacije, ki se nanašajo na te datume, so bile najdene v



Slika 17a. Položaj zemeljske osi proti sončnim žarkom ob enakonočju (iz: Ilešič 1970: sl. 7)



Slika 17b. Položaj zemeljske osi proti sončnim žarkom ob poletnem solsticiju (iz: Ilešič 1970: sl. 7).



Slika 17c. Položaj zemeljske osi proti sončnim žarkom ob zimskem solsticiju (iz: Ilešič 1970: sl. 7).

megalitskih spomenikov Zahodne Evrope, pa tudi v Ameriki. Dejstvo je, da je dneve "pravih" ali astronomskih ekvinokcijev s preprostimi sredstvi težko ugotoviti (razen če popolnoma raven horizont omogoča določitev simetrale kota med smerema proti solsticijskima točkama); za določitev numeričnih ekvinokcijev pa je potrebno samo štetje dni.

Podoben značaj imajo tudi t.i. *mid-quarter days*, ki razpolavljajo letne čase (v začetku februarja, maja, avgusta in novembra). Tudi ti dnevi so registrirani v megalitskih orientacijah, ohranjeni pa so, kot kaže, v praznikih predkrščanskega izvora (na Britanskem otočju so to *Candlemas, May Day, Lammas* in *Martinmas*).

Tabela 2.1. Trajanje letnih časov v dnevih

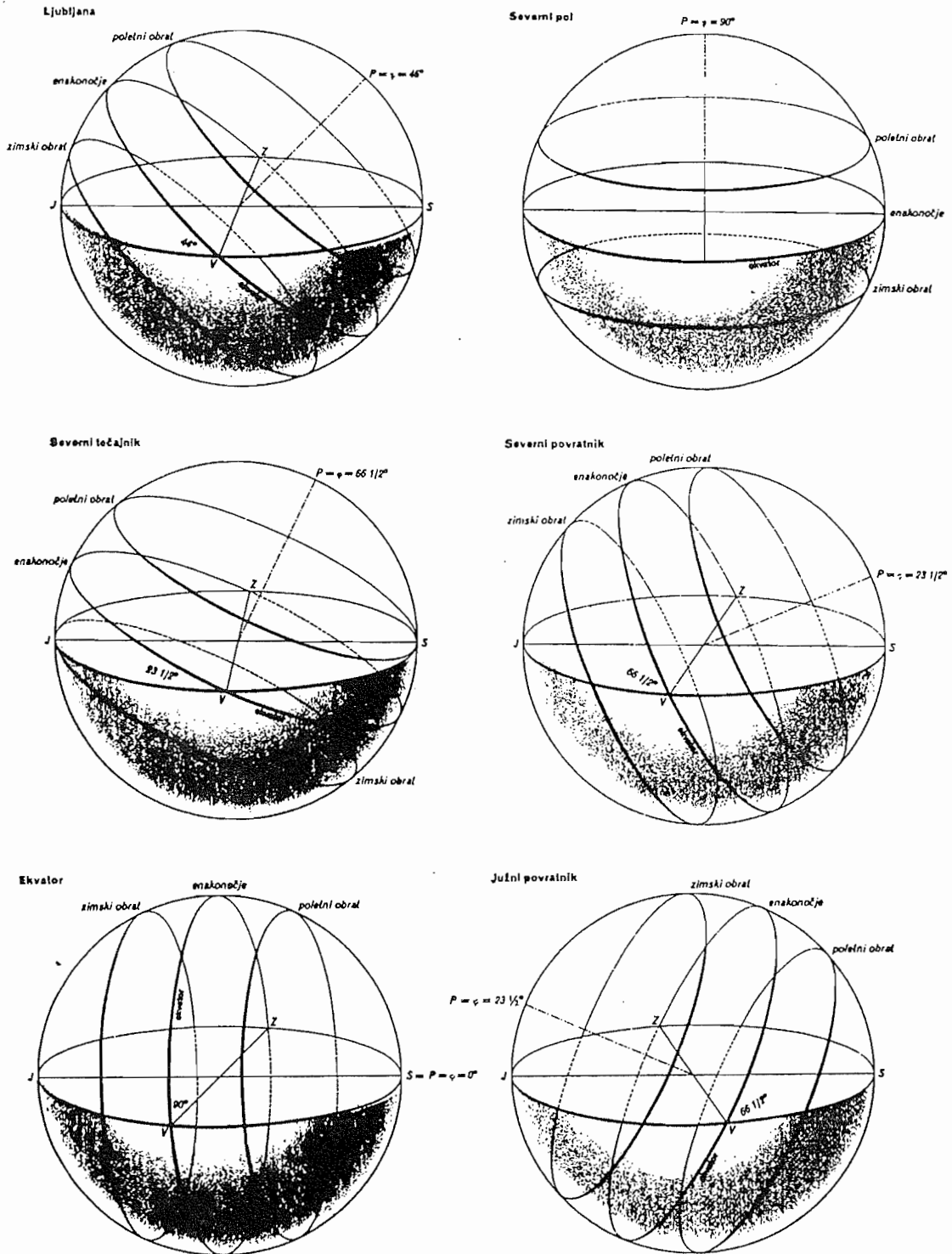
leto	pomlad	poletje	jesen	zima
-3000	94.05	89.93	88.61	92.65
-2000	94.29	90.77	88.39	91.80
-1000	94.25	91.64	88.42	90.93
0	93.97	92.45	88.69	90.14
1000	93.44	93.15	89.18	89.47
2000	92.76	93.65	89.84	88.99
3000	91.97	93.92	90.61	88.74

Lege perihelija in afelija Zemljine orbite se polagoma spreminja, zaradi česar se spreminja tudi trajanje letnih časov (Tabela 2.1.). Pojav je treba pri nekaterih arheoastronomskih raziskavah upoštevati, ker zaradi tega določene rektascenzije in deklinacije Sonca v preteklosti niso ustrezale natanko istim datumom kot danes.

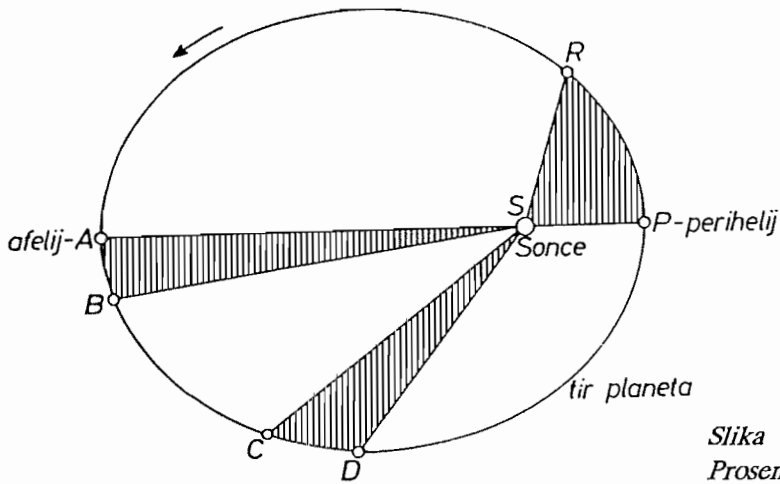
### 3.1. Ekliptični koordinatni sistem

V nekaterih tabelah in efemeridah, ki se uporabljajo v arheoastronomiji, so navedene ekliptične koordinate nebesnih teles, zato si na kratko oglejmo tudi te.

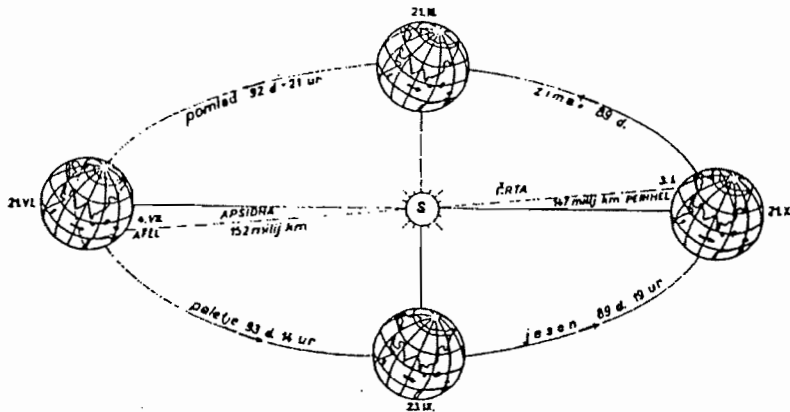
Os, ki gre skozi opazovalca pravokotno na ravnino ekliptike, prebada nebesno sfero v severnem in južnem ekliptičnem polu. Osnovna kroga v ekliptičnem koordinatnem sistemu sta ekliptika in krog, ki gre skozi ekliptična pola in pomladišče. *Astronomska* (ali *ekliptična*) *širina* ali *latituda* ( $\beta$ ) je kot, ki se meri pravokotno od ravnine ekliptike vzdolž ekliptičnega meridiana proti severnemu (do  $+90^\circ$ ) in južnemu ekliptičnemu polu (do  $-90^\circ$ ). *Astronomska dolžina* ali *longituda* ( $\lambda$ ) nebesnega telesa pa je kot od pomladišča do ekliptičnega meridiana, na katerem je nebesno telo; meri se od pomladišča proti vzhodu, od  $0^\circ$  od  $360^\circ$ .



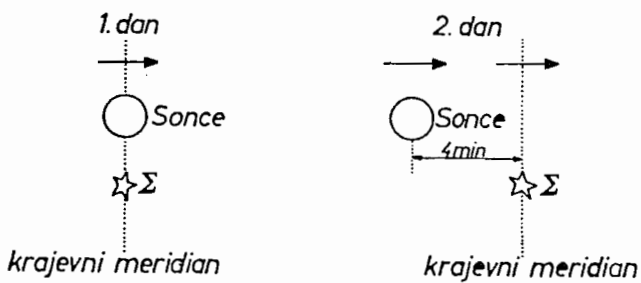
Slika 18. Navidezne Sončeve poti na različnih geografskih širinah (iz: Ilešič 1970: sl. 8).



Slika 19. Prvi in drugi Keplerjev zakon (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 59).



Slika 20. Kroženje Zemlje okoli Sonca.



Slika 21. Pravi Sončev dan je za 4 minute daljši od zvezdnega (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 44).

Za konverzijo v horizontske koordinate je treba ekliptične koordinate ( $\lambda$  in  $\beta$ ) najprej spremeniti v ekvatorske ( $\alpha$  in  $\delta$ ):

$$\alpha' = \arctan \frac{\sin \lambda \cos \varepsilon - \tan \beta \sin \varepsilon}{\cos \lambda} = \arctan \frac{y}{x} \quad (1)$$

Ker nam inverzna funkcija *arc tan* daje rešitve samo do  $\pm 90^\circ$ , moramo pravi kvadrant (gl. Dodatek), v katerem je  $\alpha$ , določiti s pomočjo predznakov števca  $y$  in imenovalca  $x$  v enačbi (1):

$$x < 0 \Rightarrow \alpha = \alpha' + 180$$

$$x > 0; y > 0 \Rightarrow \alpha = \alpha'$$

$$x > 0; y < 0 \Rightarrow \alpha = \alpha' + 360$$

Izračun deklinacije je bolj preprost:

$$\delta = \arcsin (\sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \varepsilon \sin \lambda)$$

Treba je upoštevati, da *naklon ekliptike*  $\varepsilon$  ni konstanta, čeprav se spreminja zelo počasi (manj kot  $1'$  v 100 letih). Leta 1990 je bil  $\varepsilon 23^\circ 26' 26''$ . V gornje enačbe je seveda treba vstaviti  $\varepsilon$ , ki ustreza obdobju, za katerega preračunavamo koordinate. Vrednosti naklona ekliptike za pretekla obdobja so navedene v Tabeli 12.5.1.

### 3.2. Heliakalni fenomeni

Vse zvezde in planeti, ki v določenem kraju vzhajajo in zahajajo (izjema so torej nadobzornice in podobzornice), se periodično znajdejo v karakterističnih položajih glede na Sonce.

Sonce se med svojim navideznim letnim gibanjem po ekliptiki premika od zahoda proti vzhodu in s tem pogojuje vidljivost zvezd. Lahko bi rekli tudi, da se nebesna krogla premika glede na Sonce proti zahodu: če opazujemo določeno zvezdo več noči zapored, ugotovimo, da vsako naslednjo noč zaide bolj zgodaj in da se čas njenega zahajanja vse bolj približuje času Sončevega zahoda; ko je zvezda vidna zadnji večer, je to njen *heliakalni* (ali *heliakski*) zahod. V naslednjih nočeh je ni mogoče videti, ker je preblizu Sonca. Po obdobju nevidnosti se ista zvezda nekega dne zopet pojavi, a tokrat nad vzhodnim horizontom; vzhaja malo pred Sončevim vzhodom in čez nekaj trenutkov izgine v jutranji zarji oz. v naraščajoči svetlobi porajajočega se dneva - pravimo, da zvezda *heliakalno vzhaja*. V naslednjih jutrih

vzhaja vsakič bolj zgodaj; čez slabe pol leta vzhaja zvečer in je vidna vso noč. Ko jo vidimo vzhajati zadnjič, je to njen *ahroni vzhod*; naslednjo noč je ne moremo opazovati v trenutku, ko vzhaja, ker se takrat, ko se znoči, pojavi že nekoliko nad vzhodnim horizontom. Ko naslednje jutro vziđe Sonce, zvezda še ni zašla, temveč izgine nekoliko nad zahodnim horizontom. Toda čez nekaj dni je mogoče prvič opazovati malo pred Sončevim vzhodom njen zahod - to je *kozmični zahod zvezde*.<sup>2</sup> V naslednjih nočeh zvezda zaide vsakič bolj zgodaj in fenomen, ki sledi, je zopet njen heliakalni zahod. Istovrstni heliakalni fenomeni se ponavljajo v intervalih enega leta. Mnogim ljudstvom v Starem in Novem svetu so služili kot pripomoček za orientacijo v času.

Obdobja nevidnosti med heliakalnim zahodom in vzhodom so pri različnih zvezdah in planetih različna, saj zavise od magnitude in koordinat (oddaljenosti od Sonca). Pri isti zvezdi pa je dolžina tega obdobja odvisna od geografske širine kraja opazovanja, osvetljenosti neba (Luna, zodiakalna svetloba ipd.) in tudi od atmosferskih razmer.

Če skušamo ugotoviti čim bolj točen datum heliakalnega vzhoda ali zahoda nekega nebesnega telesa, moramo upoštevati vrednost, imenovano *arcus visionis*: to je minimalna vertikalna depresija Sonca pod horizontom, potrebna za prvo/zadnjo vidljivost zvezde ali planeta na horizontu. *Arcus visionis* zvezd z isto magnitudo je lahko različen, ker zavisi tudi od azimutalne razlike med vzhajalnimi/zahajalnimi točkami Sonca in zvezde: zvezda, ki vzhaja/zaide daleč od vzhajalne/zahajalne točke Sonca, ima manjši *arcus visionis* kot zvezda, ki vzhaja/zahaja bliže Soncu. Problem kota *arcus visionis* prihaja v poštev pri poskusih natančnega določevanja datumov, na katere so v določenih obdobjih preteklosti heliakalno vzhajali ali zahajali planeti in zvezde. Takšen je npr. problem datuma heliakalnega vzhoda zvezde Sirius v starem Egiptu, ali heliakalnih fenomenov Venera v stari Babiloniji in Mezoameriki.

**Literatura:** Ilešič 1970:18 ss; Avsec - Prosen 1971; McLaughlin 1961; Aveni 1980; 1981; Duffett-Smith 1981; o heliakalnih pojavih gl. še: Allen 1963; Dicks 1985; Neugebauer 1975; Waerden 1974; Schaefer 1987.

## 4. ČAS

Opombe:

- 1 Lahko rečemo tudi, da je Sonce v *perigeju* in *apogeju* (v najbližji in najbolj oddaljeni točki od Zemlje).
- 2 V literaturi se včasih uporabljajo tudi drugačni izrazi za označevanje heliakalnih fenomenov (cf. Waerden 1974:6s; Newton 1976:75).

Zaznavanje časa je pogojeno z gibanjem nebesnih teles, predvsem Zemljinega vrtenja in kroženja okoli Sonca. Zato je problem merjenja časa, kot pravita Woolard in Clemence (1966:326), imanentno astronomski. Tudi ure in koledarji so zgolj pripomočki, ki so, tako kot že od pradavnine merjenje časa sploh, vezani na navidezno gibanje nebesnih teles.

Časovni kot nebesnih teles (gl. poglavje 2.2.1.), torej njihova lega glede na nebesni meridian, se neprestano spreminja. Čas merimo glede na zvezde in glede na Sonce. Časovni kot pomladišča je enak *zvezdnemu* ali *siderskemu času*. Ob zgornji kulminaciji pomladišča je torej krajevni zvezdni čas 0h, zvezdni dan pa traja do naslednje zgornje kulminacije pomladišča. Iz slike 9 je tudi razvidno, da je lokalni siderski čas  $\tau$  enak vsoti rektascenzije  $\alpha$  in krajevnega časovnega kota *LHA* kateregakoli nebesnega telesa:

$$\tau = \alpha + LHA$$

V arheoastronomskih izračunih večinoma zadostuje uporaba *Sončevega časa*. *Pravi Sončev čas* (*TT* - *True Time*) je določen z navideznim gibanjem Sonca. Začetek krajevnega pravega Sončevega dne je spodnja kulminacija Sonca, torej prava polnoč, pravi krajevni Sončev čas pa je enak krajevnemu časovnemu kotu Sonca, povečanemu za 12<sup>h</sup>:

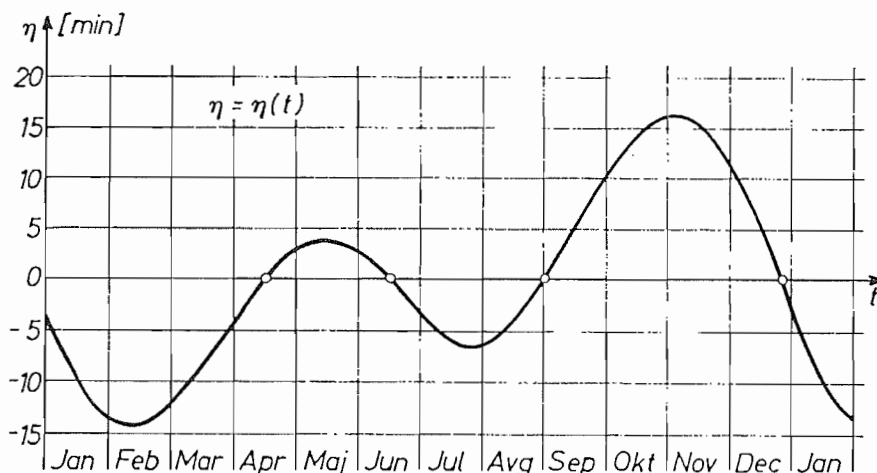
$$TT = LHA_{\odot} + 12^h \quad (1)$$

Zaradi kroženja Zemlje okoli Sonca je pravi Sončev dan za ok. 4 minute daljši od zvezdnega dne (sl. 21). Pravi Sončev čas v vsakdanjem življenju ni uporaben, ker se njegova dolžina med letom spreminja (razlika med najdaljšim in najkrajšim pravim Sončevim dnevom je ok. 51 sekund); to je posledica neenakomernega gibanja Zemlje po tiru okoli Sonca (zaradi drugega Keplerjevega zakona - gl. poglavje 3) in naklona ekliptike. Nekakšen letni povpreček pravega je *srednji Sončev čas* (*MT* - *Mean Time*), razlika med obema pa je *časovna enačba* *EqT* (*Equation of Time*):

$$EqT = TT - MT \quad (2)$$

Vrednost časovne enačbe se med letom spreminja (sl. 22); za želeni datum jo dobimo v efemeridah, ki pa običajno dajejo podatke za greenwiški meridian. Zato razlikujemo tudi *greenwiški pravi čas* (*GTT* - *Green-*





Slika 22. Spreminjanje razlike ( $\eta$ ) med pravim in srednjim Sončevim časom med letom (iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 46).

wich True Time) in **greenwiški srednji čas** (GMT - Greenwich Mean Time). Za slednjega se v astronomiji uporablja ime **svetovni** ali **univerzalni čas** (UT - Universal Time).

Če bi uporabljali krajevni srednji čas, bi se ta razlikoval med vsemi kraji, tudi bližnjimi, z različno geografsko dolžino. Zato je v rabi **pasovni čas**. Površje Zemlje je razdeljeno na 24 pasov, širokih po  $15^\circ$ , kar pomeni, da se čas dveh sosednjih pasov razlikuje za eno uro. Ničelni pas je greenwiški, omejen z meridianoma  $7.5^\circ$  zahodno in  $7.5^\circ$  vzhodno od Greenwicha, na katerem velja univerzalni čas. Prvi vzhodno od njega je srednjeevropski čas ( $UT + 1^h$ ), v katerem smo tudi mi, naslednji je vzhodnoevropski ( $UT + 2^h$ ) itd.

V arheoastronomiji moramo često izračunati lokalni časovni kot Sonca. Iz enačbe (1) sledi:

$$LHA_{\odot} = TT - 12^h \quad (3)$$

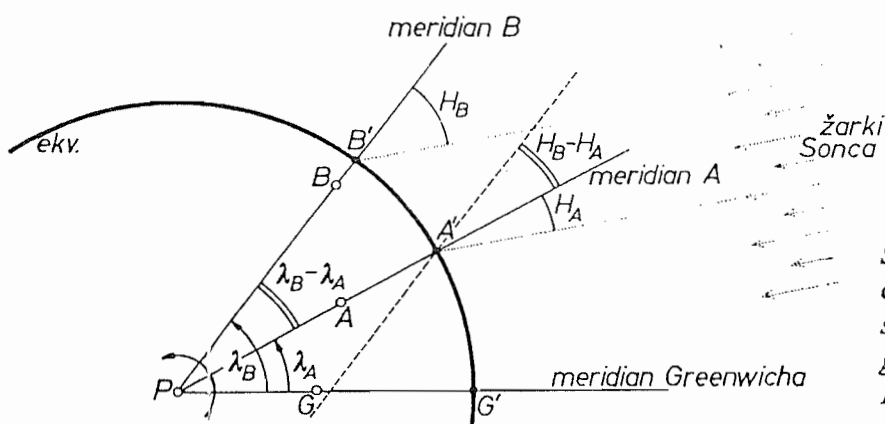
Pravi krajevni čas  $TT$  se razlikuje od greenwiškega pravega časa  $GTT$  za toliko, kolikršna je razlika med lokalnim časovnim kotom Sonca ( $LHA_{\odot}$ ) in greenwiškim ( $GHA_{\odot}$ ). Slika 23 pa ponazarja, da je razlika med krajevnima časoma dveh krajev na Zemlji enaka razliki med njunima zemljepisnima dolžinama. Torej velja, da je lokalni časovni kot Sonca v kraju z zemljepisno dolžino  $\lambda$ :

$$LHA_{\odot} = GHA_{\odot} + \lambda, \quad (4)$$

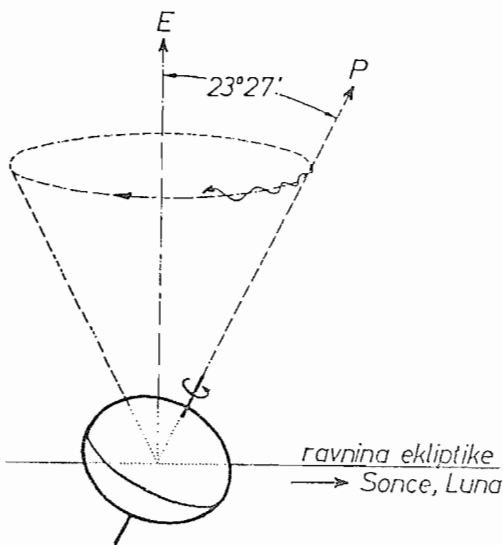
če ima zahodna zemljepisna dolžina negativni, vzhodna pa pozitivni predznak. Iz enačbe (3) sledi, da je

$$GHA_{\odot} = GTT - 12^h, \quad (5)$$

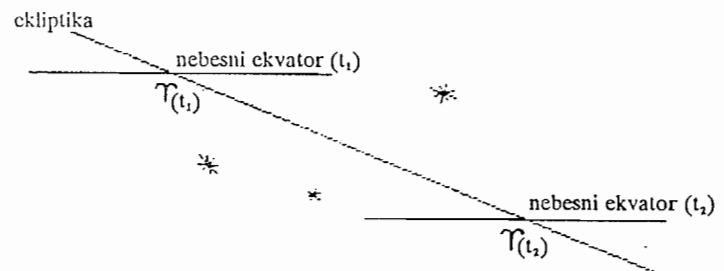
enačba (2) pa velja tudi za  $GTT$  in za  $GMT (=UT)$ :



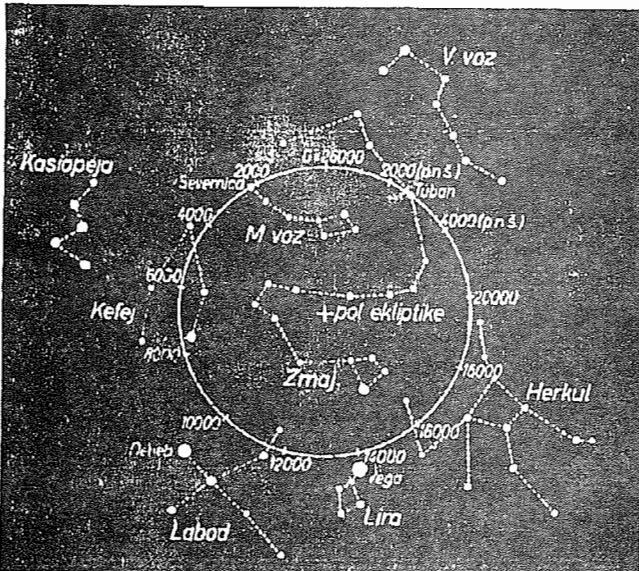
Slika 23. Razlika med dvema lokalnima časoma je enaka razliki med geografskima dolžinama obeh krajev;  $\lambda$  = geografska dolžina;  $H$  = krajevni časovni kot ( $LHA$ ) (iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 47).



Slika 24. Precesija in nutacija; P - severni nebesni pol; E - severni pol ekliptike (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 61).



Slika 25. Splošna precesija v longitudi. Pogled iz središča nebesne sfere na pomladišče ob času  $t_1$  in  $t_2$ .



Slika 26. Pot severnega nebesnega pola med zvezdami (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 62).

$$EqT = GTT - UT \Rightarrow GTT = UT + EqT$$

Dobljene vrednosti izrazimo v enačbi (4) (vrednosti, katerih enote so ure, pomnožimo s 15, da dobimo stopinje):

$$LHA_{\odot} = 15(UT + EqT - 12) + \lambda \quad (6)$$

Zaradi neenakomernosti Zemljine rotacije, opazne v daljših obdobjih, se v astronomiji uporablja poleg univerzalnega še konstanten čas, ki je neodvisen od dolžine dneva, določene z Zemljino rotacijo. Na osnovi opazovanja planetarnega gibanja je bil definiran *efemeridni čas* (ET - *Ephemeris Time*), danes pa se v efemeridah običajno uporablja bolj izpopolnjeni *terestrični dinamični čas TDT*, ki je identičen *atomskemu času TAI* (oba časa se razlikujeta samo v definiciji sekunde). V letu 1990 je med univerzalnim in terestričnim dinamičnim časom veljala zveza:

$$TDT - UT = 57^s$$

**Literatura:** Aveni 1981; Avsec - Prosen 1971:50ss; Mueller 1969:137ss; Woolard - Clemence 1966:326ss; *Astronomical Almanac* 1989; *Explanatory Supplement* 1974; McLaughlin 1961.

## 5. PRECESIJA

Če z določenega mesta Zemlje več let opazujemo neko zvezdo med vzhajanjem, se zdi, da vselej vzhaja v natanko isti smeri. Šele po zelo dolgotrajnih in natančnih opazovanjih bi ugotovili, da se azimut vzhajališča vendarle polagoma spreminja. Po drugi strani, če si za vsakoletna opazovanja izberemo neko zvezdo, ki heliakalno vzhaja na določen dan v letu, npr. na dan pomladnega ekvinokcija, ostaja datum tega pojava na videz nespremenjen. Šele po mnogih letih bi opazili, da heliakalni vzhod zvezde vedno češče zamuja za en dan, torej pade na dan po ekvinokciju. To je posledica pojava, ki ga je odkril grški astronom *Hipparchos* v 2. stoletju pr. n. št. in ki se imenuje *precesija*.

Zaradi gravitacijskega vpliva Lune, Sonca in planetov Zemljina os vrtenja ne ostaja vzporedna sama sebi, temveč polagoma opisuje naguban plašč stožca (sl. 24). Ta kompleksen pojav se imenuje *splošna precesija*. Plašč stožca je naguban zaradi *nutacije*, ki jo pripisujemo Luninemu vplivu, vendar je amplituda tega nihanja tako majhna (9"), da ga v arheoastronomskih raziskavah lahko zanemarimo. Eden od elementov splošne precesije je spreminjanje naklona Zemljine osi glede na ekliptiko (naklona ekliptike  $\epsilon$ ); zaradi tega pojava se spreminjajo vrednosti ekstremnih Sončevih deklinacij, zato pa tudi vzhajalni in zahajalni azimuti Sonca ob solsticijih. Pri ovrednotenju orientacij iz daljne preteklosti moramo te spremembe upoštevati (gl. poglavje 12, Tabela 12.5.1.). Prav tako pomembno je, da se zaradi spreminjanja lege Zemljine osi spreminja tudi lega nebesne osi in nebesnega ekvatorja. Točki, v katerih se sekata nebesni ekvator in ekliptika - pomladišče in jesenišče - se počasi pomikata po ekliptiki od vzhoda proti zahodu (sl. 25). Hitrost tega gibanja, ali *splošne precesije v longitudi*, je 50.29" na leto, kar pomeni, da se pomladišče v približno 72 letih premakne za 1°, cel krog 360° pa naredi v nekaj manj kot 26000 letih. Razen tega se spreminja tudi lega severnega in južnega nebesnega pola, ki v 26000 letih opišeta krožnici s središčema v severnem in južnem ekliptičnem polu (sl. 26). Trenutno leži severni nebesni pol blizu zvezde  $\alpha$  Ursae Minoris, ki se zato imenuje Severnica (*Polaris*). V času staroegiptovskih piramid (1. polovica 3. tisočletja pr. n. št.) je bil severni nebesni pol v bližini zvezde Thuban ( $\alpha$  Draconis), čez 12000 let pa bo blizu Vege ( $\alpha$  Lyrae).

Ker se pomladišče premika po ekliptiki od vzhoda proti zahodu, torej v smeri, ki je nasprotna smeri navideznega letnega gibanja Sonca, pride Sonce v to točko prej, kot pa obhodi poln krog 360° in se vrne na natanko isto mesto med zvezdami. Zato je tropsko leto (365.2422<sup>a</sup>) krajše od *zvezdnega* ali *siderskega leta*, ki traja 365.2564<sup>a</sup>. Razlika med obema je dobrih 20 minut; toliko časa namreč potrebuje Sonce, da preide lok 50.29", za kolikor se premakne pomladišče v enem letu.

Ker je pomladišče začetek ekvatorskega in ekliptičnega koordinatnega sistema, se zaradi precesije spreminjajo koordinate zvezd (cf. sl. 25). Zaradi sprememb v rektascenziji se počasi spreminjajo datumi heliakalnih fenomenov, zaradi sprememb v deklinaciji pa se spreminjajo vzhajalni in zahajalni azimuti. Zato moramo v arheoastronomiji uporabljati koordinate zvezd za obdobje, ki ga preučujemo. Ekvatorske koordinate svetlejših zvezd za obdobje med letoma 2500 pr. n. št. in 2500 n. št. daje v 100-letnih intervalih Hawkins (1968:65-88), Meeus (1983:7-68) pa daje ekliptične koordinate svetlejših zodiakalnih zvezd za vsakih 400 let v času med 1600 pr. n. št. in 2800 n. št.

**Literatura:** Avsec - Prosen 1971:72s; McLaughlin 1961: 83s; Mueller 1969:59ss; Woolard - Clemence 1966:235ss.

## 6. ZODIAK

Zodiak je namišljen pas na nebu vzdolž ekliptike, širok okoli  $15^\circ$ . Znotraj tega pasu se gibljejo Sonce, Luna in planeti. Zvezde vzdolž tega pasu sestavljajo *zodiakalna ozvezdja*. V današnji zahodni tradiciji, ki izhaja iz antičnega mediteranskega sveta, je zodiakalnih ozvezdij 12, najbrž zato, ker je v enem letu 12 polnih Lun, ki so zaporedoma vidne v 12 segmentih zodiaka. Zodiak so poznali že stari Babilonci (morda celo že Sumerci), čeprav ne vemo, koliko ozvezdij ga je tedaj sestavljalo. Ker imajo ozvezdja tega pasu večinoma imena živali, so ga Grki poimenovali  $\delta \zeta \omega \delta \alpha \kappa \rho \varsigma \ \kappa \acute{\upsilon} \kappa \lambda \circ \varsigma$  ali  $\delta \ \kappa \acute{\upsilon} \kappa \lambda \circ \varsigma \ \tau \acute{\omega} \nu \ \zeta \omega \delta \omega \nu$  (= "živalski krog").

Sprva zodiakalna ozvezdja niso bila enako dolga, zato je Hiparh razdelil ekliptiko na 12 enakih delov po  $30^\circ$ . Ozvezdja, ki so bila v njegovem času v teh segmentih zodiaka, so dala imena znamenjem, ki so še vedno v rabi v astrologiji. Pozicije nebesnih teles se v astrologiji običajno izražajo kot ekliptična dolžina, često v navezavi na znamenja: ekliptična dolžina  $32^\circ$  se npr. lahko izrazi tudi kot  $2^\circ$  v Biku, ki je drugo zodiakalno znamenje (med  $30^\circ$  in  $60^\circ$  ekliptične dolžine). Zato se pomladišče imenuje tudi *prva točka Ovna*.

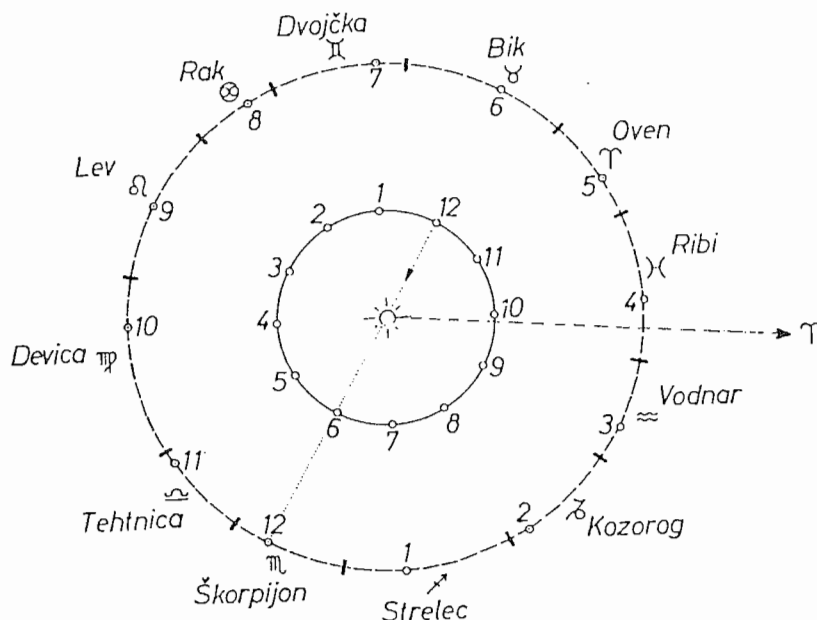
Zodiakalna znamenja danes ne ležijo več v ozvezdjih, od katerih so dobila svoja imena. Znamenja v astrologiji so namreč definirana kot segmenti zodiakalnega pasu oz. ekliptike, omejeni z določenimi ekliptičnimi dolžinami;

referenčna točka je torej pomladišče. Toda zaradi precesije (gl. poglavje 5) se je pomladišče že sorazmerno kmalu po Hiparhu premaknilo v ozvezdje Rib, kjer je še danes, s tem pa se je v to ozvezdje premaknilo tudi znamenje Ovna (sl. 27). Ustrezen zamik velja seveda za vsa znamenja. Prehod pomladišča čez razne konstelacije zaznamuje astrološke ere. Po teh nazorih je Zemlja v obdobju Rib, dokler je pomladišče v tem ozvezdju. Vsaka era traja okoli 2150 let. Doba Bika je npr. trajala od sredine 5. do druge polovice 3. tisočletja pr. n. št., obdobje Ovna zatem nekako do konca prvega tisočletja pr. n. št., od tedaj traja doba Rib, kmalu pa bo nastopila Vodnarjeva era.

Sonce potuje med svojim letnim gibanjem skozi znamenja horoskopa; v vsakem se zadržuje približno mesec dni, kolikor je potrebno, da preide lok  $30^\circ$  ekliptike. Ker ob poletnem solsticiju vstopi v znamenje Raka, ob zimskem pa v znamenje Kozoroga, se severni in južni povratnik imenujeta tudi Rakov in Kozorogov povratnik.

Ker se med zodiakalnimi ozvezdji gibljejo poleg Sonca tudi Luna in planeti, torej najsvetlejša in najpomembnejša nebesna telesa, so tem ozvezdjem pripisovala poseben pomen mnoga ljudstva sveta.

**Literatura:** Allen 1963; Dicks 1985; Krupp 1977; Le Boeuffle 1977; Waerden 1974.



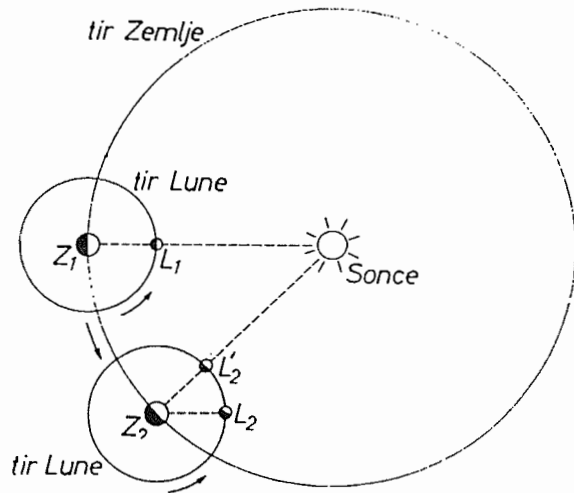
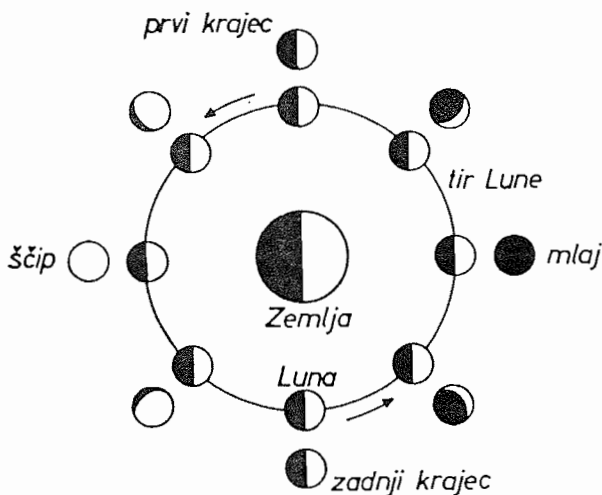
Slika 27. Zodiak; notranji krog predstavlja tir Zemlje okoli Sonca, krožci na njem pa njeno lego vsakega prvega v mesecu (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 38).

## 7. LUNA

Gibanje Meseca ali Lune, naravnega Zemljinega spremljevalca, je bolj zapleteno kot Sončevo. Luno vidimo vselej blizu ekliptike, najbolj opazne spremembe pri njenem gibanju pa so **Lunine mene** ali **faze**. Lunin položaj glede na Zemljo in Sonce določa, koliko njene od Sonca osvetljene površine je videti z Zemlje. Slika 28 ponazarja Lunino gibanje okoli Zemlje in spreminjanje Luninih men.

Ob mlaju Luna ni vidna za 1-3 dni (odvisno od letnega časa oz. naklona ekliptike na horizont, zemljepisne širine in drugih manj regularnih faktorjev). Ker se Zemlja vrti v isti smeri kot kroži Luna okoli nje, se ta med zvezdami navidezno premika od zahoda proti vzhodu. Iz slike 28 lahko razberemo, da se po kratkem obdobju nevidnosti prvič pojavi *vselej na zahodnem nebu*, malo po Sončevem zahodu; tedaj je vidna kot ozek srp, z rogovoma usmerjenima proč od Sonca. V naslednjih dnevih je ob Sončevem zahodu vidna vse više in vsakič debelejša. Ko je osvetljena polovica njene vidne površine, zahaja opolnoči, polna Luna ali ščip pa vzhaja približno ob Sončevem zahodu, kulminira opolnoči in zahaja ob Sončevem vzhodu; ko je Luna torej najbolj svetla (sij polne Lune je  $-12.7^m$ ), sveti vso noč. Zatem se osvetljena Mesečeva površina začne manjšati; Luna se zopet približuje Soncu, vzhaja vse kasneje ponoči in je v zadnjih dneh pred mlajem vidna zjutraj malo pred Sončevim vzhodom.

Čas med dvema zaporednima enakima fazama Lune se imenuje **sinodski mesec** ali **lunacija**, ki traja 29.53059



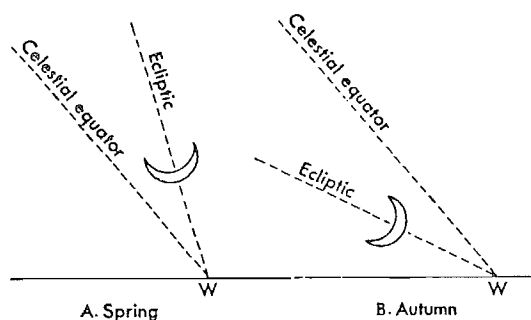
Slika 29. Zveza med siderskim (od  $L_1$  do  $L_2$ ) in sinodskim obhodnim časom (od  $L_1$  do  $L_2'$ ) pri satelitih planetov (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 86).

dni.<sup>1</sup> Krajši od sinodskega je **siderski mesec**, ki traja 27.32166 dni. V tem intervalu Mesec naredi poln krog  $360^\circ$  okoli Zemlje, kar pomeni, da se vrne med iste zvezde; torej se med zvezdami premakne vsak dan za dobrih  $13^\circ$  od zahoda proti vzhodu. Slika 29 pojasnjuje razliko v trajanju siderskega in sinodskega meseca.

Čas Lunine rotacije okoli lastne osi je enak siderskemu mesecu, zaradi česar vidimo vselej isto polovico njene površine, v katere razgibanosti so različna ljudstva videla oz. vidijo različne podobe.



Slika 28. Lunine mene (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 51).



Slika 30. Naklon ekliptike na zahodni horizont v trenutku Sončevega zahoda v srednjih severnih geografskih širinah ob pomladnem (A) in jesenskem ekvinkociju (B), in položaj Luninega prvega krajca (iz: McLaughlin 1961: Fig. 8.7).

Prvi in zadnji krajec skozi leto najbolj očitno spreminjata lego glede na horizont. Iz slike 30 je razvidno, kako se spreminja usmerjenost rogov prvega krajca v odvisnosti od letnega časa, kar je posledica različnega naklona ekliptike - in tako tudi Luninega tira - na horizont. Odseve tega pojava, s pomočjo katerega je mogoče približno ugotavljati letni čas in napovedovati določene spremembe v naravi, najdemo v simbolizmu mnogih kultur.

**Lunarni horoskop.** Podoben zodiakalnim znamenjem in znan v mnogih vzhodnih in najbrž tudi drugih kulturah je koncept lunarnih hiš, ki predstavljajo dele neba vzdolž zodiakalnega pasu, skozi katere potuje Luna v zaporednih dnevih siderskega meseca. Lunarnih hiš je torej lahko 27 ali 28.

V zvezi s siderskim mesecem velja opozoriti, da se po 27.32166<sup>d</sup> Luna vrne med iste zvezde, seveda pa ne v isti fazi, saj je sinodski mesec daljši. Razen tega po 1 siderskem mesecu Luna ne bo med istimi zvezdami ob isti uri, saj je siderski mesec za približno tretjino dneva (ok. 8 ur) daljši od 27 dni. To pomeni, da siderski mesec ni vselej direktno ugotovljiv: če npr. na določen dan opazujemo položaj Lune med zvezdami opolnoči, se bo vrnila med iste zvezde čez pribl. 27 dni in 8 ur, torej podnevi, ko njene lege med zvezdami ni mogoče ugotoviti. Šele po 3 siderskih mesecih, ki trajajo skoraj natančno 82 dni, jo bomo lahko videli med istimi zvezdami ob približno isti uri noči. Na ta način si lahko razlagamo pomen števila 82 v nekaterih kulturah.

**Luna in merjenje časa.** Menjavanje Luninih faz je, kot kažejo razne upodobitve in gravure iz paleolitika, že v sivi davnnini služilo človeku za preprosto merjenje časa. Tudi naša beseda "mesec" označuje tako časovni interval kot nebesno telo, razen tega je etimološko sorodna z besedo "meriti" (Eliade 1964). Dejstvo, da sinodski mesec ni komenzurabilen s tropskim letom - da torej eno leto ni enako celemu številu sinodskih mesecev - pa je predstavljalo problem povsod, kjer so nastajali natančnejši koledarji na osnovi opazovanja Sončevega gibanja in kjer so trajanje tropskega leta skušali uskladiti z merjenjem časa po mesecih.

Tropsko leto je skoraj za 11 dni daljše od 12 sinodskih mesecev. Če torej predpostavimo, da ima leto 12 sinodskih mesecev ali lunacij, bo v treh letih nakopičena razlika znašala že več kot en mesec; torej na ta način ni mogoče izdelati enostavnega sistema "prestopnih" mesecev. Grki so okoli leta 500 pr. n. št. uvedli t.i. **oktactris**, cikel 8 let, ki je približno enak 99 lunacijam. Ok. leta 430 pr. n. št. je atenski astronom Meton uvedel natančnejši cikel za usklajitev Luninih men in tropskega leta: **Metonski cikel** traja 19 let in je enak 235 lunacijam. V skladu s tem ciklusom je bil uveden sistem prestopnih mesecev. Ker pa je trajanje lunacije približno 29½ dni, so bili meseci dolgi 29 ali 30 dni. V smislu našega današnjega koledarskega sistema lahko Metonski cikel opredelimo kot interval, v katerem določene Lunine faze padejo zopet na iste datume v letu.

**Lunarni ekstremi.** Luna se giblje med zvezdami vzdolž zodiakalnega pasu, vendar ne po ekliptiki temveč po tiru, ki je nagnjen k ravnini ekliptike za kot  $i = 5^{\circ}09'$ . Slika 31 prikazuje nebesno sfero, gledano "od zunaj", z zemljo v središču. Lunin tir seka ekliptiko v *dvižnem* ( $N_1$ ) in *padnem vozlu* ( $N_2$ ). Iz slike je razvidno, da Luna v enem mesecu (obhodu okoli Zemlje) močno spreminja deklinacijo, zaradi tega pa seveda tudi azimut vzhajališča in zahajališča.

Lunina orbita spreminja lego glede na ekliptiko, pri čemer se vozla pomikata po ekliptiki od vzhoda proti zahodu (*regresija vozlov*); cel krog naredita v 18,6 letih. Kadar dvižni vozle sovpada s pomladiščem, dosega Luna največje in najmanjše deklinacije; ko se najbolj oddalji od ekvatorja proti severu/jugu, doseže Luna največjo pozitivno/negativno deklinacijo:  $\delta = \pm(\epsilon + i)$ . Kadar pa

je v pomladišču padni vozec Luninega tira, so Lunini ekstremi najmanjši:  $\delta = \pm(\epsilon - i)$  (sl. 32). Te pojave, ki jih imenujemo **veliki in mali lunarni ekstremi**, ponazarja tudi sl. 33, ki prikazuje pas ob nebesnem ekvatorju razvit v ravnino, tako da ima ekliptika obliko krivulje. Na sl. 34 pa so grafično prikazane meje deklinacij, ki jih dosega Luna v enem obdobju revolucije vozlov. Ker ta cikel traja 18.6 let, nastopajo mali lunarni ekstremi 9.3 let po velikih, in obratno.

Proti točkam na horizontu, kjer vzhaja in zahaja Luna ob velikih in malih ekstremih, so usmerjeni številni megalitski spomeniki v Zahodni Evropi. Kot pravi A. Thom (1971:22), so ti pojavi zlasti v bolj severnih geografskih širinah posebej izraziti, saj je npr. na Shetlandskih otokih Luna ob velikih ekstremih skoraj cirkumpolarna.

Iz slik 32 in 33 lahko razberemo še nekaj: v času okoli zimskega solsticija - torej takrat, ko Sonce vzhaja/zahaja najdlje proti jugu od vzhoda/zahoda - polna Luna vzhaja/zahaja najdlje proti severu od vzhoda/zahoda.<sup>2</sup> To pa pomeni, da polna Luna najdlje razsvetljuje nočno nebo prav takrat, ko je dan najkrajši. Lahko si mislimo, da je tudi ta pojav našel mesto v simbolizmu mnogih ljudstev.

**Lunini vplivi.** Verjetno se najbolj očiten vpliv Lune na Zemljo odraža na morju, namreč v *plimi in oseki*. Bibavica je posledica delovanja Lunine gravitacijske sile na Zemljo. Viški plime in oseke si sledijo v intervalih  $12^h 25^m$ , kar pomeni, da v času med dvema zaporednima Luninima prehodoma čez lokalni meridian ( $24^h 50^m$ ) nastopita dve plimi in dve oseki. Luna privlači najmočnejše tiste delce na Zemlji, ki so ji najbližje; z drugimi besedami: ko Luna na nekem Zemljinem meridianu kulminira, daje delcem vzdolž tega meridiana večji pospešek kot Zemljinemu središču, le-temu pa večji pospešek kot delcem na nasprotni strani Zemlje. Zaradi tega nastopi plima tako ob zgornji kot ob spodnji kulminaciji Lune. Zaradi različno močnega delovanja gravitacijske sile (glede na oddaljenost delcev Zemlje od Lune) je bibavica najbolj izrazita v tropskem pasu. Ob ščipu in ob mlaju je najmočnejša, ker se Lunini privlačnostni sili prišteje še Sončeva, ki pa je sicer 2.2 krat manjša od Lunine.

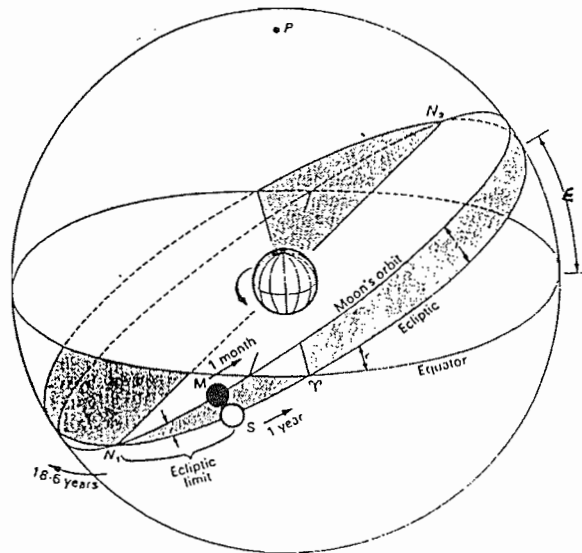
Čeprav je tako rekoč vsem ljudstvom jasno, da sinodski mesec približno ustreza trajanju *menstrualnega ciklusa*, in verjetno prav zaradi tega povsod najdemo simbolično zvezo med Luno in žensko (posledica je verjetno tudi simbolizem rodovitnosti, povezan z Luno - cf. Eliade 1964), pa vzročne zveze med Luninimi fazami in menstrualnim ciklusom doslej ni bilo mogoče nesporno dokazati.

Raziskave so pokazale tudi, da obstaja zveza med *Luninimi menami* in *količino padavin*. V Severni Ameriki in Novi Zelandiji so opazili, da je v povprečju največ padavin v prvem in tretjem tednu po ščipu in mlaju (sl. 35).<sup>3</sup> Če so se razna ljudstva že v preteklosti zavedala teh pojavov (kar pa je težko dokazati), lahko morda prav v tem iščemo razlago za razne poljedelske koledarje, ki predpisujejo, ob katerih Luninih menah je treba opraviti določena dela, morebiti pa tudi za splošni lunarni simbolizem, ki ima vselej takšno ali drugačno zvezo z rodovitnostjo.

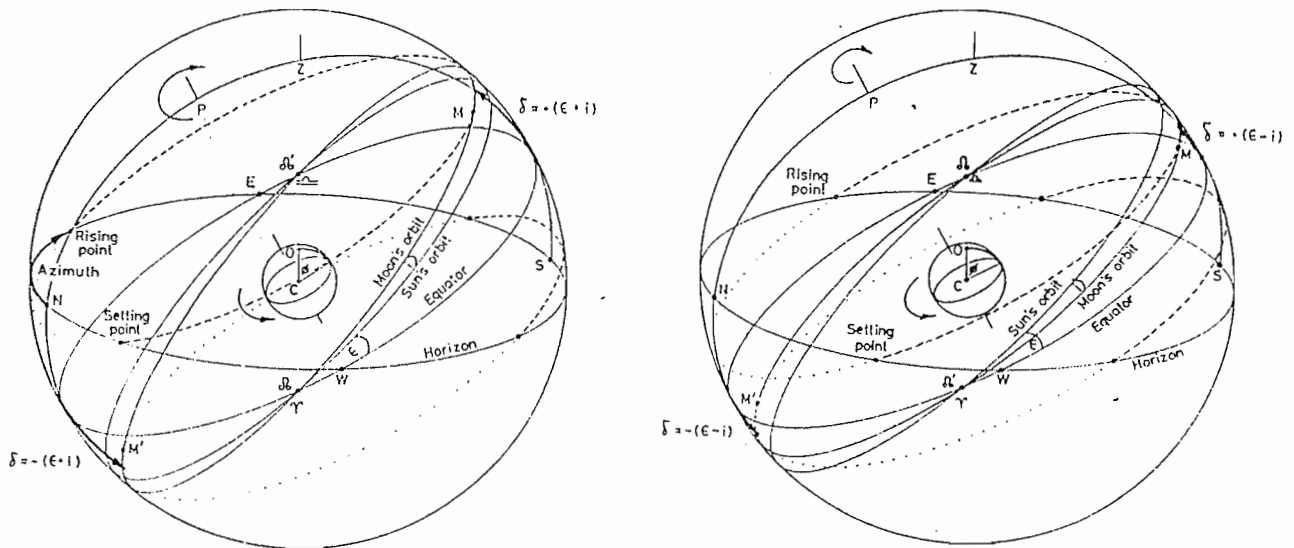
**Literatura:** McLaughlin 1961:123-129; Thom 1971; Aveni 1980; Hawkins 1965; 1968; Morrison 1980; datum ščipov in mlajev v preteklosti: Goldstine 1973.

Opombe:

- 1 To je srednja vrednost, kajti zaradi eliptičnosti Luninega tira vsak sinodski mesec ni enako dolg.
- 2 Seveda velja tudi obratno: v času okoli poletnega solsticija vzhaja/zahaja polna Luna najdlje proti jugu od vzhoda/zahoda.
- 3 Vzrok tiči verjetno v vplivu Sončevega vetra (toka delcev, ki ne prestando prihajajo s Sonca) na Zemljino atmosfero; določene lege Zemlje in Lune glede na Sonce imajo za posledico večje ali manjše odklanjanje Sončevega vetra.

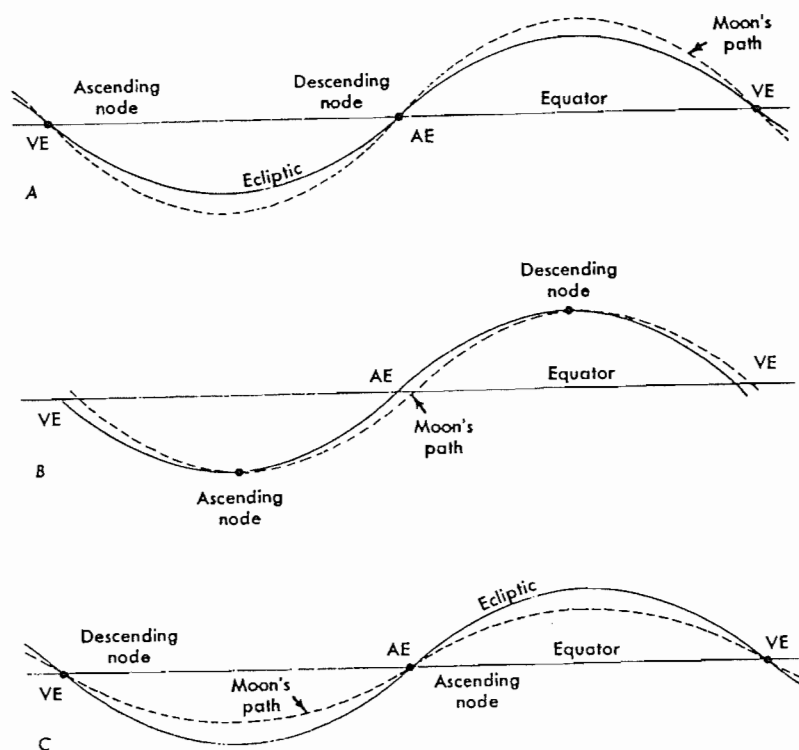


Slika 31. Ekliptika in Lunin tir na nebesni sferi (iz: Thom 1971: Fig. 2.1.).

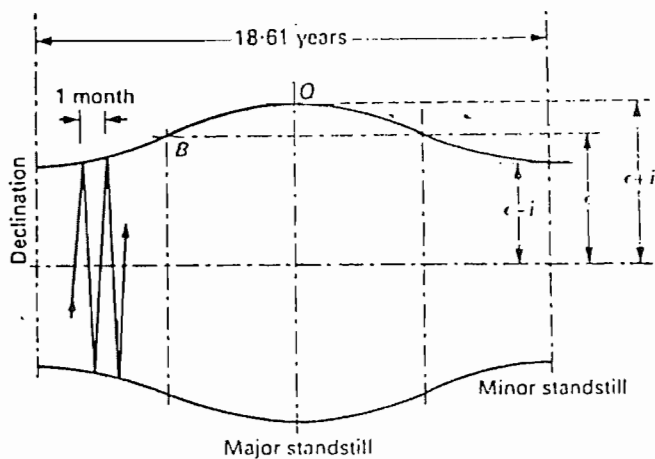


Slika 32. Lega Sončeve in Lunine poti na nebesni sferi ob velikih (levo) in malih lunarnih ekstremih (desno). Črtkano so označene Lunine dnevne poti ob ekstremnih deklinacijah (iz: Morrison 1980: Figs. 1 & 2).





Slika 33. Lega ekliptike in Lunine poti ob velikih (A) in malih lunarnih ekstremih (C) ter v trenutku, ko so Lunini ekstremi po velikosti enaki Sončevim ob solsticijih (B) (iz: McLaughlin 1961: Fig. 8.8).



Slika 34. Meje Luninih deklinacij v obdobju ene revolucije vozlov (iz: Thom 1971: Fig. 2.2.).

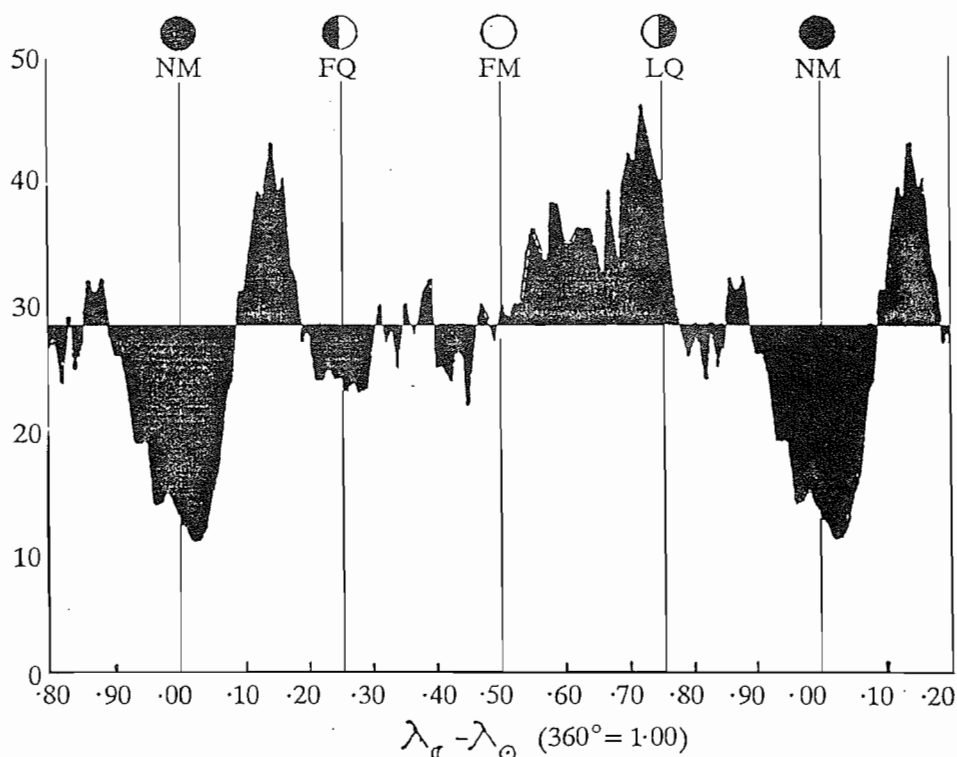
## 8. MRKI

Mrki so vzbujali pozornost pri vseh ljudstvih sveta. Ker so to sorazmerno redki in težko predvidljivi pojavi, torej takšni, ki motijo nebeško harmonijo, so povsod in vselej veljali za slabo znamenje. Interpretacije mrkov so med raznimi ljudstvi različne, vsekakor pa je povsod veljalo, in marsikje še vedno velja, da je treba med mrki na tak ali drugačen magični način pomagati Soncu in Luni v boju proti zlim silam, ki jima jemljejo svetlobo in moč.

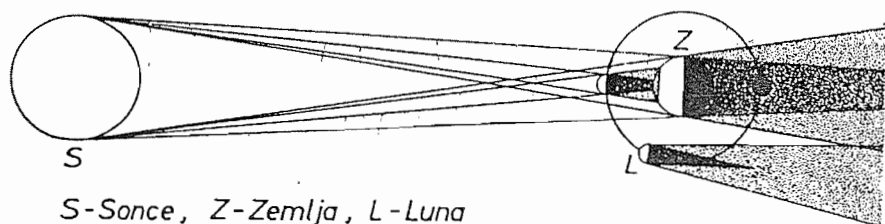
Mrke ponazarja slika 36. Kadar Luna zaide v Zemljino senco popolnoma/delno, nastopi **popolni/delni Lunin mrk**. Viden je z vseh krajev na Zemlji, kjer je Luna nad horizontom. Popolni Lunin mrk lahko traja do  $1^h40^m$ . Med mrkom Luna ni povsem zatemnjena, saj jo delno osvetljujejo Sončevi žarki, ki se lomijo v Zemljini atmosferi. Ker atmosfera najbolj absorbira modro svetlobo, je Luna ob popolnem mrku temno rdeča ali rjavkasta - odtenki zavisijo od atmosferskih razmer na Zemlji.

**Sončev mrk** je viden tam, kjer pada na Zemljo Lunina senca. Zaradi gibanja Lune in Zemljine rotacije zarisuje Lunina senca po Zemljini površini ozek **pas popolnega mrka**, širok največ do 250 km, kar pomeni, da je popolni Sončev mrk viden samo na majhnem delu Zemlje, traja pa največ  $7\frac{1}{2}^m$ . **Delni Sončev mrk** je viden na veliko večjem področju, namreč vzdolž pasu, na katerega pada Lunina polsenca (sl. 36). Zorni kot, v katerem vidimo Luno, se spreminja v odvisnosti od njene oddaljenosti od Zemlje: če je enak zornemu kotu, v katerem vidimo Sonce, ali večji od njega, nastopi popolni Sončev mrk, če pa je manjši, Luna ne prekrije popolnoma Sonca in nastopi **kolobarjasti Sončev mrk**.

Če bi Lunina orbita sovpadala z ekliptiko, bi ob vsakem mlaju/ščipu nastopil Sončev/Lunin mrk. Zaradi nagnjenosti njenega tira k ekliptiki pa so mrki mogoči samo, kadar sta Sonce in Luna v bližini vozlov. Zaradi regre-



Slika 35. Odvisnost povprečne količine padavin od Luninih men; NM - mlaj; FQ - prvi krajec; FM - polna Luna; LQ - zadnji krajec. Na absciso so nanesene razlike med ekliptično dolžino Lune in Sonca ( $360^\circ = 1.00$ ).



Slika 36. Sončevi in Lunini mrki (iz: Avsec - Prosen 1971; sl. 87).

sije vozlov se Sonce v svojem navideznem gibanju vrne v isti vozlov v 346,6<sup>a</sup> (eklipsno leto), torej pride iz enega vozla v drugi v 173,3<sup>a</sup> (eklipsno polletje). Navidezna premera Sonca in Lune sta dovolj velika, da so mrki mogoči ne le točno v trenutku istočasnega prehoda obeh teles čez vozlov, temveč na območju pasu v bližini vozla, imenovanem *ekliptična meja* (sl. 31)<sup>1</sup>.

Lunarna ekliptična meja zajema približno 25° ekliptike. Sonce potuje čez ta pas ok. 25 dni, kar pomeni, da je Lunin mrk v tem času možen, ni pa nujen, saj je sinodski mesec daljši: Sonce lahko vstopi v območje ekliptične meje kmalu po nekem ščipu in "uide" iz njega, preden je Luna zopet polna. Sončeva ekliptična meja pa zajema 31° ekliptike; ker Sonce za prehod te meje porabi več kot 1 sinodski mesec (interval med dvema mlajema), nastopi Sončev mrk v bližini vsakega prehoda Sonca čez vozlov, lahko pa sta celo dva v enem sinodskem mesecu: eden kmalu po Sončevem vstopu v območje ekliptične meje in naslednji pred izstopom iz te meje. To pomeni, da so *Sončevi mrki pogostejši kot Lunini*, vendar pa so vidni na majhnih področjih Zemljine površine. Zato ima opazovalec enega kraja na Zemlji vtis, da so Lunini mrki pogostejši. Z enega mesta na Zemlji je mogoče videti do 4 popolne Lunine mrke v 18 letih, medtem ko je popoln Sončev mrk viden le enkrat v 200 do 400 letih. Če pa govorimo o vseh mrkih, vidnih na Zemlji, tedaj velja, da lahko v enem koledarskem letu nastopijo do 3 Lunini mrki, Sončevih pa največ 5 in najmanj 2.

Kot je razvidno iz tabele 8.1., so značilni intervali med mrki celi mnogokratniki sinodskega meseca in polovice sinodskega meseca, najbližji intervalu 173,3<sup>a</sup> (eklipsno polletje): 14-15<sup>a</sup> (½ sin. mes.), 148<sup>a</sup> ± 1<sup>a</sup> (5 sin. mes.), 163<sup>a</sup> ± 1<sup>a</sup> (5½ sin. mes.) in 177<sup>a</sup> ± 1<sup>a</sup> (6 sin. mes.). Posledica teh intervalov so seveda "sezone mrkov", ki se v zaporednih letih pomikajo "nazaj" skozi koledar, ker je

eklipsno leto krajše od tropskega (gl. tab. 8.1.). Zapisovanje intervalov, v katerih se pojavljajo mrki, je mnoga ljudstva pripeljalo do spoznanj o periodičnosti teh fenomenov; z zanesljivostjo napovedati mrk je sicer dokaj težko, precej lažje pa je *predvideti možnost mrka*. To znanje je bilo pomembno, saj se je bilo na ta način mogoče pravočasno pripraviti na pretečo "nevarnost", izvesti določene obrede, ki naj odvrnejo pogubne vplive mrkov itd.

Interval med dvema zaporednima Luninima prehodoma čez isti vozlov je **drakonski mesec**,<sup>2</sup> ki je zaradi regresije vozlov krajši od siderskega in traja 27,2122 dni. 242 drakonskih mesecev traja skoraj natanko toliko kot 223 sinodskih mesecev, t.j. 6585,32 dni. To pomeni, da se v tem ciklusu, imenovanem **saros**, vzorec mrkov ponovi, padejo pa skoraj na iste datume v letu, saj je 6585,32<sup>a</sup> enako 18,03 leta, torej le 11 dni več kot 18 tropskih let. Saros je bil znan že starim Babiloncem. Ker so Lunini mrki vidni na več kot polovici zemeljske površine, je napovedovanje Luninih mrkov s pomočjo sarosa veliko lažje kot napovedovanje Sončevih. En saros je skoraj za tretjino dneva daljši kot celih 6585 dni, zaradi česar se vidnost Sončevih mrkov na Zemljini obli po enem sarosu preseli za ok. 120° proti zahodu (za toliko se zavrti Zemlja v tretjini dneva). Toda čez tri sarose ali 54,09 leta, bodo ustrezajoči si mrki vidni zopet na isti geografski dolžini; Grki so to obdobje imenovali *exeligmos* (= "obrat", "razvoj"). Zaradi sprememb v datumih mrkov (54,09 leta = 54<sup>1</sup> 33<sup>a</sup>) se pot vidnosti določenega mrka po enem exeligmosu nekoliko prestavi proti severu ali jugu (prim. sl. 37).

Pomen mrkov za historično in arheološko delo je

- literarni, mitološki in zgodovinski, glede na zanimanje, ki so ga mrki vzbudili v zvezi z zgodovinskimi dogodki;

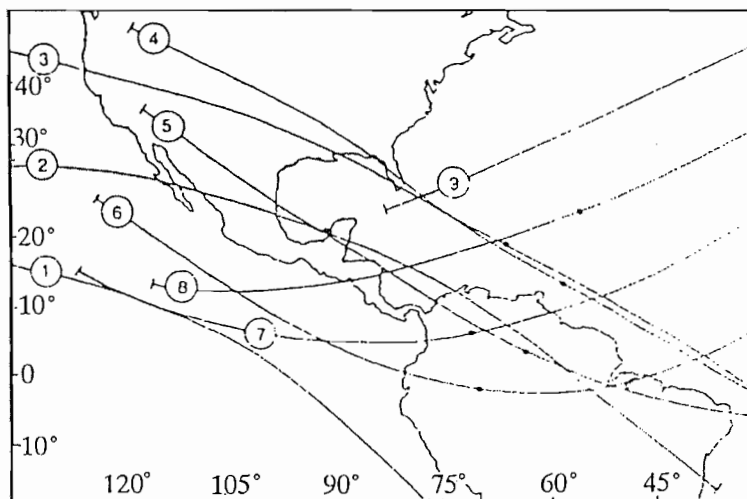
- kronološki, saj zapisi o mrkih omogočajo vzpostavljanje korelacij med različnimi koledarskimi sistemi in s tem preverjanje veljavnosti kronoloških podatkov.

**Okultacije in prehodi** so pojavi, podobni mrkom. Kadar večje nebesno telo zakrije manjšega, govorimo o okultaciji (npr. okultacija zvezde ali planeta, preko katere(ga) gre Luna). Če gre manjše telo preko večjega, gre za prehod (npr. prehod notranjega planeta preko Sončeve ploskve).

**Literatura:** *Encyclopaedia Britannica: Macropaedia*, vol. 6, s.v. "Eclipse, occultation, and transit"; Thom 1971; Hawkins 1965; tabele Sončevih in Luninih mrkov od 1207 pr. n. št. do 2161 n. št.: Oppolzer 1887.

Opombe

- 1 Beseda *eklipsa* (mrk) izhaja iz grške *ekleipsis*, ta pa iz glagola *ekleipō* (= "izginem", "minevam", "ginem"); od tod tudi beseda *ekliptika*, ki označuje črto, vzdolž katere so možni mrki.
- 2 Ime izhaja iz kitajske mitologije, v kateri sta vozla Luninega tira označena kot zmajeva glava in rep; Sončev/Lunin mrk nastane, kadar zmaj požira Sonce/Luno.



Slika 37. Ciklus devetih Sončevih mrkov, vidnih v intervalih po 54 let v Srednji Ameriki v klasičnem in poznem predklasičnem obdobju:

- 1 - 12. julij 74;
- 2 - 13. avgust 128;
- 3 - 15. september 182;
- 4 - 17. oktober 236;
- 5 - 19. november 290;
- 6 - 21. december 344;
- 7 - 23. januar 399;
- 8 - 24. februar 453;
- 9 - 29. marec 507 (iz: *Aveni* 1980: 82 - Fig. 33)

Tabela 8.1. (iz: Aveni 1980: 76 - Table 4).

Date	Type	Number of Days to Next Eclipse	Phase	Region of Visibility of Annular or Total Solar Eclipses+		
1980	Feb. 16	Solar	176	Total	North Atlantic, Central Africa, India, China	
	Aug. 10	Solar	178	Annular		
1981	Feb. 4	Solar	163	Annular	Central Pacific, Central South America	
	Jul. 17	Lunar	14	Partial	South Pacific	
	Jul. 31	Solar	162	Total		
1982	Jan. 9	Lunar	16	Total	Caspian Sea, Siberia, North Pacific	
	Jan. 25	Solar	147	Partial		
	Jun. 21	Solar	15	Partial		
	Jul. 6	Lunar	14	Total		
	Jul. 21	Solar	148	Partial		
	Dec. 15	Solar	15	Partial		
	Dec. 30	Lunar	163	Total		
1983	Jun. 11	Solar	14	Total		South Indian Ocean, Malaysia, New Zealand
	Jun. 25	Lunar	162	Partial		
	Dec. 4	Solar	178	Annular		
1984	May 30	Solar	175	Total-Annular*	North Atlantic, Central Africa	
					Central Pacific, Northern Mexico, Southern United States, North Atlantic, North Africa	
	Nov. 22	Solar	163	Total	New Zeland, South Pacific	
1985	May 4	Lunar	15	Total	South Pacific, Antarctica	
	May 19	Solar	162	Partial		
	Oct. 28	Lunar	15	Total		
	Nov. 12	Solar	148	Total		
1986	Apr. 9	Solar	15	Partial	Greenland, Iceland	
	Apr. 24	Lunar	162	Total		
	Oct. 3	Solar	14	Total		
	Oct. 17	Lunar	163	Total		
1987	Mar. 29	Solar	178	Total-Annular*	Southern South America, South Atlantic, Central Africa	
	Sep. 23	Solar	14	Annular	Central Asia, China, South Pacific	
	Oct. 7	Lunar	163	Partial	Malaysia, Coastal East Asia, Aleutian islands	
1988	Mar. 18	Solar	162	Total		
	Aug. 27	Lunar	15	Partial		
	Sep. 11	Solar	162	Annular	West Africa, South Indian Ocean, Australia	
1989	Feb. 20	Lunar	15	Total		
	Mar. 7	Solar	163	Partial		
	Aug. 17	Lunar	14	Total		
	Aug. 31	Solar		Partial		

\* Total for part of the path and annular for the remainder.

+ All other eclipses visible over a much wider area.

## 9. PLANETI

Če opazujemo nočno nebo več noči zaporedoma, opazimo, da se nekatere "zvezde" premikajo med ostalimi. To so planeti (gr. *planétes* = tavajoč, potikajoč se), ki se gibljejo med ozvezdji vzdolž zodiakalnega pasu. Krožijo okoli Sonca in so skupaj z Zemljo del našega Osončja. Planeti ne oddajajo lastne svetlobe, temveč odražajo Sončevo. Tisti, ki jih vidimo s prostim očesom, so bolj ali pa vsaj tako svetli kot najsvetlejše zvezde (sl. 42).

Ker so planeti sorazmerno blizu Zemlje, je njihovo navidezno premikanje po nebu precej zapleteno, saj je pogojeno ne le z njihovim lastnim gibanjem marveč tudi z gibanjem Zemlje okoli Sonca. Kot je v začetku 17. stoletja dognal Johannes Kepler, se planeti gibljejo okoli Sonca po elipsah; v skupnem gorišču teh elips je Sonce (prvi Keplerjev zakon). Tire ali orbite planetov določujejo t.i. **orbitalni elementi** (Tab. 9.1.). Najvažnejši so naslednji:

- velika polos* tira ( $a$ ), običajno izražena v astronomskih enotah (a.e.: 1 a.e. = srednja razdalja med Zemljo in Soncem =  $149,6 \times 10^6$  km) - določuje razsežnosti tira;
- izsrednost* ali *ekscentričnost* tira ( $e$ ) - določuje obliko tira;
- naklon* ali *inklinacija* tira ( $i$ ) - kot med ravninama planetovega tira in ekliptike;
- longituda* (dolžina) *dvižnega vozla* ( $\Omega$ ) - heliocentrična (kakor vidna s Sonca) kotna razdalja med pomladiščem in dvižnim vozlom, merjena v smeri planetovega gibanja; tir vsakega planeta seka ravnino ekliptike v dveh točkah: točka, v kateri planet prečka ravnino ekliptike od juga proti severu (ko se torej "dviguje" nad ravnino ekliptike), je *dvižni vozol*, medtem ko je drugo sečišče *padni vozol*.
- longituda perihelija* ( $\omega$ ) - heliocentrična kotna razdalja med dvižnim vozlom in perihelijem, merjena v smeri planetovega gibanja; naj opozorimo, da se longituda perihelija meri vzdolž planetovega tira, longituda dvižnega vozla pa vzdolž ekliptike;
- siderska obhodna doba* - čas, v katerem planet opiše polni krog okoli Sonca glede na zvezde ( $360^\circ$ );
- sinodska obhodna doba* - čas, v katerem se planet vrne v isti položaj glede na Sonce in Zemljo; ker posebne lege planeta glede na Sonce in Zemljo imenujemo konfiguracije planeta (npr. konjunkcija,

opozicija - gl. spodaj), lahko sinodsko obhodno dobo definiramo tudi kot časovni interval med dvema zaporednima enakima *konfiguracijama planeta* (ker so tiri planetov eliptični, ni vsaka sinodska obhodna doba določenega planeta povsem enaka - na tabeli 9.1. so navedene srednje vrednosti).

Tabela 9.1. Srednji orbitalni elementi planetov, ki so vidni s prostim očesom

	Merkur	Venera	Mars	Jupiter	Saturn
srednja oddaljenost od Sonca (v a.e.)	0.387099	0.723332	1.523691	5.202803	9.53884
siderska obh. doba (dni)	87.969	224.701	686.980	4332.589	10759.22
sinodska obh. doba (dni)	115.88	583.92	779.94	398.88	378.09
izsrednost	0.2056	0.0068	0.0934	0.0485	0.0556
naklon tira k ekliptiki ( $^\circ$ )	7.00	3.39	1.85	1.30	2.49
long. dviž. vozla ( $^\circ$ )	48	76	49	100	113
longituda perihelija ( $^\circ$ )	77	131	336	14	93

Normalno navidezno premikanje planetov med zvezdami je v smeri od zahoda proti vzhodu; to je *direktno* ali *napredno gibanje*, med katerim planetova rektascenzija (in ekliptična dolžina) narašča. V vsaki sinodski dobi pa ima planet tudi obdobje *retrogradnega* ali *obratnega gibanja*, med katerim se njegova rektascenzija zmanjšuje in ki je omejeno z *zastojema* ali *stacionarnima točkama*.

Pri arheoastronomskem delu pridejo v poštev samo planeti, ki so vidni s prostim očesom, torej Merkur, Venera, Mars, Jupiter in Saturn, ki so skupaj s Soncem in Luno sestavljali sedem tradicionalnih planetov antike. Odsev tega pojmovanja najdemo še danes v sedmih dnevih tedna (in morda tudi v magičnosti števila 7): v nekaterih jezikih prepoznamo v imenih dni v tednu imena planetov ali, bolje rečeno, imena božanstev, povezanih s posameznimi planeti<sup>1</sup>.

Planeti, ki so Soncu bliže kot Zemlja, so **notranji plane-**

ti. Takšna sta samo Merkur in Venera. Vsi ostali so **zunanji planeti**.

### 9.1. Notranja planeta

Merkur in Venera sta vidna samo zjutraj ali zvečer, največ nekaj ur pred Sončevim vzhodom ali po Sončevem zahodu. Slika 38 prikazuje orbiti Zemlje in Venere (shema z Merkurjem bi bila zelo podobna). Na planetovem tiru so označene karakteristične točke oz. konfiguracije njegove sinodske obhodne dobe. Ko je Venera v točki **1**, torej med Soncem in Zemljo, je v **spodnji konjunkciji** in za opazovalca na Zemlji ni vidna. Ko pride v točko **2**, se pojavi prvič po obdobju nevidnosti kot **Danica**; to je Venerin **heliakalni vzhod**. Zatem se navidezno oddaljuje od Sonca in vzhaja vsak dan bolj zgodaj. Položaj **3** označuje **zastoj** ali **stacionarno točko**, v kateri se planet na videz ne giblje med zvezdami, vendar se še naprej oddaljuje od Sonca. V točki **B** doseže **največji sij** (Merkurjev je  $-1,8^m$  in Venerin  $-4,4^m$ ). Točka **4** označuje **največjo navidezno razdaljo** ali **clongacijo** proti zahodu. Poslej se navidezna razdalja med planetom in Soncem začne manjšati. Ko preide točko **5**, planet izgine z jutranjega neba; začenja se obdobje nevidnosti, sredi katerega je **zgornja konjunkcija**, označena kot točka **6**. Ko pride v položaj **7**, se Venera pojavi na zahodnem nebu kot **Večernica**. V naslednjih dneh se navidezno vse bolj oddaljuje od Sonca in doseže v točki **8** **največjo navidezno razdaljo** ali **clongacijo** proti vzhodu. Od tega trenutka se začne kotna oddaljenost od Sonca zmanjševati in planet znova doseže **največji sij** v točki **B** in pride v **stacionarno točko** ali **zastoj** v položaju **9**. Poslej se Venera giblje retrogradno in, ko je v točki **10**, **heliakalno zahaja**, torej je vidna zadnjič na večernem nebu pred obdobjem nevidnosti, sredi katerega je spodnja konjunkcija.

Te točke Venerinega tira, projicirane na vzhodno in zahodno nebo v trenutku, ko je Sonce malo pod horizontom, so prikazane na slikah 39 in 40. Treba je opozoriti, da ti dve sliki ponazarjata samo eno sinodsko dobo in da se krivulje navideznega gibanja Venere v različnih sinodskih dobah razlikujejo.

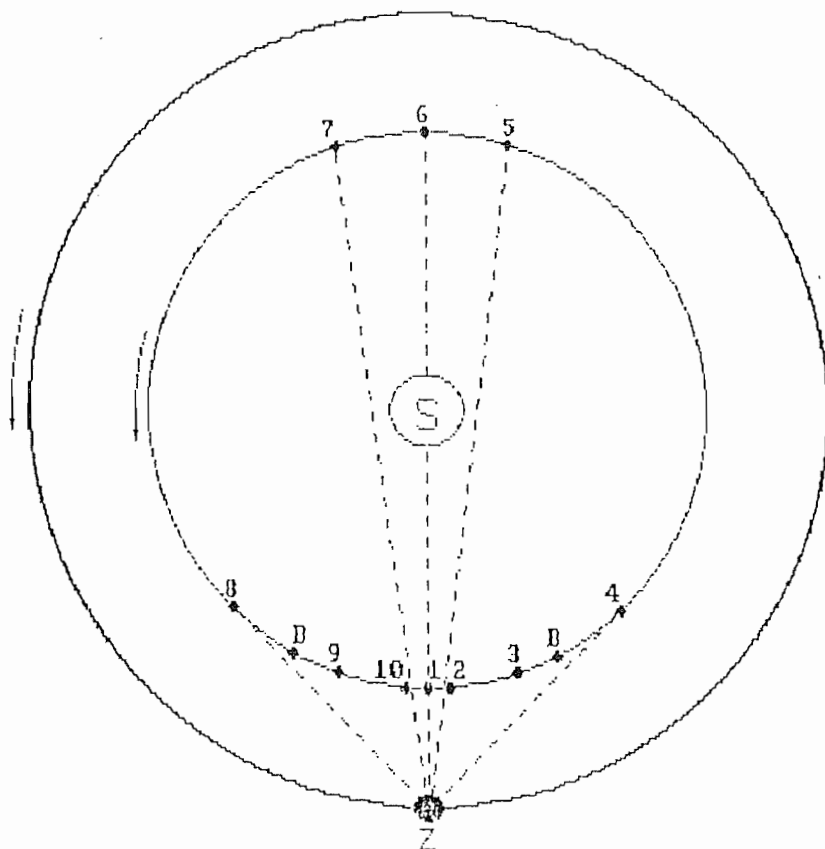
V zmernih in tropskih geografskih širinah je Venera

vidna nekaj manj kot 9 mesecev kot Danica in prav toliko kot Večernica. Obdobje nevidnosti okoli zgornje konjunkcije je skoraj 2 meseca, ob spodnji konjunkciji pa izgine le za teden ali dva. Merkur je ob spodnji konjunkciji neviden samo nekaj dni, ob zgornji konjunkciji izgine za dober mesec, približno prav toliko časa pa je tudi viden na jutranjem in večernem nebu. Točno trajanje teh intervalov je odvisno od letnega časa, zemljepisne širine (od obeh faktorjev zavisi naklon ekliptike k horizontu), deklinacije planeta v trenutkih blizu konjunkcij in od klimatskih faktorjev.

Merkur ni posebno svetel planet, razen tega ga je nekoliko težko opazovati, saj se nikoli ne oddalji dosti od Sonca. Veliko večji pomen je v mnogih kulturah imela Venera, saj je za Soncem in Luno najsvetlejša nebesno telo. Zlasti v Mezopotamiji in Mezoameriki so njeno gibanje zelo natančno preučevali; datumi heliakalnih fenomenov, ki jih najdemo v zapisih, so pomembno pomagalo pri razreševanju problemov koledarskih korelacij.

Nekatere arheoastronomska proučevanja so razkrila pomen fenomenov, ki so za moderno astronomijo tako rekoč povsem nezanimivi oz. se z njimi ne ukvarja. Tak pojav so npr. Venerini ekstremi. Ko Venera doseže največjo/najmanjšo deklinacijo, doseže na horizontu svoj severni/južni ekstrem. Ker je tir planeta nagnjen k ekliptiki, so Venerini ekstremi večji kot tisti, ki jih doseže na horizontu Sonce ob solsticijih. Proti tem točkam so usmerjeni nekateri objekti v predšpanski mezoameriški arhitekturi. Posebej zanimivo je, da so Venerini ekstremi *sezonski pojavi*: Večernica doseže svoje ekstreme vselej spomladi in jeseni, torej pred solsticiji, Danica pa po solsticijih, namreč poleti in pozimi. Razen tega so ekstremi Danice in Večernice - torej tisti, ki jih je mogoče *opazovati s prostim očesom* - po velikosti *asimetrični*: ekstremi Večernice so večji kot tisti, ki jih doseže Venera, kadar je vidna kot Danica.

Pomembna v arheoastronomiji je tudi periodičnost Venerinih pojavov. Najbolj očitno je najbrž dejstvo, da padejo določeni fenomeni Venerine sinodske dobe vsakih 8 let na skoraj iste datume: 8 let je namreč približno enako 5 sinodskim dobam ( $8 \times 365 = 5 \times 584$ ). Zaradi tega sta ponekod 5 in 8 Venerini števili *par excellence*.



Slika 38. Orbits Zemlje in Venere okoli Sonca: značilne konfiguracije notranjega planeta

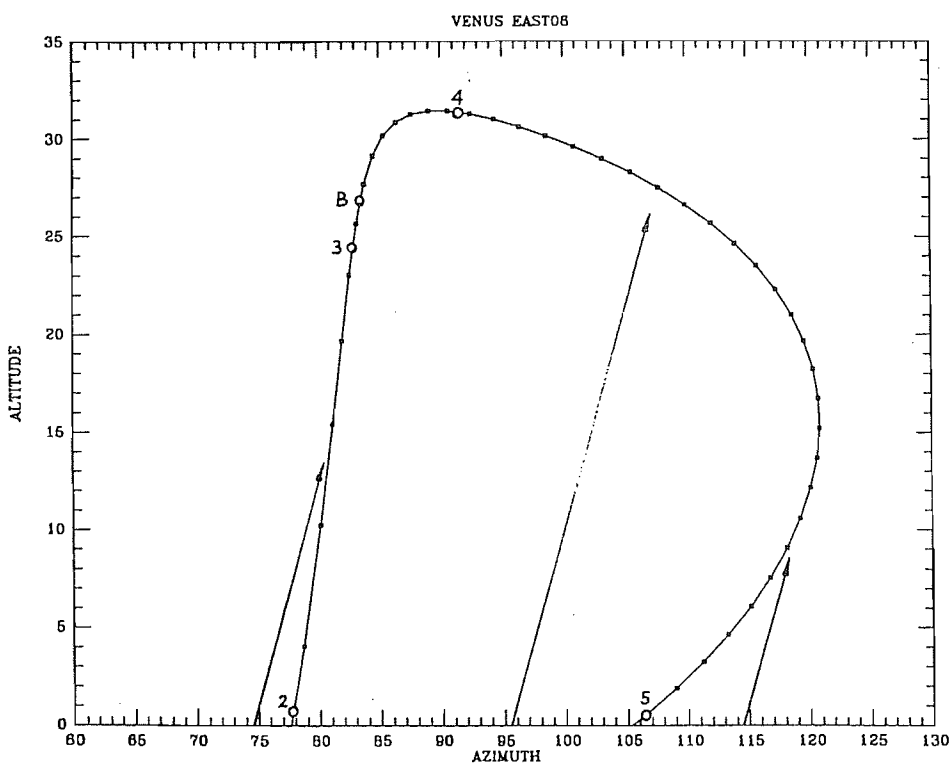
## 9.2. Zunanji planeti

Za ponazoritev gibanja zunanjih planetov si oglejmo sliko 41, ki prikazuje tira Zemlje in Marsa. Ker se Zemlja giblje hitreje kot Mars, si značilne konfiguracije sledijo v smeri, ki je nasprotna gibanju obeh teles. V položaju **1** je Zemlja med Soncem in planetom, ki je tedaj v **opoziciji**. Planet v opoziciji vzhaja, ko Sonce zahaja, kulminira opolnoči in zahaja ob Sončevem vzhodu. V tej točki je njegova oddaljenost od Zemlje najmanjša, navidezni sij pa največji. Točka **2** označuje **vzhodno kvadrato**, ko je planet  $90^\circ$  vzhodno od Sonca in zahaja 6

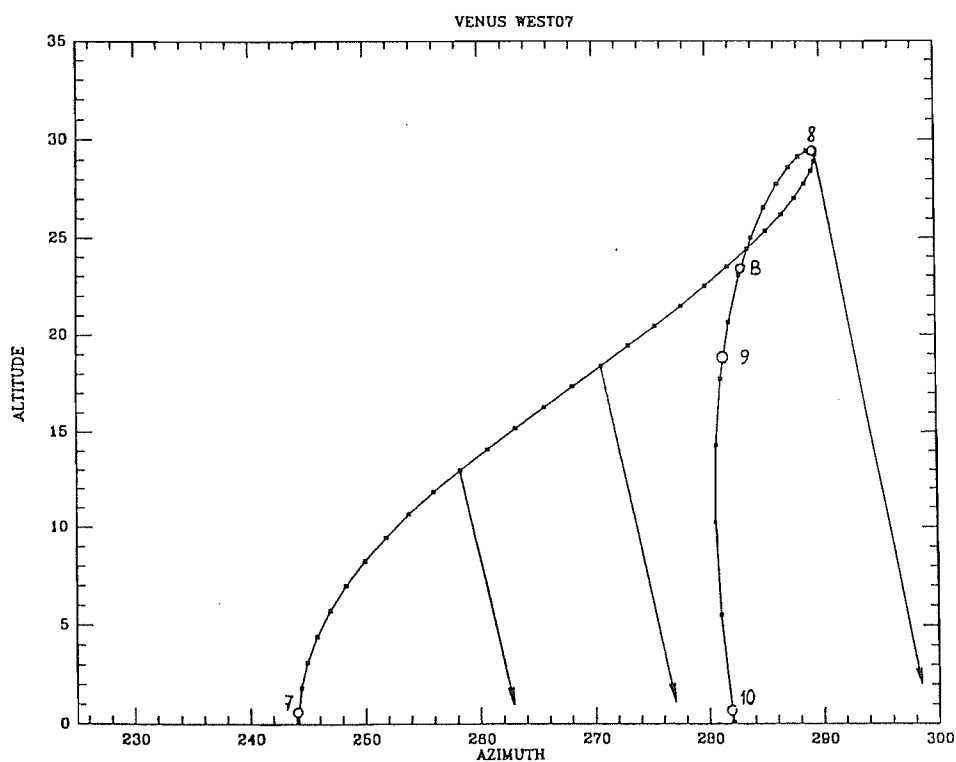
ur za Soncem. V točki **3** je planet viden zadnjič po Sončevem zahodu (**heliakalni zahod**) in vstopa v obdobje nevidnosti, sredi katerega je **konjunkcija**, označena s točko **4**. V položaju **5** se Mars pojavi na vzhodnem nebu pred Sončevim vzhodom (**heliakalni vzhod**), točka **6** pa zaznamuje **zahodno kvadrato**: Mars je od Sonca oddaljen  $90^\circ$  proti zahodu in vzhaja opolnoči.

Kot je bilo že omenjeno, ima vsak planet obdobje retrogradnega ali obratnega gibanja, med katerim se giblje med zvezdami proti zahodu (sl. 43). Pojav je ponazorjen na sliki 44, ki prikazuje zaporedje položajev Zemlje in

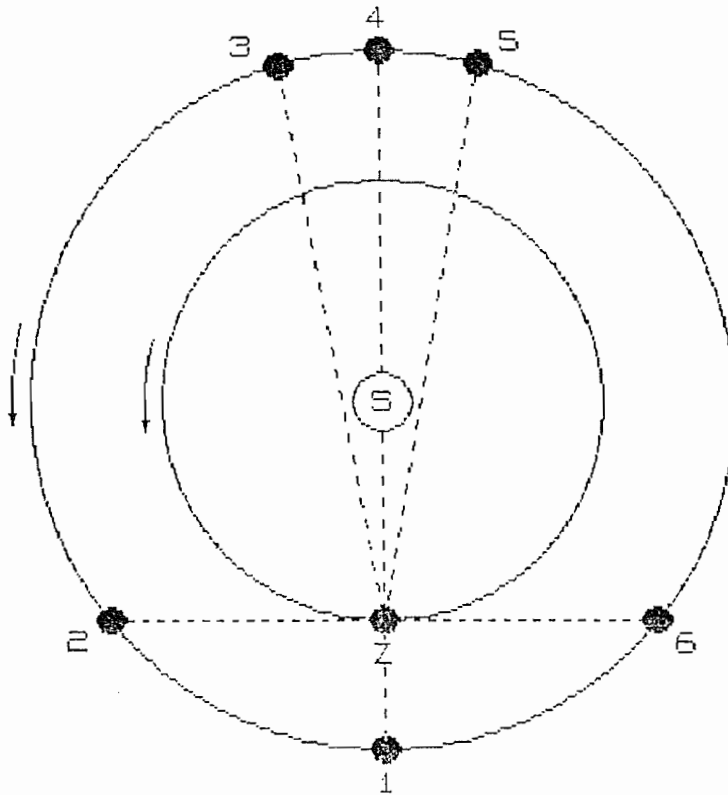




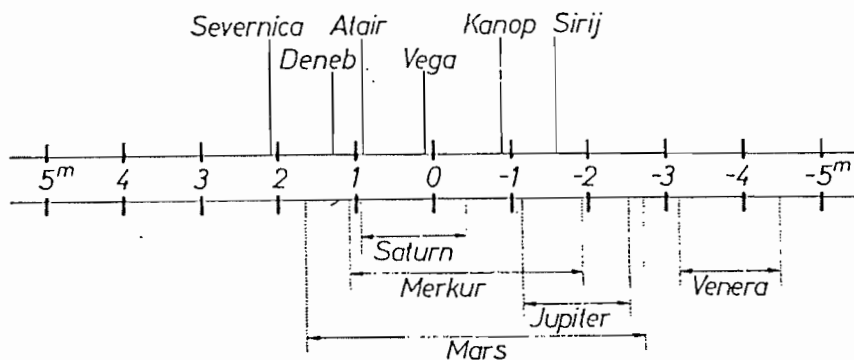
Slika 39. Karakteristične točke Venerine sinodske dobe, kakor vidne v severnih tropskih širinah na vzhodnem nebu med enim obdobjem jutranje vidljivosti; puščice označujejo dnevne poti planeta (krivulje izdelala O. Gingerich in B. Welther, Smithsonian Astrophysical Observatory, USA).



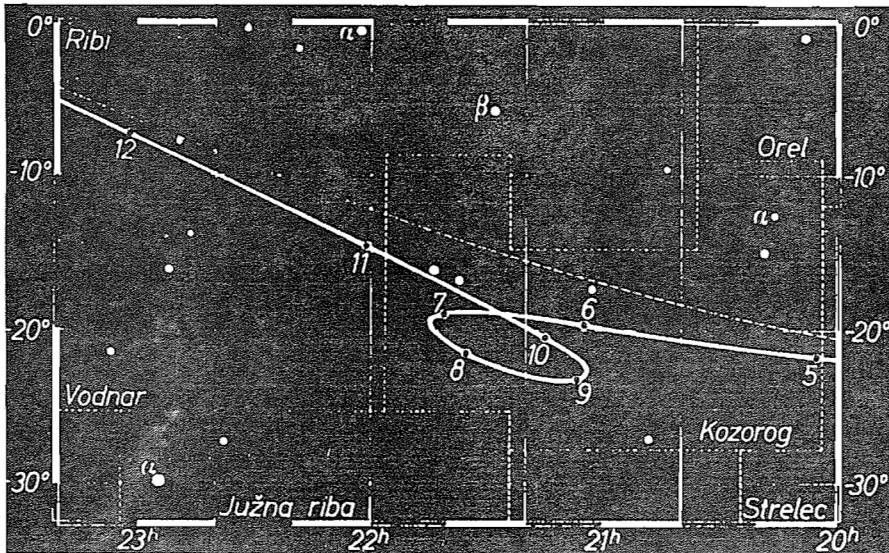
Slika 40. Karakteristične točke Venerine sinodske dobe, kakor vidne v severnih tropskih širinah na zahodnem nebu med enim obdobjem večerne vidljivosti; puščice označujejo dnevne poti planeta (krivulje izdelala O. Gingerich in B. Welther, Smithsonian Astrophysical Observatory, USA).



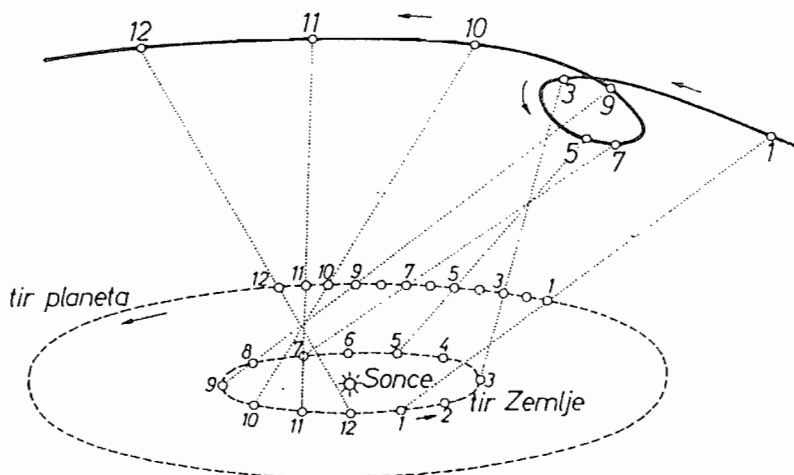
Slika 41 Orbits Zemlje in Marsa okoli Sonca: značilne konfiguracije zunanjega planeta.



Slika 42. Intervali spreminjanja sija nekaterih planetov v primerjavi s sijem svetlejših zvezd (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 52).



Slika 43. Navidezna pot Marsa med zvezdami od maja do decembra leta 1971; črni krožci pomenijo lego planeta v začetku meseca, ki je označen s številko. Poševna črtkana črta je ekliptika (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 53).



Slika 44. Razlaga navideznega gibanja planeta, ki je bolj oddaljen od Sonca kot Zemlja. Ravne pikčaste črte vežejo istočasne lege Zemlje in planeta ter določajo smer, v kateri vidimo planet z Zemlje (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 54).

## 10. MANJ POGOSTI ASTRONOMSKI IN ATMOSFERSKI POJAVI

zunanjega planeta v enakih časovnih intervalih. Ravne pikčaste črte vežejo istočasne lege Zemlje in planeta ter določajo smer, v kateri vidimo planet z Zemlje na zvezdnem ozadju; puščica kaže smer planetovega navideznega gibanja. Potem ko se giblje direktno ali napredno, doseže planet zastoj ali prvo stacionarno točko in se začne gibati obratno ali retrogradno. Sredi tega gibanja pride v opozicijo (blizu točke 5), doseže drugo stacionarno točko in zatem zopet spremeni gibanje v direktno. Če bi bili tiri planetov v ravnini ekliptike, bi njihovo navidezno gibanje sovpadalo z ekliptiko, zaradi naklona tirov pa opisujejo krivulje in pentlje.

Pomembni segmenti sinodskih dob zunanjih planetov so naslednji:

	srednje trajanje obdobj (dni)		
	nevidnost	vidljivost	obratno gibanje
Mars	120	660	75
Jupiter	32	367	120
Saturn	25	353	140

Zastoji in retrogradna gibanja planetov so pojavi, ki so jim razna ljudstva pripisovala poseben pomen.

**Literatura:** Avsec - Prosen 1971; McLaughlin 1961: 137-150; Duffett-Smith 1981; Aveni 1980; 1981; McCluskey 1983; Waerden 1974; tabele pozicij planetov v preteklosti: Meeus 1983; Tuckerman 1962; 1964.

Opombe:

1 Npr. špansko in italijansko ime za ponedeljek - *luncs*, *lunedì* - izhajata iz latinskega *Lunae dies* (cf. angl. *Monday*; nem. *Montag*); angleško ime za soboto - *Saturday* - izhaja iz lat. *Saturni dies*, itd.

Pojavi, ki niso periodični, ali pa se ponavljajo v tako dolgih intervalih, da je njihovo periodičnost mogoče ugotoviti šele z dolgotrajnim opazovanjem, praviloma veljajo za slaba znamenja, ker so nepredvidljivi in na videz motijo nebeški red. Zapisi o tovrstnih pojavih in upodobitve so zanimivi sami po sebi, lahko pa prispevajo tudi k razjasnjevanju kronoloških problemov.

**Kometi** se gibljejo okoli Sonca po iztegnjenih elipsah ali celo parabolah. Sestojijo iz dokaj razredčene snovi; trdne delce vežejo med seboj sublimirani plini. Zaradi Sončevega sevanja jedro komete izpareva in razredčeni plini tvorijo okoli njega meglico, imenovano *koma* (plašč). Ko se komet približa Soncu, dobi rep, sestavljen iz izparelih plinov, ki jih Sončev veter meče proč od Sonca. Kometi fluorescirajo.

**Bolid** je kamen, ki prileti iz medplanetarnega prostora in zaradi trenja v Zemljini atmosferi zažari, tako da ga je videti kot letečo žarečo kroglo, ki pušča za sabo ognjeno ali dimno sled. Če med padanjem ne izpari, pade na zemljo kot *meteorit*.

**Utrinki** so peščeni drobcji ali *meteorji*, ki zažarijo, ko prilete v Zemljino atmosfero. Včasih jih je sorazmerno veliko (*meteorjski roji*) in na videz izletavajo iz enega mesta (*radiant*). V resnici se gibljejo po vzporednih tirih; razhajanje poti je posledica perspektivnega gledanja.

**Zodiakalna svetloba.** Sonce je v ravnini Zemljinega tira obdano s tanko plastjo prašnih zrnec, ki odbijajo Sončevo svetlobo. Zato je pred Sončevim vzhodom ali po Sončevem zahodu videti *zodiakalno svetlobo*, ki se v obliki trikotnika dviguje nad horizont vzdolž ekliptike. Bolje je vidna v tropskih krajih, ker ekliptika seka horizont v večjem kotu. Jakost zodiakalne svetlobe variira.

**Polarni sij.** Delci, ki prihajajo s Sonca (Sončev veter) in ki jih privlači Zemljino magnetno polje, bombardirajo molekule zraka, jih ionizirajo in s tem vzbujajo šibko sevanje nočnega neba, ki zaradi tega nikoli ni povsem črno. Kadar pa je Sončev veter posebej močan (npr. ob Sončevih pegah), nastane *polarni sij* v obliki raznobarnih pramenov svetlobe. Polarni siji so pogostejši na večjih geografskih širinah, t.j. na področjih bližje poloma.

**Novc in supernove.** Včasih se zgodi, da se izsev neke zvezde nenadoma izredno (tudi do več 10000 krat) poveča zaradi eksplozije zvezdinega jedra. Povečani sij

## 11. KOLEDAR

takšne zvezde - *nove* - lahko traja nekaj dni. Zvezdo, ki se ji ob eksploziji poveča izsev več stotisočkrat, imenujemo *supernova*; lahko je vidna celo podnevi.

**Literatura:** Avsec - Prosen 1971; Aveni 1981; kometi in supernove v preteklosti: Hasegawa 1980; Clark - Stephenson 1977.

Koledar je pripomoček za merjenje časa in grupiranje dni, urejen na tak način, da omogoča reguliranje civilnega in religioznega življenja, uporaben pa je tudi v zgodovinskih in znanstvenih preučevanjih.

V zgodovini človeštva so bili in so še v rabi raznovrstni koledarji. Kljub razlikam med njimi je skoraj za vse značilno, da skušajo tako ali drugače uskladiti navidezno gibanje Sonca z gibanjem Lune. Ker je tropsko leto skoraj za četrtno dneva daljše od 365 dni, in ker ni preprosto komenzurabilno s sinodskim mesecem, so mnogi koledarski sistemi uvedli periodične interkalacije (vrinjanja) prestopnih dni ali mesecev. Nekateri koledarji so predvsem lunarni (npr. židovski, muslimanski), kar pomeni, da dolžina meseca kot časovnega razdelka leta dokaj natančno ustreza dolžini Lunine sinodske dobe. V nekaterih riguroznih lunarnih sistemih je bil začetek vsakega meseca določen s pojavom prvega krajca po mlaju; ker je ta pojav viden po Sončevem zahodu na zahodnem nebu, se je zaradi tega tudi dan uradno začel zvečer. V t.i. luni-solarnih koledarjih meseci običajno niso strogo vezani na dejanske lunacije, zato pa je tudi dolžina mesecev bolj ali manj arbitrarna (npr. 30 dni v starem Egiptu, neenako dolgi meseci v julijanskem in gregorijanskem koledarju, itd.). Na tem mestu si na kratko oglejmo samo funkcioniranje in zgodovino koledarja, ki je danes najbolj razširjen in ki se uporablja tudi v astronomiji.

Dokaj nenatančni starorimski koledar je po nasvetu aleksandrijskega astronoma Sosigena reformiral Julij Cezar. Ker je veljalo, da je dolžina tropskega leta 365.25 dni, naj bi 365 dnevom vsako četrto leto dodali 366. dan. **Julijanski koledar** je začel pravilno funkcionirati šele v Avgustovem času. Od 4. stoletja naprej je zgodovina tega koledarja močno povezana s cerkveno zgodovino.

Menih Dionizij Mali (*Dionysius Exiguus*) je v 6. stoletju izračunal, da je bil Kristus rojen leta 753 *ab urbe condita* (od ustanovitve Rima), in predlagal, da se štetje let začne s Kristusovim rojstvom (leto 754 AUC je torej postalo leto 1 po Kr., 1. januar tega leta pa začetek krščanske ere)<sup>1</sup>. V tem času so bile v rabi različne ere oz. začetki štetja let; Dionizijev predlog se je uveljavil v večjem delu Evrope šele po 11. stoletju.

Med poglavitnimi koledarskimi problemi je bil dolga

stoletja problem izračunavanja datuma Velike noči, ki naj bi po določbi Nicejskega koncila (l. 325) padla na prvo nedeljo po prvi polni Luni po pomladanskem enakonočju, katerega kanonični datum je postal 21. marec (*ekleziastični ekvinokcij*). Ker je bilo julijansko leto ( $365.25^d$ ) nekoliko daljše od pravega tropskega leta ( $365.2422^d$ ), je sčasoma postajala razlika med koledarskim in pravim ekvinokcijem vse bolj opazna, v zvezi s problemom Velike noči pa so povzročale veliko skrb diskrepance med pravimi in izračunanimi Luninimi menami. V 16. stoletju je pomladni ekvinokcij namesto na 21. marec padel na 11. marec; razlika je bila torej že 10 dni. Med raznimi predlogi za koledarsko reformo je papež Gregor XIII. izbral rešitev, ki sta jo predlagala astronom Clavius in Lilio. Februarja 1582 je s papeško bulo določil, da je 4. oktobru leta 1582 sledil takoj 15. oktober - dan pomladnega enakonočja je tako postal zopet 21. marec -, v naslednjih stoletjih pa naj bi napako julijanskega koledarja odpravljali z opuščanjem nekaterih prestopnih let. **Gregorijanski koledar** je praksi julijanskega koledarja, da so prestopna leta tista, ki so deljiva s 4, dodal pravilo, da leta, ki so deljiva s 100, niso prestopna, razen če so deljiva s 400; v vsakih 400 letih se torej izpuste 3 prestopna leta, zaradi česar je povprečna dolžina gregorijanskega leta  $365.2425$  dni<sup>2</sup>.

V julijanskem in gregorijanskem koledarju so se uporabljali in se še uporabljajo razni cikli let. *Metonski cikel* (19 let), torej obdobje, po katerem Lunine mene padejo zopet na iste datume v letu (gl. poglavje 7), je bil v julijanskem koledarju potreben pri izračunavanju datuma Velike noči. Položaj leta v tem ciklu je določen z zlatim številom (*numerus aureus*) od 1 do 19. *Sončev cikel* traja 28 let in označuje obdobje, po katerem se ponovi korelacija dni v tednu z datumi. V rabi pa je bil tudi 15-letni cikel *indikcije* (*indictio romana*), ki je temeljil na intervalih plačevanja davkov. Konec 16. stoletja je Francoz Joseph Justus Scaliger (*De emendatione temporum*, 1583) izračunal, da se kombinacija vseh treh ciklov ponovi vsakih 7980 let - to obdobje je po svojem očetu (Julius Caesar Scaliger) imenoval *julijanska perioda* - in da je začetek vseh ciklov sovpadal leta 4713 pr. n. št. Zato je to leto postavil kot začetek 1. julijanske periode, uvedel pa je tudi *julijansko štetje dni*, ki se še vedno uporablja v astronomiji. V tem sistemu se uporablja **julijanski datum** ali **dan julijanske periode**, ki pove,

koliko dni je preteklo od 1. januarja 4713 pr. n. št. *opolodne*<sup>3</sup>.

V sistemu štetja let, ki ga je uvedel Dionizij Mali in ki se še vedno uporablja, ni leta 0! Z namenom, da bi poenostavil astronomska in koledarska preračunavanja, pa je v 18. stoletju Francoz Jacques Cassini uvedel t. i. *astronomsko konvencijo* štetja let, s katero je uvedel leta z negativnim predznakom in leto 0, ki ga je izenačil z letom 1 pr. n. št. (753 AUC). Leto 2 pr. n. št. torej ustreza letu -1 v astronomski konvenciji. Če leto označimo z  $n$ , velja med zgodovinsko in astronomsko konvencijo štetja let naslednje razmerje:

$$(n + 1) \text{ pr. n. št.} = -n$$

Koledar je bistveni sestavni del *efemerid* ali tabel, ki navajajo vsakodnevne koordinate nebesnih teles in druge podatke. V astronomiji se uporabljajo datumi kot decimalna števila, ki natančneje določajo trenutek dneva v univerzalnem času (*astronomski datumi*). Ker se dan začenja opolnoči, je npr. poldne UT 1. januarja mogoče označiti z datumom januar 1.5. Polnoč (0:00h UT), s katero se začne 31. december (december 31.0), je mogoče izraziti tudi kot januar 0.0 naslednjega leta (to je začetek *astronomskega leta*). Decimalni deli dneva so običajno navedeni tudi v dnevih julijanske periode, le da se dan v tem sistemu štetja začenja opoldne UT, na kar je treba paziti pri vzporejanju datumov v julijanskem ali gregorijanskem koledarju z julijanskimi datumi ali dnevi julijanske periode (*JD*, *JDN* - *Julian date*, *Julian day number*). Npr. 1. januarja opoldne UT leta 4713 pr. n. št. v julijanskem koledarju je bil dan julijanske periode natanko 0:

$$\text{januar 1.5, -4712, jul. kol.} = \text{JD } 0.0$$

Dan julijanske periode 2448316.25 pa ustreza 28. februarju 1991 ob 18:00h UT v gregorijanskem koledarju:

$$\text{JD } 2448316.25 = \text{februar } 28.75, 1991, \text{ greg. kol.}$$

Julijansko štetje dni se v astronomiji še vedno uporablja, ker olajšuje preračunavanje datumov, na katere so ali bodo padli določeni astronomski fenomeni: ker so astronomski cikli izrazljivi s trajanjem v dnevih, julijansko štetje dni omogoča sorazmerno enostavno izračunavanje trenutkov nastopanja določenih astronomskih pojavov, tako za preteklost kot za prihodnost; trenutek, za kate-

rega imamo vse potrebne podatke in na katerem temelji tak izračun, se imenuje **epoha**. Julijansko štetje dni je tudi nepogrešljivo pri vzpostavljanju *koledarskih korelacij*, t.j. zvez med datumi različnih koledarskih sistemov. Če želimo ugotoviti, kateremu datumu v julijanskem ali gregorijanskem koledarju ustreza datum iz nekega drugega koledarja, moramo ta datum izraziti s številom dni, ki so pretekli od začetka štetja tega koledarja (za različne koledarje obstajajo različne formule); če vemo, kateremu dnevu julijanske periode ustreza ta začetek (če torej poznamo *korelacijsko konstanto*), lahko dan julijanske periode izračunamo tudi za datum, ki nas zanima, zatem pa tudi ustrezeni datum v julijanskem ali gregorijanskem koledarju, izražen v običajni obliki (formule za ta preračunavanja daje npr. Duffett-Smith 1981).

V efemeridah za preteklost se običajno uporablja julijanski koledar, ker so preračunavanja enostavnejša kot v gregorijanskem. Za določene potrebe pa je seveda smiselno, da julijanske datume pretvorimo v gregorijanske, tudi kadar gre za obdobja pred uvedbo gregorijanskega koledarja; v mnogih primerih so npr. deklinacije Sonca pomenljive samo, če jih "prevedemo" v gregorijanske datume, kajti gregorijanski koledar dovolj dolgo ohranja enako razmerje do tropskega leta (napaka 1 dneva se akumulira šele v več kot 3000 letih). *Pri konverziji datumov julijanskega koledarja v datume gregorijanskega in obratno moramo upoštevati, da oba koledarja sovpadata v 3. stoletju n. št., za druga obdobja pa je treba ugotoviti razliko na osnovi dejstva, da gregorijanski koledar v 400 letih izpusti tri prestopna leta julijanskega koledarja (gl. zgoraj)<sup>4</sup>.*

Če je predmet arheoastronomskega preučevanja družba, ki je imela koledar, ga moramo poznati, tudi če koledar ni specifični predmet raziskave. Karakteristike koledarja običajno odsevajo v astronomskih orientacijah. Zgovoren primer so mnoge starokrščanske in srednjeveške cerkve, ki so orientirane v smeri Sončevega vzhoda na dan svetnika-patrona cerkve. Te orientacije so bile določene na osnovi datumov julijanskega koledarja, zato moramo vsaj približno vedeti, kdaj je bila cerkev, katere orientacijo skušamo ovrednotiti, zgrajena, če hočemo ugotoviti, kateremu datumu v julijanskem koledarju je v tistem času ustrezal gregorijanski, izračunan na osnovi

azimuta (gl. poglavje 12). Poznavanje zgodovine krščanskih praznikov in odgovarjajočih datumov pa je pomembno ne le pri preučevanju krščanskega obdobja, marveč tudi z vidika prazgodovinskih orientacij in koledarjev, saj so bili nekateri osrednji krščanski prazniki postavljeni na pomembne datume predkrščanskega letnega cikla.

**Literatura:** *Encyclopaedia Britannica: Macropaedia*, s.v. "Calendar" (vol. 3), "Chronology" (vol. 4); Bickerman 1980; Ginzel 1906-1914; Parise 1982; Newton 1976; Neugebauer 1975; *Explanatory Supplement* 1974.

Opombe:

- 1 Pri tem izračunu se je Dionizij zmotil za nekaj let. Kristus je bil najbrž rojen 4 ali 5 let "pred Kristusom".
- 2 Leto 1600 je deljivo s 400 in je zato bilo prestopno, leta 1700, 1800 in 1900, ki bi po julijanskem koledarju bila prestopna, so bila navadna leta, leto 2000 pa bo zopet prestopno.
- 3 To je seveda datum, ki je rekonstruiran za obdobja pred resnično uvedbo julijanskega koledarja; gre za *proleptični* julijanski koledar. Prav tako se za določene namene uporablja proleptični gregorijanski koledar (gregorijanski datumi pred dejansko gregorijansko reformo leta 1582).
- 4 V 4. stoletju je npr. razlika 1 dan, v 5. stoletju je še vedno 1 dan, ker je leto 400 bilo prestopno, v 6. stoletju je razlika 2 dni itd.

## 12. MERJENJE, IZRAČUNAVANJE IN OVREDNOTENJE ORIENTACIJ

### 12.1. Meritve na terenu

Astronomsko natančna izmera orientacij je mogoča le z uporabo teodolita.

Najprej moramo določiti linijo, katere azimut želimo izmeriti. Če npr. merimo orientacijo neke stavbe, poskusimo izbrati zid, ki je najbolj ohranjen oz. takšen, da najbolj jasno določa usmerjenost stavbe. Kadar merimo restavrirane objekte, je treba najprej ugotoviti, kateri deli so ostali *in situ* in torej ohranjajo izvorno orientacijo. Pri slabo ohranjenih strukturah se je včasih težko odločiti, katera linija najbolj točno odraža orientacijo; v takšnih primerih izmerimo več možnih smeri in izračunamo povpreček, seveda pa moramo oceniti, kolikšno napako zaradi tega dopuščamo v rezultatu. Čim daljša bo linija, ki jo merimo - torej, čim bolj bo vizirana točka oddaljena od teodolita - tem bolj natančen in verodostojen bo rezultat (Aveni 1981); zato je npr. nemogoče izmeriti povsem natančne orientacije grobov (če ni kakšne grobne strukture, ki povsem jasno določa usmerjenost).

Ob liniji, katere azimut želimo izmeriti - npr. ob zanesljivo ohranjenem delu zidu - postavimo teodolit, ga niveliramo in izmerimo pravokotno razdaljo med merjeno linijo (zidom) in svinčnico, ki jo obesimo pod instrument. To razdaljo izmerimo od druge zanesljive in čim bolj oddaljene točke vzdolž merjene linije in jo označimo s trasirko ali z žebljem (gl. sl. 45). Točko viziramo s teodolitom in odčitamo horizontalni kot. Lahko pa vzdolž merjene linije izberemo več mest, od katerih izmerimo isto pravokotno razdaljo in zaznamujemo tako dobljene točke, odčitamo azimute in izračunamo povpreček.

Če smo na ta način vzporednico merjeni liniji zanesljivo določili, izmerimo višino horizonta v tej smeri. Če sta astronomsko zanimiva tako vzhodni kot zahodni horizont, izmerimo višino obeh (ker je razlika v smereh  $180^\circ$ , samo obrnemo tubus, ne da bi spreminjali horizontalni kot). Pri odčitavanju vertikalnih kotov moramo upoštevati, da nekateri teodoliti merijo višino nad astronomskim horizontom, drugi pa zenitno razdaljo, ki je višini komplementarna!

Zatem obrnemo tubus teodolita proti Soncu. V preciznih geodetskih meritvah se običajno meri pozicija zvezd, toda rezultati, dobljeni na osnovi izmere Sonca, so za

potrebe arheoastronomije več kot dovolj natančni: z natančnim delom napaka ne bo večja kot  $1'$  (1 ločna minuta). *Nikoli ne glejmo Sonca direktno skozi okular*, razen če je opremljen s posebnim zatemnjenim steklom za te namene. Če te priprave nimamo, opazujemo Sončevo sliko na belem papirju, ki ga držimo v razdalji 10-15 cm pred okularjem. Tubus premikamo toliko časa, da "ujamemo" Sonce. Izostrimo tako projekcijo Sonca kot merilne mreže, s pomočjo katere skušamo centrirati Sonce, torej dobiti sečišče srednje vertikalne in srednje horizontalne niti čim bolj natančno v center Sončevega diska. Ko se nam to posreči, zabeležimo čas (ali damo znak pomočniku) do sekunde natančno<sup>1</sup>. Zatem odčitamo horizontalni in vertikalni kot.

### 12.2. Izračun azimuta

Zdaj, ko imamo čas opazovanja oz. meritve, lahko po znanih formulah izračunamo, kakšne so bile v tem trenutku in na mestu meritve prave horizontske koordinate Sonca.

Najprej izračunamo lokalni časovni kot Sonca  $LHA_0$  (gl. poglavje 4, formula 6):

$$LHA_0 = 15(UT + EqT - 12) + \lambda \quad (1)$$

Enačba velja za katerikoli kraj na Zemlji, če ima *geografska dolžina* ( $\lambda$ ) *vzhodno od Greenwicha pozitivni predznak*, *dolžina zahodno od Greenwicha pa negativni predznak*.<sup>2</sup>  $EqT$  je časovna enačba,  $UT$  pa trenutek meritve v univerzalnem času. Tega dobimo tako, da lokalnemu pasovnemu času, zabeleženemu ob meritvi, odštejemo ali prištejemo potrebno razliko. Pri nas velja srednjeevropski čas, ki mu je treba odšteti 1 uro (2 uri, če gre za poletni čas!), da dobimo  $UT$ .

V zadnjem času efemeride običajno ne dajejo več vrednosti časovne enačbe  $EqT$ , temveč čas prehoda Sonca čez greenwiški meridian. Gre sicer za t.i. efemeridni meridian, ki se malenkostno razlikuje od pravega greenwiškega meridiana, in za terestrični dinamični čas ( $TDT$ ), ki se nekoliko razlikuje od univerzalnega časa  $UT$  (ali  $GMT$ ). Vendar lahko obe razliki v naših računih povsem zanemarimo. Vrednost  $ETr$  (*Ephemeris Transit*), ki jo najdemo v efemeridah ( $TDT$ -čas prehoda čez efemeridni meridian Greenwicha), vzamemo kot  $UT$



prehoda čez pravi greenwiški meridian. V ETr je torej zaobsežena vrednost časovne enačbe za opoldne UT določenega dne; za čas meritve pa dobimo to vrednost z interpolacijo:

$$ETr = ETr_1 - \Delta ETr \quad (2)$$

$$\Delta ETr = \frac{ETr_1 - ETr_2}{24} (UT - ETr_1) \quad (3)$$

$ETr_1$  je čas prehoda Sonca čez meridian na dan meritve,  $ETr_2$  čas prehoda naslednji dan (obe vrednosti dobimo v efemeridah za tekoče leto),  $UT$  pa čas meritve v univerzalnem času. Da bo v enačbi (1) mogoče uporabiti navedene podatke, jo moramo preoblikovati:

$$LHA_{\odot} = 15(UT - ETr) + \lambda \quad (4)$$

$\Delta ETr$  izražen v enačbi (3) vstavimo v enačbo (2), tako izražen ETr pa vstavimo v enačbo (4) in dobimo

$$LHA_{\odot} = 15((UT - ETr_1) + \frac{ETr_1 - ETr_2}{24} (UT - ETr_1)) + \lambda$$

in, po poenostavitvi:

$$LHA_{\odot} = 15(UT - ETr_1) \left( \frac{ETr_1 - ETr_2}{24} + 1 \right) + \lambda \quad (5)$$

Naslednji korak je izračun višine Sonca v trenutku meritve. Čeprav lahko njegov azimut izračunamo direktno, po formuli

$$\cot A_{\odot} = \sin \varphi \cot LHA_{\odot} - \frac{\cos \varphi \tan \delta_{\odot}}{\sin LHA_{\odot}},$$

je priporočljivo najprej izračunati višino, ker nam ta rezultat predstavlja prvo kontrolo natančnosti meritve in pravilnosti izračuna, saj smo višino Sonca tudi izmerili; pri natančnem delu razlika med izmerjeno in izračunano višino Sonca ne sme presegati 1' (eno ločno minuto), razen v primeru majhnih višin: tedaj bo izmerjena višina nekoliko večja zaradi atmosfere refrakcije (gl. spodaj). Iz astronomskega trikotnika izrazimo višino (gl. poglavje 2.2.3., sl. 13)

$$h_{\odot} = \arcsin(\sin \varphi \sin \delta_{\odot} + \cos \varphi \cos \delta_{\odot} \cos LHA_{\odot}), \quad (6)$$

pri čemer je  $\varphi$  zemljepisna širina kraja meritve,  $\delta_{\odot}$  pa deklinacija Sonca. Le-to dobimo zopet iz efemerid, ki običajno dajejo deklinacijo za 0h TDT, z interpolacijo:

$$\Delta \delta_{\odot} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{24} UT$$

$$\delta_{\odot} = \delta_1 - \Delta \delta_{\odot}$$

$\delta_1$  je deklinacija Sonca na dan meritve ob 0<sup>h</sup> in  $\delta_2$  naslednjega dne,  $UT$  pa čas meritve (univerzalni čas), za katerega izračunamo deklinacijo Sonca  $\delta_{\odot}$ , ki jo vstavimo v enačbo (6) in izračunamo višino Sonca  $h_{\odot}$ . Zdaj vstavimo izračunano višino Sonca v enačbo za izračun azimuta Sonca ( $A_{\odot}$ ):

$$A_{\odot}' = \arccos \frac{\sin \delta_{\odot} - \sin \varphi \sin h_{\odot}}{\cos \varphi \cos h_{\odot}} \quad (7)$$

Azimut Sonca je enak  $A_{\odot}'$ , če je  $LHA_{\odot}$  večji od 180°, sicer je treba  $A_{\odot}'$  odšteti od 360°. To lahko izrazimo matematično:

$$\begin{aligned} \sin LHA_{\odot} < 0 &\Rightarrow A_{\odot} = A_{\odot}' \\ \sin LHA_{\odot} > 0 &\Rightarrow A_{\odot} = 360 - A_{\odot}' \end{aligned}$$

Razliko med pravim oz. izračunanim ( $A_{\odot}$ ) in odčitanim azimutom Sonca ( $A_{\odot}^*$ ) prištejemo odčitnemu azimutu merjene linije ( $A^*$ ) in dobimo njen pravi oz. astronomski azimut ( $A$ ):

$$A' = A^* + A_{\odot} - A_{\odot}^*$$

Če je rezultat večji od 360°/negativen, odštejemo/prištejemo 360°:

$$\begin{aligned} A' > 360 &\Rightarrow A = A' - 360 \\ A' < 0 &\Rightarrow A = A' + 360 \end{aligned}$$

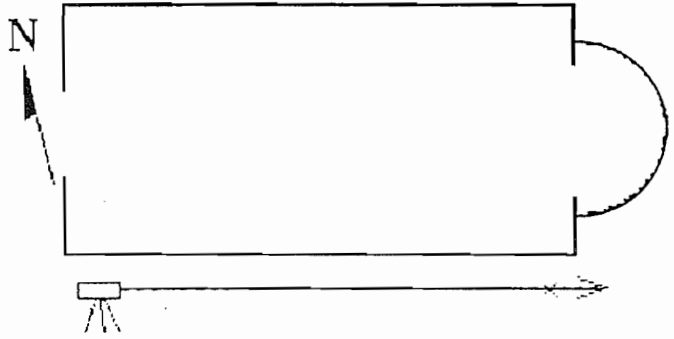
### 12.3. Meritve s kompasom

Kompas ima v arheoastronomskem delu omejeno uporabnost. Magnetna igla kaže smer proti *magnetnemu severu* oz. proti magnetnemu severnemu polu, ki se ne pokriva z geografskim severnim polom. odklon magnetne igle od geografskega ali astronomskega severa se imenuje *magnetna deklinacija*, ki je v različnih krajih Zemlje različna. Ker se lega magnetnega pola s časom spreminja, se polagoma spreminja tudi lokalna magnetna deklinacija. Da bi magnetne azimute popravili v astronomske azimute moramo torej poznati trenutno magnetno deklinacijo področja, v katerem delamo. Te podatke lahko dobimo sami: ko merimo orientacije s teodolitom, jih izmerimo še s kompasom; razlika nam da vrednost magnetne deklinacije (v letu 1990 je bila v Sloveniji pribl. 2°10' vzhodno od pravega severa, torej je treba

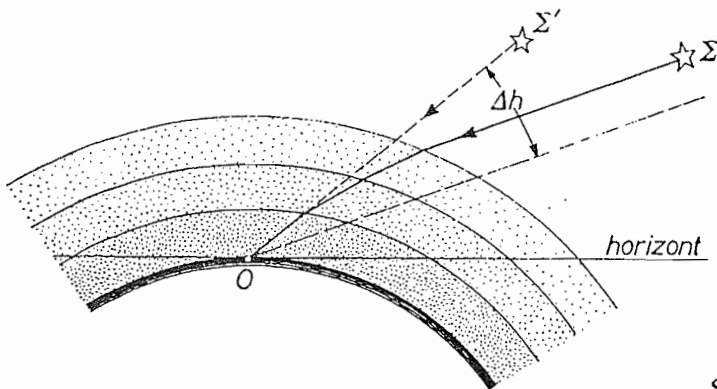
magnetnemu azimutu to vrednost prišteti, da dobimo astronomski azimut).

Magnetni azimuti niso nikoli povsem zanesljivi zaradi možnih nepravilnosti v lokalnem magnetnem polju. Zlasti bližina kovinskih konstrukcij, geoloških karakteristik terena ipd. lahko poveča napako azimutov, odčitanih na kompasu, prav tako povečana Sončeva aktivnost. Razen tega je redkokateri kompas mogoče čitati bolj natančno kot s toleranco  $\pm 1/2^\circ$ .

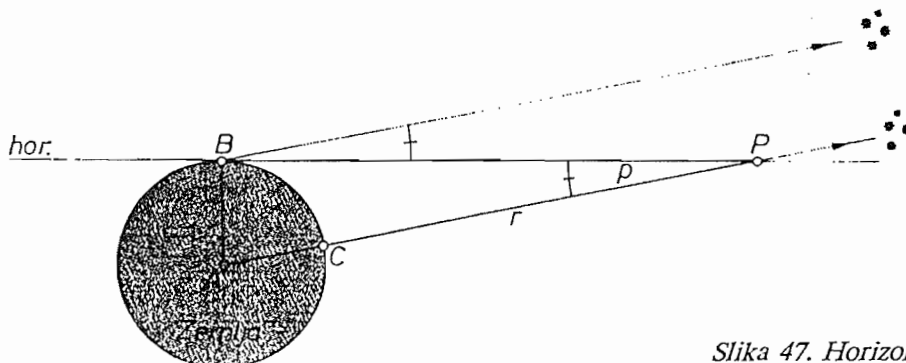
Glede na vsa ta dejstva je jasno, da magnetni azimuti, tudi če jih korigiramo, upoštevajoč magnetno deklinacijo, nikoli niso povsem zanesljivi, sploh pa ne morejo biti dovolj natančni. Vendar je res, da nam lahko kompas marsikdaj olajša delo, saj lahko na hiter način ugotovimo, katere orientacije so "sumljive" in bi jih bilo treba natančneje izmeriti.



Slika 45. Primer skice, ki jo naredimo ob merjenju orientacije.



Slika 46. Atmosferska refrakcija;  $\Sigma$  - prava lega nebesnega telesa;  $\Sigma'$  - navidezna lega;  $O$  - opazovališče;  $\Delta h$  - refrakcijski kot (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 27).



Slika 47. Horizontna paralaksa ( $p$ ) nebesnega telesa ( $P$ ) (iz: Avsec - Prosen 1971: sl. 48b).

#### 12.4. Izračun deklinacije

Da bi ugotovili, kateremu astronomskemu pojavu ustreza izmerjena orientacija, moramo izračunati ustrezno deklinacijo; iz razmerij v astronomskem trikotniku dobimo (gl. poglavje 2.2.3.)

$$\delta = \arcsin(\sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos A) \quad (8)$$

kjer je  $\delta$  deklinacija,  $\varphi$  zemljepisna širina opazovališča,  $A$  azimut in  $h$  višina nad astronomskim horizontom oz. vodoravno ravnino. Vrednost  $h$  ni enaka izmerjeni višini horizonta  $H$ ; ko je nebesno telo na horizontu (ko vzhaja ali zahaja), ima *navidezno višino*  $H$ , ki pa se od prave višine  $h$  razlikuje zaradi atmosferske refrakcije in paralakse.

Zaradi **atmosferske refrakcije** vidimo nebesno telo više kot je v resnici. Ko svetloba prihaja z nebesnega telesa na Zemljo, se ob atmosferi lomi (sl. 46). Čim manjša je višina, tem večji je refrakcijski kot. Formule za izračun tega kota sicer obstajajo, vendar ne veljajo za majhne višine, ki so v arheoastronomskem delu najbolj pomembne. Za te višine veljajo empirično ugotovljene vrednosti. Tabela 12.4.1. navaja vrednosti kota atmosferske refrakcije  $r$  za navidezne višine  $H$  (oboje v decimalnih stopinjah) od 0 do 10 stopinj (pri večjih višinah postane  $r$  zanemarljiv). Pravo višino  $h$  dobimo tako, da refrakcijski kot  $r$  odštejemo od navidezne oz. izmerjene višine:

$$h = H - r$$

Vrednosti  $r$ , navedene v Tabeli 12.4.1., veljajo za nadmorsko višino 0 m, ob temperaturi 10°C in zračnem pritisku 1002 mb. V drugačnih razmerah se faktor  $r$  neznatno spremeni, vendar so takšne korekture potrebne, kadar želimo zelo natančne rezultate (Hawkins 1968; 1975; Mueller 1969:106ss).

Navidezno višino  $H$  je treba v nekaterih primerih popraviti tudi zaradi **paralakse**. To je kot, ki nastane zaradi spremembe smeri, v kateri vidimo nebesno telo, ker se je premaknilo opazovališče. Če gledamo neko ne preveč oddaljeno nebesno telo, ko vzhaja - ko je torej na horizontu -, ga vidimo na drugačnem zvezdnem ozadju kot kasneje, ko kulminira ali ko je v zenitu - tudi če se samo nebesno telo v tem času ni premaknilo. Z drugimi besedami (gl. sl. 47), če sta dva opazovalca na Zemlji tako postavljena, da eden vidi določeno nebesno telo na hori-

Tabela 12.4.1.

H	r
-0.3	0.66
0.0	0.58
0.1	0.56
0.2	0.54
0.3	0.53
0.4	0.51
0.5	0.49
0.6	0.47
0.7	0.45
0.8	0.44
0.9	0.43
1.0	0.41
1.5	0.35
2.0	0.30
2.5	0.26
3.0	0.24
4.0	0.20
5.0	0.17
6.0	0.14
7.0	0.12
8.0	0.11
9.0	0.09
10.0	0.08

zontu (B), drugi pa istočasno v zenitu (C), se bodo navidezne nebesne koordinate (ekvatorske in ekliptične) tega telesa, izmerjene v B in C, nekoliko razlikovale; kot, ki ga objemata smeri od obeh opazovalcev proti nebesnemu telesu, je *horizontska paralaksa* tega telesa. Seveda imamo s paralakso opraviti ne le, kadar je nebesno telo na horizontu, temveč tudi, kadar je njegova višina večja od 0°. Paralakse ni, oz. je enaka 0, kadar je nebesno telo točno v zenitu; tedaj ga vidimo tako, kot če bi ga gledali iz Zemljinega središča. Ker se velikost paralakse spreminja tako s krajem kot s časom opazovanja, je seveda razumljivo, da v efemeridah najdemo samo *geocentrične koordinate* nebesnih teles.

Horizontska paralaksa Sonca je manj kot 9" in jo v arheoastronomiji lahko zanemarimo; torej velja isto tudi za vsa bolj oddaljena nebesna telesa. Upoštevanja vredna pa je Lunina paralaksa, ki znaša na horizontu ( $H = 0$ ) 57' ali 0.951°, za druge višine pa velja, da je paralaksa

$$p = \arcsin(\cos h_r \sin 0.951),$$

kjer je  $h_r$  višina, popravljena zaradi refrakcije ( $h_r = H - r$ ). Tej višini je treba paralakso  $p$  *prišteti*, saj zaradi tega pojava vidimo Luno *nizje* kot bi jo videli iz Zemljinega središča. Za Luno torej velja, da je njena prava ali geocentrična višina

$$h = H - r + p$$

Šele tako popravljeno višino  $h$  moramo vstaviti v enačbo (8), če računamo, kateri deklinaciji *Lune* ustreza izmerjeni azimut.

Če računamo deklinacije, ki ustrezajo izmerjenemu azimutu in višini horizonta, za Sonce ali Luno, veljajo navedene formule za njuno središče, torej za trenutek, ko horizont razpolavlja Sončev ali Lunin disk. Lahko pa se orientacija nanaša na

- prvi/zadnji Sončev ali Lunin žarek;
- trenutek, ko je Sonce ali Luna tangentno na horizontu.

Za takšne primere moramo upoštevati še Sončev ali Lunin navidezni polmer  $q$ . Srednji Sončev polmer je  $0.267^\circ$  in Lunin  $0.259^\circ$ .<sup>3</sup> V primeru a) je višina  $h$ , ki jo moramo vstaviti v enačbo (8), enaka

$$h = H - r + p - q \text{ (prvi/zadnji žarek)}$$

in v primeru b)

$$h = H - r + p + q \text{ (tangentno na horizontu)}$$

Če sumimo, da se utegne izmerjena orientacija nanašati na kakšno zvezdo, moramo upoštevati še en atmosferski pojav, namreč **ekstinkcijo**, zaradi katere večina zvezd ni vidna na zelo majhnih višinah, ker njihovo svetlobo atmosfera absorbira. Približno velja, da je ekstinkcijski kot v stopinjah enak magnitudi zvezde; zvezda magnitude 1 ima torej ekstinkcijski kot ca.  $1^\circ$ , kar pomeni, da se ob vzhajanju pojavi (ali ob zahajanju izgine), ko je približno  $1^\circ$  visoko nad astronomskim horizontom. Ekstinkcijski kot je treba upoštevati samo, kadar je večji kot izmerjena višina horizonta, katero v tem primeru nadomesti - dejstvo, da se zvezda, na katero se morda nanaša orientacija, pojavi/izgine na višini ekstinkcijskega kota, ima pač povsem enak vizualni učinek kot vzhajanje/zahajanje na horizontu z isto višino. Najsvetlejše zvezde (z negativno magnitudo) nimajo ekstinkcijskega kota<sup>4</sup>.

## 12.5. Interpretacija orientacij

Eventualni astronomski pomen določene orientacije lahko skušamo ugotoviti šele potem, ko smo po pravkar opisanem postopku izračunali ustrezno deklinacijo.

Najmanj pogoste so orientacije proti **zvezdam**, predvsem pa je zelo težko dokazati njihovo namernost. Z nekaj truda lahko namreč za prav vsako orientacijo ugotovimo, da ustreza vzhajalni ali zahajalni točki kakšne zvezde, seveda pa to še ne pomeni, da je usmerjenost proti tej zvezdi res bila namerna. Samo če

- imamo statistično pomenljivo število orientacij, ki ustrezajo deklinaciji določene zvezde, in če
- ne najdemo bolj smiselne ali verjetne interpretacije (Sonce, Luna), ali če
- imamo podatke o posebnem pomenu določene zvezde pri ljudstvu, ki ga preučujemo (npr. zvezde Sirius v starem Egiptu),

lahko domnevamo, da gre za namerno orientacijo proti tej zvezdi. Verjetnost hipoteze lahko povečamo, če lahko pomen zvezde pojasnimo. Npr. v Egiptu je bil Sirius pomemben, ker so njegovi heliakalni vzhodi oznažali nastop Nilovih poplav, ki so bile vitalnega pomena za poljedelstvo; podoben pomen so imeli Gostosevci (Plejade) v Mezoameriki, ker heliakalni zahod in vzhod tega asterizma približno sovpadata z začetkom deževne dobe, ta pa pogojuje setev koruze.

Kateri zvezdi ustreza deklinacija, izračunana iz azimuta oz. orientacije, ki jo skušamo interpretirati, ugotovimo v tabelah, ki dajejo koordinate zvezd za preteklost (Hawkins 1968; Meeus 1983). Ker se zaradi precesije te koordinate spreminjajo, moramo upoštevati datacijo objekta, katerega orientacijo preučujemo.

Če je izmerjeni azimut znotraj kota, ki ga opiše **Sonce** v letnem gibanju po horizontu, je verjetno, da se orientacija nanaša na to nebesno telo, saj je nedvomno najpomembnejše. V tem primeru moramo ugotoviti, katerim datumom ustreza izračunana deklinacija. Ta podatek najdemo v efemeridah za Sonce za katerokoli leto, upoštevati pa moramo, da se zaradi spreminjanja naklona Zemljine osi spreminja tudi vrednost skrajnih deklinacij ob solsticijih. Danes je odklon Zemljine osi od pravokotnice na ravnino ekliptike  $23^\circ 26' 26''$  ali  $23.44^\circ$ ; torej

je maksimalna/minimalna deklinacija Sonca  $\pm 23.44^\circ$  (ob poletnem in zimskem solsticiju); v preteklosti pa so bile te vrednosti takšne, kot jih prikazuje Tabela 12.5.1.

Tabela 12.5.1. Naklon Zemljine osi  $\varepsilon$  (ekstremne deklinacije Sonca) v zadnjih nekaj tisočletjih

leto	$\varepsilon (\pm \delta_{\text{okt}})$
-4000	24.112
-3500	24.072
-3000	24.027
-2500	23.979
-2000	23.928
-1500	23.873
-1000	23.816
- 500	23.757
0	23.695
500	23.633
1000	23.568
1500	23.505

Če želimo zelo natančne datume določenih deklinacij Sonca v preteklosti, moramo uporabiti efemeride, kakršne so npr. Tuckermanove (1962; 1964).

Najbolj karakteristične točke Sončeve letne poti po vzhodnem in zahodnem horizontu so solsticijske (ekstremne) in ekvinokcijske. Sicer pa so v različnih kulturah pomembni tudi razni drugi datumi, povezani s klimatskimi spremembami, poljedelskim ciklusom itd., lahko pa imajo povsem koledarsko-religiozni pomen; mnoge srednjeveške cerkve so npr. orientirane proti točki na horizontu, kjer je vzhajalo Sonce na dan svetnika-patrona cerkve (Guzsik 1978).

Lahko pa se orientacije nanašajo tudi na *Luno*, namreč na njene velike in male ekstreme (gl. poglavje 7). V tem primeru mora orientacija ustrezati deklinaciji  $\pm(\varepsilon + i)$  (veliki ekstremi) ali  $\pm(\varepsilon - i)$  (mali ekstremi). Torej moramo tudi v teh primerih upoštevati sekularne spremembe v naklonu Zemljine osi (gl. zgoraj); naklon Lunine orbite  $i$  ( $5^\circ 09'$ ) je sorazmerno konstanten. Lunarne orientacije so pogoste v megalitih Zahodne Evrope.

Zelo redke so orientacije proti ekstremom gibanja pla-

netov po horizontu. Na možnost, da je vpleten kak planet, lahko pomislimo, če nam orientacije dajejo deklinacije, ki so vselej za isto vrednost (nekaj stopinj) večje, kot jih ima Sonce ob solsticijih. Ekstremne deklinacije planetov za določena obdobja dobimo iz efemerid (Tuckerman 1962; 1964).

**Literatura:** Aveni 1980; 1981; Thom 1971; Hawkins 1968. O uporabi efemerid gl.: *Explanatory Supplement* 1974.

Opombe:

- 1 Če ura ni točna, skušamo čimprej ugotoviti, kakšno napako je imela ob meritvi. Dovolj natančen je točen čas, ki ga posreduje radio ali televizija.
- 2 V obratnem primeru moramo geografsko dolžino v enačbi odšteti. O predznaku vzhodne/zahodne geografske dolžine ni enotnega dogovora.
- 3 To so srednje vrednosti, kajti navidezni polmer Sonca in Lune malenkostno variira, saj je odvisen od njune oddaljenosti od Zemlje.
- 4 Vse navedene korekture višine (refrakcija, paralaksa itd.) moramo upoštevati tudi, če računamo, kateremu azimutu ustreza dana deklinacija, če je torej problem obraten. V tem primeru uporabimo formulo (7), ki nam da azimut na vzhodu (od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ ); če nas zanima azimut proti zahodu, moramo rezultat odšteti od  $360^\circ$ .

# DODATEK

## (najpomembnejše formule)

**Definicije trigonometričnih funkcij** (a in b sta kateti pravokotnega trikotnika, c je hipotenuza,  $\alpha$  in  $\beta$  sta kota nasproti a in b):

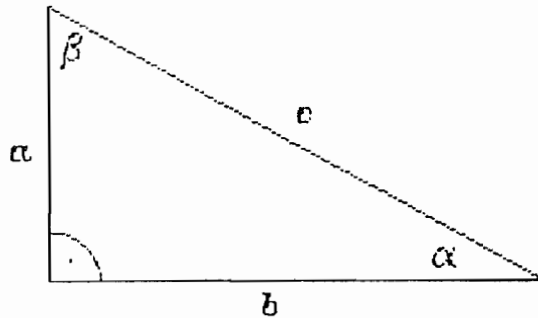
$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \cos \beta$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} = \sin \beta$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \cot \beta$$

$$\cot \alpha = \frac{b}{a} = \tan \beta$$

$$\sec \alpha = \frac{c}{a} = \frac{1}{\sin \alpha}$$



### Inverzne funkcije:

$$\sin \alpha = x \Rightarrow \alpha = \arcsin x$$

$$\cos \alpha = x \Rightarrow \alpha = \arccos x$$

$$\tan \alpha = x \Rightarrow \alpha = \arctan x$$

$$\cot \alpha = x \Rightarrow \alpha = \text{arc cot } x$$

### Osnovna razmerja:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\tan \alpha \cot \alpha = 1$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

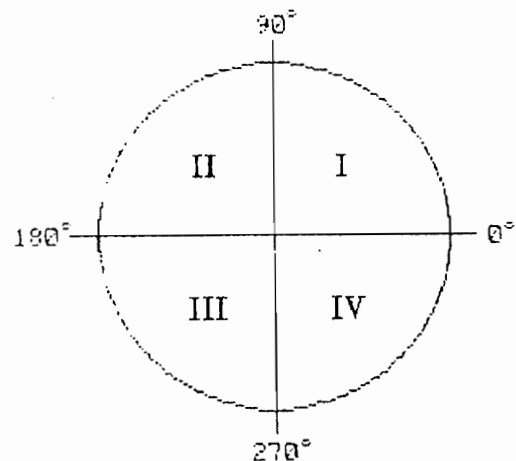
$$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\sin (90 - \alpha) = \cos \alpha$$

$$\cos (90 - \alpha) = \sin \alpha$$

### Predznaki funkcij po kvadrantih:

	sin	cos	tan	cot
I	+	+	+	+
II	+	-	-	-
III	-	-	+	+
IV	-	+	-	-



**Formule za plane trikotnike** (a, b in c so stranice,  $\alpha$ ,  $\beta$  in  $\gamma$  nasproti ležeči koti):

*Izrek o sinusih:*

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

*Izrek o kosinusih:*

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 bc \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 ab \cos \gamma$$

**Formule za sferične trikotnike** (a, b in c so katete, A, B in C nasproti ležeči koti):

*Izrek o sinusih:*

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

*Izrek o kosinusih za stranice:*

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

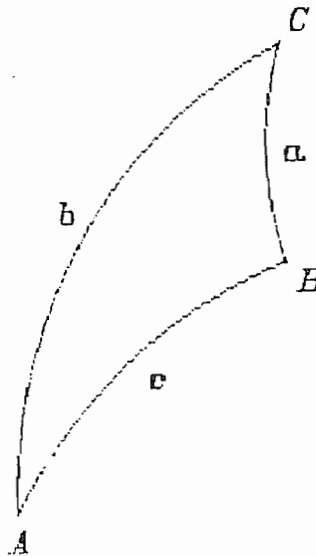
$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

*Izrek o kosinusih za kote:*

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$$

$$\cos B = -\cos A \cos C + \sin A \sin C \cos b$$

$$\cos C = -\cos A \cos B + \sin A \sin B \cos c$$



---



---

# BIBLIOGRAFIJA

- ALLEN, Richard Hinckley  
1963 *Star names: their lore and meaning*. New York: Dover (1st ed.: 1899).
- Astronomical Almanac*  
1989 *The astronomical almanac for the year 1990*. Washington: U.S. Government Printing Office - London: Her Majesty's Stationery Office.
- AVENI, Anthony F.  
1972 Astronomical tables intended for use in astro-archaeological studies. *American Antiquity* 37(4):531-540.  
1975 ed., *Archaeoastronomy in pre-Columbian America*. Austin: University of Texas Press.  
1980 *Skywatchers of ancient Mexico*. Austin: University of Texas Press.  
1981 Archaeoastronomy. In: Michael B. Schiffer, ed., *Advances in archaeological method and theory, vol. 4*, New York: Academic Press, pp. 1-77.  
1989 Introduction: whither archaeoastronomy?. In: A. F. Aveni, ed., *World archaeoastronomy*, Cambridge University Press, pp. 3-12.
- AVSEC, France - Marijan PROSEN  
1971 *Astronomija za 4. razred gimnazije*. Ljubljana: DZS
- BAITY, Elizabeth Chesley  
1973 Archaeoastronomy and ethnoastronomy so far. *Current Anthropology* 14(4):389-449.
- BARLAI, Katalin  
1980 On the orientation of graves in prehistoric cemeteries. *Archaeoastronomy: The Bulletin of the Center for Archaeoastronomy* 3, No.4:29-32, College Park, MD.
- BICKERMAN, E. J.  
1980 *Chronology of the ancient world*, 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press (1st ed.: 1968).
- BRECHER, Kenneth - Michael FEIRTAG  
1979 *Astronomy of the ancients*. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology.
- CARLSON, John B.  
1979 Archaeoastronomy - the scope and implications in interaction with other disciplines. *Archaeoastronomy: The Bulletin of the Center for Archaeoastronomy* 2, No.2:7-9, College Park, MD.
- CLARK, D. H. - F. R. STEPHENSON  
1977 *The historical supernovae*. Oxford: Pergamon Press.
- DICKS, D. R.  
1985 *Early Greek astronomy to Aristotle*. Ithaca: Cornell University Press (1st publ.: 1970).
- DUFFETT-SMITH, Peter  
1981 *Practical astronomy with your calculator*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press (1st ed.: 1979).
- ELIADE, Mircea  
1964 *Traité d'histoire des religions*. Paris: Payot.
- Explanatory Supplement*  
1974 *Explanatory supplement to the Astronomical ephemeris and the American ephemeris and nautical almanac*, 3rd impression (with amendments). London: Her Majesty's Stationery Office (1st publ.: 1961).
- GIBBS, Sharon L.  
1979 Archaeoastronomy and the history of astronomy. *Archaeoastronomy: The Bulletin of the Center for Archaeoastronomy* 2, No.2:9s, College Park, MD.
- GINGERICH, Owen  
1989 Reflections on the role of archaeoastronomy in the history of astronomy. In: A. F. Aveni, ed., *World archaeoastronomy*, Cambridge University Press, pp. 38-44.
- GINZEL, F. K.  
1906-1914 *Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie: Das Zeitrechnungswesen der Völker*, 3 zv. Leipzig: J. C. Hinrichs'sche Buchhandlung.
- GOLDSTINE, Herman H.  
1973 *New and full moons: 1001 BC to AD 1651*. Memoirs of the American Philosophical Society 94, Philadelphia.
- GUZSIK, T.  
1978 *Sol aequinoctialis* - Zur Frage der äquinoktialen
-



- Ostung im Mittelalter. *Periodica Polytechnica: Architecture* 22, No. 3-4:191-213, Budapest.
- HASEGAWA, Ichiro  
1980 Catalogue of ancient and naked-eye comets. *Vistas in Astronomy* 24:59-102.
- HAWKINS, Gerald S.  
1965 *Stonehenge decoded*. New York: Delta-Dell.  
1968 Astro-archaeology. *Vistas in Astronomy* 10:45-88.  
1975 Astroarchaeology: the unwritten evidence. In: Aveni 1975:131-162.
- HEGGIE, D. C.  
1982 ed., *Archaeoastronomy in the Old World*. Cambridge University Press.
- HLAD, Oldrich - František HOVORKA - Pavla POLECHOVA  
1989 *Karti severnega in južnega neba za epoho 2000,0* (prev. P. Ranzinger). Presekova knjižnica 31, Ljubljana.
- ILEŠIČ, Svetozar  
1970 *Obča geografija*. Ljubljana: Mladinska knjiga.
- IWANISZEWSKI, Stanislaw  
1987 Arqueoastronomía y ciencia. *Antropología y Tècnica* 2:119-137, México.  
1989 Exploring some anthropological theoretical foundations for archaeoastronomy. In: A. F. Aveni, ed., *World archaeoastronomy*, Cambridge University Press, pp. 27-37.
- KRUPP, E. C.  
1977 ed., *In search of ancient astronomies*. New York: Doubleday & Co.  
1983 *Echoes of the ancient skies: The astronomy of lost civilizations*. New York: Harper & Row.
- LE BOEUFFLE, André  
1977 *Les noms latins d'astres et de constellations*. Paris: Société d'Édition "Les Belles Lettres".
- MATIČETOV, Milko  
1972 Koroško zvezdno ime "Škopnjekovo gnezdo". *Traditiones* 1:53-64.  
1973 Zvezdna imena in izročila o zvezdah med Sloven-  
ci. *Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike* 2:43-90.
- McCLUSKEY, Stephen C.  
1983 Maya observations of very long periods of Venus. *Journal for the History of Astronomy* 14:92-101.
- McLAUGHLIN, Dean B.  
1961 *Introduction to astronomy*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- MEEUS, Jean  
1983 *Astronomical tables of the Sun, Moon, and planets*. Richmond: Willmann-Bell, Inc.
- MORRISON, L. V.  
1980 On the analysis of megalithic lunar sightlines in Scotland. *Archaeoastronomy* 2 (Supplement to *Journal for the History of Astronomy* 11): S65-S77.
- MUELLER, Ivan I.  
1969 *Spherical and practical astronomy as applied to geodesy*. New York: Frederick Ungar Publ. Co.
- NEUGEBAUER, Otto  
1975 *A history of ancient mathematical astronomy*. New York - Heidelberg - Berlin: Springer-Verlag.
- NEWTON, Robert R.  
1976 *Ancient planetary observations and the validity of Ephemeris time*. Baltimore - London: The John Hopkins University Press.
- OPPOLZER, Th. Ritter von  
1887 *Canon der Finsternisse*. Wien: Kaiserliche Akademie der Wissenschaften.
- PARISE, Frank  
1982 ed., *The book of calendars*. New York: Facts on File.
- SCHAEFER, Bradley E.  
1987 Heliacal rise phenomena. *Archaeoastronomy* 11 (Supplement to *Journal for the History of Astronomy* 18): S19-S33.
- ŠKERLJ, Božo  
1952 Orientacija grobov v nekaterih srednjeveških nekropolah Slovenije. *Arheološki Vestnik* 3(1):108-136.

---

THOM, Alexander

1971 *Megalithic lunar observatories*. Oxford: Clarendon Press.

TUCKERMAN, Bryant

1962 *Planetary, lunar, and solar positions: 601 B.C. to A.D. 1*. Memoirs of the American Philosophical Society 56, Philadelphia.

1964 *Planetary, lunar, and solar positions: A.D. 2 to A.D. 1649*. Memoirs of the American Philosophical Society 59, Philadelphia.

WAERDEN, Bartel L. van der

1974 *Science awaking II: The birth of astronomy*. Leyden: Noordhoff International Publishing - New York: Oxford University Press.

WILLIAMSON, Ray A.

1981 ed., *Archaeoastronomy in the Americas*. Los Altos, CA: Ballena Press - College Park, MD: The Center for Archaeoastronomy.

WOOLARD, Edgar W. - Gerald M. CLEMENCE

1966 *Spherical astronomy*. New York - London: Academic Press.

---

