

Urednica
mr. BLAŽENKA VUK

Recenzenti
dr. VLADIS VUJNOVIĆ
prof. dr. KREŠIMIR BEZIĆ
kap. RATKO RADULIĆ

Grafički urednik
ŽELJKO BRNETIĆ

Lektorica
ILIJANA MILENKOVIĆ

Naslovna stranica
IRA PAYER

Korektor
DAVOR SUŠILO

Nakon izvješća Ivana Turkovića, Ministarstvo prosvjete i športa odobrilo je uporabu ovog udžbenika u srednjim pomorskim školama, Rješenjem 602-09/94-01-14 od 2. siječnja 1995.

Nacionalna i sveučilišna biblioteka, Zagreb
CIP - Katalogizacija u publikaciji

UDK 372.852(075.3)

KLARIN, Maksim

Astronomska navigacija : za III.
razred srednjih pomorskih škola / M.
[Maksim] Klarin. - Zagreb : Školska
knjiga, 1995. - 164 str. ; 24 cm

ISBN 953-0-21509-6

950322066

ISBN 953-0-21509-6

Tiskanje završeno u travnju 1995.

Tisak: Tiskara „Zelina” d.o.o.

M. KLARIN

ASTRONOMSKA NAVIGACIJA

ZA III. RAZRED SREDNJIH POMORSKIH ŠKOLA



ŠKOLSKA KNJIGA • ZAGREB

Sadržaj

Uvod u astronomsku navigaciju	1	Kalendar	68
Kratka povijest astronomije	1	Pravi Sunčev dan i pravo vrijeme	70
Općenito o astronomskoj navigaciji	2	Srednji Sunčev dan i srednje vrijeme	70
1. Nebeska sfera	3	Jednadžba vremena	71
Orijentacija na sferi	3	Geografska dužina u funkciji vremena	72
Nebeska tijela u astronomskoj navigaciji	5	Zonsko vrijeme i datumska granica	73
Nebeska tijela Sunčeva sustava	6	6. Primjena nautičkog godišnjaka	77
Navigacijski planeti	10	Nautički godišnjaci	77
Ostali planeti	13	Izračunavanje satnog kuta i deklinacije	78
Ostala nebeska tijela Sunčeva sustava	14	Račun vremena prolaza nebeskih tijela kroz meridijan	78
Zvijezde i zvjezdani sustavi	17	Račun vremena izlaska i zalaska Sunca i trajanje sumraka	79
Međusobni položaji Sunca, Zemlje i planeta	20	Račun vremena izlaska i zalaska Mjeseca	80
Prividno kretanje planeta na nebeskoj sferi	22	Račun vremena izlaska i zalaska zvijezda i planeta	80
Keplerovi zakoni	25	7. Kronometar	82
Newtonov zakon gravitacije	28	Povijesni pregled razvoja kronometra	82
2. Koordinatni sustavi	30	Princip računanja geografske dužine poznavanjem točnog vremena u Greenwichu	82
Koordinatni sustav horizonta	30	Vrste kronometara	83
Prvi koordinatni sustav ekvatora	32	Stanje i hod kronometra, dnevnik kronometra	84
Drugi koordinatni sustav ekvatora	34	ZADACI	87
Koordinatni sustav ekliptike	35	NEBESKA SFERA	88
Veza između satnog kuta Sunca i pravog vremena	37	Keplerovi zakoni	88
Veza između satnog kuta i surektascenzije	38	KOORDINATNI SUSTAVI	88
3. Astronomsko nautički trokut	41	Veza između satnog kuta Sunca i pravog vremena	88
Nastanak astronomsko-nautičkog trokuta	41	Veza između satnog kuta i surektascenzije	89
Pretvaranje koordinata mjesnog ekvatorskoga koordinatnog sustava u koordinate koordinatnog sustava horizonta	43	ZADACI ZA VJEŽBU	91
Pretvaranje koordinata horizontskoga koordinatnog sustava u koordinate mjesnog ekvatorskoga koordinatnog sustava	44	ASTRONOMSKO NAUTIČKI TROKUT	92
4. Prividna kretanja nebeskih tijela	46	Pretvaranje koordinata mjesnog ekvatorskoga koordinatnog sustava u koordinate horizontskog koordinatnog sustava	92
Paralelna nebeska sfera	46	Pretvaranje koordinata horizontskoga koordinatnog sustava u koordinate mjesnoga koordinatnog sustava ekvatora	96
Okomita nebeska sfera	47	ZADACI ZA VJEŽBU	99
Kosa nebeska sfera	48	VRIJEME I OSNOVE MJERENJA VREMENA	100
Klimatski pojasevi	51	Pravi Sunčev dan i pravo vrijeme	100
Prividno godišnje kretanje Sunca	52	Jednadžba vremena	100
Trajanje godišnjih doba	54	Geografska dužina u funkciji vremena	102
Stvarna i prividna kretanja zvijezda	56	Zonsko vrijeme i datumska granica	103
Kretanje Mjeseca oko Zemlje i Sunca	59	ZADACI ZA VJEŽBU	105
Mjesečeve mijene (faze) i pomrčine Sunca i Mjeseca	62	PRIMJENA NAUTIČKOG GODIŠNJAKA	106
5. Vrijeme i osnove mjerenja vremena	66	Izračunavanje satnog kuta i deklinacije	106
Pojam vremena	66	Račun vremena prolaza nebeskih tijela kroz meridijan	109
Dan i vrste dana	66	Račun vremena izlaska i zalaska Sunca i trajanje sumraka	112
		Račun vremena izlaska i zalaska Mjeseca	116
		Račun vremena izlaska i zalaska zvijezda i planeta	118
		ZADACI ZA VJEŽBU:	121
		KRONOMETAR	125
		Stanje i hod kronometra	125
		ZADACI ZA VJEŽBU:	126
		LITERATURA	127
		PRILOG - Nautički godišnjak	129

Uvod u astronomsku navigaciju

Kratka povijest astronomije

Nebo je vjerojatno jedno od područja ljudskih zanimanja iz najstarijih vremena. Već u najranijoj fazi povijesti mogle su se odrediti neke istaknute točke na nebu, na primjer točka izlaza, zalaza ili kulminacije Sunca za trenutke solsticija ili ekvinocija. Neki stari hramovi građeni su u skladu s takvim zapažanjima. Poznata je takva građevina Stonehenge u Engleskoj iz 1900. godine prije Krista. U babilonskim se tekstovima spominje pomrčina Sunca oko 1800 godina prije Krista. Stari Egipćani počeli su se služiti kalendarom već oko 4200. godine prije Krista i dvije tisuće godina prije početka gradnje piramida. U trećem stoljeću prije Krista Babilonci su uspjeli matematički predvidjeti pomrčine Mjeseca. Sumerani su u trećem tisućljeću prije Krista otkrili pojavu dnevnoga i godišnjega kretanja nebeskih tijela i prvi su podijelili zvijezde na „stajačice” i „lutalice”. Osim toga, otkrili su položaj sjevernoga nebeskog pola. Asirci su otkrili godišnje kretanje Sunca po ekliptici (zodijak) i položaje Sunca u 12 godišnjih mjeseci označili „kućama”, što se i danas upotrebljava u astrologiji.

Sredinom četvrtog stoljeća prije Krista Aristotel je postavio geocentrički model svemira s nepomičnom Zemljom u središtu. Sredinom trećeg stoljeća prije Krista u okružju najveće znanstvene institucije staroga vijeka, aleksandrijske biblioteke, astronomija je doživjela najveći procvat. Apolonije je otkrio retrogradno kretanje planeta. Eratosten je izračunao veličinu Zemlje, a Hiparh udaljenost i veličinu Mjeseca. Astronomska znanja starog vijeka Ptolomej je izložio u Almagestu. Po njemu je Zemlja nepomična u središtu svemira, a oko nje kruže Mjesec, Sunce i planeti. Planetne putanje su složene od dvije vrste kretanja: svaki planet kreće se po kružnici koja se zove epicikl, a središte epicikla kreće se oko Zemlje po kružnici koja se zove deferent. Tim složenim kretanjima objašnjeno je prividno progresivno i retrogradno kretanje planeta.

Model geocentričnog svemira prevladavao je tijekom srednjeg vijeka. Tek 1547. godine Nikola Kopernik postavio je temelje heliocentričnom sustavu po kojem je Sunce u središtu svemira, a oko njega kruže planeti. Putanje planeta su kružnice, ali Sunce nije u središtu, već malo izvan njega. Model je proturječio kršćanskoj dogmi, pa je Tycho Brahe postavio kompromisni model po kojem je nepomična Zemlja u središtu svemira, oko nje kruže Mjesec i Sunce, a svi planeti kruže oko Sunca.

Na temelju Braheovih opažanja planeta Mars, Johann Kepler izračunao je matematičke zakonitosti kretanja nebeskih tijela Sunčeva sustava i time postavio temelje znanstvenom razvoju astronomije.

Općenito o astronomskoj navigaciji

Metode astronomske navigacije skup su matematičkih zakonitosti koje, iz pravilne izmjene položaja nebeskih tijela, omogućuju orijentaciju na otvorenom moru.

Ne može se točno odrediti kad su se metode astronomske orijentacije počele koristiti u pomorskoj navigacijskoj praksi. Prije uvođenja kompasa na brodove ljudi su plovili samo na kratkim udaljenostima u blizini obale. Ipak, orijentaciju pomoću nebeskih tijela spominje već Homer u Odiseji (14. stoljeće prije Krista). Grčki astronom Piteja opisuje putovanje iz Sredozemlja do Škotske u četvrtom stoljeću prije Krista i spominje orijentaciju pomoću Sunca.

Johann Müller, poznatiji kao Regiomontanus (petnaesto stoljeće), najzaslužniji je što su se astronomska mjerenja počela primjenjivati u pomorskoj navigacijskoj praksi. On je izračunao efemeride kojima su se koristili Bartolomeu Dias, Vasco da Gama, Kolumbo i Amerigo Vespucci. Efemeride su se odnosile na Sunce, Mjesec i zvijezde, i to s obzirom na meridijan Nürnberga od 1470. do 1507. godine. Zabilježeno je da je Amerigo Vespucci po Regiomontanusovim efemeridama (uz pomoć konjunkcije Mjeseca) izračunao da je razlika geografskih dužina Venezuele i Nürnberga 5,5 sati.

Sredinom petnaestog stoljeća Henrik Pomorac okupio je najpoznatije astronome, pomorce i kartografe i osnovao prvu pomorsku školu i opservatorij u Sargesu u Portugalu. Početkom šesnaestog stoljeća pomorci su imali tablice za određivanje geografske širine iz visine polarne zvijezde i visine Sunca u meridijanu. Portugalski astronom i kartograf Ruy Faleiro izradio je upute za uporabu astrolaba i Jakovljeva štapa kojima se Magellan koristio na svojem putovanju. Početkom šesnaestog stoljeća nizozemski matematičar i astronom Rainer Gemma Frisius predložio je da se geografska dužina računa pomoću točnog sata sa srednjim vremenom zajedničkog meridijana koji prolazi kroz Kanarsko otočje.

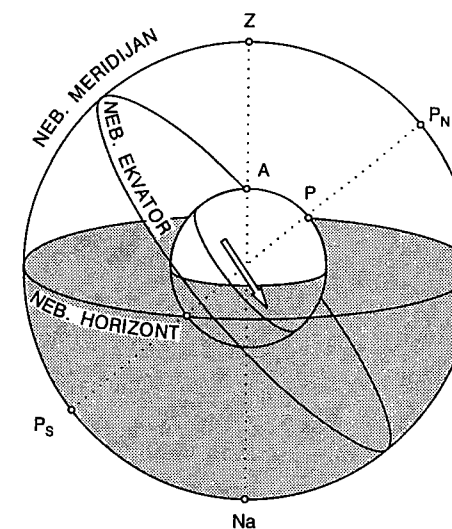
Na zadnjem putovanju engleskog istraživača Jamesa Cooka (1779) koristile su se metoda i instrumenti koji se nisu bitno razlikovali od današnjih. Postojali su oktant (instrument koji je prethodio sekstantu), kronometar, astronomski godišnjak s efemeridama nebeskih tijela, a grinički meridijan upotrebljavan je kao početni meridijan (ostali svijet prihvatio je 1884. godine grinički meridijan kao nulti). Nisu se koristile današnje metode, ali je to zapravo bila jedina razlika. Astronomsku stajnicu otkrio je Sumner 1837. godine. Metoda koja je široku primjenu našla u dvadesetom stoljeću (visinska metoda ili metoda Marcq de Saint Hillaire) otkrivena je potkraj devetnaestog stoljeća, a koristi se i danas.

1. Nebeska sfera

Orijentacija na sferi

Pojam horizonta poznat je iz terestričke navigacije. Na otvorenom oceanu pogledu su dostupni samo horizont i nebeska tijela. Ravnina horizonta mijenja se ovisno o poziciji broda, a nebeska tijela imaju izlazak, kulminaciju i zalazak ili neprekidno kruže na različitim visinama iznad horizonta. Na sjevernoj hemisferi jedino nebesko tijelo koje je prividno nepokretno jest Polarna zvijezda.

Nebeska su tijela u stvarnosti na različitim udaljenostima od Zemlje, ali se opažaču čini da su se sva pravilno porazmjestila na svodu oblika polukugle koja se proteže iznad horizonta. Opažaču se čini da se nalazi usred sfere koju predočuje nebeski svod.



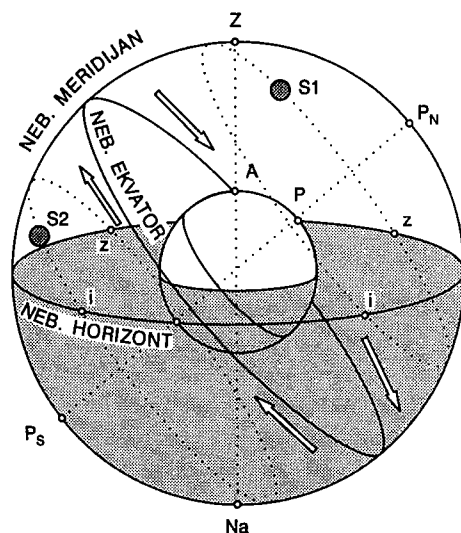
Slika 1. Nebeska sfera može se zamisliti kao kugla u središtu koje rotira Zemlja oko osovine $P_N P_S$ na koju je okomita ravnina nebeskog ekvatora. Iznad glave opažača je zenit (Z), a na suprotnoj strani sfere nadir (Na). Okomito na liniju zenit-nadir proteže se ravnina nebeskog horizonta. Opažač može vidjeti ona nebeska tijela koja se nalaze iznad nebeskog horizonta.

Na slici 1 prikazana je sfera s elementima koji su ovisni o položaju opažača. Na Zemljinoj površini opažač je u točki A. Njegovim položajem definirane su dvije točke na nebeskoj sferi: zenit koji se nalazi u vertikali okomitoj na ravninu horizonta, u središtu vidljivoga dijela nebeske sfere, i

nadir koji se nalazi u središtu nevidljivoga dijela nebeske sfere. Nebeski horizont je kružnica koju na nebeskoj sferi tvori ravnina okomita na liniju zenit - nadir, a koja prolazi središtem Zemlje. Opažać vidi ona nebeska tijela koja su iznad horizonta.

Zemlja rotira u središtu sfere u smjeru ucrtane strelice. Ako se os rotacije (os Zemlje) produži do nebeske sfere, probadat će sferu u dvjema točkama. Točka koja se nalazi iznad sjevernoga Zemaljskog pola jest sjeverni nebeski pol (P_N). Točka koja se nalazi iznad južnoga Zemaljskog pola jest južni nebeski pol (P_S). Glavna kružnica koja se dobije na sferi kad se ravnina Zemljina ekvatora produži do sfere zove se nebeski ekvator.

Opažać na površini Zemlje ima subjektivan dojam da je Zemlja nepomična, a da rotira sfera, i to u pravcu suprotnom od smjera Zemljine rotacije (u smjeru prikazanom strelicama na slici 2).



Slika 2. Opažać na površini Zemlje kretanja nebeskih tijela doživljava kao da Zemlja stoji nepomično u središtu sfere koja rotira u pravcu ucrtanih strelica.

Nebeska tijela prividno rotiraju zajedno s nebeskom sferom. U određenom trenutku nebesko je tijelo ispod, a u nekom drugom trenutku iznad horizonta. Mjesto na sferi u kojemu se nebesko tijelo uzdiže iznad horizonta zove se točka izlaska (točke „i” na slici 2). Mjesto na sferi u kojem nebesko tijelo zapada pod horizont zove se točka zalaska (točke „z” na slici 2). Ako nebesko tijelo stalno kruži iznad horizonta, kaže se da nema izlaska ni zalaska.

Nebeski meridijan je glavna kružnica koja na nebeskoj sferi odgovara meridijanu opažača, dakle ona glavna kružnica koja bi se dobila kada bi se ravnina meridijana opažača produžila do nebeske sfere. Nebeski meridijan prolazi kroz zenit i nadir opažača i kroz točke nebeskih polova. U trenutku prolaska kroz nebeski meridijan nebesko se tijelo najviše udaljuje od nebeskog horizonta.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Nebeska sfera je cjelokupna slika neba kako je vidi opažać na površini Zemlje. Prividno rotira od istoka prema zapadu.

Zenit je točka na nebeskoj sferi koja se nalazi u središtu vidljivoga dijela nebeske sfere, vertikalno iznad glave opažača.

Nadir je točka koja se nalazi u središtu nevidljivoga dijela nebeske sfere: to je zenit opažačeva antipoda.

Nebeski (astronomski) horizont je ravnina okomita na pravac koji spaja zenit i nadir a prolazi središtem Zemlje. Opažać vidi samo ona nebeska tijela koja su iznad nebeskog horizonta.

Nebeski polovi su točke na nebeskoj sferi koje se dobiju ako se os Zemlje produži do nebeske sfere. Nebeska sfera prividno rotira oko pravca koji spaja nebeske polove.

Nebeski ekvator je glavna kružnica na nebeskoj sferi koja se dobije ako se ravnina ekvatora Zemlje produži do nebeske sfere.

Nebeski meridijan je glavna kružnica na nebeskoj sferi na kojoj se nalaze zenit, nadir i nebeski polovi: to je ravnina meridijana opažača produžena do nebeske sfere.

Nebeska tijela u astronomskoj navigaciji

U navigacijskoj se praksi, za izračun pozicije broda, koriste različita nebeska tijela. Danju se redovito opaža Sunce, a pokatkad Mjesec i najsajniji planeti (Venera i Jupiter). U doba sumraka, kad je dovoljno svjetlo da se vidi horizont i dovoljno tamno da se na nebu mogu vidjeti najsajniji zvijezde, opažaju se 54 zvijezde, četiri planeta i katkad Mjesec. U vedroj noći za vrijeme punog Mjeseca mogu se opažati i ostala nebeska tijela koordinate kojih se mogu pronaći u nautičkim godišnjacima.

Sva nebeska tijela koja se koriste u astronomskoj navigaciji mogu se podijeliti na tijela koja pripadaju Sunčevu sustavu i tijela izvan Sunčeva sustava.

Nebeska tijela Sunčeva sustava jesu Sunce, Mjesec i planeti sa svojim satelitima. Osim tih nebeskih tijela, unutar Sunčeva sustava postoje još planetoidi, kometi, bolidi, meteori i meteoriti.

Planeti se mogu podijeliti prema nekoliko kriterija:

1. U astronomskoj navigaciji važna je ona skupina planeta koji se mogu opažati. To su Venera, Mars, Jupiter i Saturn. Neki od tih planeta u položajima najbližim Zemlji mogu se opažati i danju (Venera i Jupiter). Planeti kojima se ne koristimo u astronomskoj navigaciji jesu Merkur, Uran, Neptun i Pluton.

2. Po veličini planeti su podijeljeni na veće i manje. Veći planeti su Jupiter, Saturn, Uran i Neptun. Svi ostali planeti su manji. I Zemlja pripada skupini manjih planeta.

3. Po kutu elongacije¹ planeti su podijeljeni na planete kojih kut elongacije ne može doseći 90° i planete kojih kut elongacije može imati bilo koju vrijednost. Po tom kriteriju planeti su podijeljeni na unutarnje (donje) i vanjske (gornje) planete. Unutarnji planeti su Merkur (kut maksimalne elongacije 28°) i Venera (kut maksimalne elongacije 48°). Drugim riječima unutarnji planeti su oni koji se nalaze između Zemlje i Sunca. Vanjski planeti mogu zauzimati bilo koji položaj u odnosu prema Zemlji i Suncu. Ti planeti su Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton. Drugim riječima, to su svi planeti koji su od Sunca dalje nego Zemlja.

4. Po položaju prema asteroidnom pojasu planeti su podijeljeni na Zemljinu (terestričku) skupinu planeta (nalaze se unutar pojasa asteroida) i Jupiterovu (jovijansku) skupinu planeta (nalaze se izvan pojasa asteroida). Svi planeti Zemljine skupine su manji planeti, a to su Merkur, Venera, Zemlja i Mars. Planeti Jupiterove skupine su veći planeti (osim Plutona), a to su Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton.

Nebeska tijela Sunčeva sustava

Nebeska tijela Sunčeva sustava jesu sva tijela koja imaju vlastito kretanje oko Sunca. Budući da su zbog vlastitih kretanja njihove prividne putanje nepravilne, izračun efemerida tih nebeskih tijela je složen.

Sunčev sustav čine: Sunce kao središnje tijelo sustava, planeti Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton sa svojim satelitima, planetoidi, kometi, meteori, bolidi.

Osnovna mjerna jedinica za udaljenosti u Sunčevu sustavu jest astronomska jedinica koja predodžuje srednju udaljenost Zemlje od Sunca i iznosi 149,6 milijuna kilometara.

Veličine planeta i Sunca izražavaju se promjerom u kilometrima. Stvarne veličine planeta i njihove udaljenosti od Sunca prikazane su u tablici 1.

TABLICA 1

	PROMJER (km)	UDALJENOST (AJ)
SUNCE	1 391 000	-
MERKUR	4 878	0,387
VENERA	12 101	0,723
ZEMLJA	12 756	1
MARS	6 787	1,524
JUPITER	142 796	5,203
SATURN	120 000	9,555
URAN	50 800	19,22
NEPTUN	48 600	30,11
PLUTON	2 300	39,44

¹ Kut elongacije je kut pod kojim se sa Zemlje vidi planet u odnosu prema Suncu.

U tablici 2. prikazani su odnosi mnogo bliži mogućnostima predodžaba. Kada bi veličina Zemljina promjera iznosila 10 cm prethodna bi tablica imala ovakav izgled:

TABLICA 2

	PROMJER (cm)	UDALJENOST (m)
SUNCE	1 100 (= 11 m)	-
MERKUR	3,8	452
VENERA	9,4	848,24
ZEMLJA	10	1 172,8
MARS	5,3	1 786,6
JUPITER	111,9	6 101
SATURN	94,07	11 205,7
URAN	39,82	22 538,4
NEPTUN	38,1	35 311,2
PLUTON	1,8	46 253,5

U ovom razmjeru (Zemljin promjer 10 centimetara) oko Zemlje bi kružio Mjesec promjera 2,72 cm na udaljenosti 3 metra. Oko Jupitera bi kružili sateliti od kojih bi najveći (Ganimed) imao promjer 4,1 cm, a kružio bi na udaljenosti 8,3 metra od Jupitera.

Masa Sunčeva sustava gotovo je u potpunosti koncentrirana u središnjem tijelu sustava, Suncu, na koje otpada 99,9% mase, dok na sve planete i ostala tijela otpada samo 0,1% ukupne mase. Sunce ima 333 000 puta veću masu od Zemlje. Ako bi Zemlja posjedovala masu jednoga kilograma, ostala tijela Sunčeva sustava imala bi mase prikazane u tablici 3.

TABLICA 3

	MASA (kg)
SUNCE	333 000 kg = 333 tone
MERKUR	0,056 kg = 5,6 dag
VENERA	0,815 kg = 81,5 dag
ZEMLJA	1 kg
MARS	0,107 kg = 10,7 dag
JUPITER	317,9 kg
SATURN	95,1 kg
URAN	14,5 kg
NEPTUN	17,2 kg
PLUTON	0,002 kg = 2 g

U ovako raspoređenim masama oko Zemlje kružio bi Mjesec masa kojeg bi imala samo 1,2 deagrama.

Sunce

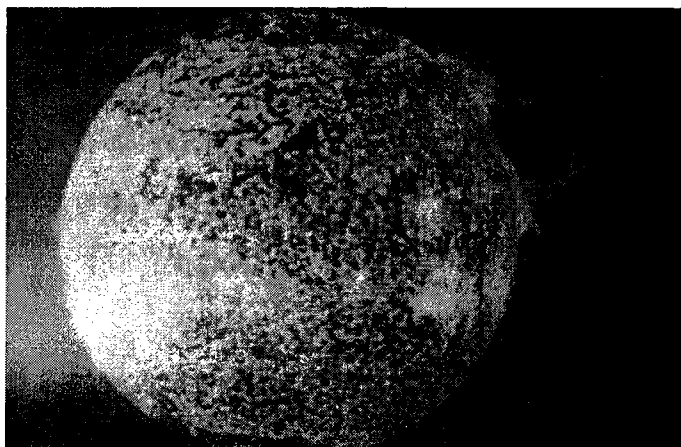
Sunce je središnje tijelo Sunčeva sustava. Njegov promjer iznosi 109 promjera Zemlje. Masa Sunca je 333 000 puta veća od mase Zemlje, a sila teže 28 puta je veća na površini Sunca nego na površini Zemlje. Sunce se

okreće oko svoje osi, ali sva mjesta na Sunčevoj površini ne rotiraju jednako: najbrža je rotacija oko ekvatora i traje oko 25 dana.

Energija koju emitira Sunce osnova je života na Zemlji. Kad su Sunčeve zrake okomite, površina od 1 m² prima Sunčevo zračenje snage 1 370 W (solarna konstanta). Izvor goleme Sunčeve energije jest atomska fuzija, pretvorba vodika u helij.

Po klasifikaciji zvijezda, Sunce je zvijezda patuljak. Kreće se brzinom 20 km/sek u odnosu prema bliskim zvijezdama u smjeru apeksa² koji se nalazi u blizini zvijezde Vega. Površina Sunca ima temperaturu približno 6 000 °C, a u središtu Sunca temperatura je otprilike 15 milijuna stupnjeva. Na površini Sunca koja se zove fotosfera uočavaju se brojne Sunčeve pjege i granule koje znače neku vrst „ključanja” fotosfere.

Sunčeva atmosfera sastoji se od triju slojeva: fotosfere, kromosfere i korone. Iz kromosfere se izdižu protuberancije. Postoje eruptivne i mirne protuberancije. Protuberancije izgledaju kao mlaz plina i mogu dosegnuti visinu 4 milijuna kilometara. Mirne protuberancije imaju oblik lebdećeg oblaka.



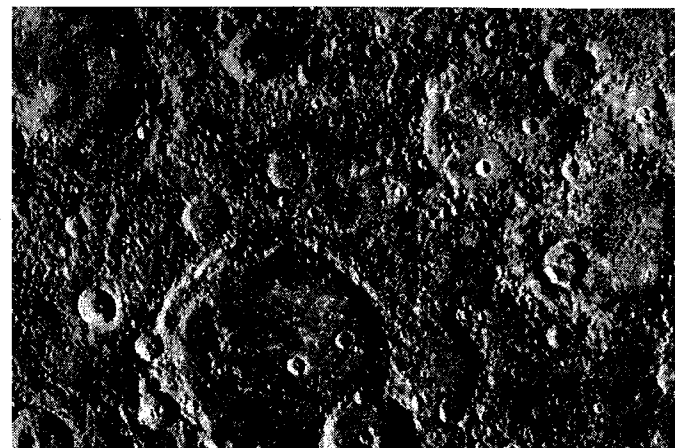
Slika 3. Eruptivne protuberancije mogu doseći visine preko 300 000 kilometara od Sunčeve površine

Iznad kromosfere najveći je sloj Sunčeve atmosfere, korona. To je sjajna aureola koja se najbolje zapaža za vrijeme pomrčina Sunca. Suprotno očekivanjima, temperatura korone mnogo je viša nego temperatura fotosfere i iznosi čak približno milijun stupnjeva Kelvina.

² Točka na nebeskoj sferi prema kojoj se kreće nebesko tijelo.

Mjesec

Mjesec je Zemljin satelit i ubraja se među velike satelite. Na primjer, veći je od planeta Plutona, a od satelita od Mjeseca su veći samo Triton (Neptunov satelit), Io, Ganimed i Kalisto (Jupiterovi sateliti) te Titan (Saturnov satelit). Njegov je promjer nešto veći od četvrtine Zemljina i iznosi 3 475 km. Masa Mjeseca je 81 put manja od Zemljine. Od Zemlje je prosječno udaljen 384 400 kilometara.



Slika 4. Površina mjeseca izbrazdana je kraterima

Jedino je nebesko tijelo na koje je kročila ljudska noga.

Mjesečeva površina je neravna. Na njemu su planinski lanci i prostrane doline koje su nazvane morima. Planinski lanci dobili su nazive kao i oni na Zemlji, pa tako postoje Apenini, Kavkaz, Alpe, Karpati, Pirineji, Kordiljeri. Doline su mnogobrojne, a najčešće su nazvane po meteorološkim pojavama, pa tako postoji More vedrine, More kiša, More tišine, More plodnosti, More oblaka, More oluja. Površina Mjeseca izbrazdana je velikim brojem kratera koji svjedoče o učestalim padovima meteora na njegovu površinu. Promjeri nekih kratera dostižu i do 300 km. Nazvani su uglavnom imenima znanstvenika ili istaknutih povijesnih ličnosti.

Temperatura na površini Mjeseca varira od približno 120 K do otprilike 400 K (-150 °C do +120 °C) što ovisi o tome koja je strana okrenuta Suncu. Mjesec se oko svoje osi okrene za 29,5 dana, pa je određena točka njegove površine oko 15 dana izložena zrakama Sunca, a isto je toliko dana u mraku.

Navigacijski planeti

Venera

Veličinom i masom najbližnja je Zemlji. Od Sunca je udaljena prosječno 108 milijuna kilometara. Ekscentricitet njezine putanje je malen (0,007), a nagib putanje na ekliptiku iznosi oko $3,5^\circ$. Siderička revolucija Venere traje 224,7 dana. Ravnina ekvatora je praktično usporedna s ravninom putanje, pa zapravo nema godišnjih doba. Rotacija je retrogradna i spora, planet se oko vlastite osi okrene za 243 dana.

Venera ima vrlo gustu atmosferu pa na površini planeta tlak iznosi 90 bara (kao u dubini mora od 900 metara). Atmosfera Venere je 50 puta gušća nego Zemljina atmosfera, a samo je 15 puta manja nego gustoća vode. Na površini temperature dostižu 750 K.

Površina Venere pretežno je ravničasta. Planine zauzimaju desetinu površine planeta.

Venera je (poslije Sunca i Mjeseca) prividno najveće nebesko tijelo koje se pojavljuje na nebeskoj sferi. Katkad se vidi kao krug s površinom.

Mars

Od Sunca je udaljen 1,524 AJ. Putanja mu je izduženija nego Venerina ili Zemljina, s ekscentricitetom 0,093. Godina mu traje 687 dana, a postoje i godišnja doba jer mu je ekvator nagnut nad putanju za 25° . Siderički dan traje 24 sata 37 minuta 23 sekunde. Masa mu je deset puta manja nego Zemljina. Atmosfera mu je rijetka, uglavnom od ugljik-dioksida. Ima izražene polarne kape koje se sastoje od smrznutog ugljik-dioksida. Prosječna temperatura planeta je 250 K (-23°C), ali u doba ljeta na ekvatoru i u umjerenom pojasu temperature su više od 0°C . Na samom ekvatoru temperature mogu biti i 18°C .



Slika 5. Detalj površine Marsa u području Chryse, mjestu spuštanja letjelice Viking 1.

Teren je na Marsu pretežno ravničast, ali s velikim brojem kratera i ugaslih vulkana. Postoje i spletovi kanjona. Posebne pojave su vijugavi kanali (meandri) koji su navodili znanstvenike prošlih stoljeća na pomisao da su nastali svjesnim djelovanjem civilizacije Marsa.

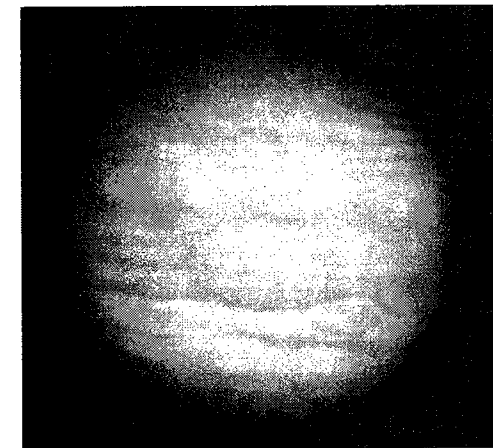
Mars je planet koji ima dva satelita Phobos i Deimos (Strah i Užas). Phobos je bliži planetu, a njegovo ophodno vrijeme je približno oko 7,5 sati, pa se okreće oko planeta brže nego sam planet oko vlastite osi. I Phobos i Deimos uvijek su istom stranom okrenuti prema Marsu.

Jupiter

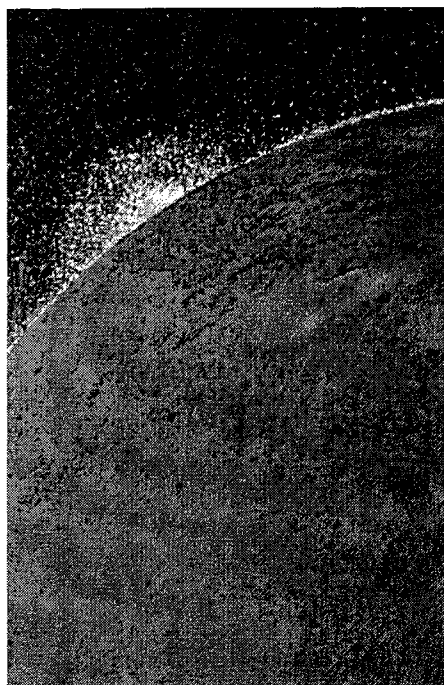
Najveći je planet Sunčeva sustava. Na njegovu masu otpada 71% ukupne mase svih planeta. Zbog brze rotacije splošten je na polovima. Prosječna gustoća Jupitera je malena. Atmosfera mu je vrlo gusta, ali njezina debljina ne prelazi 1 000 km, a oblaci su tek na visinama 100 km. Uočljiva je velika crvena pjega koja predstavlja stalnu meteorološku djelatnost atmosfere. Na južnoj je polutki, a vjetrovi unutar pjege brzi su više stotina kilometara na sat. Od Sunca je udaljen 5,2 AJ, ali mu se udaljenost mijenja zbog putanje koje ekscentricitet iznosi 0,0483. Putanja Jupitera gotovo je u ravnini ekliptike (nagnuta je za $1,3^\circ$). Ravnina ekvatora gotovo je u ravnini putanje (nagib $3,1^\circ$).

Brzina rotacije nije jednaka: površina planeta brže rotira na ekvatoru nego u višim širinama, što dokazuje da površina planeta nije kompaktna cjelina. Ekvator učini punu rotaciju za 9 sati 50 minuta i 30 sekundi. Vrijeme revolucije iznosi 11,9 godina.

Jupiter ima 16 satelita i tanak prsten. Najpoznatiji njegovi sateliti su Europa, Io, Ganymed, i Kallisto. Bili su prvi opaženi sateliti (osim Mjeseca), a otkrio ih je Galileo Galilei. Mogu se lako uočiti običnim jačim dalekozorom. To su veliki sateliti i svi su (osim Europe) veći od Mjeseca.



Slika 6. Jupiterova atmosfera je slojevita s uočljivom crvenom pjegom na južnoj hemisferi.



Slika 7. Eruptivni oblak nad vulkanom Loki Patera na Iou. Vrh oblaka nalazi se na oko 200 kilometara iznad površine

Ostali Jupiterovi sateliti su Metis, Adrastea, Amalthea, Thebe, Leda, Himalia, Lysithea, Elara, Ananke, Carme, Pasiphae i Sinope. Neki su vrlo mali (Leda ima promjer samo 16 km). Ustanovljeno je da na nekim satelitima postoje vulkanske djelatnosti (Io).

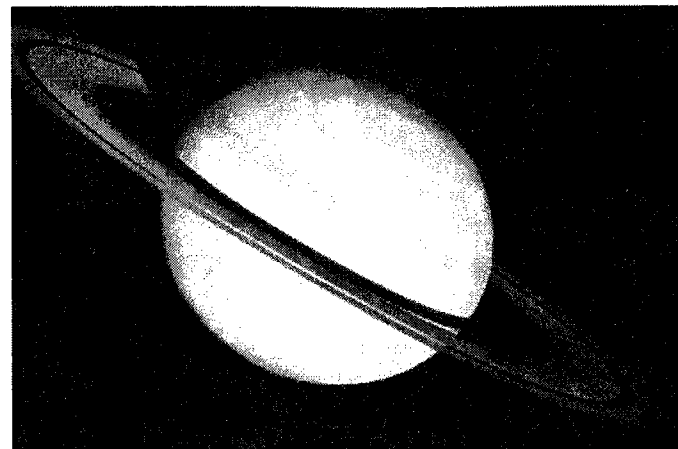
Saturn

Na polovima je splošten za 11%. Rotacija mu je različita za različite širine: točka ekvatora izvrši rotaciju za 10,6 sati. Revolucija mu traje 29,5 godina. Prosječno je od Sunca udaljen 9,5 AJ. Gustoća Saturna je malena jer je sastavljen od vodika i helija. Posjeduje atmosferu s gustim oblacima. Temperatura površine je oko 150 K (niža od minus 100 °C). U smjeru kretanja ekvatora pušu stalni vjetrovi golemih brzina (većih od 1 000 km/sat).

Smatra se da se jezgra Saturna (polumjera 10 000 km) sastoji od tvari velike gustoće, vjerojatno od stijena i leda.

Posebno atraktivna pojava Saturna jesu njegovi prstenovi. Teleskopom se mogu razlučiti tri prstena. Zapravo, to je velik broj pojedinačnih prstenova koji sadrže tvari raznih veličina: od veličine prašine do veličine stijena promjera stotinu metara, u prosjeku veličine 10 cm. Neka od tih tijela zapravo su komadi leda. Prstenovi su označeni slovima A, B i C, pri čemu je prsten C najbliži planetu. U najnovije vrijeme otkriven je i prsten D, koji je sastavljen od prašine, a koji seže do površine planeta. Debljina prstenova je samo 15 kilometara.

Saturn posjeduje i velik broj satelita, od kojih su najznačajniji Rhea, Titan, Hyperion, Iapetus i Phoebe. Najveći je Titan (veći je od Merkura i Plutona). Ostali Saturnovi sateliti su Atlas, Prometheus, Pandora, Epimetheus, Janus, Mimas, Enceladus, Tethys, Telesto, Calypso, Dione i Helena.



Slika 8. Saturn s prstenima snimljen s udaljenosti od oko 2.5 milijuna kilometara.

Ostali planeti

Merkur

Uz Pluton najmanji je planet. Siderična revolucija traje mu 88 dana. Za neku točku njegova ekvatora Sunčev dan traje 176 dana, pa su dnevne temperature visoke: oko 700 K (oko 430 °C). Noć traje jednako dugo, tako da su noćne temperature niske (oko 100 K ili -170 °C). Površina je slična Mjesečevoj površini, s dosta kratera. Ima i planinskih lanaca visokih do 3 km, te tragova rijetke atmosfere. Putanja mu je dosta izdužena, a nagnuta je 7° na ravninu Zemljine putanje. Kut maksimalne elongacije mu je između 18° i 28°, pa se može opažati samo neposredno prije izlaska Sunca ili neposredno nakon zalaska Sunca. Os njegove rotacije gotovo je okomita na ravninu putanje, pa je Sunce stalno u blizini ekvatora.

Uran

Nalazi se na 19,2 AJ od Sunca. Temperature na njegovoj površini samo su pedesetak stupnjeva iznad apsolutne nule. Ima vrlo prozirnu atmosferu. Vidljiva površina vjerojatno je od smrznutog metana. U atmosferi je najviše vodika, helija i metana. Nagib ravnine ekvatora na ekliptiku iznosi čak 82°, tako da se planet zapravo ne okreće oko svoje osi, već se „kotrlja” po ravnini putanje, pri čemu je ravnina ekvatora uvijek paralelna sama sa sobom. Iz toga proistječe da je na određenom dijelu putanje Suncu okrenut jedan pol planeta, a na

drugom dijelu drugi pol. Period revolucije traje 42 godine. Rotacija Urana je brza i traje od 15 do 17 sati.

Veliki Uranovi sateliti su Miranda, Ariel, Umbriel, Titania i Oberon. Najveći (Titania) ima promjer 1 600 kilometara. Osim njih Uran ima i veći broj manjih satelita.

Neptun

Veličinom, masom i sastavom sličan je Uranu. Nalazi se 30,1 AJ daleko od Sunca. Ima dva velika satelita Triton i Nereid i veći broj malih. Veličina Tritona slična je Mjesečevoj.

Pluton

Pretpostavlja se da je ovaj planet zapravo komad leda od metana i vode promjera oko 2 300 km. O njemu se zna malo. Posjeduje satelit promjera oko 1 000 kilometara. Taj se satelit zove **Haron** i o njemu se zna jednako malo kao i o Plutonu. Pretpostavlja se da temperatura na njihovim površinama iznosi 40 K (blizu apsolutne nule).

Ostala nebeska tijela Sunčeva sustava

Osim Sunca, Mjeseca, planeta i njihovih satelita, u Sunčevu sustavu ima i mnogo ostalih, takozvanih malih tijela Sunčeva sustava. To su planetoidi, kometi, meteori, bolidi i razdrobljena materija koja pluta međuplanetskim prostorom.

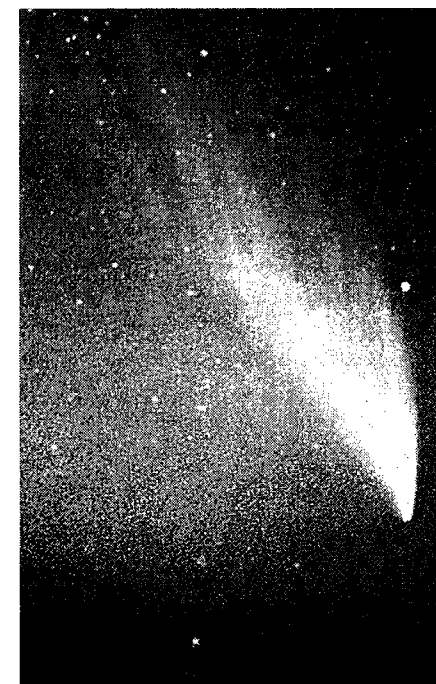
Planetoidi su hladna tijela promjera manjih od 1 000 km (samo ih dvadesetak ima promjer veći od 250 km). Nepravilnog su oblika, a smješteni su između 2,2 i 3,5 astronomskih jedinica i samo nekoliko njih napušta te granice. Kod nekih od njih ustanovljeno je čak i to da imaju vlastite satelite (Herkul). Najveći planetoid je Ceres (1 000 km promjer), a zatim slijede Pallas, Juno, Vesta, Hygiea, Interamnia, Davida, Cibebe itd. Svrstani su po inklinacijama (nagib putanja na ekliptiku) i ekscentricitetu. Najpoznatija skupina planetoida poznata je pod imenom Trojanci, jer nose imena grčkih ili trojanskih junaka. Njihova putanja doseže Jupiterovu. Planetoidi koji pripadaju Apolonovoj skupini dosižu putanje Venere, a planetoid Ikar u perihelu je čak bliže Suncu od Merkura. Zemlji se najviše približava Eros (na oko 23 milijuna km). Postoji hipoteza da su planetoidi nastali raspadom manjeg planeta masa kojega bi bila oko jedne desetine Mjesečeve mase.

Meteoriti potječu još iz vremena nastanka Sunčeva sustava. Velik je broj meteorita pao na površinu Zemlje (čuva se oko 7 000 komada ukupne težine više od 500 tona). Najveći željezni primjerak pronađen je u Namibiji (60 tona), a najveći kameni primjerak pao je u Kini (1 tona). Prije pada na površinu Zemlje, prolaskom kroz atmosferu, meteoriti se ugriju i ostavljaju za sobom svijetli trag. Prolazak kroz atmosferu ih usporava i na površinu najčešće padaju slobodnim padom. Dijele se na tri osnovne skupine: željezne (siderite), kamene (aerolite) i željezno-kamene (siderolite), ali su dalje podijeljeni

u podskupine. Najzanimljivija skupina su hondriti, nazvani tako po hondrama, okruglim zrcima pravilnog oblika koji su uvučeni u osnovnu masu meteorita, a starost im odgovara starosti Sunca, pa se pretpostavlja da su formirani istodobno sa Sunčevim sustavom.

Meteor je nebesko tijelo (najčešće materija zaostala za putanjom kometa) koje je prošlo kroz atmosferski omotač Zemlje, ali nije palo na njezinu površinu. Vrlo sjajni meteori zovu se **bolidi**. Meteori uglavnom izgaraju na visinama od 70 do 130 km. Pojavljuju se pojedinačno ili u rojevima u kojima katkad može biti i više od 10 000 meteora u razdoblju od jednog sata („meteorske kiše” ili „meteorski pljuskovi”). Veličina prosječnog meteora je samo nekoliko desetina milimetara, a masa manja od miligrama. Ima, međutim, i meteora većeg promjera i težine. Prolaskom kroz atmosferu meteori ioniziraju stupac zraka koji zbog toga zasvijetli, pri čemu se ionizacija ne gubi odmah, već stupac zraka neko vrijeme luminiscira. Najveći meteori prodiru kroz veći sloj atmosfere koju jako ioniziraju i luminiscencija traje do jednog sata. Ti se meteori zovu bolidi. Pojavu bolida katkad prate posebni šumovi, a pokatkad i udaljena tutnjava.

Kometi se kreću po složenim putanjama, a neki od njih se povremeno približavaju Suncu. Smatra se da je izvor kometa u takozvanom Oortovu oblaku na polovici udaljenosti Sunca i najbliže zvijezde. Ovisno o udaljenosti od Sunca periodičnost njihova pojavljivanja traje od nekoliko godina do više milijuna ili čak milijardi godina. Komet se sastoji od jezgre, kome i repa.



Slika 9. Komet West snimljen sa Zemlje 1976. godine.

Jezgra i koma čine glavu kometa. Jezgra je najmanji dio kometa, a sastoji se od ledenog bloka male gustoće. Oko jezgre je koma. Veličina glave kometa može varirati od 5 000 do milijun km promjera, pri čemu na jezgru otpada samo 1 do 10 km. Kad se komet približi Suncu, na njega djeluje Sunčev vjetar i formira se rep kometa. Rep je sekundarna pojava i zapravo je izrazito rijedak i za zemaljske uvjete on je vakuum. Veličina repa kometa može biti čak do 150 milijuna kilometara (više od jedne astronomske jedinice, to jest više nego što iznosi udaljenost od Zemlje do Sunca). Najpoznatiji je Halleyev komet. Prvo njegovo viđenje zabilježeno je 11. godina prije Krista i do sada se pojavljivao 27 puta. Posljednji put je prošao perihelom 9. veljače 1986. Sljedeći put proći će perihelom 2061. godine. Pojavljuje se prosječno svakih 76 godina, ali mu pojavljivanje varira do pet godina (od 74 do 79 godina). Osim Halleyeva postoji još velik broj kometa, od kojih su najpoznatiji Enckeov komet (vrijeme ophodnje 3,3 godine), komet Schuster, komet Kohoutek itd.

Oblaci Kordiljevskoga otkriveni su 1961. godine. To su zapravo gušći dijelovi međuplanetarnog prašina sa 100 do 10 000 puta većom koncentracijom zrnaca prašine. Nalaze se u blizini takozvanih libracijskih čvorova. Postoje dva oblaka kojih veličina nadmašuje Mjesec.

Zodijačna svjetlost najbolje se zapaža u ekvatorijalnim i subtropskim područjima. Pojavljuje se u blizini ekliptike (Zodijaka), a uzrokuju je čestice prašine veličine od 1 do 10 mikrometara.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Sunčev sustav je porodica nebeskih tijela koju ujedinjuje Sunce kao središte sustava. Čine ga Sunce, planeti sa svojim satelitima i mala tijela (planetoidi, kometi, bolidi, meteori).

Sunce je zvijezda koja pripada kategoriji bijelih patuljaka. Promjer mu je veći od promjera Zemlje 110 puta, a masa 333 000 puta. Izvor energije Sunca je atomska fuzija. Temperatura na površini iznosi oko 6 000 °C. Kreće se kroz prostor brzinom 20 km/s u odnosu prema bliskim zvijezdama i 220 km/s u odnosu prema središtu galaksije.

Astronomska jedinica je mjera udaljenosti u Sunčevu sustavu. Iznosi 149,6 milijuna kilometara, a to je srednja udaljenost između Sunca i Zemlje.

Mjesec je Zemljin satelit. Njegov polumjer iznosi oko četvrtinu Zemljina, a masa mu je 81 put manja od mase Zemlje. Od Zemlje je udaljen prosječno oko 380 000 km.

Planeti su nebeska tijela koja kruže oko Sunca. Ima ukupno devet planeta. Najbliži Suncu je Merkur, a zatim Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton. Između Marsa i Jupitera nalazi se pojas planetoida (asteroida).

Navigacijski planeti su Venera, Mars, Jupiter i Saturn.

Veći planeti su Jupiter, Saturn, Uran i Neptun. Najveći planet je Jupiter. Njegov promjer je 11 puta veći od Zemljina. Manji planeti su Merkur, Venera, Zemlja, Mars i Pluton. Najmanji planeti su Pluton (polumjer oko jedne petine Zemljina) i Merkur (polumjer oko dvije petine Zemljina). **Unutrašnji ili donji planeti** su planeti koji su bliže Suncu nego Zemlja. To su Merkur i Venera.

Vanjski ili gornji planeti udaljeniji su od Sunca nego Zemlja. To su Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton.

Zemljina (terestrička) skupina planeta su planeti slični Zemlji i nalaze se unutar asteroidnog pojasa. To su Merkur, Venera, Zemlja i Mars.

Jupiterova (jovijanska) skupina planeta su planeti slični Jupiteru. To su Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.

Prirodni sateliti su pratitelji nekih planeta. Planeti koji nemaju satelite su Merkur i Venera. Zemljin satelit je Mjesec. Marsovi sateliti zovu se Phobos i Deimos. Najvažniji sateliti Jupitera su Io, Europa, Ganymed i Kallisto, a Jupiter ima i veći broj manjih satelita. Saturn ima veliki broj satelita koji formiraju prsten, a najvažniji veliki Saturnov satelit zove se Titan. I Uran ima velik broj satelita, od kojih su najveći Titania i Oberon. Od Neptunovih satelita najveći su Triton i Nereid. Pluton ima satelit koji se zove Haron.

Planetoidi (asteroidi) mala su tijela koja kruže oko Sunca a nalaze se između putanja Marsa i Jupitera. Ima ih mnogo, a najveći je Ceres.

Kometi su mala tijela Sunčeva sustava s vrlo izduženim putanjama. Kad su u blizini Sunca, na nebeskom svodu ostavljaju vidljiv trag (rep). Najpoznatiji je Halleyev komet.

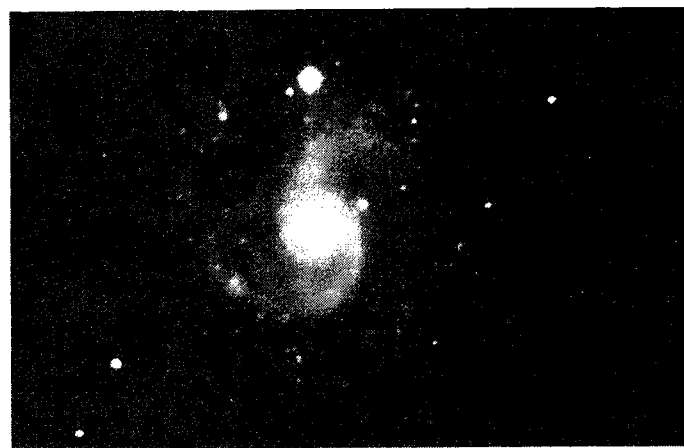
Meteori su ostaci kometa koji prolaze kroz Zemljinu atmosferu, pri čemu ostavljaju svijetli trag. Vrlo sjajni meteori zovu se **bolidi**.

Meteoriti su nebeska tijela koja padnu na površinu Zemlje.

Zvijezde i zvjezdani sustavi

Najjednostavnije rečeno, zvijezde su vrlo udaljena nebeska tijela koja posjeduju vlastite izvore energije i koja emitiraju vlastitu svjetlost. Sve su zvijezde nastale skupljanjem međuzvjezdanog materijala do kritične mase kad su u središtu započeli termonuklearni procesi pretvaranja lakših elemenata u teže.

Zvijezde su okupljene u galaksije, a u svakoj je galaksiji oko stotinu milijardi zvijezda. U poznatom svemiru približno je stotinu milijardi galaksija. U promjeru nekoliko milijuna svjetlosnih godina od Zemlje dvadesetak je galaksija. Naša matična galaksija zove se Mliječna staza ili Kumovska slama, a Sunce, naša matična zvijezda, na periferiji je galaksije. Najneposrednije susjedstvo našoj galaksiji čini galaksija M31 koja je (opažano sa Zemlje) u zvijezdu Andromede, a udaljena je približno dva milijuna svjetlosnih godina.



Slika 10. Spiralne galaksije sadrže oko stotinu milijardi zvijezda, a u poznatom svemiru ima oko stotinu milijardi galaksija.

U neposrednoj okolini naše galaksije dvije su relativno male skupine od tridesetak i pedesetak milijardi zvijezda koje se zovu Veliki i Mali Magellanov oblak.

Zvijezde su različitih veličina i različita sjaja. Neke od njih višestruko su veće i sjajnije od Sunca, ali ih većina ima masu manju od Sunčeve. Temperature na površinama zvijezda također su različite: većina zvijezda ima temperaturu površine od 20 000 do 30 000 K, ali neke mogu imati i 100 000 K. U unutrašnjosti zvijezda temperature su mnogo veće i mjere se u milijunima ili čak milijardama stupnjeva kelvina.

Osim po prividnim veličinama (što je subjektivan kriterij opažača) zvijezde se razvrstavaju i po apsolutnom sjaju. Po tom kriteriju zvijezde se razvrstavaju s obzirom na njihov sjaj kada bi bile na udaljenosti deset parseka (32,56 godina svjetlosti) od Zemlje. Po tom kriteriju zvijezde su razvrstane u superdivove (Rigel, Spica, Deneb), divove i patuljke (Procyon, Altair, Sunce). Prema apsolutnom sjaju može se izračunati udaljenost zvijezde.

Postoji klasifikacija i po svjetlosnom spektru. Po tom kriteriju zvijezde su razvrstane u više klasa: klase O, A i B su tri klase bijelih zvijezda, F je klasa žućkastobijelih zvijezda, G je klasa žutih zvijezda, K je klasa crvenkastih, a M i N su klase crvenih zvijezda. Bijele zvijezde klase O imaju temperature površine oko 30 000 K, klasa B 20 000 K, klasa A oko 10 000 K, a ostale klase od 7 000 K do 1 300 K.

U mrkloj noći opažatelj na nebeskoj sferi može vidjeti najviše 2 000 zvijezda. U nautičkim godišnjacima prikazane su efemeride za 54 (godišnjak HIDCRO) ili 130 zvijezda (Brown's Nautical Almanac).

Dvojne i mnogostruke zvijezde. Velik broj zvijezda formira zvezdani sustav u kojem su im vlastita kretanja ovisna o međusobnim gravitacijskim

silama. Postoje sustavi s dvije zvijezde koje rotiraju oko zajedničkog težišta, sustavi s tri zvijezde ili više njih. Pojedinačna tijela sustava višestrukih zvijezda nazivaju se komponentama. Neki zvezdani sustavi imaju jednu komponentu mnogo sjajnije od druge, pa se prolaskom tamne komponente ispred svijetle mijenja sjaj zvijezde (najpoznatiji takav par je par Algol, to jest zvijezde β Perzeja).

Promjenljive zvijezde. Neke zvijezde mijenjaju sjaj zbog procesa koji se u njima odvijaju. Dijele se na nekoliko skupina: kratkoperiodične (cefeide), dugoperiodične i nepravilno promjenljive zvijezde.

Zvezdana jata. To su skupine zvijezda katkad pravilnoga okruglog oblika i velike gustoće (zbijena ili globularna jata), a pokatkad nepravilnog oblika i različite gustoće (otvorena jata). Najpoznatije otvoreno jato poznato je pod imenom Vlačići (Plejade). Slobodnim okom vidi se sedam zvijezda tog zvezda, a teleskopom oko 200.

Udaljenost između zvijezda izražava se svjetlosnim godinama ili parsecima. Svjetlosna godina je udaljenost koju svjetlo prevali u vakuumu za vrijeme jedne tropske godine. Iznosi $9,46 \cdot 10^{12}$ km. Parsec (kratica pc) je udaljenost s koje se srednji polumjer putanje Zemlje vidi pod kutom od jedne lučne sekunde (parsec = paralaksa od jedne sekunde), a iznosi 3,26 godina svjetlosti.

Na udaljenosti manjoj od 10 svjetlosnih godina od Sunca mali je broj zvijezda. U tablici 4 prikazane su sve zvijezde koje se nalaze unutar te udaljenosti od Sunca.

TABLICA 4

ZVIJEZDA	UDALJENOST	BROJ	VRST ZVIJEZDE
Proksima Centauri	4,3	1	crveni patuljak
Alfa Centauri	4,3	2	žuti i crveni patuljak
Barnardova zvijezda	6,0	?	crveni patuljak
Wolf 359	7,7	1	crveni patuljak
Luyten 726-8	7,9	2	crveni patuljci
Lalande 21185	8,2	?	crveni patuljak
Sirius	8,7	2	bijela zvijezda i bijeli patuljak
Ross 154	9,3	1	crveni patuljak

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Zvijezde su vrlo udaljena nebeska tijela s vlastitim izvorima energije (fuzija atomskih jezgara) i emitiraju svjetlost. Mogu biti višestruko veće od Sunca.

Galaksije su velike skupine zvijezda. Velike spiralne galaksije sadrže više od stotinu milijardi zvijezda.

Godina svjetlosti je mjera za udaljenost u astronomiji. To je udaljenost koju svjetlost prevali u godini dana, a iznosi $9,46 \cdot 10^9$ km.

Parsec (parsek) veća je jedinica za mjerenje udaljenosti u astronomiji. To je udaljenost s koje se srednji polumjer Zemljine putanje vidi pod kutom jedne lučne sekunde (parsec = paralaksa od jedne sekunde), a iznosi 3,26 godina svjetlosti.

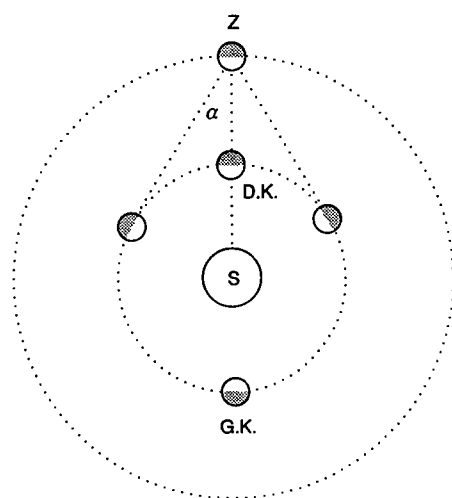
Mliječna staza ili Kumovska slama matična je galaksija Sunca. Najbliže Mliječnoj stazi su nepravilne galaksije Veliki i Mali Magellanov oblak i eliptična galaksija Mali medvjed. Najbliža spiralna galaksija M31 udaljena je oko dva milijuna svjetlosnih godina.

Navigacijske zvijezde su one koje se koriste u astronomskoj navigaciji. Koriste se 54 najveće zvijezde sjeverne i južne hemisfere.

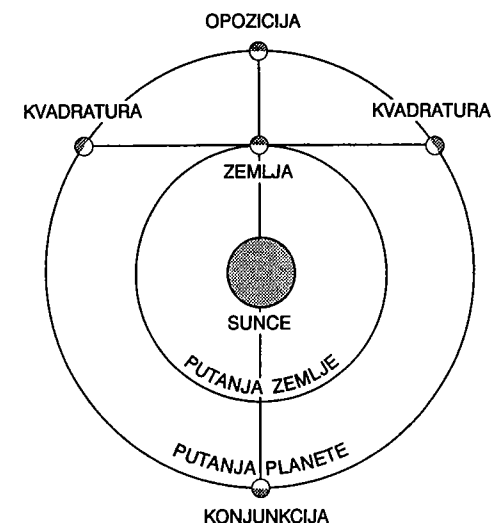
Međusobni položaji Sunca, Zemlje i planeta

U kretanjima oko Sunca planeti dolaze u različite međusobne položaje. Kut pod kojim opažač sa Zemlje vidi položaj planeta u odnosu prema Suncu zove se kut elongacije. Ovisno o veličini kuta elongacije planet se može nalaziti u specifičnim položajima konjunkcije, opozicije ili kvadrature.

Konjunkcija je položaj planeta kad je kut elongacije jednak nuli. U tom se slučaju planet sa Zemlje gleda prema Suncu. Oba nebeska tijela istodobno prolaze kroz gornji i donji meridijan. Planet može zauzimati položaj gornje konjunkcije ili donje konjunkcije. Položaj donje konjunkcije zauzima planet koji se nalazi između Zemlje i Sunca, a taj položaj mogu zauzimati samo dva donja planeta, Merkur i Venera. U položaju gornje konjunkcije planet je na



Slika 11. Unutarnji planeti u odnosu prema Zemlji (Z) i Suncu (S) mogu se naći u položaju donje konjunkcije (D.K.), gornje konjunkcije (G. K.) ili maksimalne elongacije koju predstavlja kut α .



Slika 12. Gornji planeti u odnosu prema Zemlji (Z) i Suncu (S) mogu se naći u položaju konjunkcije, opozicije ili kvadrature.

suprotnoj strani svoje putanje u odnosu prema Zemlji, pa se Sunce nalazi između Zemlje i planeta. Takav položaj mogu zauzimati svi planeti.

Položaji konjunkcije prikazani su na slici 11.

U bilo kojem trenutku položaj planeta u odnosu prema Zemlji i Suncu definiran je kutom elongacije. Kad se donji planet prividno najviše udalji od Sunca, nalazi se u položaju maksimalne elongacije. Za Veneru kut maksimalne elongacije iznosi 48° , a za Merkur 28° . Zbog toga se ta dva planeta mogu vidjeti samo neposredno nakon zalaska ili neposredno prije izlaska Sunca.

Ako planet ima istočnu elongaciju, nalazi se istočno od Sunca, pa izlazi i zalazi poslije Sunca, a ako ima zapadnu elongaciju, nalazi se zapadno od Sunca, pa izlazi i zalazi prije Sunca.

Opozicija je položaj kad kut elongacije iznosi 180° . Tada je planet na strani horizonta koja je suprotna onoj na kojoj se nalazi Sunce, pa u trenutku kad prolazi kroz gornji meridijan opažača Sunce prolazi kroz donji meridijan, i obrnuto. Drugim riječima, u položaju opozicije Zemlja se nalazi između Sunca i planeta. Položaj opozicije mogu zauzimati samo oni planeti putanje kojih su udaljenije od Sunca nego što je putanja Zemlje. Merkur i Venera ne mogu imati položaj opozicije (slika 12).

Kvadratura planeta je položaj kada kut elongacije iznosi 90° . I taj položaj mogu zauzimati samo planeti koji su od Sunca udaljeniji nego Zemlja.

Kao što se vidi na slikama planeti posjeduju faze kao i Mjesec, samo izmjena faza nije pravilna. Gornji planeti uvijek su okrenuti Zemlji svojim osvijetljenim stranama, a donji mogu Zemlji biti okrenuti svojom osvijetljenom ili potamnjenom stranom.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Kut elongacije je kut pod kojim se sa Zemlje vidi planet u odnosu prema Suncu.

Maksimalna elongacija je kut za koji se unutrašnji planet, gledan sa Zemlje, najviše može udaljiti od Sunca. Za Merkur taj kut iznosi 28° , a za Veneru 48° .

Konjunkcija je položaj kada se sa Zemlje planet gleda prema Suncu. Vanjski planeti u položaju konjunkcije nalaze se iza Sunca, i u tom su položaju najudaljeniji od Zemlje.

Donja konjunkcija je položaj kada se unutrašnji planet gleda prema Suncu i nalazi se između Zemlje i Sunca. U tom je položaju unutrašnji planet najbliži Zemlji.

Gornja konjunkcija je položaj kada se unutrašnji planet gleda prema Suncu i nalazi se iza Sunca. U tom su položaju Zemlja i unutrašnji planet međusobno najudaljeniji.

Opozicija je položaj kada se vanjski planet gleda na strani horizonta suprotnoj položaju Sunce. Zemlja i vanjski planet u tom su položaju međusobno najbliži.

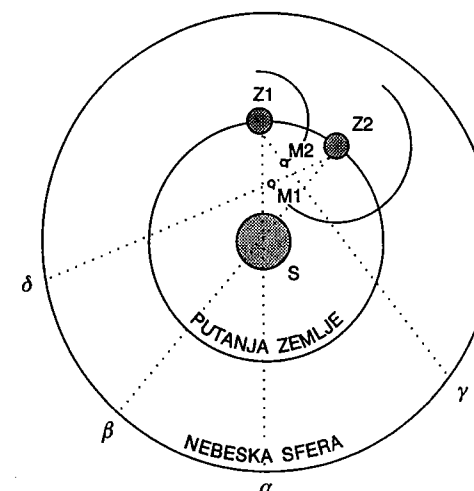
Kvadratura je položaj kada kut elongacije iznosi 90° ili 270° . U položaju kvadrature mogu se naći samo vanjski planeti.

Prividno kretanje planeta na nebeskoj sferi

U antičko doba planeti su se nazivali „zvijezdama lualicama” jer su samo oni (osim Mjeseca i Sunca) mijenjali svoj položaj na nebeskoj sferi. Stari astronomi primijetili su da Sunce i Mjesec imaju ujednačenu godišnju, odnosno mjesečnu putanju od zapada prema istoku, te da planeti prelaze preko neba od zapada prema istoku, ali s poremećajima: u određenom trenutku „zvijezde lualice” se za trenutak zaustave, a zatim se nastavljaju kretati u suprotnom smjeru, da bi se nakon napravljene nepravilne petlje ponovno nastavilo kretanje u istočnom smjeru. Ta pojava bitno je narušavala Aristotelov model svemira, pa je Apolonije uveo epicikle koji su doveli u sklad ta nepravilna kretanja planeta i model peripatetičke filozofije.

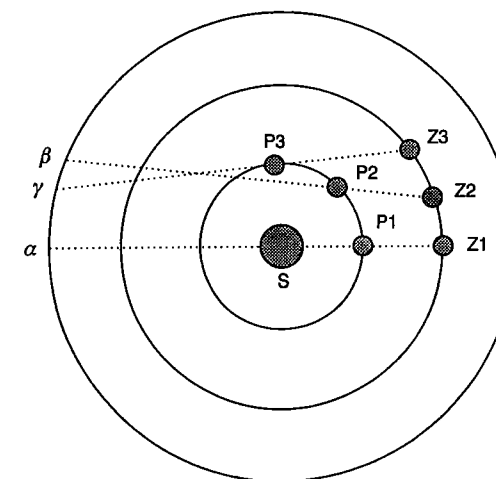
Pomicanje Sunca, Mjeseca i planeta od zapadne strane horizonta prema istočnoj strani zove se progresivno kretanje, a pomicanje planeta od istočne strane horizonta prema zapadnoj zove se retrogradno kretanje. Prividna kretanja nebeskih tijela objašnjena su na slici 13.

Na slici je prikazana nebeska sfera u središtu koje je nepomično Sunce (S) oko kojega kruži Zemlja po ucrtanoj putanji, a oko nje Mjesec. U određenom trenutku Zemlja se nalazi u položaju Z1, a Mjesec u položaju M1. U tom će trenutku opažatelj s površine Zemlje vidjeti Sunce u blizini zvijezde α na nebeskoj sferi, a Mjesec u blizini zvijezde γ . Nakon određenog vremena,



Slika 13. Zemlja (Z) na putanji oko Sunca (S) i Mjesec (M) na putanji oko Zemlje dolaze u takve položaje da se sa Zemlje čini kako prividno na nebeskoj sferi Sunce i Mjesec lutaju od zvijezde do zvijezde.

Zemlja će na svojoj putanji prevaliti određeni put i naći se u položaju Z2. Mjesec će slijediti pomak Zemlje i u tom istom trenutku naći će se u položaju M2. Opažatelj na površini Zemlje vidjet će Sunce u blizini zvijezde β , a Mjesec u blizini zvijezde δ na nebeskoj sferi. Sunce na nebeskoj sferi prividno prevali put od zvijezde α do zvijezde β , a Mjesec od zvijezde γ do zvijezde δ . Ako razdoblje iznosi jedan dan, Sunce na nebeskom svodu prevali oko 1° (360° za 365 dana), a Mjesec oko 13° (360° za 27,5 dana).



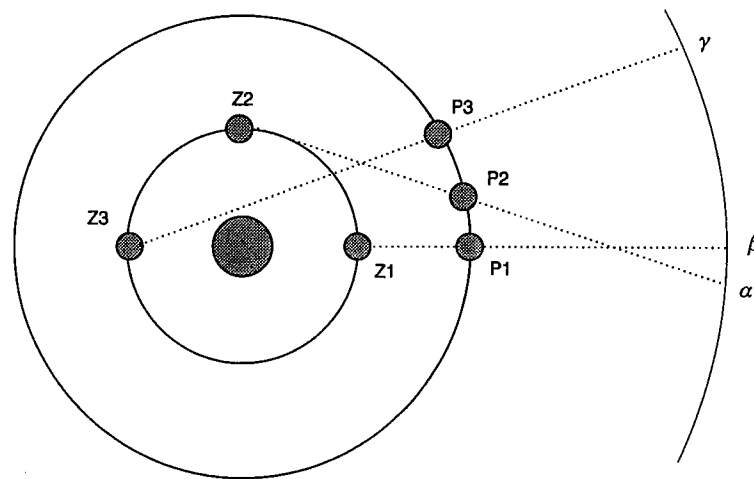
Slika 14. Donji planeti (P) i Zemlja (Z) u putanjama oko Sunca (S) dolaze u takve međusobne položaje da se sa Zemlje čini kako planet luta među zvijezdama praveći povremeno nepravilne petlje.

Prividno kretanje donjih planeta (Merkura i Venere) nešto je drugačije, a to se može vidjeti na slici 14, na kojoj se Zemlja na svojoj putanji u određenom trenutku našla u položaju Z1, a donji planet u položaju P1. Vidi se da će opažač sa Zemlje vidjeti planet pored zvijezde α na nebeskoj sferi. U nekom drugom trenutku Zemlja se nalazi u položaju Z2, a donji planet po drugom Keplerovu zakonu prevali veći put i nalazi se u položaju P2. Opažač planet vidi pored zvijezde β na nebeskoj sferi. U sljedećem razdoblju Zemlja je u položaju Z3 a planet u položaju P3. Opažač vidi planet pored zvijezde γ .

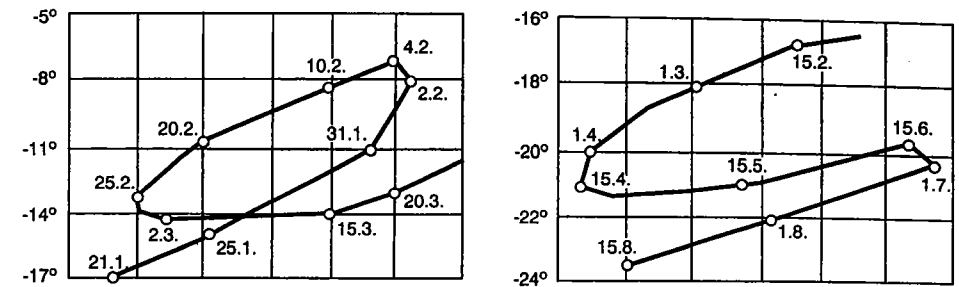
Prividno je planet na nebeskom svodu prevalio put od zvijezde α do zvijezde β , a zatim se vratio prema zvijezdi γ . Opažaču se čini da je planet opisao nepravilnu petlju. U određenom trenutku planet prividno miruje u nekoj točki sfere pa se kaže da je u tom trenutku stacionaran. Na slici 8 (lijevo) prikazana je jedna takva petlja s položajima planeta za određene datume u godini.

Donji planeti (Merkur i Venera) pretežno se kreću u progresivnom smislu, a jedino se u blizini donje konjunkcije određeno vrijeme kreću u retrogradnom smislu.

Isti oblik nepravilnog kretanja zbog istovjetnog razloga pokazuju i gornji planeti. Na slici 15 prikazane su putanje Zemlje i gornjeg planeta i različiti položaji Zemlje Z1, Z2 i Z3, planeta P1, P2 i P3 te položaja projekcije planeta na nebeskoj sferi (α , β , γ). Prividno, planet je također napravio petlju.



Slika 15. Gornji planet (P) i Zemlja (Z) na putanjama oko Sunca (S) dolaze u takve međusobne položaje da se sa Zemlje čini kao da planet luta među zvijezdama praveći povremeno nepravilne petlje.



Slika 16. Petlje koje prividno na nebeskoj sferi prave planeti mogu imati različite oblike. Na slici su prikazana dva najčešća oblika. Na lijevoj strani slike je prividna putanja jednoga donjeg, a na desnoj strani slike prividna putanja jednoga gornjeg planeta.

Neki od oblika petlji za donje planete (lijeva strana slike) i gornje planete (desna strana) prikazani su na slici 16.

Gornji planeti opažani sa Zemlje uvijek se kreću progresivno, osim u položajima blizu opozicije kad u svojem prividnom kretanju prave retrogradnu petlju.



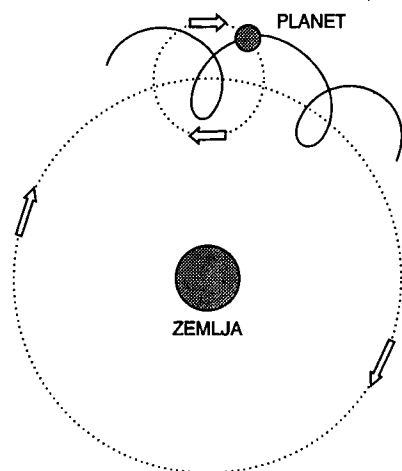
VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Progresivno kretanje je prividno kretanje nebeskog tijela od zapada prema istoku. Sunce se kreće u progresivnom smislu, približno 1° na dan. Mjesec se kreće u progresivnom smislu, približno 13° na dan. Planeti se kreću pretežno progresivno različitim brzinama.

Retrogradno kretanje je prividno kretanje planeta od istoka prema zapadu. Donji planeti (Merkur i Venera) prividno se kreću u retrogradnom smislu u blizini donje konjunkcije. Gornji planeti prividno se kreću retrogradno u blizini opozicije.

Keplerovi zakoni

Do 16. stoljeća smatralo se da je Zemlja u središtu svemira, a oko nje kruže redom Mjesec, Merkur, Venera, Sunce, Mars, Jupiter, Saturn i sfera zvijezda. Prema tom modelu Mjesec, Sunce i planeti imaju složene putanje: svako od tih nebeskih tijela kreće se po kružnici koja se zove epicikl, a središte epicikla kreće se oko Zemlje po kružnici koja se zove deferent (slika 17). Epicikl Sunca i Mjeseca samo izdužuju njihove putanje, a epicikli planeta uzrokuju retrogradna kretanja. Geocentrični model svemira postavio je Ptolomej na temelju Aristotelova naučavanja.



Slika 17. Model geocentričnog svemira podrazumijevao je da planeti imaju dvije putanje pravilnog kružnog oblika: planet se kreće po epiciklu centar kojega rotira oko Zemlje po deferentu. Tako se objašnjavalo retrogradno kretanje. Epicikli Mjeseca i Sunca su takvi da ne uzrokuju retrogradna kretanja već samo izdužuju pravilne kružnice po kojima se kreću Sunce i Mjesec.

Tijekom srednjeg vijeka model je često modificiran uvođenjem novih epicikla. Sredinom 16. stoljeća Nikola Kopernik postavio je heliocentrički sustav svemira. Po tom modelu u središtu svemira je Sunce, a oko njega kruže planeti. Oko planeta Zemlje kruži satelit Mjesec (tada se još nije znalo da i ostali planeti posjeduju satelite).

Novi model svijeta proturječio je tadašnjoj znanosti, pa je Tycho Brahe predložio kompromisan model: u središtu svemira je Zemlja oko koje kruže Mjesec i Sunce, a svi ostali planeti kruže oko Sunca, a ne oko Zemlje. Brahe je svoj model nastojao potkrijepiti detaljnim opažanjima kretanja planeta, pa je dvadeset godina precizno bilježio elemente putanje planeta Mars. Na temelju Braheovih opažanja Marsa, Johannes Kepler postavio je zakone kretanja planeta.

1. U kretanju oko Sunca planeti svojim središtima opisuju elipse u čijem je fokusu Sunce.
2. Radijus-vektori koji spajaju središte Sunca i središte planeta u jednakim vremenskim razmacima prebrisuju jednake površine.
3. Kvadrati vremena potrebnih da planeti opišu punu putanju oko Sunca razmjerni su kubovima njihovih srednjih udaljenosti od Sunca.

Iz prvog Keplerovog zakona proistječe da u svakom trenutku udaljenost od središta planeta do središta Sunca ima različite vrijednosti. Prema tome, u određenom trenutku planet je Suncu najbliži i taj se položaj planeta zove perihel. U nekom drugom trenutku planet je najudaljeniji od Sunca i taj se položaj planeta zove afel (slika 18). Pravac koji spaja perihel i afel zove se AP crta ili apsidna crta.

Značenje drugog Keplerovog zakona prikazuje slika 18. Radijus-vektor predočuje na slici pravac koji spaja Sunce s položajem planeta u točkama A, B, C, D, E ili P. Točka A predočuje položaj afela, točka P položaj perihela.

Vrijeme potrebno da planet prevali put od položaja P do položaja B jednako je vremenu potrebnom da planet prevali put od položaja C do položaja A. Površina koju zatvaraju točke PBS jednaka je površini koju zatvaraju točke CAS. Iz toga proistječe da planet na dijelu putanje od C do A ima manju brzinu nego na dijelu putanje PB, a kut β manji je od kuta α .

Treći Keplerov zakon izražen u matematičkom obliku glasi:

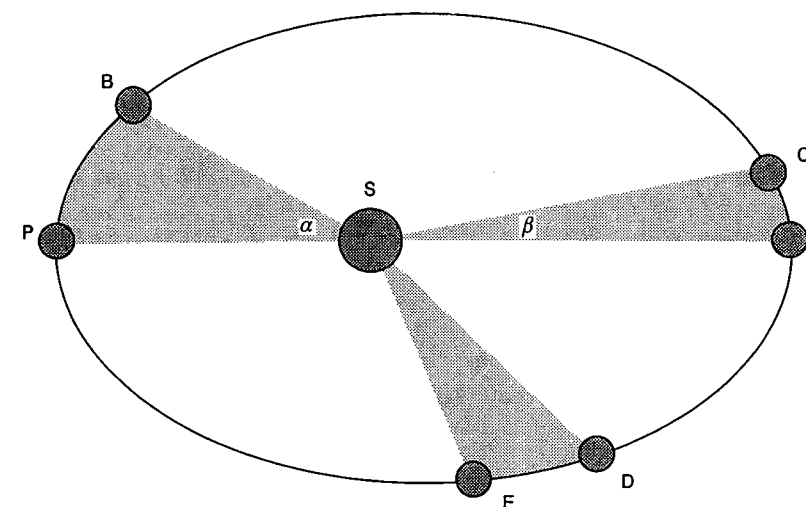
$$T_1^2 : T_2^2 = a_1^3 : a_2^3 \quad (1)$$

T_1 i T_2 predočuju ophodna vremena planeta, a a_1 i a_2 srednje udaljenosti planeta od Sunca.

Ako se za vrijeme ophodnje uzme vrijeme ophodnje Zemlje ($T_1 = 1$ ili jedna godina), a za udaljenost prvog planeta udaljenost Zemlje od Sunca ($a_1 = 1$ ili jedna astronomska jedinica), Keplerov izraz pretvori se u oblik:

$$a = \sqrt[3]{T^2} \quad (2)$$

Uskoro nakon otkrića trećeg Keplerova zakona bile su izračunane udaljenosti tada poznatih planeta od Sunca.



Slika 18. Putanje planeta imaju oblik elipsi u kojih je zajedničkom fokusu Sunce. U jednakim razdobljima radijus-vektor koji spaja središte planeta sa središtem Sunca prebrisuje jednake površine.

Newtonov zakon gravitacije

Newtonovom otkriću zakona gravitacije prethodili su radovi trojice znanstvenika: Keplera, Galilea i Huygensa. Koristeći se njihovim saznanjima Isaac Newton je uspio postaviti zakon koji je u stanju objasniti mnoge pojave u prirodi. Zakon je matematički opis gravitacijske interakcije (međudjelovanja) između dvaju tijela s masama m_1 i m_2 na međusobnoj udaljenosti r :

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2} . \quad (3)$$

Dvije materijalne čestice međusobno se privlače silom koja je razmjerna produktu njihovih masa i obratno razmjerna kvadratima njihove udaljenosti.

Ako masa m_1 predočuje masu planeta, masa m_2 masu Sunca, a r udaljenost između Sunca i planeta, te ako masu planeta označimo sa m , a masu Sunca sa M , izraz se pretvori u oblik:

$$F = k \frac{m M}{r^2} . \quad (4)$$

Prema tome, sila kojom Sunce privlači planet razmjerna je produktu masa Sunca i planeta i obratno razmjerna kvadratu njihove međusobne udaljenosti. Budući da se radi o interakcijskoj sili, planet jednakom silom privlači Sunce.

Vrijednost k u izrazu predočuje gravitacijsku konstantu. Njezina je vrijednost jedinstvena za sva tijela u Sunčevu sustavu, a velikim brojem mjerenja izračunano je da gravitacijska konstanta iznosi $k = 6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Putanje planeta imaju oblik elipsi. U jednom zajedničkom fokusu nalazi se Sunce.

Perihel je točka putanje u kojoj se planet najviše približava Suncu.

Afel je točka putanje u kojoj se planet najviše udaljuje od Sunca.

Apsidna linija ili **AP-linija** je linija koja spaja točke afela i perihela.

Brzina kruženja planeta ovisna je o udaljenosti planeta i Sunca. Planet je najbrži kad je najbliže Suncu (u položaju perihela), a najsporiji kad je najudaljeniji od Sunca (u položaju afela). Što je planet udaljeniji od Sunca, brzina mu je manja.

Zakon gravitacije. Dvije materijalne čestice međusobno se privlače silom koja je razmjerna produktu njihovih masa i obratno razmjerna kvadratima njihove udaljenosti.



PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Što je nebeska sfera? Koje su karakteristične točke sfere ovisne o položaju opažača? Što je nebeski horizont? Zbog čega nebeska tijela imaju izlaze i zalaze? Što su nebeski polovi, nebeski ekvator i nebeski meridijani?
2. Koja nebeska tijela čine Sunčev sustav? Kako se mjere udaljenosti unutar Sunčeva sustava? Kako su raspoređeni planeti po svojim udaljenostima od Sunca? Kako su raspoređeni planeti po veličinama? Kako su podijeljeni planeti u odnosu prema asteroidnom pojasu? Koji planeti imaju satelite? Kako se zovu sateliti pojedinih planeta? Što znate o Suncu?
3. Što su zvijezde, a što galaksije? Kako se mjere međuzvezdane udaljenosti?
4. Kakve međusobne položaje mogu zauzimati Sunce, Zemlja i unutrašnji planeti? Kako se zovu položaji kada su Zemlja i unutrašnji planet međusobno najudaljeniji, a kako kada su međusobno najbliži? Kakve međusobne položaje mogu zauzimati Zemlja, Sunce i vanjski planeti? Kada su Zemlja i vanjski planet međusobno najbliži, a kada najdalji?
5. Što znači progresivno a što retrogradno prividno kretanje?
6. Koje su karakteristike planetarnih putanja? Kada planet na putanji ima najveću a kada najmanju brzinu, i zašto? U kakvoj je međusobnoj vezi udaljenost planeta od Sunca i njegova brzina? Kako glasi zakon gravitacije?

2. Koordinatni sustavi

Položaj nebeskog tijela na sferi može se prikazati u odnosu prema položaju ravnine opažačeva horizonta, položaju ravnine nebeskog ekvatora ili položaju ravnine prividnog godišnjeg kretanja Sunca (ekliptike). Koordinate nebeskog tijela predočuju kutne udaljenosti tijela od tih osnovnih ravnina koordinatnih sustava.

Dvije su skupine koordinatnih sustava: mjesni i nebeski koordinatni sustavi. U mjesnim koordinatnim sustavima određene su koordinate koje ovise o rotaciji Zemlje i položaju opažača. One se mijenjaju relativno brzo, i tijekom jedne rotacije Zemlje (jednog dana) neke od njih izmijene se za 360° . U nebeskim koordinatnim sustavima određene su koordinate u odnosu prema ekliptici i nebeskom ekvatoru. One se mijenjaju relativno sporo.

Mjesni koordinatni sustavi jesu:

1. koordinatni sustav horizonta,
2. prvi (mjesni) koordinatni sustav ekvatora.

Nebeski koordinatni sustavi jesu:

1. drugi (nebeski) koordinatni sustav ekvatora,
2. koordinatni sustav ekliptike.

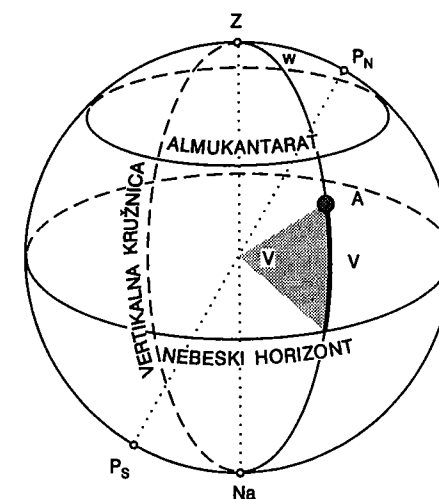
Koordinatni sustav horizonta

Polovi koordinatnog sustava horizonta su zenit i nadir. Dobiju se ako se okomica na horizontalnu ravninu iz položaja opažača produži do nebeske sfere. Zenit se nalazi iznad glave opažača, a nadir na suprotnoj strani sfere.

Osnovne kružnice tog koordinatnog sustava jesu nebeski horizont, nebeski meridijan i vertikalne kružnice. Nebeski horizont je kružnica na nebeskoj sferi koja se dobije ako se ravnina horizonta opažača produži do nebeske sfere. Nebeski meridijan je glavna kružnica koja se dobije ako se ravnina meridijana opažača produži do nebeske sfere, a na njoj se nalaze zenit, nadir i nebeski polovi. Vertikalne kružnice su krugovi koji prolaze zenitom, nadirom i središtima nebeskih tijela. Svako nebesko tijelo ima svoju vertikalnu kružnicu (slika 19).

Osnovne koordinate u ovom koordinatnom sustavu jesu visina (V) i azimut (W).

Visina nebeskog tijela je luk vertikalne kružnice od nebeskog horizonta do središta nebeskog tijela ili kut u središtu sfere između nebeskog horizonta i središta nebeskog tijela.



Slika 19. U koordinatnom sustavu horizonta polovi su zenit (Z) i nadir (Na). Osnovna kružnica je nebeski horizont. Glavne kružnice su nebeski meridijan i vertikalne kružnice, a koordinate visina (V) i azimut (W) nebeskog tijela.

Azimut nebeskog tijela je kut u zenitu između nebeskog meridijana i vertikalne kružnice ili luk nebeskog horizonta između nebeskog meridijana i vertikalne kružnice nebeskog tijela.

Mala kružnica na nebeskoj sferi koja spaja sva nebeska tijela s istim visinama zove se visinski paralel ili almukantarat.

Visina nebeskog tijela mjeri se od horizonta do zenita. Nebesko tijelo koje se nalazi u horizontu ima visinu 0° , a nebesko tijelo koje se nalazi u zenitu ima visinu 90° . Visina nebeskog tijela ne može biti veća od 90° . Komplement visine ($90^\circ - V$) predočuje sfernu udaljenost nebeskog tijela od zenita i zove se zenitna udaljenost (z). Nebesko tijelo koje se nalazi ispod horizonta ima negativnu visinu.

Azimut nebeskog tijela mjeri se od sjeverne strane meridijana (donjeg meridijana na sjevernoj hemisferi) u smjeru kazaljke na satu do vrijednosti 360° .



VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Polovi koordinatnog sustava horizonta su zenit i nadir.

Osnovne kružnice koordinatnog sustava horizonta su nebeski horizont, nebeski meridijan i vertikalni krugovi.

Koordinate u koordinatnom sustavu horizonta su visina i azimut nebeskog tijela.

Visina nebeskog tijela je luk vertikalne kružnice od nebeskog horizonta do središta nebeskog tijela ili kut u središtu Zemlje između ravnine nebeskog horizonta i središta nebeskog tijela. Mjeri se od 0° do 90° , a

može biti pozitivna ili negativna. Nebesko tijelo s visinom 90° nalazi se u zenitu, a s visinom -90° u nadiru. Visina je negativna ako je tijelo ispod horizonta.

Azimut nebeskog tijela je kut u zenitu između nebeskog meridijana i vertikalne kružnice. Mjeri se od 0° do 360° od trenutka prolaza tijela kroz sjeverni meridijan.

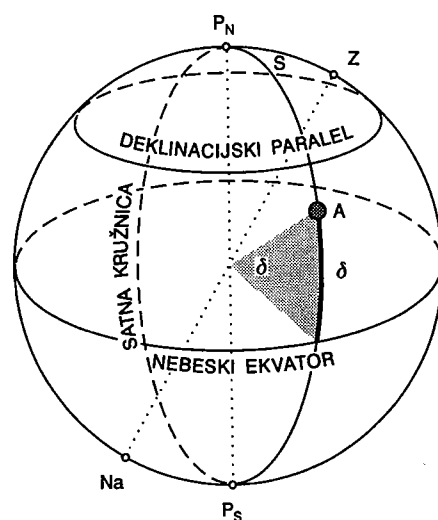
Zenitna udaljenost je luk vertikalne kružnice od zenita do središta nebeskog tijela ($z = 90^\circ - V$)

Almukantarat je mala kružnica koordinatnog sustava horizonta, paralelna s horizontom. To je kružnica jednakih visina nebeskih tijela.

Prvi koordinatni sustav ekvatora

Polovi prvog (mjesnog) koordinatnog sustava ekvatora jesu sjeverni nebeski pol i južni nebeski pol. Dobiju se ako se os Zemlje produži do nebeske sfere. Sjeverni nebeski pol se nalazi iznad sjevernog pola Zemlje, a južni nebeski pol iznad južnog pola Zemlje.

Glavne kružnice tog koordinatnog sustava jesu nebeski ekvator, nebeski meridijan i satne kružnice. Nebeski ekvator je velika kružnica na nebeskoj sferi a dobije se ako se ravnina Zemljina ekvatora produži do nebeske sfere. Nebeski meridijan je glavna kružnica koja se dobije ako se ravnina meridijana opažaća produži do nebeske sfere, a na njoj se nalaze i zenit i nebeski polovi. Nebeski meridijan je istodobno i vertikalna i satna kružnica. Satne kružnice su



Slika 20. U prvom koordinatnom sustavu ekvatora polovi su sjeverni (P_N) i južni nebeski pol (P_S). Osnovna kružnica je nebeski ekvator. Glavne kružnice su nebeski meridijan i satne kružnice, a koordinate deklinacija (δ) i satni kut (s) nebeskog tijela.

glavne kružnice koje prolaze polovima i središtima nebeskih tijela. Svako nebesko tijelo ima svoju satnu kružnicu (slika 20).

Osnovne koordinate u ovom koordinatnom sustavu su deklinacija (δ) i mjesni satni kut (s).

Deklinacija nebeskog tijela je luk satne kružnice od nebeskog ekvatora do središta nebeskog tijela ili kut u središtu sfere između nebeskog ekvatora i središta nebeskog tijela.

Satni kut nebeskog tijela je kut u polu između nebeskog meridijana i satne kružnice ili luk nebeskog ekvatora između nebeskog meridijana i satne kružnice nebeskog tijela.

Mala kružnica na nebeskoj sferi koja spaja sva nebeska tijela s istim deklinacijama zove se deklinacijski paralel. U mjesnim koordinatnim sustavima nebeska tijela kruže po deklinacijskim paralelama, a njihova udaljenost od ekvatora mijenja se relativno sporo.

Deklinacija nebeskog tijela mjeri se od nebeskog ekvatora do pola i pozitivna je ako je nebesko tijelo sjevernije od ekvatora, a negativna ako je nebesko tijelo južnije od ekvatora. Nebesko tijelo koje je na nebeskom ekvatoru ima deklinaciju 0° , a nebesko tijelo koje je u polu ima deklinaciju 90° . Samo Polarna zvijezda (od nebeskih tijela koja se koriste u navigaciji) ima deklinaciju koja iznosi gotovo 90° . Deklinacija ne može biti veća od 90° . Komplement deklinacije ($90^\circ - \delta$) predstavlja sfernu udaljenost nebeskog tijela od pola i zove se polarna udaljenost (p).

Satni kut nebeskog tijela mjeri se od gornjeg meridijana u smjeru kazaljke na satu do vrijednosti 360° . Često se vrijednost satnog kuta računa i od 0° do 180° prema zapadu (zapadni satni kut - s_w) i od 0° do 180° prema istoku (istočni satni kut - s_e). Vrijednost istočnoga satnog kuta dobije se ako se od 360° oduzme vrijednost zapadnoga satnog kuta:

$$s_e = 360^\circ - s_w. \quad (5)$$

Prilikom prolaska nebeskog tijela kroz gornji meridijan satni kut mu iznosi 0° . Kad nebesko tijelo ima satni kut 180° , prolazi kroz donji meridijan. Prilikom prolaska kroz meridijan satni kut i azimut razlikuju se, dakle, za 180° .

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Polovi prvog koordinatnog sustava ekvatora su sjeverni i južni nebeski pol.

Osnovne kružnice prvog koordinatnog sustava ekvatora su nebeski ekvator, nebeski meridijan i satne kružnice.

Koordinate u prvom koordinatnom sustavu ekvatora su deklinacija i satni kut nebeskog tijela.

Deklinacija nebeskog tijela je luk satne kružnice od nebeskog ekvatora do središta nebeskog tijela ili kut u središtu Zemlje između ravnine

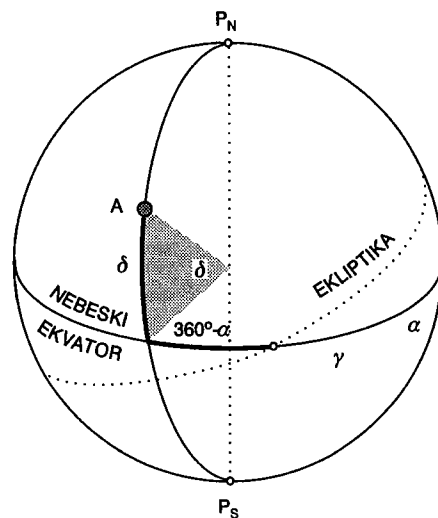
nebeskog ekvatora i središta nebeskog tijela. Mjeri se od 0° do 90° , a može biti pozitivna ili negativna. Nebesko tijelo s deklinacijom 90° nalazi se u sjevernome nebeskom polu, a s visinom -90° u južnome nebeskom polu. Deklinacija je pozitivna ako je tijelo na sjevernoj nebeskoj hemisferi, a negativna ako je na južnoj.

Satni kut nebeskog tijela je kut u nebeskom polu između nebeskog meridijana i satne kružnice. Mjeri se od 0° do 360° od trenutka prolaza tijela kroz donji meridijan ili od 0° do 180° u istočnom (SE) ili zapadnom (SW) smjeru.

Polarna udaljenost je luk satne kružnice od nebeskog pola do središta nebeskog tijela ($p = 90^\circ - \delta$).

Drugi koordinatni sustav ekvatora

Satni kut je vrijednost koja se mijenja svakog trenutka, i za jedan dan nebesko tijelo promijeni satni kut za približno 360° . Za navigacijska nebeska tijela Sunčeva sustava (Sunce, Mjesec, Venera, Mars, Jupiter i Saturn) godišnjaci prikazuju koordinate iz prvoga koordinatnog sustava ekvatora. Položaj nebeskih tijela koja ne pripadaju Sunčevu sustavu može se odrediti u odnosu prema proljetnoj točki, to jest točki u kojoj se Sunce nalazi u trenutku kad s južne hemisfere prelazi na sjevernu hemisferu. Predstavlja presjecište ravnina nebeskog ekvatora i ekliptike, i to za trenutak proljetnog ekvinocija.



Slika 21. U drugom (astronomskom) koordinatnom sustavu ekvatora polovi su sjeverni (P_N) i južni nebeski pol (P_S). Osnovna kružnica je nebeski ekvator. Glavne kružnice su nebeski meridijan i satne kružnice, a koordinate deklinacija (δ) i surektascenzija ($360^\circ - \alpha$).

Polovi drugog koordinatnog sustava ekvatora su sjeverni i južni nebeski pol, a glavne kružnice su nebeski ekvator i satne kružnice. Koordinate su prikazane na slici 21. Osnovne koordinate u drugom koordinatnom sustavu ekvatora su deklinacija (δ) i surektascenzija ($360 - \alpha$).

Deklinacija nebeskog tijela ista je koordinata kao i u prvom koordinatnom sustavu ekvatora, i ima ista obilježja.

Surektascenzija nebeskog tijela je luk nebeskog ekvatora od proljetne točke do satne kružnice nebeskog tijela. Mjeri se u retrogradnom smjeru od 0° do 360° . U astronomiji se upotrebljava rektascenzija (α), to jest ista koordinata koja se računa u progresivnom smislu, a koja se sa surektascenzijom dopunjuje na 360° .

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Polovi drugog (nebeskog) koordinatnog sustava ekvatora jesu sjeverni i južni nebeski pol.

Osnovne kružnice drugog koordinatnog sustava ekvatora jesu nebeski ekvator, nebeski meridijan i satne kružnice.

Proljetna točka je ishodišna točka drugog (nebeskog) koordinatnog sustava ekvatora. To je točka na nebeskoj sferi u kojoj se sijeku ravnine nebeskog ekvatora i ekliptike. U proljetnoj točki Sunce je svake godine u trenutku kad s južne hemisfere prelazi na sjevernu (početak proljeća).

Koordinate u koordinatnom sustavu horizonta su deklinacija i surektascenzija ($360 - \alpha$).

Surektascenzija je luk nebeskog ekvatora od položaja proljetne točke do satne kružnice nebeskog tijela, mjerena u retrogradnom smjeru. Mjeri se od 0° do 360° .

Koordinatni sustav ekliptike

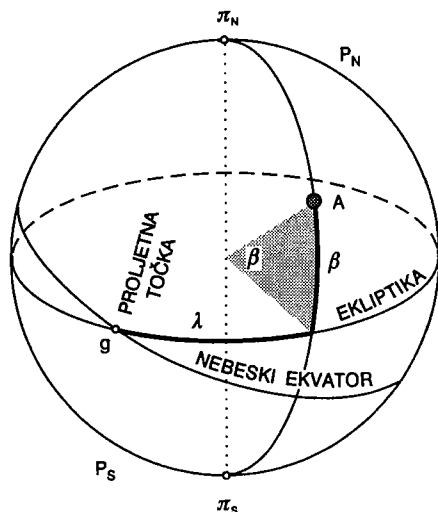
Polovi koordinatnog sustava ekliptike jesu sjeverni i južni pol ekliptike. To su točke na sferi koje se dobiju kad se os koja je okomita na ravninu ekliptike i prolazi središtem Zemlje produži do nebeske sfere. Pri tome je sjeverni pol ekliptike onaj pol koji se nalazi na sjevernoj hemisferi, a južni je pol onaj koji se nalazi na južnoj hemisferi. Osnovne kružnice u tom koordinatnom sustavu su ekliptika i meridijani ekliptike. Ekliptika je glavna kružnica sfere po kojoj se prividno kreće Sunce tijekom godine, a meridijani ekliptike su glavne kružnice koje spajaju polove ekliptike i položaj (središte) nebeskog tijela.

Koordinate koordinatnog sustava ekliptike su latituda (β) i longituda (λ).

Latituda je luk meridijana ekliptike od ravnine ekliptike do središta nebeskog tijela. Računa se od ekliptike do pola ekliptike i pozitivna je ako se nebesko

tijelo nalazi na sjevernoj hemisferi koordinatnog sustava ekliptike, a negativna ako je na južnoj hemisferi.

Longituda je luk ekliptike od proljetne točke do meridijana ekliptike. Računa se od 0 do 360° u progresivnom smislu (slika 22).



Slika 22. U koordinatnom sustavu ekliptike polovi su sjeverni (π_N) i južni pol ekliptike (π_S). Glavne kružnice su ekliptika i meridijani ekliptike, a koordinate latituda (β) i longituda (λ).

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Ekliptika je glavna kružnica na nebeskoj sferi po kojoj se prividno kreće Sunce tijekom godine. Putanja Zemlje u ravnini je ekliptike.

Meridijan ekliptike je glavna kružnica koja prolazi polovima ekliptike i središtem nebeskog tijela.

Polovi koordinatnog sustava ekliptike su sjeverni i južni pol ekliptike.

Osnovne kružnice koordinatnog sustava ekliptike su ekliptika i meridijani ekliptike.

Koordinate u koordinatnom sustavu horizonta su latituda (β) i longituda (λ).

Latituda je luk meridijana ekliptike od ravnine ekliptike do središta nebeskog tijela. Mjeri se od 0° do 90° i pozitivna je ako je nebesko tijelo na sjevernoj hemisferi ekliptike, a negativna ako je na južnoj hemisferi ekliptike.

Longituda je luk ekliptike od položaja proljetne točke do meridijana ekliptike. Mjeri se od 0° do 360° u progresivnom smislu.

Veza između satnog kuta Sunca i pravog vremena

Vrijeme je pojam najuže vezan za astronomske pojave. Većina osnovnih jedinica za mjerenje vremena izvedena je iz astronomskih kretanja.

Dan je vrijeme potrebno da srednje Sunce dvaput uzastopno kulminira u nekom meridijanu na Zemlji.

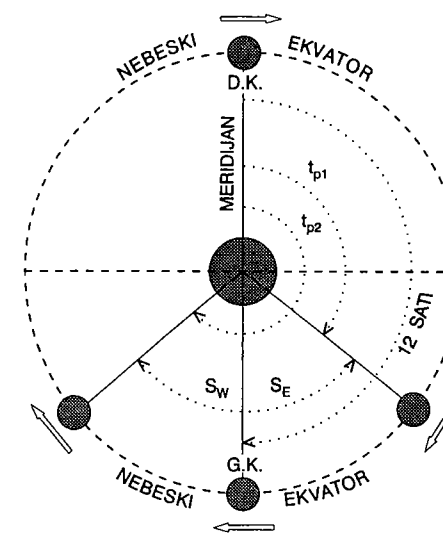
Mjesec je vrijeme potrebno da Mjesec dvaput uzastopno kulminira sa Suncem.

Godina je vrijeme potrebno da Sunce dvaput uzastopno kulminira s nekim objektom na nebu (proljetnom točkom za tropsku godinu ili zvijezdom za zvjezdanu godinu).

Vrijeme se mjeri po Suncu. Zbog nejednakomjernog kretanja Sunca postoji pojam pravog vremena koje se mjeri po pravom Suncu i srednjeg vremena koje se mjeri po zamišljenom srednjem Suncu putanja kojega je ujednačena. Pravo vrijeme počinje u ponoć, to jest od trenutka kad Sunce prođe kroz donji meridijan. Satni kut Sunca počinje se računati od trenutka kad Sunce prođe kroz gornji meridijan opažača, pa je između vremena i satnog kuta Sunca razlika od 180° ili 12 sati (slika 23).

Na slici se može vidjeti da se pravo vrijeme i satni kut Sunca razlikuju za 180°, odnosno 12 sati:

$$\begin{aligned} tp &= 12^h - s_E. \\ tp &= 12^h + s_W. \end{aligned} \quad (6)$$

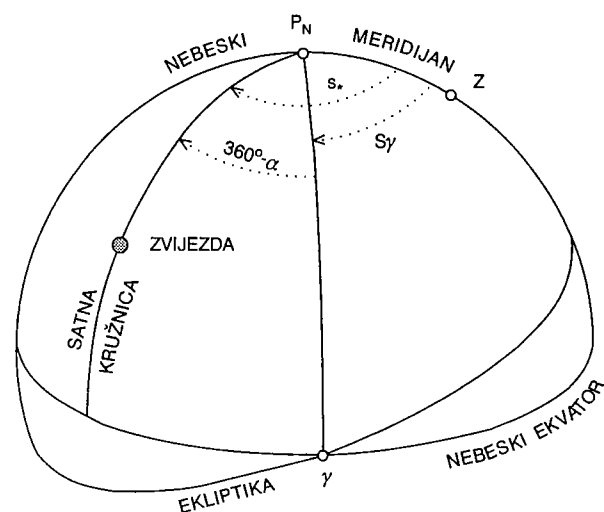


Slika 23. Pravo vrijeme počinje teći od trenutka donje kulminacije, to jest kad Sunce prođe kroz donji meridijan (prava ponoć). Satni kut Sunca počinje se računati od trenutka gornje kulminacije, to jest kad Sunce prođe kroz gornji meridijan (pravo podne). Razlika između pravog vremena i satnog kuta Sunca iznosi 12 sati.

Veza između satnog kuta i surektascenzije

Satni kut nebeskog tijela je kut u nebeskom polu između nebeskog meridijana i satne kružnice, ili luk nebeskog ekvatora između nebeskog meridijana i satne kružnice. Mjeri se u retrogradnom smjeru. Surektascenzija nebeskog tijela je luk ekvatora od proljetne točke do satne kružnice nebeskog tijela. Njihov međusobni odnos prikazan je na slici 24.

Proljetna točka je točka presjecišta ravnina nebeskog ekvatora i ekliptike za položaj proljetnog ekvinocija. U položaju proljetne točke Sunce je prvog dana



Slika 24. Satni kut nebeskog tijela je zbroj satnog kuta proljetne točke i surektascenzije.

proljeća. Budući da se nalazi na nebeskom ekvatoru, deklinacija proljetne točke je 0° . Koordinata s kojom je definiran njen položaj u prvom koordinatnom sustavu ekvatora je satni kut. Iz slike se vidi da se mjesni satni kut nebeskog tijela može dobiti kao zbroj mjesnog satnog kuta proljetne točke i surektascenzije:

$$s = s_\gamma + (360^\circ - \alpha). \quad (7)$$

Račun satnog kuta nebeskog tijela neizbježan je u nautičkim zadacima pretvaranja koordinata. Pri identifikaciji nepoznatih nebeskih tijela izračunava se surektascenzija kao funkcija satnog kuta nebeskog tijela i satnog kuta proljetne točke:

$$(360^\circ - \alpha) = s - s_\gamma. \quad (8)$$

U nautičkim godišnjacima prikazan je satni kut koji se odnosi na meridijan Greenwich (prilog). Mjesni satni kut (s) od satnog kuta za meridijan Greenwich (S) razlikuje se za vrijednost geografske dužine (λ):

$$\begin{aligned} s &= S + \lambda, \\ S &= s + \lambda. \end{aligned} \quad (9)$$

Prema tome, mjesni satni kut ili surektascenzija nebeskog tijela mogu se dobiti iz izraza:

$$\begin{aligned} s &= (S_\gamma + \lambda) + (360^\circ - \alpha) \\ (360^\circ - \alpha) &= s - (S_\gamma + \lambda). \end{aligned} \quad (10)$$

Satni kut proljetne točke u meridijanu Greenwich (S_γ) predstavlja zvjezdano vrijeme tog meridijana, a mjesni satni kut proljetne točke (s_γ ili $S_\gamma + \lambda$) mjesno zvjezdano vrijeme (opisano u poglavlju 5). Prema tome, matematičke formule označene brojevima 8, 9 i 10 predočuju vezu između zvjezdanog vremena, satnog kuta i surektascenzije nebeskog tijela.



VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Pravo vrijeme mjeri se po položaju Sunca. Počinje se računati od trenutka donje kulminacije Sunca.

Satni kut Sunca je kut u nebeskom polu između nebeskog meridijana i satne kružnice Sunca. Počinje se računati od trenutka prolaska Sunca kroz gornji meridijan. Pravo vrijeme i satni kut Sunca razlikuju se za 12 sati.

Pravo vrijeme za meridijan Greenwich mjeri se po položaju Sunca u odnosu prema meridijanu Greenwich.

Pravo mjesno vrijeme mjeri se po položaju Sunca u odnosu prema mjesnom meridijanu. Od pravog vremena Greenwicha razlikuje se za vrijednost geografske dužine.

Satni kut nebeskog tijela za meridijan Greenwich počinje se računati od trenutka gornje kulminacije Sunca u meridijanu Greenwich.

Mjesni satni kut nebeskog tijela počinje se računati od trenutka gornje kulminacije nebeskog tijela u mjesnome meridijanu. Od satnog kuta Greenwicha razlikuje se za vrijednost geografske dužine.

Surektascenzija nebeskog tijela je luk nebeskog ekvatora od proljetne točke do satne kružnice nebeskog tijela. Satni kut nebeskog tijela može se dobiti kao zbroj satnog kuta proljetne točke i surektascenzije.



PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Koji se koordinatni sustavi rabe u astronomskoj navigaciji? Koji su mjesni a koji nebeski koordinatni sustavi? Kakve vrste gibanja predočuju mjesni koordinatni sustavi, a kakve vrste gibanja predočuju nebeski koordinatni sustavi?

2. Koji su polovi u koordinatnom sustavu horizonta? Što je to nebeski horizont? Koje su koordinate koordinatnog sustava horizonta i kako se mjere?
3. Koje su koordinate u mjesnom koordinatnom sustavu ekvatora i kako se računaju? Koji su polovi u mjesnom koordinatnom sustavu ekvatora? Koje su glavne kružnice drugog koordinatnog sustava ekvatora?
4. U čemu je razlika između mjesnog i nebeskoga koordinatnog sustava ekvatora? Kako se mijenjaju koordinate u nebeskome koordinatnom sustavu ekvatora? Koje su to koordinate?
5. Koje su glavne kružnice koordinatnog sustava ekliptike? Kako se zovu koordinate tog koordinatnog sustava? Koriste li se u astronomskoj navigaciji?
6. Kako su međusobno povezani satni kut Sunca i pravo vrijeme? Kako su međusobno povezani zvjezdano vrijeme (satni kut proljetne točke), satni kut nebeskog tijela i surektascenzija? U čemu je razlika između mjesnog satnog kuta i satnog kuta nebeskog tijela za meridijan Greenwich?

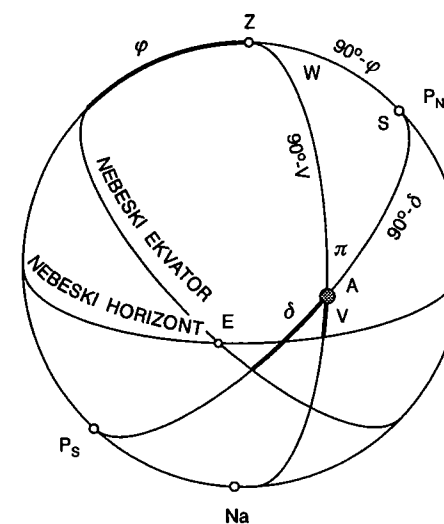
3. Astronomsko nautički trokut

Nastanak astronomsko-nautičkog trokuta

U koordinatnim sustavima određene su koordinate nebeskih tijela. Neke od koordinata neovisne su o položaju opažača na površini Zemlje, a neke (mjesni satni kut, visina i azimut) ovise o geografskim koordinatama opažača. Isto nebesko tijelo na različitim mjestima na površini Zemlje ima različite visine i azimute. Za određivanje pozicije potrebno je pretvarati koordinate različitih koordinatnih sustava, najčešće mjesnih koordinatnih sustava.

Koordinate prvoga koordinatnog sustava ekvatora u nautičkoj praksi uglavnom se koriste kao već gotovi rezultati prikazani u mnogobrojnim godišnjacima, od kojih se na našim brodovima najčešće rabe Brown's Nautical Almanac i Nautički godišnjak. Iz tih podataka potrebno je izračunati koordinate koordinatnog sustava horizonta i njih usporediti s vrijednostima koje se dobiju izravnim mjerenjima na oceanu.

Na slici 25 prikazana su dva mjesna koordinatna sustava: koordinatni sustav horizonta s visinom (V) i azimutom (W), i prvi koordinatni sustav ekvatora s deklinacijom (δ) i mjesnim satnim kutom (s).



Slika 25. Osnovni astronomsko nautički trokut povezuje koordinate mjesnih koordinatnih sustava.

Luk nebeskog meridijana od nebeskog ekvatora do položaja zenita je geografska širina opažača (φ). Budući da od ekvatora do pola ima 90° , udaljenost od nebeskog pola do zenita je komplement geografske širine ($90^\circ - \varphi$).

Luk satne kružnice od nebeskog ekvatora do središta nebeskog tijela je deklinacija (δ), a luk satne kružnice od nebeskog pola do središta nebeskog tijela je komplement deklinacije ($90^\circ - \delta$). Ta se vrijednost zove polarna udaljenost (p).

Luk vertikalne kružnice od nebeskog horizonta do središta nebeskog tijela je visina, a luk vertikalne kružnice od zenita do središta nebeskog tijela je komplement visine ($90^\circ - V$). Ta se vrijednost zove i zenitna udaljenost (z).

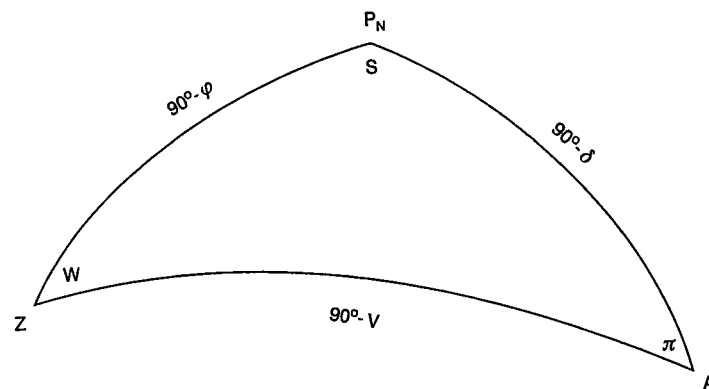
Kut u zenitu između nebeskog meridijana i vertikalne kružnice nebeskog tijela je azimut (W).

Kut u nebeskom polu između nebeskog meridijana i satne kružnice nebeskog tijela je mjesni satni kut (s).

Prema tome, iz dva međusobno povezana koordinatna sustava na slici 25 dobije se sferni trokut koji se zove osnovni astronomski trokut (slika 26).

Osnovni astronomski trokut je polazna osnova za rješavanje svih zadataka astronomske pozicije. Zove se još i astronomsko nautički trokut i trokut pozicije. Kutovi su mu azimut, satni kut i paralaktički kut. Paralaktički kut (π) kut je u središtu opažanog nebeskog tijela između satne kružnice i vertikalne kružnice. Stranice osnovnog astronomskog trokuta su komplementi visine, deklinacije i geografske širine opažača.

Osnovni astronomski trokut može biti kosokutan, pravokutan ili kvadratan sferni trokut. Pravokutan je kada se nebesko tijelo gleda prema istoku ili zapadu (prolaz kroz prvi vertikal) i kad nebesko tijelo koje ne prolazi kroz prvi vertikal postigne najveću vrijednost azimuta (položaj najveće digresije). U trenutku pravog izlaska ili zalaska nebeskog tijela osnovni astronomski trokut postaje kvadratni sferni trokut (komplement visine postaje 90°). Ta se okolnost koristi za račun vremena izlaska i zalaska nebeskih tijela.



Slika 26. Osnovni astronomsko nautički trokut.

Pretvaranje koordinata mjesnog ekvatorskoga koordinatnog sustava u koordinate koordinatnog sustava horizonta

Iz osnovnog astronomskog trokuta mogu se pretvarati elementi prvoga koordinatnog sustava ekvatora (deklinacija i satni kut) u koordinate koordinatnog sustava horizonta (visinu i azimut). Taj račun je u sustavu astronomske navigacije jedan od najčešćih, a koristi se pri izračunu astronomske stajnice visinskom metodom. Problemi se rješavaju pravilima sferne trigonometrije.

Visina nebeskog tijela može se izračunati iz izraza

$$\sin V = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s. \quad (11)$$

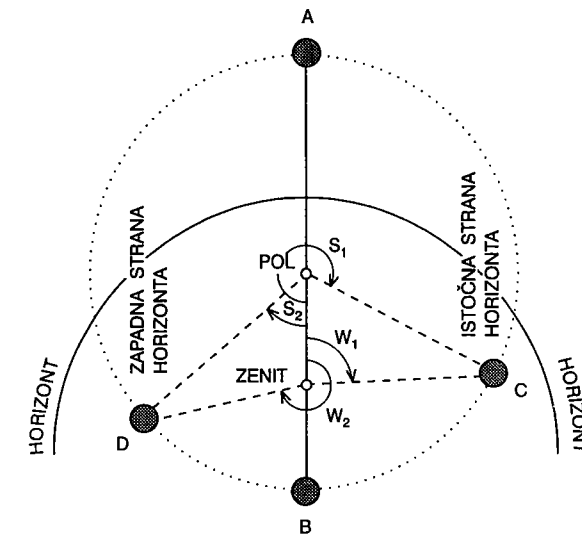
Visina nebeskog tijela može biti pozitivna ili negativna. Negativna vrijednost visine znači da se nebesko tijelo nalazi ispod horizonta.

Azimut nebeskog tijela može se izračunati iz izraza

$$\cos W = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin V}{\cos \varphi \cos V}. \quad (12)$$

Iz izraza (12) vrijednost azimuta može se izračunati od 0° do 180° . Budući da nebesko tijelo može zauzimati bilo koju vrijednost između 0° i 360° , pri izračunu azimuta treba imati na umu nalazi li se ono na istočnoj ili na zapadnoj strani horizonta.

Azimut se počinje računati od trenutka donje kulminacije nebeskog tijela, a mjesni satni kut od trenutka gornje kulminacije. Prema tome, ako je satni kut manji od 180° , nebesko tijelo se nalazi na zapadnoj strani horizonta, a ako je satni kut veći od 180° , nebesko tijelo je na istočnoj strani horizonta (slika 27).



Slika 27. Međusobni odnosi azimuta i mjesnoga satnog kuta nebeskog tijela.

Na slici nebesko tijelo prividno kruži oko nebeskog pola i u različitim trenucima zauzima položaje A, B, C i D. U položaju A nebesko je tijelo u donjoj kulminaciji. U tom trenutku njegov azimut (kut u zenitu) iznosi 0° , a mjesni satni kut (kut u polu) 180° . U položaju B nebesko je tijelo u gornjoj kulminaciji, azimut mu iznosi 180° , a mjesni satni kut 0° . U položaju C nebesko je tijelo na istočnoj strani horizonta. Azimut (W_1) manji je od 180° , a mjesni satni kut (s_1) veći je od 180° . U položaju D nebesko je tijelo na zapadnoj strani horizonta, azimut je veći od 180° (W_2), a satni kut manji od 180° (s_2).

Prema tome, za izračun točnog azimuta potrebno je imati na umu nalazi li se nebesko tijelo na istočnoj ili zapadnoj strani horizonta, odnosno je li mu mjesni satni kut veći ili manji od 180° . Zadaci se mogu lako rješavati ako se poštuju dva jednostavna pravila:

– Ako je mjesni satni kut nebeskog tijela veći od 180° , vrijednost azimuta odgovarat će izračunanoj vrijednosti.

– Ako je mjesni satni kut manji od 180° , vrijednost azimuta može se izračunati ako se vrijednost izračunana iz izraza (12) oduzme od 360° .

Pretvaranje koordinata horizontskoga koordinatnog sustava u koordinate mjesnog ekvatorskog koordinatnog sustava

Račun pretvaranja koordinata horizontskoga koordinatnog sustava (visine i azimuta) u koordinate mjesnog ekvatorskoga koordinatnog sustava (deklinaciju i mjesni satni kut) neizbježan je pri identifikaciji nebeskih tijela. Matematički modeli izvedeni su iz astronomsko nautičkog trokuta pravilima sferne trigonometrije.

Deklinacija se može izračunati iz izraza

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin V + \cos \varphi \cos V \cos W . \quad (13)$$

Deklinacija nebeskog tijela može biti pozitivna ili negativna. Negativna vrijednost deklinacije znači da se nebesko tijelo nalazi južno od nebeskog ekvatora, a pozitivna vrijednost da se nebesko tijelo nalazi sjeverno od ekvatora.

Mjesni satni kut može se izračunati iz izraza

$$\cos s = \frac{\sin V - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} . \quad (14)$$

Nalazi li se nebesko tijelo na istočnoj ili na zapadnoj strani horizonta, može se ustanoviti iz vrijednosti azimuta: ako je azimut manji od 180° , nebesko je tijelo na istočnoj strani horizonta i mjesni satni kut ima vrijednost veću od 180° , a ako je azimut veći od 180° , nebesko je tijelo na zapadnoj strani

horizonta i mjesni satni kut je manji od 180° . Za utvrđivanje točne vrijednosti mjesnoga satnog kuta potrebno je imati na umu dva jednostavna pravila:

– Ako je azimut veći od 180° , mjesni satni kut ima vrijednost izračunanu iz izraza (14).

– Ako je azimut manji od 180° , mjesni satni kut dobit će se ako se vrijednost izračunana iz izraza (14) oduzme od 360° .

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Osnovni astronomski nautički trokut povezuje koordinate koordinatnog sustava horizonta i mjesnog koordinatnog sustava ekvatora i omogućuje njihovo međusobno pretvaranje.

Visina i azimut nebeskog tijela računaju se pri izračunu astronomske stajnice visinskom metodom. U tom računu koordinate mjesnog ekvatorskog koordinatnog sustava (deklinacija i mjesni satni kut) pretvaraju se u koordinate horizontskoga koordinatnog sustava (visinu i azimut).

Deklinacija i mjesni satni kut računaju se pri identifikaciji nepoznatih nebeskih tijela. U tom slučaju koordinate horizontskoga koordinatnog sustava (visina i azimut) pretvaraju se u koordinate prvog koordinatnog sustava ekvatora (mjesni satni kut i deklinaciju).

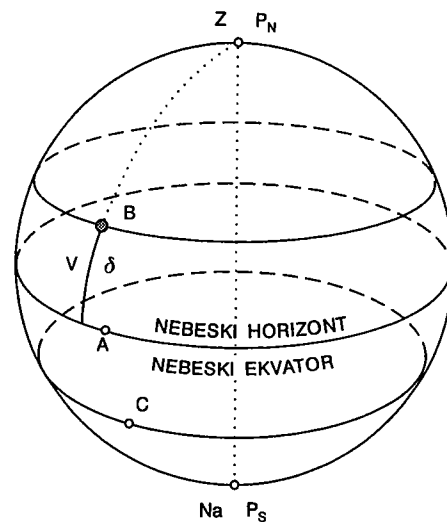
PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Što je osnovni astronomsko nautički trokut? Koje su koordinate povezane u osnovnom astronomsko nautičkom trokutu? Koji su kutovi, a koje stranice trokuta? Što je polarna, a što zenitna udaljenost?
2. Kako se mogu pretvarati koordinate horizontskoga koordinatnog sustava horizonta u koordinate prvog ekvatorskog koordinatnog sustava? U kojim se navigacijskim zadacima koristi pretvaranje deklinacije i mjesnog satnog kuta u visinu i azimut?
3. Kako se mogu pretvarati koordinate prvog koordinatnog sustava ekvatora u koordinate koordinatnog sustava horizonta? U rješavanju kojih navigacijskih zadataka se koriste ti računi? Što znači identifikacija nebeskih tijela?
4. Kako se međusobno odnose mjesni satni kut i azimut?

4. Prividna kretanja nebeskih tijela

Paralelna nebeska sfera

Paralelna nebeska sfera je prividna slika neba za opažača koji se nalazi na nekom od zemaljskih polova. Prikazana je na slici 28.



Slika 28. Ako se opažatelj nalazi na jednom od zemaljskih polova, njegov zenit nalazi se u nebeskom polu i sfera rotira oko vertikale opažatelja. Vidljiva su sva nebeska tijela koja imaju pozitivnu deklinaciju, a visina nebeskih tijela odgovara deklinaciji. Nebeska tijela nemaju izlaze ni zalaze i stalno kruže iznad horizonta ako im je deklinacija pozitivna, u horizontu ako im deklinacija iznosi 0° , a ispod horizonta ako im je deklinacija negativna.

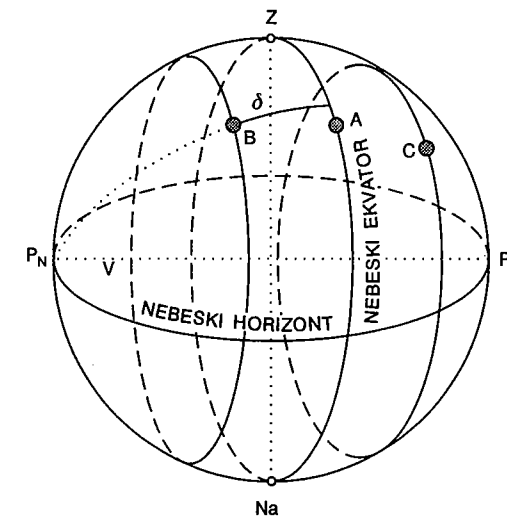
Opažatelj je na polu pa su nebeski pol i zenit u istoj točki, a ravnina nebeskog ekvatora poklapa se s ravninom nebeskog horizonta. Nebesko tijelo A na slici ima deklinaciju 0° i kruži u ravnini horizonta. Nebesko tijelo B ima pozitivnu deklinaciju i nalazi se iznad nebeskog horizonta na visini koja odgovara vrijednosti deklinacije. Budući da nema ni izlaska ni zalaska, stalno je iznad horizonta. Takva nebeska tijela zovu se cirkumpolarna nebeska tijela. Nebesko tijelo C ima negativnu deklinaciju, nalazi se ispod horizonta i opažatelj koji je na polu ne vidi ga. Takva nebeska tijela zovu se anticirkumpolarna nebeska tijela.

Za opažatelja na Zemljinoj polu Sunce tijekom godine ima visine istovjetne s deklinacijom. Najveća visina koju Sunce može postići jest $23,5^\circ$, a to se za opažatelja koji je na sjevernom polu događa prvog dana ljeta. Prvog dana proljeća i prvog dana jeseni Sunce kruži po nebeskom horizontu³. Kad je deklinacija Sunca negativna, Sunce je ispod horizonta. Tijekom proljeća i ljeta vlada polarni dan, kada je Sunce stalno iznad horizonta, a tijekom jeseni i zime vlada polarna noć kad je Sunce stalno ispod horizonta.

Okomita nebeska sfera

Okomita nebeska sfera je slika neba koju doživljava opažatelj ako je na ekvatoru. Situacija je prikazana na slici 29.

Budući da je opažatelj na ekvatoru, njegov je zenit u ravnini nebeskog ekvatora, a polovi su u nebeskom horizontu. Sva nebeska tijela, bez obzira na deklinaciju, izlaze i zalaze okomito na nebeski horizont. Nebesko tijelo s deklinacijom 0° izlazi u točki istoka i visina mu raste bez promjene azimuta koji iznosi 90° sve do trenutka prolaza nebeskog tijela kroz zenit opažatelja, zatim se promijeni za 180° i do zalaza u točki zapada iznosi 270° . Visina tog nebeskog tijela mijenja se pravilno, točno 15° na sat.



Slika 29. Ako se opažatelj nalazi na ekvatoru, njegov zenit nalazi se u ravnini nebeskog ekvatora, a nebeski polovi u ravnini horizonta. Nebeska tijela izlaze i zalaze okomito na horizont. Vidljivi lukovi nebeskih tijela jednaki su nevidljivima, bez obzira na deklinaciju.

³ Zbog utjecaja refrakcije polarni dan u stvarnosti počinje ranije od početka proljeća, a završava kasnije od početka jeseni. Prije početka polarnog dana i nakon završetka polarne noći traju građanski, nautički i astronomski sumrak, tako da stvarne polarne noći traju relativno kratko.

Nebesko tijelo s pozitivnom deklinacijom izlazi u točki izlaza (i), a zalazi u točki zalaza (z) okomito na horizont. Točka izlaza ima azimut između 0° i 90° , a točka zalaza između 270° i 360° . Nebesko tijelo ne može imati azimut između 90° i 270° .

Nebesko tijelo C ima negativnu deklinaciju i do prolaza kroz meridijan uvijek ima azimut koji je veći od 90° , a nakon prolaza kroz meridijan ima azimut koji je uvijek manji od 270° .

Bez obzira na deklinaciju, vidljivi luk nebeskog tijela jednak je nevidljivome, a izlaz i zalaz okomiti su na horizont. Zbog tih razloga na ekvatoru dan i noć traju uvijek jednako dugo, bez obzira na godišnje doba i na deklinaciju Sunca. Zbog okomitog izlaza i zalaza Sunca sumraci na ekvatoru traju najkraće.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Paralelna nebeska sfera je slika neba za opažača na jednom od zemaljskih polova. Zenit se nalazi u nebeskom polu, nebeska sfera rotira oko vertikale pa nebeska tijela nemaju izlaza ni zalaza već stalno kruže iznad horizonta, u horizontu ili ispod horizonta.

Polarni dan je period u kojem se za opažača na polu Zemlje Sunce stalno nalazi iznad horizonta. Za sjevernu hemisferu to je period od početka proljeća do završetka ljeta. Kroz taj period za opažača na južnom polu traje polarna noć.

Polarna noć je period u kojem se za opažača na polu Zemlje Sunce stalno nalazi ispod horizonta. Za sjevernu hemisferu to je period od početka jeseni do završetka zime. Na južnom polu tada traje polarni dan.

Okomita nebeska sfera je slika neba za opažača na ekvatoru. Zenit se nalazi u ravnini nebeskog ekvatora, a nebeski polovi u horizontu. Nebeska tijela izlaze i zalaze okomito na nebeski horizont, a vidljivi lukovi jednaki su nevidljivima, bez obzira na deklinaciju.

Sumraci na ekvatoru najkraće traju zbog okomitog izlaza i zalaza Sunca.

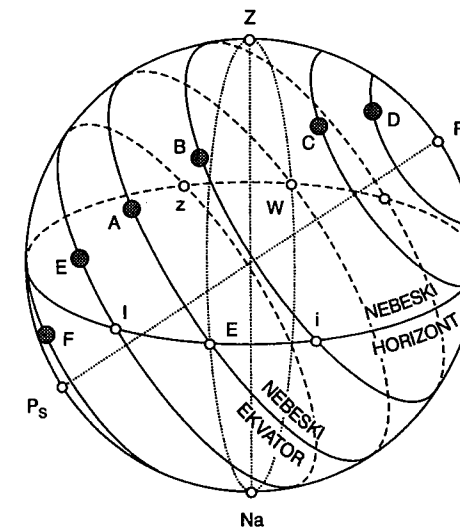
Dan na ekvatoru uvijek traje jednako dugo, bez obzira na godišnje doba i deklinaciju Sunca. Isto tako, i noći jednako traju bez obzira na godišnje doba.

Kosa nebeska sfera

Kosa nebeska sfera je slika neba za opažača koji se ne nalazi ni na ekvatoru ni na polu, već na nekoj geografskoj širini između tih dvaju ekstrema. Situaciju prikazuje slika 30.

Zenit opažača nalazi se između pola i ekvatora. Nebeska tijela ovisno o svojem položaju na sferi, zauzimaju različite položaje u odnosu prema opažaču. Ravnina nebeskog horizonta nagnuta je nad ravninu nebeskog ekvatora za

vrijednost komplementa geografske širine ($90^\circ - \varphi$). Nebeski horizont i nebeski ekvator sijeku se u točkama istoka (E) i zapada (W). Vertikalna kružnica koja prolazi kroz točku istoka zove se istočni prvi vertikal, a vertikalna kružnica koja prolazi kroz točku zapada zove se zapadni prvi vertikal. Luk nebeskog horizonta od točke istoka do točke izlaza nebeskog tijela i od točke zapada do točke zalaza nebeskog tijela zove se amplituda nebeskog tijela. Pozitivna je ako nebesko tijelo izlazi sjevernije od točke istoka, odnosno ako zalazi sjevernije od točke zapada. Negativna je ako nebesko tijelo izlazi južnije od točke istoka, odnosno zalazi južnije od točke zapada.



Slika 30. Ako se opažač nalazi na nekoj geografskoj širini, izlazi, zalazi, vidljivi i nevidljivi lukovi nebeskih tijela ovisit će o deklinacijama. Neka nebeska tijela stalno kruže iznad horizonta i nikad ne zalaze, neka nikad ne izlaze nad horizont, a neka imaju izlaze i zalaze, vidljive i nevidljive lukove koji traju nejednako.

Nebesko tijelo A ima deklinaciju koja iznosi 0° i kruži po nebeskom ekvatoru. Izlazi u točki istoka, a zalazi u točki zapada. Vidljivi luk jednak je nevidljivom luku.

Nebesko tijelo B ima pozitivnu deklinaciju, izlazi u točki horizonta koja se nalazi sjevernije od istoka, a zalazi sjevernije od točke zapada i ima pozitivnu amplitudu. Vidljivi luk veći je od nevidljivog luka.

Nebesko tijelo C ima deklinaciju koja ima isti predznak kao i geografska širina opažača, ali njegova deklinacija ima točno veličinu komplementa geografske širine ($\delta = 90^\circ - \varphi$). Nebesko tijelo ima izlaz i zalaz u istoj točki horizonta, zapravo samo tangira horizont u jednoj točki i nastavlja kretanje po sferi. Takvo nebesko tijelo zove se zadnje cirkumpolarno nebesko tijelo.

Nebesko tijelo D također ima deklinaciju istog predznaka kao i geografska širina, ali je vrijednost deklinacije veća od komplementa geografske širine

($\delta > 90^\circ - \varphi$). To nebesko tijelo nema ni izlaza ni zalaza, dva puta prolazi kroz meridijan opažača i stalno kruži na nebeskom svodu po kružnici koje je središte u vidljivom polu. Takvo nebesko tijelo zove se cirkumpolarno nebesko tijelo.

Nebesko tijelo E ima deklinaciju predznak koje je različit od predznaka geografske širine, a apsolutna vrijednost deklinacije manja je od komplementa geografske širine ($|\delta| < 90^\circ - \varphi$). Takvo nebesko tijelo ima svoj izlaz i zalaz, ali je njegov vidljivi luk kraći od nevidljivoga. Amplituda je negativna jer nebesko tijelo izlazi u točki horizonta koja se nalazi južnije od točke istoka, a zalazi u točki horizonta koja se nalazi južnije od zapada.

Nebesko tijelo F ima deklinaciju koja ima različit predznak od geografske širine, ali je apsolutna vrijednost deklinacije jednaka komplementu geografske širine ($|\delta| = 90^\circ - \varphi$). Nebesko tijelo ima izlaz i zalaz u istoj točki horizonta i nikad se ne pojavljuje iznad horizonta. Takva nebeska tijela zovu se zadnje anticirkumpolarna nebeska tijela.

Ako deklinacija i geografska širina imaju različite predznake, a apsolutna vrijednost deklinacije veća je od komplementa apsolutne vrijednosti geografske širine ($|\delta| > 90^\circ - |\varphi|$), nebesko se tijelo ne pojavljuje na horizontu i stalno je skriveno oku opažača. Takva nebeska tijela zovu se anticirkumpolarna nebeska tijela.

! VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Kosa nebeska sfera je slika neba kako je doživljava opažač koji se nalazi na nekoj geografskoj širini između pola i ekvatora.

Točka istoka je točka presjecišta nebeskog ekvatora i nebeskog horizonta. Nebesko tijelo s deklinacijom 0° izlazi u točki istoka.

Točka zapada je točka presjecišta nebeskog ekvatora i horizonta u kojoj nebesko tijelo s deklinacijom 0° zalazi pod horizont.

Prvi vertikal je vertikalna kružnica koja prolazi točkom istoka ili točkom zapada. Prvi vertikal koji prolazi kroz točku istoka zove se istočni, a onaj koji prolazi kroz točku zapada zapadni prvi vertikal.

Točka izlaska je točka na horizontu u kojoj nebesko tijelo izlazi.

Točka zalaska je točka na horizontu u kojoj nebesko tijelo zalazi pod horizont.

Amplituda nebeskog tijela je luk nebeskog horizonta od točke istoka do točke izlaska, odnosno od točke zapada do točke zalaska. Pozitivna je ako nebesko tijelo izlazi ili zalazi sjevernije od točke istoka ili zapada. Negativna je ako nebesko tijelo izlazi ili zalazi južnije od točke istoka ili zapada.

Izlazak i zalazak ima svako nebesko tijelo kojemu je apsolutna vrijednost deklinacije manja od komplementa apsolutne vrijednosti geografske širine. Ako deklinacija i geografska širina imaju isti predznak, vidljivi luk nebeskog tijela veći je od nevidljivoga. Ako je predznak deklinacije različit od predznaka geografske širine, nevidljivi luk veći je od vidljivoga.

Zadnje cirkumpolarna nebeska tijela imaju izlazak i zalazak u istoj točki horizonta i stalno kruže iznad horizonta.

Cirkumpolarna nebeska tijela stalno kruže iznad horizonta.

Zadnje anticirkumpolarna nebeska tijela tangiraju horizont u točki koja je istodobno točka izlaska i točka zalaska i nikad ne izlaze.

Anticirkumpolarna nebeska tijela su ona nebeska tijela koja nikad ne izlaze iznad horizonta niti ga tangiraju.

Klimatski pojasevi

Klimatski pojasevi su zone na površini Zemlje definirane klimatskim značajkama ovisnim o godišnjim položajima Sunca. Površina Zemlje podijeljena je na tri klimatska pojasa.

1. Tropski pojas je zona na površini Zemlje u kojoj Sunce u određenom trenutku može dosegnuti zenit opažača. Ta zona zauzima površinu Zemlje koju ograničavaju paralele $-23,5^\circ$ i $+23,5^\circ$, a karakterizira je ujednačena temperatura tijekom godine.

2. Umjereni pojasevi su zone na površini Zemlje u kojima Sunce stalno izlazi i zalazi, ali ne može dosegnuti zenit opažača niti može biti zadnje cirkumpolarno ili zadnje anticirkumpolarno. Budući da Sunce može biti u zenitu za geografske širine od $-23,5^\circ$ do $+23,5^\circ$, a zadnje cirkumpolarno ili zadnje anticirkumpolarno na geografskim širinama koje predočuju komplementi maksimalnih vrijednosti deklinacije ($90^\circ - \delta$), to jest $-66,5^\circ$ i $+66,5^\circ$, te se zone protežu između $-23,5^\circ$ i $-66,5^\circ$ na južnoj hemisferi i od $+23,5^\circ$ do $+66,5^\circ$ na sjevernoj hemisferi.

3. Hladni pojasevi su zone na površini Zemlje u kojima Sunce može biti cirkumpolarno ili zadnje cirkumpolarno, odnosno anticirkumpolarno ili zadnje anticirkumpolarno. Budući da Sunce može biti zadnje cirkumpolarno na geografskim širinama koje predočuju komplementi maksimalne ili minimalne deklinacije, te se zone protežu od $-66,5^\circ$ do južnog pola i od $+66,5^\circ$ do sjevernog pola.

! VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Topli klimatski pojas je pojas između $\varphi = 23,5^\circ$ N i $\varphi = 23,5^\circ$ S. U tom pojasu Sunce može biti u zenitu opažača.

Umjereni klimatski pojasevi su pojasevi između $23,5^\circ$ N i $66,5^\circ$ N, te između $23,5^\circ$ S i $66,5^\circ$ S. U njima Sunce ima izlazak i zalazak, a ne može biti zadnje cirkumpolarno ili zadnje anticirkumpolarno.

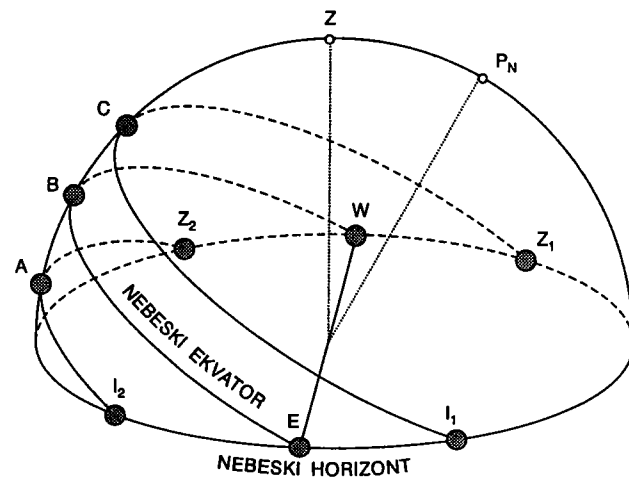
Hladni klimatski pojasevi su pojasevi od $66,5^\circ$ N do sjevernog pola i od $66,5^\circ$ S do južnog pola. U njima u određenom razdoblju godine Sunce može biti čitav dan na nebu.

Prividno godišnje kretanje Sunca

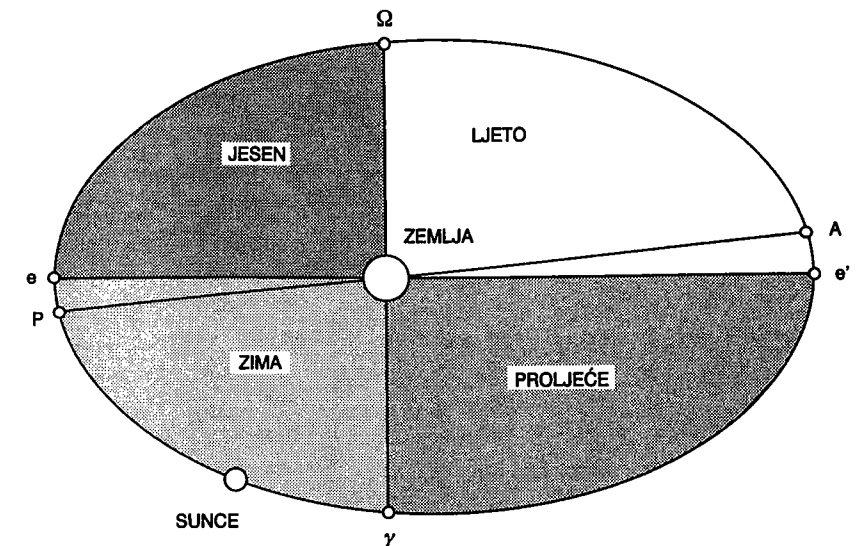
Sunce je nepomično u središtu sfere, a oko njega se okreće Zemlja koja ima i vlastito rotacijsko kretanje. Opažać na površini Zemlje kreće se zajedno s njezinom površinom i subjektivno osjeća kretanje čitave sfere sa svim njezinim elementima. Sunce se svakog jutra pojavljuje na horizontu i za opažača počinje dan. Kako prolazi vrijeme, visina Sunca sve više raste, a kada je ono u najvišoj točki (točka kulminacije), do noći je preostalo upravo onoliko vremena koliko je prošlo od trenutka Sunčeva izlaska - to je polovina dana (podne). Nakon toga visina Sunca počinje padati i u trenutku kad zađe ispod horizonta, počinje noć. Te su izmjene posljedice rotacije Zemlje oko svoje osi.

Osim izmjena dana i noći, opažać zapaža i druge pojave. U zimskom periodu godine za opažača na sjevernoj hemisferi Sunce izlazi relativno kasno, mnogo se kraće zadržava na nebu, u trenutku podneva njegova je visina niža nego u ljetnom razdoblju, noć dolazi relativno brzo, a temperatura zraka je niska. U ljetnom razdoblju godine situacija je sasvim obratna: Sunce se pojavljuje rano, putanja mu seže preko čitavog neba, u podne je visoko na nebu. Noć dolazi kasno i kratko traje, a temperature su visoke. To su godišnje izmjene i posljedica su kruženja Zemlje oko Sunca, odnosno prividnog kruženja Sunca oko Zemlje. Prividno, Sunce na nebeskom svodu opisuje putanje koje se razlikuju za različita razdoblja u godini (slika 31).

Prvog dana proljeća (oko 21. ožujka) i prvog dana jeseni (oko 23. rujna) Sunce izlazi točno u točki istoka i zalazi u točki zapada (putanja B na slici). Vidljivi luk Sunca jednak je nevidljivome, pa dan traje jednako koliko i noć. Tih se dana Sunce prividno kreće po nebeskom ekvatoru, a njegova deklinacija



Slika 31. Tijekom godine Sunce se različito zadržava na nebeskom svodu, a njegova putanja u ljetnim danima doseže mnogo sjevernije nego zimi. Točke izlaza i zalaza pomiču se prema sjeveru ljeti, a prema jugu zimi. Visina u meridijanu raste ljeti, a pada zimi.



Slika 32. Ekliptika je prividna putanja Sunca tijekom godine. U različitim razdobljima godine Sunce se nalazi na različitim točkama ekliptike, a tipični položaji su proljetna i jesenska točka, točke zimskog i ljetnog solsticija, afel i perihel.

iznosi 0° . Budući da noć i dan jednako traju, to je dan ravnodnevce ili ekvinocij.

Od trenutka kad je Sunce prešlo na sjevernu hemisferu, za opažača na toj hemisferi ono svakog dana izlazi sve ranije, a zalazi sve kasnije. Dani postaju duži od noći. Sunce izlazi sjevernije od točke istoka, a zalazi sjevernije od točke zapada. Dani se produžuju sve do prvog dana ljeta (oko 22. lipnja) kada Sunce dostiže maksimalnu deklinaciju ($\delta = +23,5^\circ$). Tog dana Sunce izlazi najsjevernije i amplituda postiže maksimalnu pozitivnu vrijednost (putanja C na slici). Dan je tada najduži, a noć najkraća. Od tog trenutka dani se počinju skraćivati, ali su još duži nego noći, a takvo stanje traje sve do prvog dana jeseni.

Dolaskom prvog dana jeseni Sunce ponovno ima deklinaciju 0° i prividno se kreće po ekvatoru. I taj dan period noći i period dana jednako traju, pa je i to dan ravnodnevce. Od tada dani počinju biti kraći od noći. Sunce izlazi južnije od točke istoka, a zalazi južnije od točke zapada (amplituda mu je negativna) i dani se skraćuju sve do prvog dana zime (oko 22. prosinca) kada deklinacija Sunca postiže najnižu vrijednost ($\delta = -23,5^\circ$). Toga je dana dan najkraći, a noć najduža, Sunce izlazi na najjužnijoj točki horizonta, a njegova je visina u trenutku kulminacije najniža u tijeku godine (putanja A na slici).

Točka ekliptike u kojoj se Sunce nalazi prvog dana proljeća je proljetna točka. To je točka na nebeskoj sferi u kojoj se sijeku ravnine ekliptike i ekvatora. Točka u kojoj se Sunce nalazi prvog dana jeseni zove se jesenska točka i predočuje točku presjecišta ekliptike i ekvatora na suprotnoj strani nebeske sfere. Zamisljena linija koja spaja proljetnu točku i jesensku točku zove se linija ekvinocija ili linija ravnodnevce (slika 32).

Točka ekliptike u kojoj se Sunce nalazi prvog dana ljeta je točka ljetnog solsticija i u blizini je afela, to jest položaja kad je Zemlja najdalje od Sunca. Točka u kojoj se Sunce nalazi prvog dana zime zove se točka zimskog solsticija i u blizini je perihela, to jest položaja u kojem je Zemlja najbliže Suncu. Zamišljena linija koja spaja točke zimskog i ljetnog solsticija zove se linija solsticija (spojnica ee' na slici). U točki ljetnog solsticija Sunce postiže najveću deklinaciju, a u točki zimskog solsticija najmanju.

Crta koja spaja afel i perihel zove se AP crta ili apsidna crta.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Crta ravnodnevice (ekvinocija) zamišljena je crta koja spaja proljetnu i jesensku točku, odnosno pravac koji predočuje presjecište ravnina nebeskog ekvatora i ekliptike.

Crta solsticija je crta okomita na crtu ekvinocija. Nebesku sferu probada u točkama solsticija.

Točka ljetnog solsticija je točka na nebeskoj sferi u kojoj se Sunce nalazi prvog dana ljeta. Deklinacija Sunca tada je najveća, ali Sunce još nije u točki afela.

Točka zimskog solsticija je točka na nebeskoj sferi u kojoj se Sunce nalazi prvog dana zime. Deklinacija Sunca tada je najmanja, ali Sunce još nije u točki perihela.

Putanja Zemlje nalazi se u ravnini ekliptike i ima oblik elipse. Točka perihela je položaj kad je Zemlja najbliža Suncu. Točka afela je položaj kad je Zemlja najudaljenija od Sunca.

Apsidna crta (AP crta) zamišljena je crta koja spaja točke afela i perihela. Ne poklapa se sa crtom solsticija.

Trajanje godišnjih doba

Ovisno o položaju Sunca na površini Zemlje mijenjaju se klimatski uvjeti. Unatoč tome što je ljeti Sunce najdalje od Zemlje, na sjevernoj hemisferi vlada ljeto. Kad je na sjevernoj hemisferi ljeto, na južnoj je zima, i obratno.

Proljeće na sjevernoj hemisferi počinje prolaskom Sunca kroz proljetnu točku (proljetni ekvinocij), to jest oko 21. ožujka⁴ i traje dok Sunce ne postigne najveću deklinaciju (oko 22. lipnja), kada počinje ljeto. Nakon toga

⁴ Godišnja doba ne počinju uvijek u isto vrijeme već im početak može varirati, pa proljeće može početi i dan ranije (20. ožujka). Isto je i s ostalim godišnjim dobima.

deklinacija Sunca počinje opadati i početkom jeseni (oko 23. rujna) postaje 0° (položaj jesenskog ekvinocija). Od tada deklinacija Sunca postaje negativna i njezina vrijednost pada dok ne postane najmanja (-23,5°), što se događa oko 22. prosinca. Toga dana počinje zima koja traje dok deklinacija ponovno ne postigne nultu vrijednost, kad ponovno počinje proljeće.

Godišnja doba ne traju jednako. Najduže (na sjevernoj hemisferi) traje ljeto, zatim proljeće, pa jesen, a najkraće traje zima. Trajanje pojedinih godišnjih doba prikazano je u tablici.

TABLICA 5

	Dani	Sati	Minute
LJETO	93	15	10
PROLJEĆE	92	18	56
JESEN	89	19	30
ZIMA	89	00	11
Ukupno:	365	05	47

Godišnja doba nejednako traju zbog tri uzroka:

1. Linija ekvinocija ne dijeli površinu ekliptike na dva jednaka dijela.

2. U vrijeme ljeta Zemlja se nalazi u blizini afela (najudaljenija je od Sunca), a po drugom Keplerovom zakonu njezina je brzina u tom trenutku najmanja, pa se u tom dijelu ekliptike zadržava najduže. Za vrijeme zime Zemlja se nalazi u blizini perihela (najbliža je Suncu), a po drugom Keplerovom zakonu tada je njezino kretanje najbrže pa se kraće zadržava u tom dijelu ekliptike.

3. Apsidna linija (linija koja spaja afel i perihel) ne poklapa se s linijom solsticija (vrijeme kad Sunce postiže najveću, odnosno najmanju deklinaciju).

Ako bi se svakodnevno na nebeskom svodu pratio položaj Sunca, tijekom godine Sunce bi prevalilo pun krug na nebeskoj sferi. U prosjeku Sunce bi dnevno prevaljivalo nešto manje od jednog stupnja prema istoku. Prema tome, Sunce mijenja položaj u zvijezdima. Zvijezda su skupine zvijezda, a tim su skupinama antički narodi davali mitološko značenje. Posebno su važna bila ona zvijezda u kojima je tijekom godine bilo Sunce. Na nebu je trinaest takvih zvijezda, koja uglavnom nose imena iz životinjskog svijeta, pa se zbog toga pojas neba od -23,5° do +23,5° zove Zodijak. Zvijezda Zodijaka su: Ovan (Aries), Bik (Taurus), Blizanci (Gemini), Rak (Cancer), Lav (Leo), Djevica (Virgo), Vaga (Libra), Škorpion (Scorpius), Zmijonosac (Ophiuchus), Strijelac (Sagittarius), Jarac (Capricornus), Vodenjaka (Aquarius), Ribe (Pisces).

Položaj kad je Sunce postizalo maksimalnu deklinaciju (ljetni solsticij) u antičko doba bio je u zvijezdu Raka, pa se paralela +23,5° zove Rakova obratnica. Položaj kad je Sunce postizalo minimalnu deklinaciju u to je vrijeme bio u zvijezdu Jarca, pa se paralela -23,5° zove Jarčeva obratnica.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Godišnja doba nejednako traju. Najduže traje ljeto, zatim proljeće, jesen, a najkraće traje zima.

Proljeće počinje oko 21. ožujka, kada deklinacija Sunca iznosi 0° .

Ljeto počinje oko 22. lipnja, deklinacija Sunca tada iznosi $+23,5^\circ$.

Jesen počinje oko 23. rujna, deklinacija Sunca iznosi 0° .

Zima počinje oko 22. prosinca, a deklinacija Sunca iznosi $-23,5^\circ$.

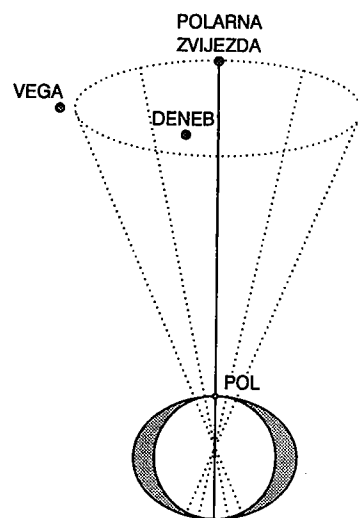
Zodijak je pojas neba po kojem se tijekom godine kreće Sunce. U tom je pojasu trinaest zvijezda koja se zovu zviježđa Zodijaka.

Stvarna i prividna kretanja zvijezda

Stvarni pomaci zvijezda zovu se vlastita kretanja zvijezda. Svemir je od trenutka velikog praska u neprestanom širenju i sve se zvijezde kreću kroz prostor velikim brzinama. Točka na nebeskoj sferi prema kojoj se kreće neko nebesko tijelo zove se apeks. Sunce ima apeks usmjeren prema zvijezdi Vega.

Prividna brzina promjena položaja zvijezda na nebeskoj sferi zavisna je od udaljenosti. Od navigacijskih zvijezda najveće promjene zbog vlastitog kretanja imaju najbliže zvijezde: Rigil Kentaurus (4,3 godine svjetlosti), Sirius (udaljenost 8,7 godina svjetlosti) i Procyon (udaljenost 11,3 godine svjetlosti).

Zbog vlastitog kretanja zvijezda, promjene u efemeridama primjećuju se nakon dužeg perioda. Mijenjaju se deklinacija i surektascenzija zvijezde.



Slika 33. Precesija nastaje zbog nejednakog utjecaja gravitacijskih sila najbližih nebeskih tijela na različite točke Zemljine površine.

Prividna kretanja zvijezda nastaju zbog precesije, precesije ekvinoxija, nutacije i aberacije.

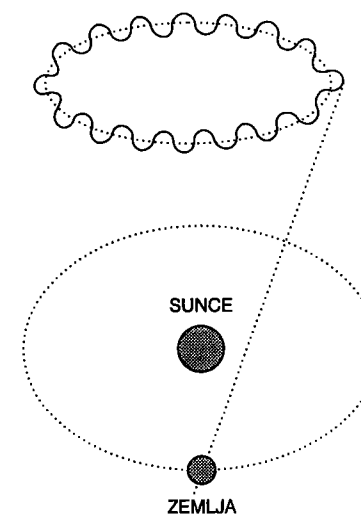
Precesija je pojava skretanja osi rotacije Zemlje zbog utjecaja gravitacijskih sila Mjeseca, Sunca i planeta.

Kada bi Zemlja bila idealna kugla, gravitacijske sile Mjeseca, Sunca i planeta djelovale bi ujednačeno na svaku točku površine i ne bi bilo pojave precesije. No kako mase Zemlje nisu ravnomjerno raspoređene, gravitacijske sile najbližih nebeskih tijela ne djeluju jednako na sve točke Zemljine površine, a posljedica toga je precesija Zemljine osi u prostoru, zbog čega se mijenja položaj nebeskih polova na sferi. Sjeverni nebeski pol kruži oko točke na nebeskoj sferi koja ima koordinate: $\delta = +60^\circ$, $360 - \alpha = 100^\circ$, blizu navigacijske zvijezde Eltanin. Pol opisuje spiralnu krivulju, a period jednog kruženja iznosi 25 800 godina i zove se Platonova godina (slika 33).

U današnje vrijeme Zemljina os usmjerena je u točku koja se nalazi u blizini Polarne zvijezde. Šest tisuća godina prije Krista nebeski pol bio je u blizini zviježđa Herkul, a početkom nove ere zvijezda Kochab bila je najbliža polu. Oko osamtisućite godine pol će biti u zviježđu Labuda, a za 11 000 godina polarna zvijezda bit će zvijezda Vega.

Polarna zvijezda polu će biti najbliža 2100. godine, i tada će biti udaljena oko $27'$. Godine 1992. Polarna je zvijezda od pola bila udaljena oko $49'$.

Precesija ekvinoxija je promjena presjecišta ekliptike i nebeskog ekvatora zbog precesije. Proljetna se točka zbog toga pomiče u retrogradnom smislu, a njezinim se pomakom mijenjaju rektascenzije, odnosno surektascenzije. Lunarna precesija nastaje zbog djelovanja gravitacijske sile Mjeseca i ima vrijednost od $36,36''$ godišnje. Solarna precesija nastaje radi utjecaja gravitacijske sile Sunca i iznosi $14''$ godišnje. Ukupan utjecaj zove se lunisolarna precesija i



Slika 34. Zbog promjene položaja Mjeseca, precesijska spirala ima nutacijske nabore.

iznosi $50,36''$, ali s utjecajima planeta i zbog promjene nagiba ekliptike precesija ekvinocija ima iznos od $50,24''$ godišnje.

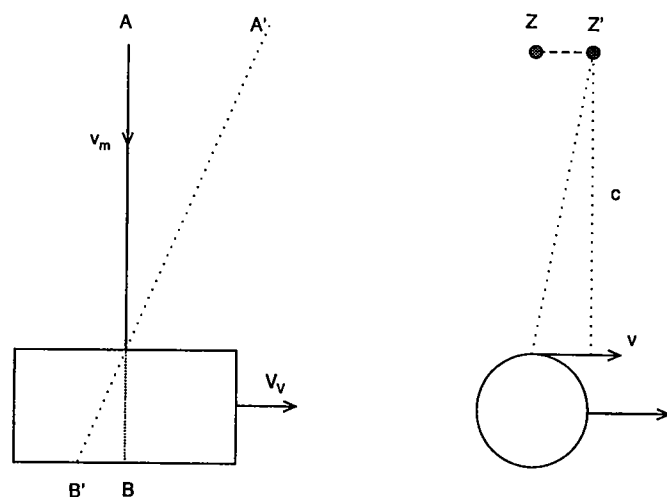
Zbog precesije ekvinocija tijekom stoljeća mijenja se položaj Sunca u Zodijaku, pa su, na primjer, nazivi „Jarčeva obratnica“ (položaj Sunca prvog dana zime) i „Rakova obratnica“ (položaj Sunca prvog dana ljeta) pogrešni.

Nutacija je pojava skretanja položaja nebeske osi zbog promjena položaja Mjeseca. Mjesečeva putanja nagnuta je nad ravninu ekliptike za približno 5° , pa je Mjesec nekad iznad, a nekad ispod ravnine ekliptike i promjena precesije nije pravilna. Zbog nutacije Zemljina os ne pravi pravilnu precesijsku spiralu, već su na njoj izraženi takozvani nutacijski nabori (slika 34). Sinusoida jednog nutacijskog nabora traje 18,6 godina.

Zbog djelovanja nutacije promjena rektascenzija i deklinacija nije sasvim pravilna: u jednoj poluperiodi koordinate se mijenjaju brže, u drugoj poluperiodi sporije.

Aberacija je prividno odstupanje položaja nebeskog tijela zbog odnosa brzine svjetlosti i brzine Zemlje na putanju oko Sunca. Pojam aberacije objašnjen je primjerom na slici 35.

Na lijevoj strani slike prikazan je vagon koji se kreće konstantnom brzinom V_v , a iz položaja A gađa se određena točka na lijevoj strani vagona. Metak ima određenu konačnu brzinu V_m . Kad bi vagon bio nepokretan, metak bi probio lijevu stranu vagona i izišao u točki B, ali kako vagon ima vlastito kretanje, metak će izići u točki B'. Prividno se čini da se pucalo s položaja A'. Kut prividnog odstupanja α zove se aberacija. Na desnoj strani prikazana je Zemlja koja kruži po ekliptici brzinom V . Zraka svjetla ima konačnu brzinu c , pa se zbog pojave aberacije čini kao da je zvijezda Z u položaju Z'. Može



Slika 35. Aberacija svjetlosti je pojava prividnog pomaka položaja zvijezde zbog odnosa brzina svjetlosti i brzine Zemlje (desna strana slike). Na lijevoj strani slike je fizičko objašnjenje te pojave: u vagon koji se kreće konstantnom brzinom gađa se iz položaja A, a zbog brzine vagona prividno izgleda kao da se gađalo iz položaja A'.

se zaključiti da u jednoj polovini putanje Zemlje zvijezda ima prividan pomak udesno. Na drugoj strani putanje Zemlja će imati suprotan smjer, pa će ista zvijezda imati prividan pomak ulijevo.

Ako je zvijezda u ravnini putanje Zemlje, njezini će prividni pomaci biti linearni. Ako je zvijezda izvan ravnine ekliptike, prividno će mijenjati položaj po krivulji oblika elipse s velikom osi koja iznosi $20,48''$.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Vlastiti pomaci položaja zvijezda su posljedica stvarnih kretanja zvijezda. Zbog udaljenosti zvijezda prividni pomaci imaju vrlo male vrijednosti, a najveće pomake iskazuju najbliže zvijezde.

Precesija je pojava prividnog pomaka zvijezda zbog promjena položaja nebeskih polova koji nastaju uslijed odklona osi rotacije zbog djelovanja gravitacijskih sila Mjeseca, Sunca i planeta.

Precesija ekvinocija je pojava pomicanja proljetne točke u retrogradnom smislu zbog djelovanja precesije. Iznosi $50,24''$ godišnje.

Nutacija je pojava pomicanja položaja nebeskih polova zbog promjene položaja Mjeseca u odnosu prema ekvatoru.

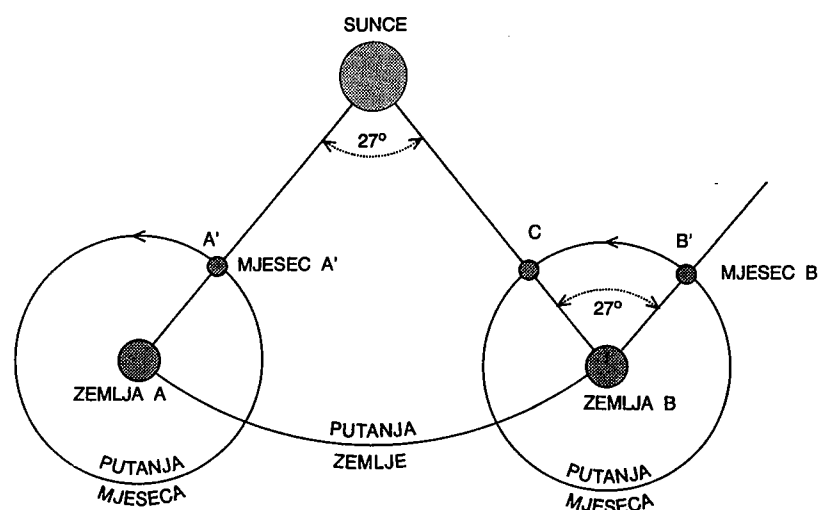
Aberacija je prividan pomak položaja nebeskog tijela zbog odnosa brzina svjetlosti i brzine Zemlje.

Kretanje Mjeseca oko Zemlje i Sunca

Mjesec je Zemljin satelit koji pripada skupini velikih satelita. Njegova masa iznosi $1/81$ Zemljine mase, pa se zapravo Mjesec ne okreće oko središta Zemlje, već ta dva nebeska tijela rotiraju oko zajedničkog težišta koje je oko 4 600 km daleko od središta Zemlje (oko 2 000 km ispod površine Zemlje).

Putanja Mjeseca ima oblik elipse. U jednom se žarištu nalazi Zemlja. Položaj u kojem je Mjesec najdalji Zemlji zove se apogej. Položaj u kojem je Mjesec najbliže Zemlji zove se perigej. U položaju apogeja Mjesec je od Zemlje udaljen oko 400 000 km, a u položaju perigeja oko 360 000 km, no te se udaljenosti mijenjaju. Zbog razlika u udaljenostima Mjesec prividno mijenja veličinu promjera od $29' 28''$ do $33' 21''$, pa je nekad Mjesec prividno veći, a nekad manji od Sunca.

Vrijeme trajanja revolucije Mjeseca s obzirom na zvijezde zove se siderički mjesec i traje oko 27,5 dana (27 dana 7 sati 43 minute i 11,5 sekunda). To je razdoblje između dviju kulminacija Mjeseca i neke zvijezde. Sinodički mjesec je razdoblje između dviju uzastopnih kulminacija Sunca i Mjeseca. Traje oko 29,5 dana (29 dana 12 sati 44 minute i 2,8 sekunda). Razliku sideričnog i sinodičkog mjeseca pokazuje slika 36.



Slika 36. Sinodički i siderički mjesec razlikuju se zbog promjene položaja Zemlje s obzirom na Sunce: u periodu jedne sideričke revolucije Mjeseca Zemlja na putanji oko Sunca prevali približno 27° .

Kada je Zemlja bila u položaju A, Mjesec je bio u položaju A'. Jedno Mjesečevo kruženje oko Zemlje traje oko 27,5 dana, pa Zemlja kroz to vrijeme na svojoj putanji prevali put od približno 27° i nalazi se u položaju B, a Mjesec u položaju B'. Do položaja C, kada će ponovno kulminirati sa Suncem, preostaje još oko 27° . Od položaja A' do B' proteklo je razdoblje jednog sideričkog mjeseca, a od položaja A' do C razdoblje jednog sinodičkog mjeseca.

Točke u kojima ravnina Mjesečeve putanje siječe ravninu ekliptike zovu se čvorovi. Uzlazni čvor je točka na nebeskoj sferi u kojoj Mjesec prelazi s južne strane na sjevernu stranu ekliptike, a silazni čvor je točka na nebeskoj sferi u kojoj Mjesec prelazi sa sjeverne strane na južnu stranu ekliptike. Zamisljena linija koja spaja uzlazni i silazni čvor zove se linija čvorova. Zbog promjene nagiba ravnine putanje u odnosu prema ravnini ekliptike, linija čvorova rotira uzduž ekliptike u retrogradnom smjeru. U razdoblju između dviju kulminacija sa Suncem (sinodički mjesec) linija čvorova po ekliptici napravi put od kojih $1,5^\circ$. Za godinu dana prevali oko 20° , pa je za potpuni okret linije čvorova po ekliptici potrebno 18 godina 7 mjeseci i 10 dana. U tom se razdoblju izvrši jedna nutacijska petlja.

Zbog promjene linije čvorova mijenja se i deklinacija Mjeseca, i to u razdobljima od 18 godina 7 mjeseci i 10 dana. Ako je uzlazni Mjesečev čvor u blizini proljetne točke, deklinacija se mijenja od $-28^\circ 36'$ do $+28^\circ 36'$. Ako je uzlazni Mjesečev čvor u blizini jesenske točke, deklinacija Mjeseca mijenja se od $-18^\circ 18'$ do $+18^\circ 18'$.

⁵ Vrijednosti deklinacije Mjeseca kad su čvorovi u blizini proljetne ili jesenske točke dobivene su međusobnim zbrajanjem vrijednosti nagiba ekliptike prema ekvatoru ($23^\circ 26'$) i nagiba putanje Mjeseca prema ekliptici ($5^\circ 8,7'$), odnosno međusobnim oduzimanjem.

Zbog kretanja čvorova u retrogradnom smjeru, Mjesec kroz jedan od čvorova prolazi prije nego izvrši kruženje od 360° . Razdoblje između dvaju uzastopnih prolaza Mjeseca kroz uzlazni ili silazni čvor je razdoblje drakonističke revolucije Mjeseca, a traje 27 dana 05 sati 05 minuta i 35,8 sekunda.

Kao i linija čvorova, i apsidna linija (linija koja spaja apogeji i perigeji) kruži po ekliptici u progresivnom smjeru, ali razdoblje punog okreta apsidne linije traje mnogo kraće, to jest 8 godina 10 mjeseci 6 dana 3 sata 15 minuta 9 sekunda. Zbog toga se vrijeme između dvaju uzastopnih prolaza Mjeseca kroz perigeji ili apogeji ne poklapa ni sa sideričkom ni sa sinodičkom ni s drakonističkom revolucijom: razdoblje koje protekne između dvaju uzastopnih prolaza Mjeseca kroz točku perigeja ili apogeja je vrijeme anomalističke revolucije, a traje 27 dana 13 sati 18 minuta i 33,1 sekundu.

Sinodička Mjesečeva rotacija sinkronizirana je sa sinodičkom revolucijom, a siderička rotacija sa sideričkom revolucijom, pa je Mjesec zbog toga stalno istom stranom svoje površine okrenut prema Zemlji, a određena točka na njegovoj površini oko petnaest dana izložena je Sunčevim zrakama i isto toliko je u mraku. Zbog toga su temperature na površini Mjeseca veoma različite i kreću se od -150°C do $+120^\circ\text{C}$. Ipak, sa Zemlje se vidi više od polovice površine Mjeseca. Uzrok toj pojavi zove se libracija, a više od polovice površine Mjeseca vidi se zbog nagiba Mjesečeva ekvatora na ravninu Mjesečeve putanje (libracija u širini), stoga što se Mjesec oko vlastite osi kreće potpuno ravnomjerno, dok na putanji oko Zemlje ima određena odstupanja (libracija u dužini) i zbog rotacije Zemlje (dnevna libracija). Ukupno se sa Zemlje može vidjeti oko 59% Mjesečeve površine.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Putanja Mjeseca ima oblik elipse u koje se jednom žarištu nalazi Zemlja. Ravnina putanje nagnuta je nad ravninu ekliptike za 5° .

Perigej je položaj kad je Mjesec najbliži Zemlji.

Apogej je položaj kad je Mjesec najudaljeniji od Zemlje.

Siderički mjesec je razdoblje potrebno da Mjesec dvaput uzastopno kulminira s nekom zvijezdom. Traje oko 27,5 dana.

Sinodički mjesec je razdoblje potrebno da Mjesec dvaput uzastopno kulminira sa Suncem. Traje oko 29,5 dana.

Sinodička rotacija Mjeseca sinkronizirana je sa sinodičkom revolucijom, a siderička rotacija sa sideričkom revolucijom. Zbog toga je Zemlji stalno okrenuta ista strana Mjeseca.

Čvorovi su presjecišta putanje Mjeseca i ekliptike. Uzlazni čvor je točka u kojoj Mjesec s južne strane ekliptike prelazi na sjevernu stranu. Silazni čvor je točka u kojoj Mjesec sa sjeverne strane ekliptike prelazi na južnu stranu.

Linija čvorova je zamisljena crta koja spaja uzlazni i silazni Mjesečev čvor. Rotira po ekliptici, a jedno kruženje izvrši za 18,6 godina.

Period drakonističke revolucije je vrijeme koje protekne između dvaju uzastopnih prolaza Mjeseca kroz uzlazni ili silazni čvor.

Period animalističke revolucije je vrijeme koje protekne između dvaju uzastopnih prolaza Mjeseca kroz točke perigeja ili apogeja.

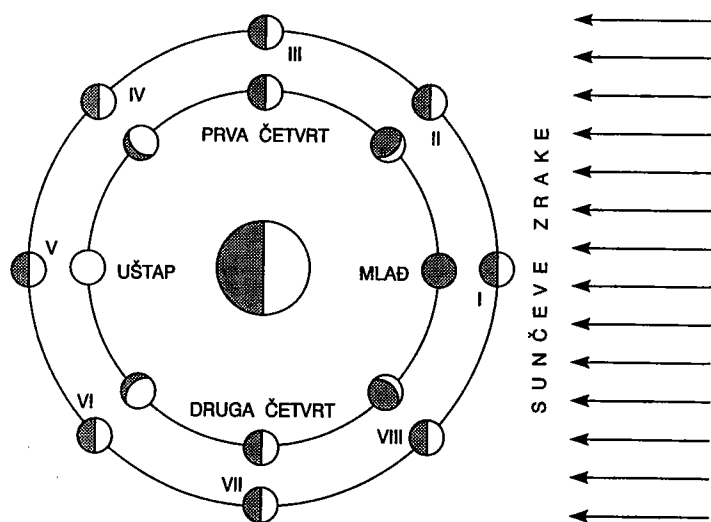
Deklinacija Mjeseca mijenja se od $-28,5^\circ$ do $+28,5^\circ$, kad je uzlazni Mjesečev čvor u blizini proljetne točke, ili od $-18,5^\circ$ do $+18,5^\circ$ kad je uzlazni Mjesečev čvor u blizini jesenske točke.

Libracija je pojava zbog koje se s površine Zemlje vidi više od polovice Mjesečeve površine, a nastaje zbog različitih položaja i brzina Mjeseca na putanji, te zbog promjene položaja opažača u odnosu prema Mjesecu.

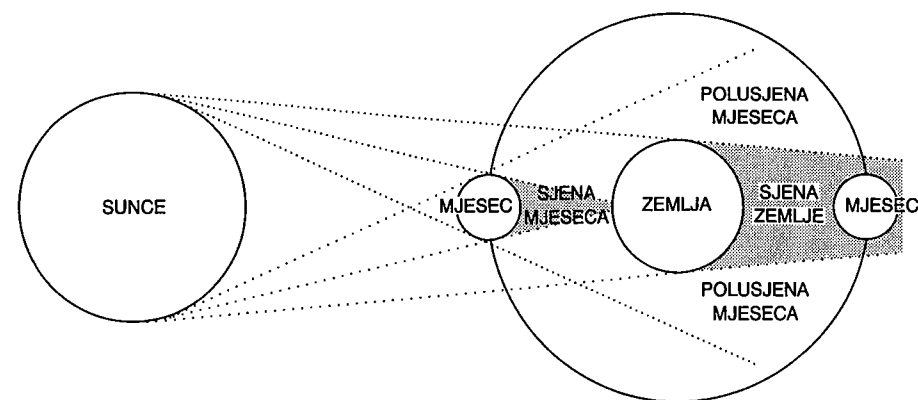
Mjesečeve mijene (faze) i pomrčine Sunca i Mjeseca

Mjesečeve faze (mijene) nastaju zbog različitih međusobnih položaja Zemlje, Mjeseca i Sunca. Mjesec se, u odnosu prema Zemlji i Suncu, može naći u položaju opozicije, kvadrature ili konjunkcije. Mijene su objašnjene na slici 37.

U položaju I. na slici Mjesec je u konjunkciji. Zemlji je okrenuta njegova zatamnjena strana, pa se ne vidi sa Zemlje. To je faza mlada ili mladog Mjeseca.



Slika 37. Mjesec dolazi u različite položaje u odnosu prema Zemlji i Suncu. Može se nalaziti u položaju konjunkcije (faza mlada), opozicije (faza uštapa) ili kvadratura (faza prve i zadnje četvrti).



Slika 38. Pomrčina Sunca nastaje kad se Mjesec nađe između Zemlje i Sunca. Pomrčina Mjeseca nastaje kad Mjesec uđe u sjenu Zemlje. Pomrčina Sunca vidi se samo s nekih dijelova Zemljine površine, a pomrčina Mjeseca vidi se sa svih točaka na noćnoj strani Zemlje.

U položaju V. na slici Mjesec je Zemlji okrenut osvijetljenom stranom, u položaju je opozicija, a ta se njegova faza zove uštapa ili pun Mjesec.

U položajima III. i VII. Mjesec je u kvadraturama. Faza Mjeseca prikazana u položaju III. zove se prva četvrt, a u položaju VII. zadnja četvrt. U ostalim položajima Mjesec je u fazama koje se zovu oktanti.

U položaju mlada površina Mjeseca se ne vidi. U položaju uštapa vidi se pun Mjesec. U položaju prve četvrti vidi se polovina Mjesečeva diska okrenuta prema zapadnoj strani horizonta. U položaju zadnje četvrti vidi se polovina Mjesečeva diska okrenuta prema istočnoj strani horizonta. U položajima oktanta, kad je Mjesec blizu konjunkcije, vidi se uski Mjesečev srp, a, osim osvijetljenog srpa, vidi se i ostali (zatamnjeni) dio Mjesečeve površine. Ta se pojava zove pepeljasta svjetlost Mjeseca, a nastaje stoga što u tim položajima potamnjeni dio površine Mjeseca obasjava svjetlost odbijena sa Zemlje.

Pomrčine Sunca i Mjeseca nastaju ako se dio površine Zemlje nađe u sjeni Mjeseca, odnosno Mjesec u sjeni Zemlje. Pomrčine Sunca s raznih dijelova površine Zemlje vide se u različitim oblicima, pa tako postoje potpune, prstenaste ili djelomične pomrčine. Uzrok pomrčina prikazan je na slici 38.

Na slici 38. vidi se da pomrčina Sunca može nastati samo u vrijeme kada se Mjesec nalazi u položaju konjunkcije, to jest u fazi mladog Mjeseca. Potpuna pomrčina nastaje kad je Mjesečev disk jednak Sunčevu ili veći od njega, a to se može dogoditi kad su Zemlja i Mjesec međusobno najbliži, dakle kad je Mjesec u blizini perigeja. Prstenasta pomrčina nastaje kad je polumjer Mjesečeva diska manji od polumjera Sunčeva diska, a to se događa kad je Mjesec u blizini apogeja. Za nastanak pomrčine Sunca deklinacije Sunca i Mjeseca moraju biti istoimene i jednake, što znači da Mjesec mora biti u jednom od čvorova. Pomrčina Mjeseca nastaje za vrijeme uštapa, kad je Mjesec u položaju opozicije. Zbog veličine Zemljine sjene Mjesec ne mora

biti točno u čvoru. Prije ulaska u Zemljinu sjenu Mjesec prolazi kroz područje polusjene, i njegova se površina postupno pomračuje. Granica osvijetljenog i pomračenog dijela Mjesečeva diska zove se terminator.

Potpuno pomračenje Sunca može se vidjeti unutar pojasa Zemljine površine širokog oko 200 km. Prstenasto pomračenje vidi se u pojasu do 430 km. Djelomično pomračenje Sunca može se vidjeti najviše do približno 7 000 km. Nasuprot tome, svako pomračenje Mjeseca vidi se sa svih geografskih širina. Određeno mjesto na površini Zemlje ima oko tri puta više pomračenja Mjeseca nego pomračenja Sunca. Potpuna pomrčina Sunca za jedno mjesto na površini Zemlje događa se jedanput u otprilike 200 godina.

! VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Mjesečeve mijene nastaju zbog različitih međusobnih položaja Sunca, Zemlje i Mjeseca. Tijekom jedne sinodične revolucije Mjesec pokazuje više faza: mlada, uštap, četvrti i oktante.

Faza mlada nastaje kad je Mjesec u položaju konjunkcije (Mjesec je između Zemlje i Sunca). Zemlji je tada okrenuta zatamnjena strana Mjesečeve površine, pa se Mjesec ne vidi.

Faza uštapa nastaje kad je Mjesec u položaju opozicije (Zemlja je između Sunca i Mjeseca). Zemlji je tada okrenuta osvijetljena strana Mjeseca pa se vidi čitav Mjesečev disk.

Četvrti su faze kad se sa Zemlje vidi polovina Mjesečeva diska. Mjesec je tada u položajima kvadratura.

Oktanti su faze Mjeseca između uštapa i četvrti, odnosno između mlada i četvrti. U prednjim oktantima (položajima Mjeseca između mlada i četvrti) vidi se osvijetljeni Mjesečev srp i pepeljasta svjetlost zatamnjenog dijela površine Mjeseca.

Pomrčina Sunca nastaje za vrijeme mlada kad je Mjesec u nekom od čvorova. Vidi se samo s nekih dijelova Zemlje, a može biti potpuna, djelomična ili prstenasta.

Pomrčina Mjeseca nastaje u fazi uštapa kad je Mjesec u blizini nekog od svojih čvorova. Vidi se sa svih točaka na Zemlji s kojih se vidi Mjesec.

? PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Što je paralelna nebeska sfera? Kakva su prividna kretanja nebeskih tijela za opažača na polu? Zbog čega na nebeskim polovima vladaju uvjeti polarnih dana i polarnih noći?
2. Što je okomita nebeska sfera? Kako se prividno kreću nebeska tijela za opažača na ekvatoru Zemlje? Koliko na ekvatoru traje noć a koliko dan? Zašto sumraci na ekvatoru traju najkraće?

3. Što je kosa nebeska sfera? Kako se, za opažača na nekoj geografskoj širini između ekvatora i pola, prividno kreću nebeska tijela kojih je deklinacija pozitivna? U kojoj točki izlazi, a u kojoj zalazi nebesko tijelo kojega je deklinacija 0° ? Što je amplituda nebeskog tijela? Koje točke nebeske sfere povezuje istočni prvi vertikal? Koliki je azimut nebeskog tijela u trenutku prolaza kroz zapadni prvi vertikal?
4. Zašto neka nebeska tijela stalno kruže iznad horizonta? Kolika mora biti deklinacija tih nebeskih tijela? Kolika je geografska širina mjesta u kojem je Sunce zadnje cirkumpolarno prvog dana zime? Vidi li se s geografske širine $\varphi = 43^\circ$ N zvijezda Peacock deklinacija koje je $\delta = 56^\circ$ S?
5. Koji su klimatski pojasevi na površini Zemlje? Koje su granice klimatskih pojasova? Što karakterizira hladne klimatske pojaseve? Koje su karakteristike umjerenih klimatskih pojasova? U kojem klimatskom pojasu Sunce može barem jedanput godišnje biti u zenitu opažača?
6. Zbog čega nastaju godišnja doba? Zašto je na sjevernoj hemisferi Zemlje dan najkraći oko 22. prosinca? Kada počinju i koliko traju pojedina godišnja doba? U kojim se tipičnim točkama Sunce prividno nalazi kad počinju pojedina godišnja doba? Zbog čega godišnja doba nejednako traju?
7. Da li se zvijezdama mijenjaju deklinacije i surektascenzije? Zbog kojih se pojava položaj zvijezda na nebeskoj sferi stvarno mijenja, a zbog kojih samo prividno? Što se stvarno mijenja zbog precesije? Zašto nastaje precesija ekvinocija? Što je Platonova godina i koliko traje? Zbog čega nastaje nutacija? Koliko traje jedna nutacijska petlja? Kako nastaje aberacija?
8. Koje su karakteristične točke putanje Mjeseca? Kako se zove razdoblje potrebno da Mjesec oko Zemlje izvrši jedno kruženje od 360° ? Što je to sinodični mjesec i koliko traje? Što su čvorovi, a što linija čvorova? Koja je posljedica kruženja linije čvorova po ekliptici?
9. Kako nastaju Mjesečeve mijene? U kojem je položaju Mjesec za vrijeme mlada, a u kojem za vrijeme uštapa? Kad može nastati pomrčina Sunca, odnosno Mjeseca?

5. Vrijeme i osnove mjerenja vremena

Pojam vremena

Vrijeme bi se najjednostavnije moglo definirati kao nizanje događaja. Protok vremena može se određivati prema pojavama koje se ponavljaju u jednakim uvjetima. Na primjer, razdoblje između dviju donjih kulminacija Sunca jest vrijeme jednog dana, razdoblje između dviju uzastopnih konjunkcija Mjeseca vrijeme je jednog mjeseca, a razdoblje između dvaju uzastopnih izlazaka Sunca u istoj točki horizonta vrijeme je jedne godine.

Svaki događaj koji se ujednačeno ponavlja može poslužiti za mjerenje vremena. U prošlosti se vrijeme mjerilo razdobljem potrebnim da iz mjerne posude istekne određena količina vode. Kasnije se voda zamijenila pijeskom, pa su nastale klepsidre. Moderno računanje vremena počelo je pošto je znanost otkrila ujednačenost titranja njihala i elastične opruge, pa su konstruirani prvi satovi. U atomskom vremenu protok vremena računa se brojenjem frekvencije titranja atoma nekih kristala⁶.

Osnovna jedinica za mjerenje vremena je sekunda⁷. Moderni atomski satovi mjere vrijeme koje je nazvano atomskim ili kinematičkim vremenom, a njihova preciznost je tolika da neki od njih griješe samo jednu sekundu na tisuću godina.

Dan i vrste dana

Razdoblje od jednog dana jest vrijeme koje protekne između dviju uzastopnih kulminacija nekog nebeskog tijela u određenom meridijanu na površini Zemlje. Postoje razne vrste dana, ovisno o tome koje nebesko tijelo kulminira dvaput uzastopno u meridijanu (slika 39).

U određenom trenutku u meridijanu točke A na površini Zemlje kulminirali su istodobno Mjesec, Sunce, jedan od planeta, proljetna točka i zvijezda. Pošto je Zemlja izvršila jednu rotaciju oko svoje osi, raspored nebeskih tijela se poremetio: Mjesec je kroz to vrijeme prešao oko 12° u progresivnom

⁶ Unatoč ravnomjernosti, okretanje Zemlje oko vlastite osi nije sasvim pravilno. Naime Zemlja usporava svoju rotaciju za $4,5 \times 10^{-10}$ sekunda dnevno (1,64 milisekunde svakih 100 godina).

⁷ Danas vrijedi definicija sekunde izračunana 1967. godine na 13. Generalnoj konferenciji za mjere i utege. Po toj definiciji sekunda je trajanje od 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinskih razina osnovnog stanja atoma cezija 133.

smislu, Sunce oko 1°, također u progresivnom smislu, planet je promijenio svoj položaj u progresivnom ili retrogradnom smislu, proljetna točka pomaknula se za malu vrijednost (0.12" ili 0,008 vremenskih sekunda) u retrogradnom smjeru i samo je zvijezda zadržala isti položaj. Tako se može definirati pet vrsta dana:

1. Sunčev dan. Iz slike se vidi da će Sunce dvaput uzastopno proći kroz isti meridijan kad Zemlja učini oko 1° više od punog kruga oko svoje osi u odnosu prema zvijezdi.

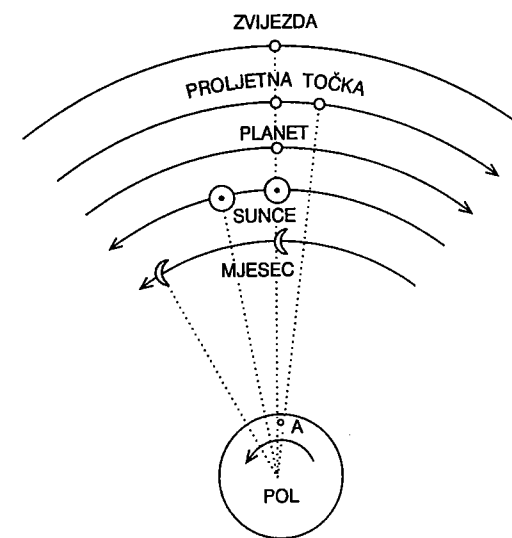
2. Mjesečev dan. To je vrijeme potrebno da Zemlja učini punu rotaciju oko svoje osi i još oko trinaest stupnjeva. Varira oko srednje vrijednosti koja iznosi 24 sata i 50 minuta.

3. Planetni dan. To je vrijeme potrebno da određeni planet kulminira dvaput uzastopno u istoj točki na površini Zemlje. Može biti dulji ili kraći od Sunčeva dana.

4. Tropski dan. To je vrijeme potrebno da proljetna točka dvaput uzastopno kulminira u određenom meridijanu. Na slici se vidi da je nešto kraći od zvjezdanog dana (za 0,008 sekundi), a od Sunčeva dana kraći je oko 4 minute.

5. Zvezdani dan. To je vrijeme potrebno da određena zvijezda dvaput uzastopno kulminira u istom meridijanu na Zemlji. Kraći je od Sunčeva dana oko 4 minute. Kao zvezdani dan uzima se, zapravo, tropski dan, pa je zvezdani dan vrijeme potrebno da proljetna točka dvaput uzastopno kulminira u određenoj točki na površini Zemlje.

Za početak zvjezdanog dana uzima se prolaz proljetne točke kroz gornji meridijan (gornja kulminacija proljetne točke), pa se zvjezdano vrijeme poklapa sa satnim kutom proljetne točke.



Slika 39. Dan je razdoblje koje protekne između dviju uzastopnih kulminacija nebeskog tijela na nekom meridijanu na površini Zemlje. Ovisno o nebeskom tijelu koje dvaput uzastopno prolazi kroz meridijan, postoje razne vrste dana.

Za početak Sunčeva dana uzima se prolaz Sunca kroz donji meridijan (donja kulminacija Sunca). Budući da se satni kut počinje računati od trenutka prolaza nebeskog tijela kroz gornji meridijan, satni kut Sunca i pravo Sunčevo vrijeme razlikuju se međusobno za 180° ili 12 sati.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Dan je vrijeme koje protekne između dvije uzastopne kulminacije nekog nebeskog tijela u određenom meridijanu.

Sunčev dan je vrijeme koje protekne između dvije uzastopne kulminacije Sunca u određenom meridijanu.

Mjesečev dan je vrijeme koje protekne između dvije kulminacije Mjeseca. Duži je od Sunčeva dana oko 50 minuta.

Zvezdani dan je vrijeme koje protekne između dviju kulminacija proljetne točke u određenom meridijanu. Kraći je od Sunčeva dana oko 4 minute.

Kalendar

Kalendar je bio jedan od najranijih oblika praktične primjene astronomije. Kroz povijest su se koristile uglavnom tri vrste kalendara:

1. Lunarni kalendar kao osnovu za računanje vremena imao je Mjesec. Godina je trajala 12 lunarnih mjeseci kojih je srednja dužina iznosila 29,5 dana. Mjeseci su naizmjenice trajali 29 i 30 dana. Takva godina ima ukupno 354 dana, a njome se još služe neke muslimanske zemlje.

2. Lunisolarni kalendar temelji se na kretanju Mjeseca koje se u određenim razdobljima usklađivalo s kretanjima Sunca. Godina se računala lunarnim mjesecima i trajala je 354 dana, a da bi se vrijeme uskladilo s putanjom Sunca, neke su godine imale trinaesti mjesec.

3. Solarni kalendar kao osnovu uzima kretanja Sunca. Prvi su se tom vrstom kalendara koristili Egipćani, iako postoje indicije da su Kinezi takav kalendar koristili i ranije. Osnova za računanje vremena je kretanje Sunca.

Godine u kalendaru broje se od nekih početaka koji se zovu epohe. Postojale su ili postoje razne epohe. Najviše je u uporabi kršćanska epoha koja započinje rođenjem Krista, a brojenje po njoj uveo je Dionizije Exiguus 533. godine.

Današnji način računanja vremena nastavlja se na julijansku reformu kalendara. Do Julija Cezara rimski kalendar bio je sličan najstarijemu grčkome. Godina se sastojala od 12 mjeseci (martius - prvi, aprilis - drugi, maius - treći, junius - četvrti, quintilis - peti, sextilis - šesti, september - sedmi, october - osmi, november - deveti, december - deseti, ianuarus - jedanaesti i februarus -

dvanaesti). Godina se završavala u februaru, pa je taj mjesec imao onoliko dana koliko je preostalo da se završi razdoblje od 365 dana i trajao je 28 dana. Raznovrsne intervencija u kalendar unijele su potpunu zbrku, pa je, na nagovor astronoma Sosigena, Julije Cezar proveo prvu reformu kalendara. Godinu 46. prije Krista produžio je 67 dana umetanjem tog razdoblja između novembra i decembra, tako da je ta godina trajala ukupno 445 dana. Time su se uskladile civilna i tropska godina. Nešto kasnije mjesec quintilis zamijenjen je nazivom julius, a mjesec sextilis nazivom augustus. Zadnji mjesec u godini (februarius) trajao je 28 ili 29 dana (svaka četvrta godina bila je prestupna). Kasnije, nakon uvođenja kršćanske epohe, početak godine počeo se računati datumom Kristova rođenja, a kako se imena mjeseci nisu mijenjala, september je postao deveti mjesec, october deseti itd.

Julijanska reforma kalendara približila je način računanja vremena stvarnim odnosima u kretanjima Zemlje oko Sunca i Mjeseca oko Zemlje, ali zbog netočnih trajanja (tropska godina ne iznosi točno 365,25 dana) u dužem su se razdoblju ponovno pojavile pogreške. Zbog toga je papa Grgur XIII. uveo novi kalendar, a po proračunima napuljskog astronoma i fizičara Aloisiusa Liliusa. Godina 1582. trajala je deset dana kraće: poslije 4. listopada papa je odredio da bude 15. listopada. Time su civilna i tropska godina ponovno usklađene. Uvedena su neka poboljšanja u računanju vremena: svaka četvrta godina je prestupna, osim stoljetnih godina koje nisu djeljive s 400 bez ostatka (na primjer, 1600. godina bila je prestupna, ali 1800. nije, 1900. godina nije bila prestupna, no 2000. će biti). Ta reforma kalendara toliko je približila trajanje civilne i tropske godine da novo usklađivanje kalendara neće biti potrebno daljnjih 2 000 godina⁸.

Slavenski kalendar: stari su Slaveni imali lunisolarni kalendar, a solarni kalendar prihvatili su zajedno s kršćanstvom. Pri tome su neki od slavenskih naroda zadržali svoje staroslavenske nazive (Hrvatska - lipanj - kad cvate lipa, Ukrajina - lypen, Poljska - lipiec), a ostali su prihvatili kršćanske nazive mjeseci (januar, februar itd.). Imena mjesecima u hrvatskom jeziku u konačnom obliku određena su krajem prošlog stoljeća.

⁸ Ipak je nakon drugoga svjetskog rata pokrenuto pitanje reforme kalendara u sklopu OUN. Predloženi način računanja vremena naziva se svjetski kalendar. Po tom kalendaru godina bi se podijelila u četiri kvartala jednake dužine, a svaki bi imao po tri mjeseca. U svakom bi kvartalu prvi mjesec imao 31 dan, a ostala dva 30 dana (31 dan imali bi siječanj, travanj, srpanj i listopad). Time bi se poklapali datumi s danima u tjednu, i to jednako za svaku godinu. U „normalnoj“ godini na kraju prosinca dodavao bi se jedan dan kao svjetski blagdan, a izvan kalendara. U prestupnoj godini bila bi dva takva dana, jedan na kraju prosinca, a jedan na kraju lipnja. Takvim načinom svaki bi prvi dan prvog mjeseca u kvartalu bio nedjelja, prvi dan drugog mjeseca u kvartalu bio bi srijeda, a prvi dan trećeg mjeseca u kvartalu bio bi uvijek petak. Tako bi to bio vječni kalendar.

Pravi Sunčev dan i pravo vrijeme

Najprilagođenije potrebama čovjeka je Sunčevo vrijeme, budući da je život potpuno prilagođen pojavama neposredno vezanim za položaj Sunca u tijeku dana ili godine.

Pravo Sunčevo vrijeme je vrijeme koje se računa iz položaja Sunca. Vrijeme koje protekne između dviju kulminacija Sunca u nekom meridijanu je pravi Sunčev dan. Pravo mjesno vrijeme (t_p za mjesno pravo vrijeme ili T_p za pravo vrijeme u meridijanu Greenwich) u određenom trenutku može se izračunati pomoću satnog kuta Sunca:

$$t_p = 12^h + s . \quad (15)$$

Pribrojnik 12^h predočuje vremensku razliku od trenutka početka računanja vremena (donja kulminacija Sunca ili prava ponoć) i početka računanja mjesnog satnog kuta (gornja kulminacija Sunca ili pravo podne). Budući da se satni kut računa od trenutka prolaza Sunca kroz gornji meridijan do 360° , mnogo je praktičnije računanje pravog vremena pomoću vrijednosti istočnog ili zapadnoga mjesnog satnog kuta. Pri tome treba imati na umu:

– ako je Sunce prošlo gornji meridijan (ako je prošlo pravo podne), mjesni satni kut ima zapadni predznak (s_w)

– ako Sunce nije prošlo gornji meridijan (ako nije prošlo pravo podne), mjesni satni kut ima istočni predznak (s_E).

Pravo Sunčevo vrijeme tada se može izračunati iz izraza:

$$\begin{aligned} t_p &= 12^h - s_E \\ t_p &= 12^h + s_w . \end{aligned} \quad (16)$$

Ti su izrazi važni u navigacijskoj praksi za račun vremena izlaza i zalaza Sunca, trajanje sumraka te prolaza Sunca kroz istočni ili zapadni prvi vertikal i najveću digresiju. Zbog nejednakomjernog kretanja Sunca po ekliptici pravi Sunčev dan nema jednako trajanje u različitim razdobljima godine. Razlog tome je nejednakomjerna promjena surektascenzije i nagib ekliptike nad nebeski ekvator. Zbog toga pravo Sunčevo vrijeme nije prikladno za primjenu u svakodnevnom životu.

Srednji Sunčev dan i srednje vrijeme

Pravo Sunce nema ujednačeno prividno godišnje kretanje. Sunce nekad prevali veći prividni put na nebeskoj sferi (u položajima bliskim perihelu), a nekad kraći (u položajima bliskim afelu), pa se pojavljuju razlike u trajanjima dana. Dan najduže traje prvog dana zime (oko 21. prosinca), a najkraće prvog dana ljeta (oko 22. lipnja). Razlika između najdužeg i najkraćega pravog Sunčeva dana iznosi oko 51 sekundu.

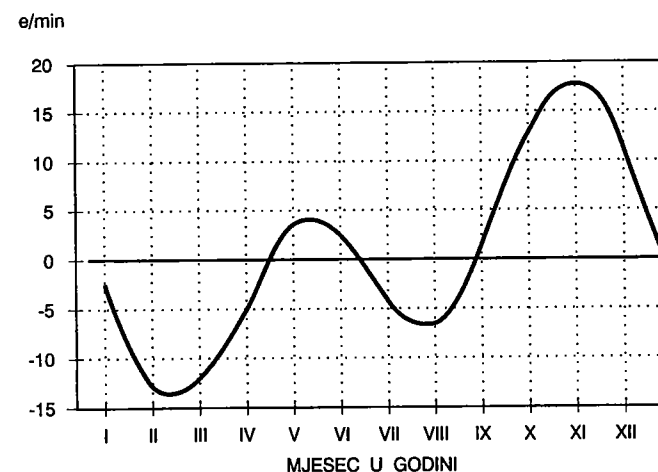
Ravnomjerni protok vremena može se računati smatrajući da je putanja Sunca na nebeskoj sferi ujednačena, da Sunce nema deklinaciju i da mu se surektascenzija mijenja ravnomjerno. Takvo zamišljeno Sunce stalno bi se kretalo po ekvatoru i dnevno bi prevaljivalo $0^\circ 59' 08,33''$. To bi se događalo kada bi Zemlja oko Sunca kružila po putanji oblika kružnice i kada bi se ravnina putanje poklapala s ravninom ekvatora Zemlje. Takvo (zamišljeno) Sunce koje ravnomjerno mijenja svoj položaj na nebu zove se srednje Sunce, a vrijeme koje se mjeri pomoću srednjeg Sunca zove se srednje Sunčevo vrijeme (t_s za srednje mjesno vrijeme ili UT za srednje vrijeme u meridijanu Greenwich)⁹.

Svaki meridijan ima svoje pravo ili srednje Sunčevo vrijeme, pa ista vremena u određenom trenutku imaju samo mjesta koja se nalaze na istom meridijanu.

Jednadžba vremena

Pravo i srednje Sunčevo vrijeme razlikuju se za jednadžbu vremena (e), koje je vrijednost u astronomskim godišnjacima za svaki dan. Jednadžba vremena definirana je kao razlika između pravog (t_p , odnosno T_p) i srednjeg Sunčeva vremena (t_s , odnosno UT):

$$\begin{aligned} e &= T_p - UT , \\ e &= t_p - t_s . \end{aligned} \quad (17)$$



Slika 40. Jednadžba vremena četiri puta godišnje ima vrijednost 0. Najveća razlika između pravog i srednjeg Sunčeva vremena je u studenome.

⁹ U skladu s „Novom tehničkom rezolucijom IHO“ od 1987. godine međunarodna kratica za srednje vrijeme u meridijanu Greenwich je UT (Universal Time).

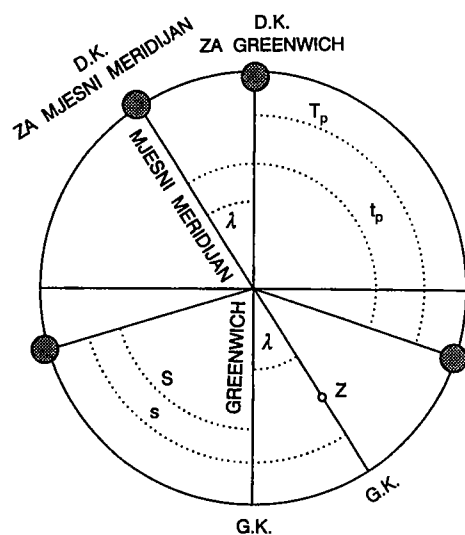
Pravo Sunce može se nalaziti ispred ili iza srednjeg Sunca, pa jednadžba vremena može imati pozitivan ili negativan predznak. Četiri puta tijekom godine pravo i srednje Sunce se poklapaju pa je jednadžba vremena jednaka nuli. To se događa 15. travnja, 14. lipnja, 2. rujna i 25. prosinca. Ostalih dana u godini srednje i pravo Sunčevo vrijeme se razlikuju, a jednadžba vremena varira od -14,4 minute (12. veljače) do +16,4 minute (3. studenoga). Grafikon vrijednosti jednadžbe vremena prikazan je na slici 40.

Geografska dužina u funkciji vremena

Svaki meridijan na površini Zemlje ima vlastito vrijeme koje se razlikuje od vremena svih drugih meridijana, pa je potrebno iz vremena jednog meridijana izračunati vrijeme drugog meridijana. Najčešći je slučaj da se vrijeme određene pozicije (mjesno vrijeme) preračunava u vrijeme meridijana Greenwich (griničko vrijeme). Međusobni odnosi vidljivi su na slici 41.

Za neku poziciju označenu sa Z pravo ili srednje vrijeme počinje teći od trenutka prolaza pravog ili srednjeg Sunca kroz donji meridijan. Za meridijan Greenwich vrijeme počinje teći u trenutku prolaska Sunca kroz donji meridijan Greenwicha. Kao što se vidi iz slike, griničko i mjesno vrijeme razlikuju se za vrijednost geografske dužine pozicije Z. Ako je posrijedi pravo Sunce, pravo vrijeme u Greenwichu i pravo mjesno vrijeme povezani su izrazom:

$$t_p = T_p + \lambda . \quad (18)$$



Slika 41. Mjesno vrijeme i griničko vrijeme razlikuju se za vrijednost geografske dužine.

Ako se radi o srednjem Suncu, mjesno srednje vrijeme može se dobiti iz izraza:

$$t_s = UT + \lambda . \quad (19)$$

Satni kut Sunca (ili bilo kojega nebeskog tijela) počinje se računati od trenutka prolaza kroz gornji meridijan. Na slici je vidljivo da se odnosi mjesnog i griničkog satnog kuta mogu izračunati iz izraza:

$$s = S + \lambda . \quad (20)$$

Jedan od prvih prijedloga izračunavanja geografske dužine pretpostavljao je poznavanje točnog vremena u nekom početnom meridijanu. Ako bi se poznavalo srednje ili pravo mjesno vrijeme i ako bi se moglo čitati srednje ili pravo vrijeme početnog meridijana, iz izraza (18), (19) ili (20) mogla bi se izračunati geografska dužina.

Zonsko vrijeme i datumska granica

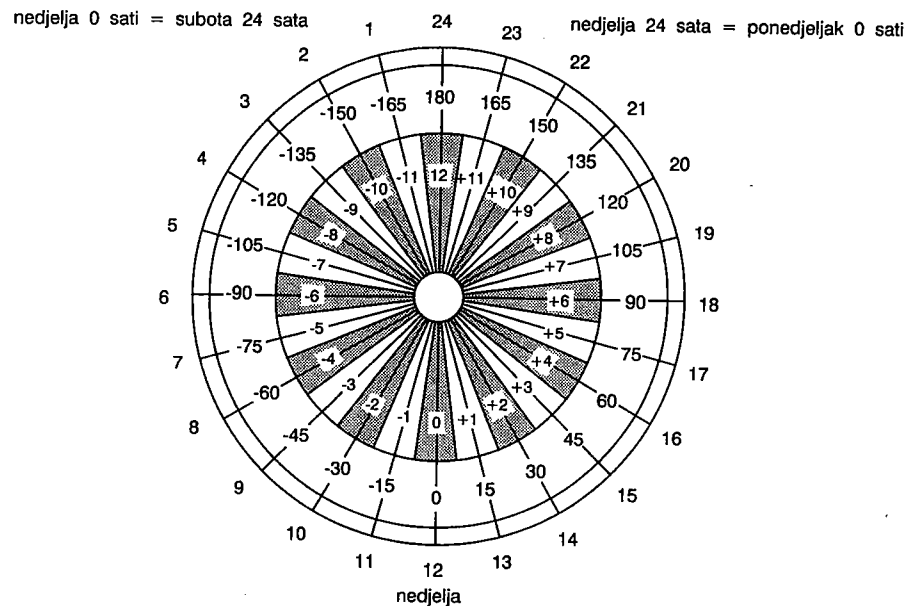
Budući da svaki meridijan na Zemlji ima različita prava i srednja vremena, bilo bi vrlo nepraktično kada bi se vrijeme zaista računalo po srednjem Sunčevu vremenu. Tada bi, na primjer, Zadar i Šibenik imali različito vrijeme. Zbog toga je površina Zemlje razdijeljena u 24 vremenske zone unutar kojih se na svakom meridijanu vrijeme računa po srednjem meridijanu zone. Takvo vrijeme zove se zonsko vrijeme.

Podjela Zemlje na vremenske zone dogovorena je na kongresu u Rimu 1883. godine, ali su tek 1911. na međunarodnoj konferenciji u Parizu određene zone i zonska vremena. Sustavom je površina Zemlje podijeljena u 24 dijela (zone) od kojih svaka obuhvaća 15° geografske dužine. Meridijan Greenwicha je središnji meridijan nulte zone, a središnji meridijani ostalih zona su oni kojih je geografska dužina višekratnik broja 15 (meridijan 15°, 30°, 45° itd.). Računaju se od nulte zone koja obuhvaća područje od -7,5° do +7,5°, prema istoku u pozitivnom smislu, a prema zapadu u negativnom smislu. Na primjer, zona +1 obuhvaća područja od +7,5° do +22,5° geografske dužine, zona -1 od -7,5° do -22,5° geografske dužine, i tako dalje (slika 42).

Iz praktičnih razloga granice vremenskih zona najčešće ne prate meridijan već obuhvaćaju područja pojedinih država i slijede njihove granice. U onim državama koje se prostiru na velikim prostranstvima ima više vremenskih zona, pa tako na primjer teritorij Rusije pokriva 11 zona, teritorij SAD šest zona¹⁰, teritorij Kanade pet zona itd.

Velik broj država prihvatio je različita zonska vremena za određene sezone. Ljeti se na određenom području vrijeme mjeri po jednoj zoni (ljetno vrijeme), a zimi po drugoj (zimsko vrijeme), tako da postoji i pojam sezonskog vremena.

¹⁰ U SAD zone su indeksirane suprotnim predznakom, zapadne zone pozitivnim indeksom, a istočne zone negativnim indeksom.



Slika 42. Površina Zemlje podijeljena je na 24 zone. Unutar svake zone vrijeme se računa po srednjem Sunčevu vremenu središnjeg meridijana kojega je geografska dužina višekratnik broja 15. Uzduž meridijana 180° vremenska razlika iznosi jedan dan, pa uzduž tog meridijana prolazi datumska granica.

Zonu 12 presijeca datumska granica. Naime, ako se putuje prema istoku, vrijeme teče unaprijed, pa se do 12. zone nagomila dvanaest sati. Putovanjem prema zapadu vrijeme teče unazad, pa se do 12. zone skupi dvanaest sati manje nego u meridijanu Greenwich. Na meridijanu 180° razlika je 24 sata ili jedan dan. Datumska granica ne slijedi meridijan 180° već zaobilazi naseljena područja.

Zonsko vrijeme određuje se po vremenu središnjeg meridijana zone, pa će se vrijednost zonskog vremena (t_x) izračunati ako se srednjem Sunčevu vremenu u meridijanu Greenwich (UT) pribroji vrijednost zone (x), računajući predznak:

$$t_x = UT + x . \quad (21)$$

U pomorskoj praksi prilikom putovanja prema istoku brodski sat pomiče se jedan sat unaprijed za prijeđenih 15° geografske dužine. Najčešće svaka straža pomiče sat za 20 minuta. Prilikom plovidbe prema zapadu sat se pomiče unazad. Prilikom prelaska datumske granice u vožnji prema istoku odbije se jedan dan, a prilikom plovidbe prema zapadu dodaje se jedan dan.

Naše područje pripada u srednjoeuropsku zonu (zona +1), ali se koristi i sezonsko vrijeme (zona +2). Vrijeme u našoj zoni računa se po srednjem meridijanu 15° E¹¹.

¹¹ Meridijan 15° E prolazi između Senja i Karlobaga, a od naseljenih mjesta prolazi sredinom mjesta Sestrunj (na istoimenom otoku) i Brbinj (na Dugom otoku).

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Pravo vrijeme je vrijeme koje se računa po položaju pravog Sunca. Zbog nejednakomjernog prividnog kretanja Sunca tijekom godine, pravo vrijeme nije primjereno svakodnevnoj uporabi.

Srednje vrijeme računa se po zamišljenom srednjem Suncu koje se jednakomjerno kreće po nebeskom ekvatoru.

Jednadžba vremena je razlika između pravog i srednjeg vremena. Četiri puta godišnje ima vrijednost 0. Najveću pozitivnu vrijednost (+16,4 minute) ima u studenome, a najmanju negativnu vrijednost (-14,4 minute) u veljači.

Pravo mjesno vrijeme je vrijeme koje se računa po položaju Sunca u odnosu prema nekom meridijanu.

Srednje mjesno vrijeme računa se po položaju srednjeg Sunca u odnosu prema nekom meridijanu.

Pravo griničko vrijeme je vrijeme koje se računa po položaju Sunca u odnosu prema meridijanu Greenwich. Od pravog mjesnog vremena razlikuje se za vrijednost geografske dužine.

Srednje griničko vrijeme računa se po položaju srednjeg Sunca u odnosu prema meridijanu Greenwich. Od srednjeg mjesnog vremena razlikuje se za vrijednost geografske dužine.

Pravo vrijeme i satni kut Sunca razlikuju se za 12 sati.

Vremenska zona je područje na površini Zemlje u kojemu se koristi isto srednje vrijeme. U naseljenim područjima najčešće prati državne granice. U nenaseljenim područjima i na oceanima pokriva područje širine 15° sa središnjim meridijanom koji je višekratnik broja 15 (meridijani 15°, 30°, 45° itd.). Središnji meridijan nulte zone je meridijan Greenwicha (0°). Ukupno ima 12 istočnih i 12 zapadnih zona. Istočne zone imaju pozitivan predznak, a zapadne negativan.

Zonsko vrijeme računa se po srednjem vremenu središnjeg meridijana zone. Od srednjega griničkog vremena razlikuje se za vrijednost zone.

Datumska granica je linija koja presijeca dvanaestu zonu. Uzduž meridijana 180° vrijeme se razlikuje za jedan dan. Datumska granica prolazi nenaseljenim područjima.

Sezonsko vrijeme je vrijeme koje se u određenoj zoni koristi tijekom ljetne sezone. Vrijeme se tada računa po vremenu neke druge zone, a ne one kojoj određeno područje stvarno pripada.



PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Kako se može definirati vrijeme? Koja je osnovna jedinica za mjerenje vremena? Što je to dan i koje vrste dana postoje? Zbog čega postoji razlika između Sunčevog i zvjezdanog dana i kolika je?
2. Zašto služi kalendar? Koje su se vrste kalendara koristile ili se još koriste? Kako su u kalendaru usklađena kretanja Sunca i Mjeseca?

Zašto deveti, deseti, jedanaesti i dvanaesti mjesec imaju imena septembar (sedmi), oktobar (osmi), novembar (deveti) i decembar (deseti)? Zašto mjesec februar ima najmanje dana? Kako je izvršena julijanska, a kako gregorijanska reforma kalendara?

3. Po čemu se mjeri vrijeme u svakodnevnom životu? Je li kretanje pravog Sunca praktično za računanje vremena? Kako se međusobno odnose pravo Sunčevo vrijeme i mjesni satni kut Sunca?
4. Što znači pojam srednjeg Sunca? Zašto je zamišljeno srednje Sunce pogodnije za računanje vremena od pravog Sunca?
5. Kako se zove razlika između pravog i srednjeg vremena? Kako se ta razlika mijenja tijekom godine?
6. Što je mjesno vrijeme? Po čemu se mjeri pravo mjesno vrijeme, a po čemu srednje mjesno vrijeme? Zašto je važno griničko vrijeme? Kakva je razlika između griničkog i mjesnog vremena? Kojim se vremenom mogu izračunati koordinate nebeskih tijela iz Nautičkog godišnjaka?
7. Zbog čega se srednje vrijeme ne može koristiti u svakodnevnom životu? Što je zonsko vrijeme? Po kojem se meridijanu računa vrijeme u određenoj zoni? Kolika je širina pojedinih zona? Zašto granice zona najčešće slijede državne granice? Zašto se koriste sezonska vremena? Što je datumska granica?

6. Primjena nautičkog godišnjaka

Nautički godišnjaci

Nautički godišnjaci su godišnje publikacije koje donose podatke o koordinatama nebeskih tijela. Velik je broj godišnjaka, a na brodovima se najčešće rabi Brown's Nautical Almanac koji od 1877. godine izdaje britanski izdavač Brown, Son & Ferguson LTD. Sadrži informacije potrebne za razne vrste poslova na brodu, a sastavljen je od sedam dijelova. U prvom dijelu prikazani su astronomski navigacijski podaci: efemeride Sunca, Mjeseca, proljetne točke, Venere, Marsa, Jupitera, Saturna i 130 zvijezda. Za nebeska tijela u Sunčevu sustavu prikazane su deklinacije i grinički satni kutovi za svaki sat srednjeg griničkog vremena (UT), za proljetnu točku grinički satni kut za svaki sat, a za zvijezde deklinacije i surektascenzije s mjesečnim vrijednostima. Osim toga, prikazani su i podaci o vremenima izlaza i zalaza Sunca i Mjeseca, vremena prolaza tih nebeskih tijela i planeta kroz meridijan, vrijednost jednadžbe vremena za 0 sati i 12 sati UT. Prvi dio sadrži i tablice za korekciju, tablice za izračun geografske širine iz visine Polarne zvijezde i dijagram za identifikacije zvijezda. U drugom je dijelu velik broj navigacijskih tablica (nautičke tablice). U trećem dijelu su tablice plime i oseke za sva područja svijeta, s lučkim zakašnjenjima i strujama plima i oseka. U četvrtom su dijelu navedene udaljenosti britanske obale i obale sjeverne Europe te pilotske informacije. Peti dio godišnjaka je popis svjetionika, šesti dio je daljinar svih svjetskih luka, u sedmom dijelu su informacije važne za pravnu regulaciju pomorskog poslovanja kao što su tekstovi konvencija, zakona, osiguranje itd., velik broj podataka o teretima, načinima krcanja, meteorološki podaci itd.

Osim Brown's Nautical Almanaca, na brodovima se koristi i Nautički godišnjak koji kontinuirano izdaje Državni hidrografski institut u Splitu (HIDCRO). Ta publikacija sadrži mnogo manji broj informacija, a sve su vezane za astronomska opažanja. U promjenljivom efemeridskom dijelu prikazani su grinički satni kutovi za Sunce, proljetnu točku, Veneru, Mars, Mjesec, Jupiter i Saturn te deklinacije za Sunce, Veneru, Mars, Mjesec, Jupiter i Saturn. Ti podaci prikazani su za svaki parni sat srednjega griničkog vremena (UT) s početkom u 0 sati svakog dana. Osim tih podataka, u godišnjaku su još i podaci o vremenima izlaza i zalaza Sunca i Mjeseca, vremenima trajanja građanskog i astronomskog sumraka, vremenima prolaza Sunca, Mjeseca i navigacijskih planeta kroz meridijan, vrijednost horizontske paralakse, veličine polumjera Sunca i Mjeseca te vrijednost jednadžbe vremena. Ti su podaci izneseni za svaki dan. Surektascenzije i deklinacije 54 navigacijske zvijezde

prikazane su za svaki mjesec u godini. Isto tako, za svaki su mjesec prikazana i vremena prolaza zvijezda kroz meridijan, s posebnom tablicom za korekcije. Za račun geografske širine iz visine Polarne zvijezde dane su tri tablice, a jedna tablica je namijenjena računanju azimuta Polarne zvijezde. U stalnom efemeridskom dijelu još su interpolacijske i neke pomoćne tablice. Godišnjak ima i tri zvjezdane karte za identifikaciju, kartu i tablicu zonskih vremena i detaljnu uputu s primjerima za računanje astronomskih nautičkih podataka.

Na kraju udžbenika priloženi su dijelovi Nautičkog godišnjaka za 1993. godinu.

Izračunavanje satnog kuta i deklinacije

Nautički godišnjak daje satni kut i deklinaciju Sunca, Mjeseca i navigacijskih planeta za svaki dan i svaki parni sat srednjeg vremena u Greenwichu (UT). Za svaki drugi trenutak izračun satnog kuta i deklinacija omogućen je interpolacijskim tablicama. Satni kut ima dva popravka: prvi popravak je razlika satnog kuta između zadnjeg parnog sata i traženog vremena, a drugi popravak je interpolacija za nepravilnu promjenu satnog kuta. Deklinacija ima samo drugi popravak. Argumenti za drugi popravak na dnu su efemerida.

Za zvijezde su u posebnim tablicama prikazane surektascenzije i deklinacije, a satni kut može se izračunati kao zbroj surektascenzije i satnog kuta proljetne točke.

Račun vremena prolaza nebeskih tijela kroz meridijan

Nautički godišnjaci omogućuju račun vremena prolaza kroz meridijan svih nebeskih tijela koja se koriste u astronomskoj navigaciji.

Prolaz Sunca kroz meridijan može se izračunati na tri načina:

1. Korištenjem činjenice da u trenutku prolaza Sunca kroz meridijan pravo mjesno Sunčevo vrijeme iznosi 12 sati, i pretvaranjem tog vremena u zonsko.
2. U trenutku prolaza Sunca kroz meridijan njegov satni kut za meridijan Greenwich odgovara geografskoj dužini. Zamjenom tih vrijednosti inverznim se postupkom može izračunati srednje vrijeme u Greenwichu, a pribrajanjem zone i zonsko vrijeme prolaza Sunca kroz meridijan.
3. Za svaki datum nautički godišnjak donosi zonsko vrijeme prolaza Sunca kroz središnji meridijan zone (0° , 15° , 30° itd.). Za ostale meridijane zonsko vrijeme prolaza Sunca može se izračunati ako se vremenu srednjeg meridijana zone (t_m) pribroji vremenska razlika između središnjeg meridijana zone i meridijana mjesta ($x - \lambda$).

Prolaz Mjeseca kroz meridijan Greenwich za traženi dan prikazan je u Nautičkom godišnjaku. Efemeride daju srednje vrijeme za prolaz Mjeseca kroz meridijan Greenwich i jednosatnu promjenu vremena prolaza ($\Delta/24$). S tom vrijednošću i s vrijednošću geografske dužine izračuna se promjena u vremenu prolaza Mjeseca kroz mjesni meridijan. Ako geografska dužina ima zapadni predznak, popravak ($\Delta/24$) uzima se za zadani datum, a ako geografska dužina ima istočni predznak, uzima se popravak prethodnog dana. Veličina promjene izračuna se iz korekcijskih tablica za izračunavanje Mjesečevih izlaza, prolaza kroz meridijan i zalaza.

Račun vremena prolaza planeta kroz gornji meridijan identičan je računu vremena prolaza Mjeseca. Promjena vremena prolaza može se izračunati kao razlika vremena prolaza za naredni i traženi dan, ali se ta korekcija u praksi malokad računa.

Prolazi navigacijskih zvijezda kroz središnji meridijan zone prikazani su u posebnoj tablici za svaki prvi dan u mjesecu. Korekcija za ostale dane u posebnoj je tablici na istoj stranici Nautičkoga godišnjaka.

Račun vremena izlaska i zalaska Sunca i trajanje sumraka

Zbog utjecaja refrakcije Sunce se u položaju pravog izlaska ili zalaska nalazi kad je njegov donji rub za približno $2/3$ promjera iznad horizonta. U trenutku zalaska Sunca počinje sumrak.

Razlikuju se tri vrste sumraka. Prvi sumrak nastupa pravim zalaskom Sunca i traje dok se Sunce ne nađe 6° ispod horizonta. To razdoblje dana zove se građanski sumrak. Za vrijeme trajanja građanskog sumraka ne vide se zvijezde pa nisu moguća mjerenja.

Kad se Sunce spusti 6° ispod horizonta, na nebu se počinju pojavljivati planeti i najveće zvijezde, a vidljivost je još tolika da se horizont jasno uočava, pa su moguća opažanja zvijezda. Zbog toga se taj sumrak zove nautički sumrak. Traje dok se Sunce ne spusti do 12° ispod horizonta, a tada se horizont više ne može vidjeti.

Pošto se Sunce spusti 12° ispod horizonta, počinje astronomski sumrak. U tom razdoblju dana horizont se više ne vidi pa nisu moguća mjerenja, ali se ne vide ni sve zvijezde. Kada se Sunce spusti 18° ispod horizonta, na nebu se mogu vidjeti sva nebeska tijela i nastupa noć.

U večernjim sumracima najprije nastaje građanski, zatim nautički i napokon astronomski sumrak. U jutarnjim sumracima slijed je obrnut: najprije nastaje astronomski sumrak, zatim nautički i najzad građanski.

Podaci o vremenu izlaska i zalaska gornjeg ruba Sunca i o vremenu trajanja građanskog i astronomskog sumraka u Nautičkom godišnjaku prikazani su za sjevernu i južnu hemisferu od 0° do 60° , za svaki dan. Vrijeme početka

astronomskog sumraka može se izračunati ako se vremenu zalaska pribroji vrijeme trajanja građanskog sumraka, a početak noći ako se vremenu zalaska pribroji vrijeme trajanja astronomskog sumraka. U jutarnjim satima početak svitanja može se izračunati ako se od vremena izlaska Sunca oduzme vrijeme trajanja astronomskog sumraka, a završetak nautičkog sumraka ako se od vremena izlaska Sunca oduzme vrijeme trajanja građanskog sumraka.

Za vrijednosti geografskih širina koje nisu prikazane vrijeme izlaska i zalaska te trajanja sumraka računaju se interpolacijom. Za to se koristi posebna interpolacijska tablica godišnjaka („Interpolaciona tablica”).

Račun vremena izlaska i zalaska Mjeseca

Podaci o vremenu izlaska i zalaska gornjeg ruba Mjeseca u Nautičkom godišnjaku prikazani su za sjevernu i južnu hemisferu od 0° do 60°, za svaki dan kao i za Sunce. Za vrijednosti geografskih širina koje nisu prikazane, vrijeme izlaska i zalaska te trajanja sumraka računaju se interpolacijom. Za to se koriste dvije interpolacijske tablice godišnjaka: „Interpolaciona tablica za izračunavanje vremena Sunčevih i Mjesečevih izlaza i zalaza” i „Interpolaciona tablica za izračunavanje Mjesečevih izlaza, prolaza kroz meridijan i zalaza”. U prve korekcijske tablice ulazi se s razlikom geografske širine i razlikom vremena izlaska ili zalaska za razliku od 5° ili 10° geografske širine. U drugu korekcijsku tablicu ulazi se promjenom surektascenzije za jedan sat ($\Delta/24$) i geografskom dužinom. Druga korekcija uvijek se oduzima, pri čemu je potrebno brinuti o predznaku geografske dužine. Radi točnijih rezultata promjena surektascenzije za istočne geografske dužine uzima se prethodnog datuma.

Račun vremena izlaska i zalaska zvijezda i planeta

Vremena izlaska i zalaska zvijezda i navigacijskih planeta nisu prikazana u Nautičkom godišnjaku. Vrijeme izlaska i zalaska tih nebeskih tijela mogu se izračunati iz vremena prolaza kroz meridijan, s dovoljnom točnošću za praksu navigacije.

Vrijeme pravog izlaska može se dobiti ako se vremenu prolaza nebeskog tijela kroz meridijan oduzme vrijednost istočnog satnog kuta u trenutku izlaska, a vrijeme pravog zalaska ako se vremenu prolaza kroz meridijan pribroji vrijednost zapadnog satnog kuta u trenutku zalaska. Satni kut može se izračunati iz vrijednosti geografske širine (φ) i deklinacije (δ), računajući da visina u trenutku pravog izlaska ili zalaska iznosi 0°.

$$\cos s = \frac{\sin V - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \quad (22)$$

Budući da visina u trenutku pravog izlaska ili zalaska iznosi 0° ($\sin V = 0$), satni kut može se izračunati iz izraza:

$$\cos s = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (23)$$

Deklinacija (δ) se izračuna iz Nautičkoga godišnjaka za vrijeme prolaza kroz meridijan. Da bi se dobilo vrijeme izlaska od vremena prolaza kroz meridijan oduzme se vrijednost satnog kuta, a za račun vremena zalaska, vrijednost satnog kuta pribroji se vremenu prolaska kroz meridijan.

VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Nautički godišnjaci su publikacije koje donose efemeride nebeskih tijela. Na brodovima se najviše koriste Brown's Nautical Almanac i Nautički godišnjak.

Sumraci su razdoblja između dana i noći. Imaju različita trajanja koja ovise o geografskoj širini.

Građanski sumrak traje od trenutka zalaska Sunca do trenutka kad se Sunce spusti 6° ispod horizonta. U vremenu građanskog sumraka nebeska tijela nisu vidljiva.

Nautički sumrak traje do trenutka kad se Sunce spusti 12° ispod horizonta. Za vrijeme nautičkog sumraka vide se horizont i navigacijska nebeska tijela. To je najpovoljnije vrijeme za astronomska opažanja.

Astronomski sumrak traje od završetka nautičkog sumraka do trenutka kad se Sunce spusti 18° ispod horizonta, odnosno do početka noći.

7. Kronometar

Povijesni pregled razvoja kronometra

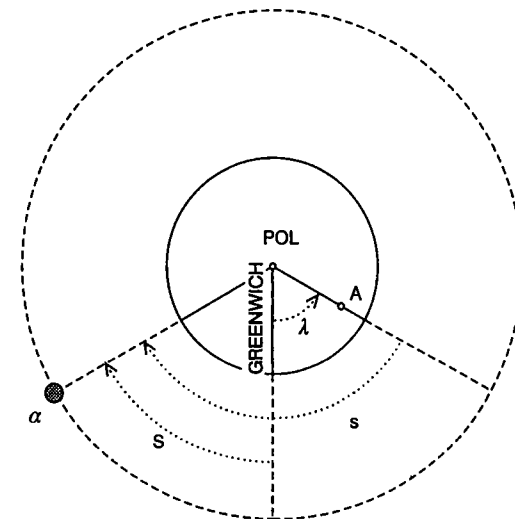
Već početkom 16. stoljeća nizozemski matematičar i astronom Rainer Gamma Frisius predložio je računanje geografske dužine uz pomoć točnog sata koji bi pokazivao vrijeme u određenom meridijanu i usporedbom tog vremena s vremenom meridijana na kojemu je opažatelj.

Problem određivanja geografske dužine posebno je bio izražen nakon pomorske katastrofe koja je zadesila eskadru engleskih ratnih brodova 1707. godine kad je poginulo više od 2 000 ljudi. Razlog katastrofi bilo je nepoznavanje točne geografske dužine. Nakon tog događaja osnovan je ured koji je trebao riješiti problem određivanja geografske dužine (Board of Longitude u Engleskoj i Bureau de Longitude u Francuskoj). Ured je raspisao nagradu od 20 000, 15 000 ili 10 000 funti za konstrukciju sata koji bi omogućavao izračun geografske dužine s točnošću od 30' (prva nagrada), 45' (druga nagrada) ili 60' (treća nagrada), a nakon šestotjednog putovanja po otvorenom moru.

Prvi dovoljno precizan sat konstruirao je londonski urar John Harrison. Nakon mnogih pokušaja i neuspjeha napokon je treći Harrisonov kronometar u pratnji konstruktorova sina ukrcan na brod „Deptford”. Kronometar je bio podešen po pravom vremenu meridijana u Bristolu. Brod je stigao na Jamaiku u siječnju 1762, a kronometar je istog mjeseca vraćen. Unatoč teškom putovanju i kolebanjima u temperaturi, razlika u vremenu iznosila je samo 1 minutu i 53 sekunde (28' dužine, što na geografskoj širini Portlanda iznosi 18 NM). Tim događajem počela je „kronometarska era”, a istraživanja svijeta mogla su se nastaviti s mnogo većom točnošću. Mogućnost određivanja geografske dužine otvorila je put ekspedicijama Jamesa Cooka, i zapravo na trećem putovanju tog istraživača astronomska navigacija dobila je svoju punu primjenu.

Princip računanja geografske dužine poznavanjem točnog vremena u Greenwichu

Princip računanja geografske dužine poznavanjem vremena početnog meridijana može se vidjeti na slici 43. U trenutku kad je nebesko tijelo α prošlo kroz meridijan pozicije A, počeo je teći mjesni satni kut. U trenutku prolaza istog nebeskog tijela kroz meridijan Greenwicha počeo je teći satni kut nebeskog tijela za taj meridijan. Ako se nebesko tijelo α nalazi u položaju prikazanom na slici, vrijednost njegovoga mjesnog satnog kuta (s) od satnog kuta za meridijan Greenwich (S) razlikuje se za vrijednost geografske dužine (λ).



Slika 43. Mjesni satni kut nebeskog tijela i satni kut za meridijan Greenwich razlikuje se za vrijednost geografske dužine.

Mjesni satni kut može se izračunati mjerenjem visine nebeskog tijela. Satni kut za meridijan Greenwich može se dobiti iz Nautičkoga godišnjaka ako je poznato srednje Sunčevo vrijeme tog meridijana. Geografska dužina tada se može izračunati iz izraza:

$$\lambda = s - S. \quad (24)$$

Vrste kronometara

Zbog svoje važnosti kronometar je dugo bio instrument kojem se na brodu posvećivala posebna pažnja. Bio je smješten u neposrednoj blizini sistemnog težišta broda, zaštićen od vlage, temperaturnih kolebanja i trešnje, dobro izbalansiran na horizontalnom kardanu, pravljen od najkvalitetnijih materijala. Redovito se vodio dnevnik kronometra, pratilo njegovo stanje i kontrolirao njegov dnevni hod.

Mehanički kronometar imao je precizan satni mehanizam s ugrađenim sustavom regulacije. Njegov osnovni dio bila je nemirnica koja je treptala 14 400 puta na sat, a koju je pokretala sila elastičnog pera od paladija s otprilike 12 navoja. Navoj se spiralno namotavao navijanjem pomoću posebnog ključa. Točnost njihanja regulirala se mehaničkim vijčanim utezima.

Automatski elektronski kvarcni kronometar u početku je koristio titraje glazbenih viljuški s frekvencijom od oko tri milijuna puta u jednom satu. Ta se frekvencija dijelila elektronskim djeliteljima frekvencije i pretvarala u

precizan broj impulsa na osnovi kojih se mjerio protok vremena. Danas se umjesto glazbene viljuške koristi posebno brušeni kristalni kvarc s vrlo stabilnom frekvencijom titranja. Frekvenciju titranja određuje dimenzija (debljina) kvarca. Titranje kvarca stvara, zbog piezoelektričnog efekta, izmjenu napona na njegovoj površini, a ta je izmjena vrlo pravilna, s frekvencijama od 10 do 100 kHz, što ovisi o dimenzijama kvarca. Da se suzbije utjecaj promjene temperature, kvarc se drži na stalnoj temperaturi pomoću termostata. Takvi kronometri mogu imati hod od jedne sekunde godišnje. Primjenom integralnih kola veličina kronometra smanjila se do veličine ručnog sata. Energiju kronometar dobiva od male baterije koja traje više od godinu dana.

Danas su na brodovima kvarcni kronometri u dva oblika. Stariji elektronski kronometri izgledom su slični mehaničkim, imaju kazaljke s brojčanikom, a smješteni su u slična kućišta. Novije vrste vrijeme prikazuju digitalno sa šest brojki, smještene su u čeličnoj kutiji, a stanje im se može po volji regulirati.

Stanje i hod kronometra, dnevnik kronometra

Greška u vremenu od jedne minute izaziva na ekvatoru grešku u poziciji od 15 nautičkih milja. Zbog toga je važno poznavati stanje i dnevni hod kronometra.

Stanje kronometra (St) razlika je između srednjeg griničkog vremena (UT) i vremena koje pokazuje kronometar (t_k):

$$St = UT - t_k \quad (25)$$

Stanje kronometra može imati pozitivan ili negativan predznak. Pozitivan je ako kronometar zaostaje za srednjim griničkim vremenom, a negativan ako prethodi srednjem griničkom vremenu. Kad je poznato stanje kronometra, srednje vrijeme u Greenwichu može se izračunati iz:

$$UT = t_k + St \quad (26)$$

Dnevni hod kronometra je vrijeme za koje se promijeni stanje tijekom jednog dana:

$$h = St_2 - St_1 \quad (27)$$

Dnevni hod kronometra dobije se ako se usporede dva stanja kronometra koja su se zabilježila u međusobnom vremenskom razmaku od 24 sata. I dnevni hod može imati pozitivan ili negativan predznak. Pozitivan predznak ima ako kronometar žuri, a negativan ako dnevno zaostaje.

Ako se iz bilo kojeg razloga nije moglo izračunati stanje kronometra u dva uzastopna dana, dnevni se hod može izračunati iz izraza:

$$h = \frac{St_n - St_1}{n} \quad (28)$$

U izrazu „n” predočuje broj dana koji je protekao između dvaju stanja kronometra.

Stanje i hod kronometra određuje se vremenskim signalima. Prve vremenske signale (Time signal) počeo je emitirati astronomski opservatorij u Parizu 23. svibnja 1910. Danas se vremenski signali emitiraju gustom mrežom stanica. Podaci o emisijama mogu se pronaći u navigacijskim priručnicima Radio Aids to Navigation, Vol I (američko izdanje) i Admiralty List of Wireless Signals, Volume I (englesko izdanje). Svaka stanica ima svoj način slanja signala. Najstariji sustav bio je ONOGO SUSTAV. U pedeset i osmoj minuti emitira se slovo N Morzeove abecede. Posljednjih šest sekundi pedeset i osme minute emitiraju se kao kratke točke. Posljednja točka (šesta) označava završetak 58. minute. Zatim se počinje emitirati slovo G i emitiranje slova G traje tijekom pedeset devete minute. Zadnjih šest sekundi te minute emitira se sa šest kratkih signala. Završetak zadnjeg signala je završetak punog sata, odnosno trenutak početka novog sata.

Osim ovog (prvog) sustava postoje i mnogi drugi: novi međunarodni sustav sličan je ONOGO sustavu, samo što mu kratki signali traju četvrtinu sekunde, u engleskom sustavu kratki signali traju 0,1 sekundu, američki sustav emitira određene znakove posljednjih pet minuta u satu, a na kraju se emitira ne šest nego deset kratkih signala itd.

Stanje kronometra može se kontrolirati i usporedbom s drugim kronometrima kojima je stanje poznato. Najčešći način određivanja stanja danas je usporedba vremena kronometra s vremenom satelitskog navigacijskog sustava GPS.

O stanju kronometra, dnevnom hodu, kontrolama vremenskog signala i općenito o radu s kronometrom mora se voditi takozvani dnevnik kronometra. To je posebna knjiga ovjerena od ovlaštenih organa sigurnosti plovidbe u koju se upisuju slušani vremenski signali i svi ostali detalji vezani uz vrijeme i rad s kronometrom. Vodi se svakodnevno i ima značenje dokumenta.

! VAŽNIJI POJMOVI I DEFINICIJE

Kronometar je točan sat koji pokazuje srednje griničko vrijeme. Poznavanjem srednjega griničkog vremena može se astronomskim opažanjima odrediti geografska dužina. Danas se koriste isključivo automatski elektronski kvarcni kronometri.

Stanje kronometra je vrijednost koja pokazuje koliko kronometar prethodi ili zaostaje za srednjim griničkim vremenom. Može imati pozitivan (ako kronometar zaostaje) ili negativan predznak (ako kronometar pokazuje više od srednjeg griničkog vremena).

Dnevni hod kronometra je promjena stanja za 24 sata. Može imati pozitivan ili negativan predznak.

Vremenski signali su radiosignali točnog vremena kojima se računa stanje kronometra. Popis stanica koje emitiraju vremenske signale nalazi se u publikaciji Radio Aids to Navigation, Vol I i Admiralty List of Wireless Signals, Volume I.

Dnevnik kronometra je brodska knjiga u koju se svakog dana unose podaci o stanju i hodu kronometra.

? PITANJA ZA PROVJERU ZNANJA

1. Koje vrijeme pokazuje kronometar? Kako se poznavanjem točnog vremena početnog meridijana može izračunati geografska dužina? Koje su se vrste kronometara koristile u bliskoj prošlosti, a koje se koriste danas?
2. Što je stanje kronometra i kako se određuje? Što je dnevni hod kronometra?
3. Zašto je na brodu potrebno voditi dnevnik kronometra?

Zadaci

NEBESKA SFERA

Keplerovi zakoni

PRIMJER 1. Ophodna vremena navigacijskih planeta oko Sunca jesu: Venera 224,7 dana (0,6152 godina), Mars 687 dana (1,881 godina), Jupiter 11,86 godina i Saturn 29,46 godina. Izračunajte udaljenosti tih planeta od Sunca.

RJEŠENJE

$$\text{Venera: } a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{0,6152^2} = 0,723 \text{ AJ}$$

$$\text{Mars: } a = \sqrt[3]{1,881^2} = 1,524 \text{ AJ}$$

$$\text{Jupiter: } a = \sqrt[3]{11,86^2} = 5,201 \text{ AJ}$$

$$\text{Saturn: } a = \sqrt[3]{29,46^2} = 9,539 \text{ AJ}$$

KOORDINATNI SUSTAVI

Veza između satnog kuta Sunca i pravog vremena

PRIMJER 1. Iz Nautičkoga godišnjaka izvađen je mjesni satni kut Sunca koji je iznosio $s = 306^\circ 43'$. Na kojem se dijelu horizonta nalazilo Sunce u tom trenutku?

RJEŠENJE

Satni kut nebeskog tijela računa se od trenutka prolaska nebeskog tijela kroz gornji meridijan, prema zapadu do 360° i nebesko tijelo nalaziti će se na istočnoj strani horizonta sve do trenutka dok satni kut ne postane veći od 180° . Prema tome, u trenutku kad je izvađen mjesni satni kut Sunce se nalazilo na istočnoj strani horizonta, a njegov istočni satni kut iznosio je:

$$s_E = 360^\circ - s = 360^\circ - 306^\circ 43' = 53^\circ 17'$$

PRIMJER 2. Iz Nautičkoga godišnjaka (prilozi) izvađen je podatak da mjesni satni kut Sunca za 18 sati zonskog vremena 15. studenoga 1993. iznosi $s = 93^\circ 49,6'$. Treba izračunati koliko je sati pravog Sunčeva vremena.

RJEŠENJE

Mjesni satni kut Sunca manji je od 180° , što znači da se Sunce nalazi na zapadnoj strani horizonta, pa će se pravo vrijeme izračunati iz izraza:

$$t_p = 12^h + s$$

Mjesni satni kut prethodno je potrebno pretvoriti u vremenske jedinice (sate):

$$s = (93^\circ 49,6')/15 = 06^h 15^{\text{min}} 18,4^s$$

$$t_p = 12^h 00^{\text{min}} 00^s + 06^h 15^{\text{min}} 18,4^s = 18^h 15^{\text{min}} 18,4^s$$

Za pretvaranje stupnjeva u sate može se koristiti i odgovarajuća „Tablica za pretvaranje” u Nautičkom godišnjaku (prilog). Za navedeni primjer može se izračunati:

$$\text{Za } 93^\circ \dots\dots\dots s = 06^h 12^{\text{min}} 00^s$$

$$\text{Za } 00^\circ 43' \dots\dots\dots \Delta s = 00^h 03^{\text{min}} 16^s$$

$$\text{Za } 00^\circ 00,6' (= 36'') \dots\dots\dots \Delta s = 00^h 00^{\text{min}} 02,4^s$$

$$\text{Za } 93^\circ 43,6' \dots\dots\dots s = 06^h 05^{\text{min}} 18,4^s$$

PRIMJER 3. Iz Nautičkoga godišnjaka (prilozi) izvađen je podatak da mjesni satni kut Sunca za 10 sati zonskog vremena 3. svibnja 1993. iznosi $s = 330^\circ 47,2'$. Izračunajte koliko je sati pravog Sunčeva vremena.

RJEŠENJE

Mjesni satni kut Sunca veći je od 180° , što znači da se Sunce nalazi na istočnoj strani horizonta, pa će se pravo vrijeme izračunati iz izraza:

$$t_p = 12^h - s_E$$

$$s_E = 360^\circ - s = 360^\circ - 330^\circ 47,2' = 29^\circ 12,8' = 01^h 56^{\text{min}} 51,2^s$$

$$t_p = 12^h - s_E = 12^h 00^{\text{min}} 00^s - 01^h 56^{\text{min}} 51,2^s = 10^h 03^{\text{min}} 08,8^s$$

Veza između satnog kuta i surektascenzije

PRIMJER 1. Izračunajte deklinacije i surektascenzije zvijezda Rigel, Aldebaran i Markab za 12. ožujka 1993.

RJEŠENJE

Koordinate zvijezda nalaze se u Nautičkom godišnjaku u tablicama „Pregledi zvijezda” i „Prividni položaj zvijezda za 1. u mjesecu” (prilozi). Koordinate se odnose na prvi dan određenog mjeseca, pa ako je datum manji od 15, uzimaju se podaci za zadani mjesec, a ako je datum veći od 15, uzimaju se podaci za slijedeći mjesec.

Popis zvijezda prikazan je u tablici „Pregledi zvijezda” po abecednom redu. Za zvijezdu Rigel vidi se da ima redni broj 9 (drugi stupac, označen sa „Br.”). Za zvijezdu Aldebaran redni broj je 8, a za zvijezdu Markab redni broj je 54.

Surektascenzija zvijezda prikazana je u tablici „Prividni položaji zvijezda” na lijevoj strani. Pod brojem 9 za zvijezdu Rigel može se vidjeti da za mjesec ožujak surektascenzija iznosi $(360 - \alpha) = 281^\circ 26,5'$. Pod istim brojem na desnoj strani tablice zvijezda Rigel upisana je oznakom u zviježđu (β Orion), a njezina deklinacija iznosi za ožujak $\delta = -8^\circ 12,7'$.

Na isti način mogu se pronaći surektascenzije ostalih zvijezda:

$$\text{Aldebaran} \quad r. \text{ br. } 8 \quad (360^\circ - \alpha) = 291^\circ 06,8' \quad \delta = 16^\circ 29,7'$$

$$\text{Markab} \quad r. \text{ br. } 54 \quad (360^\circ - \alpha) = 13^\circ 53,8' \quad \delta = 15^\circ 10,1'$$

PRIMJER 2. Izračunajte deklinaciju i surektascenziju zvijezda Sirius, Pollux i Caph za 28. listopada 1993.

RJEŠENJE

Za zvijezdu Sirius redni broj je 16, za zvijezdu Pollux 19, a za zvijezdu Caph 2. Budući da je datum 28. listopada, podaci o surektascenziji i deklinaciji uzimaju se za 1. studenog:

Sirius	r. br. 16	$(360^\circ - \alpha) = 258^\circ 46,5'$	$\delta = -16^\circ 42,3'$
Pollux	r. br. 19	$(360^\circ - \alpha) = 243^\circ 45,6'$	$\delta = 28^\circ 02,3'$
Caph	r. br. 2	$(360^\circ - \alpha) = 357^\circ 46,5'$	$\delta = 59^\circ 07,3'$

PRIMJER 3. Izračunajte satni kut zvijezde Capella za meridijan Greenwich i za meridijan $\lambda = 27^\circ 17' E$ za 6. svibnja 1993. u UT = 14^h.

RJEŠENJE

$$S = S_\gamma + (360^\circ - \alpha)$$

Satni kut proljetne točke za meridijan Greenwich (S_γ) nalazi se u Nautičkom godišnjaku pod odgovarajućim datumom (N. G. str. 64 – Prilog). Za 14^h satni kut iznosi:

$$S_\gamma = 74^\circ 26,3'$$

Surektascenzija zvijezde Capella (N. G. str 186 – Prilog):

$$(360^\circ - \alpha) = 280^\circ 57,1'$$

Satni kut zvijezde Capella:

$$S = S_\gamma + (360^\circ - \alpha) = 74^\circ 26,3' + 280^\circ 57,1' = 355^\circ 23,4'$$

Mjesni satni kut dobije se ako se satnom kutu meridijana Greenwich pribroji vrijednost geografske dužine:

$$s = S + \lambda = 355^\circ 23,4' + 27^\circ 17' = 382^\circ 40,4' = 22^\circ 40,4'$$

PRIMJER 4. Izračunajte satni kut zvijezde Bellatrix za meridijan Greenwich i za meridijan $\lambda = 114^\circ 38' W$ za 17. studenog 1993. u UT = 04^h.

RJEŠENJE

$$S = S_\gamma + (360^\circ - \alpha) = 116^\circ 13,7' + 278^\circ 47,4' = 395^\circ 01,1' - 360^\circ = 35^\circ 01,1'$$

$$s = S + \lambda = 35^\circ 01,1' + (-114^\circ 38') = 395^\circ 01,1' - 114^\circ 38' = 280^\circ 23,6'$$

PRIMJER 5. Izračunajte surektascenzije Sunca, Mjeseca, Venere, Marsa, Jupitera i Saturna 3. svibnja 1993. u UT = 08^h.

RJEŠENJE

Surektascenzija Sunca, Mjeseca i navigacijskih planeta može se izračunati kao razlika satnih kutova tih nebeskih tijela za Greenwich i satnog kuta proljetne točke za isti meridijan. Ti se podaci nalaze u Nautičkom godišnjaku.

$$(360^\circ - \alpha) = S - S_\gamma$$

Za 3. svibnja (N. G., str 63 – Prilog):

Proljetna točka: $S_\gamma = 341^\circ 14,1'$

Sunce:	$S = 300^\circ 47,1'$	$(360 - \alpha) = 319^\circ 33'$
Mjesec:	$S = 159^\circ 23,6'$	$(360 - \alpha) = 178^\circ 09,5'$
Venera:	$S = 336^\circ 27,1'$	$(360 - \alpha) = 355^\circ 13'$
Mars:	$S = 215^\circ 54,6'$	$(360 - \alpha) = 234^\circ 40,5'$
Jupiter:	$S = 155^\circ 08,2'$	$(360 - \alpha) = 173^\circ 54,1'$
Saturn:	$S = 09^\circ 30,1'$	$(360 - \alpha) = 28^\circ 16'$

ZADACI ZA VJEŽBU

1. Izračunajte pravo vrijeme ako mjesni satni kut Sunca iznosi $s = 19^\circ 36'$.
(Rješenje: $t_p = 13^h 18^{min} 24^s$)

2. Izračunajte pravo vrijeme ako mjesni satni kut Sunca iznosi $s = 319^\circ 53'$.
(Rješenje: $t_p = 09^h 19^{min} 32^s$)

3. Izračunajte pravo vrijeme ako mjesni satni kut Sunca iznosi $s = 174^\circ 16'$.
(Rješenje: $t_p = 23^h 37^{min} 04^s$)

4. Izračunajte pravo vrijeme ako mjesni satni kut Sunca iznosi $s = 192^\circ 03'$.
(Rješenje: $t_p = 00^h 48^{min} 12^s$)

5. Izračunajte deklinacije i surektascenzije zvijezda Achernar, Betelgeuse i Regulus za 7. travanj 1993.

(Rješenje: Achernar	$\delta = -57^\circ 16,5'$	$360 - \alpha = 335^\circ 38,4'$
Betelgeuse	$\delta = 07^\circ 24,3'$	$360 - \alpha = 271^\circ 17,6'$
Regulus	$\delta = 11^\circ 59,8'$	$360 - \alpha = 207^\circ 59,3'$

6. Izračunajte deklinacije i surektascenzije zvijezda Procyon, Dubhe i Mizar za 24. rujna 1993.

(Rješenje: Procyon	$\delta = 05^\circ 14,5'$	$360 - \alpha = 245^\circ 15,2'$
Dubhe	$\delta = 61^\circ 46,9'$	$360 - \alpha = 194^\circ 10,2'$
Mizar	$\delta = 54^\circ 57,5'$	$360 - \alpha = 159^\circ 05,3'$

7. Izračunajte satni kut zvijezde Deneb za meridijan Greenwich i za meridijan $\lambda = 19^\circ 33' E$ za 4. svibnja 1993. u UT = 22^h.

(Rješenje: $S = 242^\circ 29,5'$ $s = 262^\circ 02,5'$)

8. Izračunajte satni kut zvijezde Vega za meridijan Greenwich i za meridijan $\lambda = 106^\circ 48' W$ za 16. studenoga 1993. u UT = 06^h.

(Rješenje: $S = 226^\circ 08,7'$ $s = 119^\circ 20,7'$)

9. Izračunajte surektascenzije Sunca, Mjeseca, Venere, Marsa, Jupitera i Saturna 6. svibnja 1993. u UT = 20^h.

(Rješenje: Sunce	$360^\circ - \alpha = 316^\circ 10,6'$
Mjesec	$360^\circ - \alpha = 127^\circ 13,2'$
Venera	$360^\circ - \alpha = 353^\circ 37,0'$
Mars	$360^\circ - \alpha = 232^\circ 53,3'$
Jupiter	$360^\circ - \alpha = 174^\circ 09,4'$
Saturn	$360^\circ - \alpha = 28^\circ 04,3'$

ASTRONOMSKO NAUČKI TROKUT

Pretvaranje koordinata mjesnog ekvatorskoga koordinatnog sustava u koordinate horizontskog koordinatnog sustava

PRIMJER 1. Izračunajte visinu i azimut Sunca za 05. svibnja 1993. u $UT = 16^h$ za poziciju s koordinatama $\varphi = 43^\circ 11' N$ i $\lambda = 21^\circ 32' W$.

RJEŠENJE

a) Račun deklinacije i satnog kuta Sunca za meridijan Greenwich:

Iz NG, 5. svibnja u $UT = 16^h$ $S = 60^\circ 50,3'$ $\delta = 16^\circ 23'$

b) Račun mjesnog satnog kuta:

$s = S + \lambda = 60^\circ 50,3' + (-21^\circ 32,0') = 39^\circ 18,3'$

c) Račun visine:

$\sin V = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s = 0,734\ 334\ 661$

$V = 47^\circ 15,1'$

d) Račun azimuta:

$\cos W' = (\sin \delta - \sin \varphi \sin V) / (\cos \varphi \cos V) = -0,445\ 435\ 974$

$W' = 116,5^\circ$

Budući da je mjesni satni kut manji od 180° , Sunce je na zapadnoj strani horizonta, pa izračunanu vrijednost treba oduzeti od 360° :

$W = 360 - W' = 360^\circ - 116,5^\circ$

$W = 243,5^\circ$

e) Račun azimuta ABC tablicama:

ABC tablice su posebne tablice koje omogućuju izračun azimuta nebeskog tijela iz poznate geografske širine, deklinacije i mjesnog satnog kuta. Tablice su se mnogo koristile u vrijeme kad nije bilo džepnih računala.

Tablice su u Nautičkim tablicama (broj 37). Argumenti za ulazak u tablicu A jesu geografska širina (φ) i mjesni satni kut (s), u tablicu B deklinacija nebeskog tijela (δ) i mjesni satni kut (s), a u tablicu C geografska širina (φ) i algebarski zbroj brojeva A i B ($C = A + B$).

- NT 37, str. 74..... $A = -1,15$

- NT 37, str. 75..... $B = +0,47$

$C = A + B = -0,68$

A ima negativan predznak jer je satni kut manji od 90° (ulaz sa vrha tablice). B ima pozitivan predznak jer su φ i δ istoimeni (napomene na dnu tablica). Vrijednosti A i B dobijene su interpolacijama.

S argumentima φ i C ulazi se u treću tablicu (tablicu C) i izračuna azimut:

$W = 244^\circ$ (NT, str. 86)

Od četiri vrijednosti izabrana je vrijednost 244° stoga što je mjesni satni kut manji od 180° pa se nebesko tijelo nalazi na zapadnoj strani horizonta (otpadaju vrijednosti 64° i 116°) i zbog toga što C ima negativnu vrijednost, pa je azimut raznoimen s geografskom širinom, odnosno Sunce se gleda prema jugu (napomena u dnu tablice), čime otpada i vrijednost azimuta od 296° .

f) Račun s džepnim računalima TAMAYA (NC-77 i NC-88)

Džepna računala s ugrađenim algoritmom za rješavanje problema astronomske navigacije omogućuju izravno računanje elemenata osnovnog astronomskeg trokuta.

Najčešće korištene varijante japanskog džepnog računala Tamaya jesu NC-77 i NC-88. Tip NC-77 omogućuje automatski izračun satnog kuta proljetne točke te deklinacije i satnog kuta Sunca, a tip NC-88 koordinate svih nebeskih tijela koja se koriste u astronomskoj navigaciji. Za račun azimuta rabe se tipke označene sa ALM (kratica za almanac) i LOP (Line of Position), a kod tipa NC-88 i oznake za nebeska tijela (0 za Sunce, 70 za Veneru, 75 za Mars, 80 za Jupiter, 85 za Saturn, 90 za Mjesec i od 1 do 63 za zvijezde).

Postupak rada prikazan je u tablici:

UNOS	IZGLED EKRANA	ZNAČENJE
ALM	Y 0.	IZBOR OPCIJE ZA EFEMERIDE
93.0505	Y 93.0505	1993. svibanj, 05. (DATUM)
ENT	h 0.	
16.0000	h 16.0000	UT (16 sati 00 minuta 00 sekundi)
ENT	ho 101.338	SATNI KUT PROLJETNE TOČKE ZA GREENWICH ($101^\circ 33,8'$)
ENT	d 16.230	DEKLINACIJA SUNCA ($16^\circ 23,0'$)
M1	d 16.230	PAMĆENJE (MEMORIRANJE) DEKLINACIJE
ENT	H 60.503	SATNI KUT SUNCA ZA GREENWICH
21.320 S/W	-21.320	GEOGRAFSKA DUŽINA
=	LH 39.183	MJESNI SATNI KUT SUNCA
LOP	LH 39.183	IZRAČUN ELEMENATA POZICIJE (VISINA I AZIMUT)
ENT	d 0.	
F/M1	d 16.230	DEKLINACIJA (IZ MEMORIJE M1)
ENT	L 0.	
43.110 N/E	L 43.110	UNOŠENJE GEOGRAFSKE ŠIRINE
ENT	R 47.151	VISINA ($47^\circ 15,1'$)
ENT	η 243.329	AZIMUT ($243^\circ 32,9'$)

PRIMJER 2. Izračunajte visinu i azimut planeta Venere 16. studenoga 1993. u $UT = 06^h$ na poziciji s koordinatama $\varphi = 41^\circ 37' N$ i $\lambda = 26^\circ 51' E$.

RJEŠENJE

a) Račun deklinacije i satnog kuta Venere za meridijan Greenwich:

Iz NG, 16. studenoga 1993. u $UT = 06^h$ $S = 288^\circ 19,2'$ $\delta = 13^\circ 16,6' S$

b) Račun mjesnog satnog kuta:

$$s = S + \lambda = 288^\circ 12,2' + 26^\circ 51,0' = 315^\circ 03,2'$$

c) Račun visine:

$$\sin V = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s = 0,362 463 215 "$$

$$V = 21^\circ 15,1'$$

d) Račun azimuta:

$$\cos W = (\sin \delta - \sin \varphi \sin V) / (\cos \varphi \cos V) = -0,675 091 522$$

$$W = 132,5^\circ$$

Budući da je mjesni satni kut veći od 180° , Venera se nalazi na istočnoj strani horizonta, pa izračunana vrijednost odgovara pravom azimutu.

e) Za izračun azimuta ABC tablicama potrebno je izračunati vrijednost istočnog satnog kuta:

$$s_E = 360^\circ - s = 360^\circ - 315^\circ 03,2' = 44^\circ 56,8'$$

$$- NT 37, str. 74..... A = -0,9,$$

$$- NT 37, str. 75..... B = -0,34,$$

$$C = A + B = -1,24.$$

A ima negativan predznak jer je satni kut manji od 90° (ulazi se na vrhu tablice). B ima negativan predznak jer su φ i δ raznoimeni (napomene na dnu tablica). Vrijednosti A i B dobivene su interpolacijama.

Iz tablice C:

$$W = 133^\circ \text{ (NT, str. 85)}$$

Od četiri vrijednosti izabrana je vrijednost 133° stoga što je mjesni satni kut veći od 180° pa se nebesko tijelo nalazi na istočnoj strani horizonta (otpadaju vrijednosti 227° i 313°) i zbog toga što C ima negativnu vrijednost pa je azimut raznoimen s geografskom širinom, odnosno Venera se gleda prema jugu (napomena u dnu tablice), čime otpada i vrijednost azimuta od 47° .

PRIMJER 3. Izračunajte visinu i azimut zvijezde Peacock 4. svibnja 1993. u UT = 20^h na poziciji s koordinatama $\varphi = 32^\circ 11' S$ i $\lambda = 112^\circ 36' W$.

RJEŠENJE

Račun satnog kuta:

$$\text{Iz NG: } S_\gamma = 162^\circ 42,8' \quad (360 - \alpha) = 53^\circ 42,8' \quad \delta = -56^\circ 45,1'$$

$$s = S_\gamma + \lambda + (360^\circ - \alpha) = 162^\circ 42,8' + (-112^\circ 36') + 53^\circ 42,8' = 103^\circ 49,6'$$

Račun visine:

$$\sin V = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s = 0,333 454 414$$

$$V = 19^\circ 32,7'$$

Račun azimuta:

$$\cos W' = (\sin \delta - \sin \varphi \sin V) / (\cos \varphi \cos V) = -0,825 136 638$$

$$W' = 145,5^\circ$$

Budući da je mjesni satni kut manji od 180° zvijezda se nalazi na zapadnoj strani horizonta, pa će se azimut dobiti ako se izračunana vrijednost (W') oduzme od 360° :

$$W = 360^\circ - W' = 214,5^\circ$$

Račun azimuta ABC tablicama:

$$- NT 37, tablica A..... A = +0,16,$$

$$- NT 37, tablica B..... B = +1,58,$$

$$C = A + B = +1,74.$$

A ima pozitivan predznak jer je satni kut veći od 90° (ulazi se na vrhu tablice). B ima pozitivni predznak jer su φ i δ istoimeni (napomene na dnu tablica).

Iz tablice C:

$$W = 214^\circ \text{ (NT 37, tablica C)}$$

Od četiri vrijednosti izabrana je vrijednost 214° stoga što je mjesni satni kut manji od 180° pa se nebesko tijelo nalazi na zapadnoj strani horizonta (otpadaju vrijednosti 34° i 146°) i zato što C ima pozitivnu vrijednost pa je azimut istoimen s geografskom širinom, odnosno zvijezda se gleda prema jugu (napomena u dnu tablice) čime otpada i vrijednost azimuta od 326° .

PRIMJER 4. Izračunajte visinu i azimut zvijezde Caph 18. studenoga 1993. u UT = 04^h na poziciji s koordinatama $\varphi = 27^\circ 32' N$ i $\lambda = 46^\circ 38' W$.

RJEŠENJE

Račun satnog kuta:

$$\text{Iz NG: } S_\gamma = 117^\circ 12,8' \quad (360 - \alpha) = 357^\circ 46,6' \quad \delta = 59^\circ 07,4'$$

$$s = S_\gamma + \lambda + (360^\circ - \alpha) = 117^\circ 12,8' + (-46^\circ 38') + 357^\circ 46,6' = 428^\circ 21,4'$$

$$s = 428^\circ 21,4' - 360^\circ = 68^\circ 21,4'$$

Račun visine:

$$\sin V = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s = 0,564 591 578$$

$$V = 34^\circ 22,4'$$

Račun azimuta:

$$\cos W' = (\sin \delta - \sin \varphi \sin V) / (\cos \varphi \cos V) = 0,816 082 661$$

$$W' = 35,5^\circ$$

Budući da je mjesni satni kut manji od 180° zvijezda se nalazi na zapadnoj strani horizonta, pa će se azimut dobiti ako se izračunata vrijednost (W') oduzme od 360° :

$$W = 360^\circ - W' = 324,5^\circ$$

Račun azimuta ABC tablicama:

$$- NT 37, tablica A..... A = -0,21,$$

$$- NT 37, tablica B..... B = +1,79,$$

$$C = A + B = +1,58.$$

$$- NT 37, tablice C..... W = 324,5 \text{ (interpolacijom)}$$

Pretvaranje koordinata horizontskoga koordinatnog sustava u koordinate mjesnoga koordinatnog sustava ekvatora

PRIMJER 1. Na poziciji s koordinatama $\varphi = 44^\circ 37' N$ i $\lambda = 18^\circ 23' E$, 3. svibnja 1993. u $UT = 04^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 14^\circ 41,8'$ i $W = 71,4^\circ$. Izračunajte deklinaciju i surektascenziju nepoznate zvijezde i usporedite s podacima u Nautičkom godišnjaku (identifikacija).

RJEŠENJE

Račun deklinacije:

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin V + \cos \varphi \cos V \cos W = 0,397\ 803\ 872$$

$$\delta = 23^\circ 26,4' N$$

Račun mjesnog satnog kuta:

$$\cos s_E = (\sin V - \sin \varphi \sin \delta) / (\cos \varphi \cos \delta) = -0,039\ 352\ 135$$

$$s_E = 92^\circ 15,3'$$

Budući da je azimut manji od 180° , zvijezda se nalazi na istočnoj strani horizonta, pa mjesni satni kut ima istočni predznak. Zapadni mjesni satni kut dobit će se ako se vrijednost istočnog satnog kuta oduzme od 360° :

$$s = 360^\circ - s_E = 267^\circ 44,7'$$

Račun surektascenzije:

$$\text{Iz NG: } S_\gamma = 281^\circ 04,2'$$

$$(360^\circ - \alpha) = s - (S_\gamma + \lambda)$$

$$S_\gamma + \lambda = 281^\circ 04,2' + 18^\circ 23' = 299^\circ 27,2'$$

$$(360^\circ - \alpha) = 267^\circ 44,7' - 299^\circ 27,2' = 627^\circ 44,7' - 299^\circ 27,2' = 328^\circ 17,5'$$

Kad se rezultati usporede s podacima u Nautičkom godišnjaku, vidi se da je opažana zvijezda Hamal.

Račun azimuta ABC tablicama:

Pretvaranje koordinata koordinatnog sustava horizonta u koordinate koordinatnih sustava ekvatora omogućuju i ABC tablice zamjenom ulaznih argumenata. Umjesto s mjesnim satnim kutom (s), u tablice se ulazi s vrijednošću azimuta, a umjesto s deklinacijom ulazi se s vrijednošću visine. Mjesni satni kut izračuna se iz vrijednosti C. S poznatim mjesnim satnim kutom računa se deklinacija iz tablica B.

Zamjenom ($s = W$) i sa φ , tablice A..... $A = -0,33$,

Zamjenom ($s = W, \delta = V$), tablice B..... $B = +0,27$,

$$C = A + B = -0,06.$$

Iz tablica C..... $s = 92,0^\circ$.

U određivanju vrijednosti mjesnoga satnog kuta valja brinuti o tome u kojem je kvadrantu nebesko tijelo. Ako je azimut manji od 180° , otpadaju zapadne vrijednosti mjesnog satnog kuta ($s > 180$). Ako je azimut veći od 180° , otpadaju istočne vrijednosti mjesnog satnog kuta ($s < 180^\circ$). Ako je vrijednost C pozitivna, satni kut se nalazi u kvadrantima s predznacima geografske širine. Ako C ima negativnu vrijednost, satni kut je u kvadrantima s predznacima suprotnim od geografske širine.

Surektascenzija se odredi tako da se od mjesnog satnog kuta oduzme vrijednost mjesnog satnog kuta proljetne točke.

Račun deklinacije:

Zamjenom ($s = W$) i sa φ , tablice C..... $C = +0,47$,

sa s i φ , tablica A..... $A = +0,03$,

$$B = C - A = +0,44.$$

Iz tablica B (sa s i B)..... $\delta = +23,5^\circ$

PRIMJER 2. Na poziciji s koordinatama $\varphi = 12^\circ 37' S$ i $\lambda = 17^\circ 31' W$, 5. svibnja 1993. u $UT = 18^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 56^\circ 12,3'$ i $W = 304^\circ$. Izračunajte deklinaciju i surektascenziju nepoznate zvijezde i identificirajte zvijezdu.

RJEŠENJE

Račun deklinacije:

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin V + \cos \varphi \cos V \cos W = 0,122\ 005\ 361$$

$$\delta = 07^\circ 0,5' N$$

Račun mjesnog satnog kuta:

$$\cos s = (\sin V - \sin \varphi \sin \delta) / (\cos \varphi \cos \delta) = -0,885\ 520\ 307$$

$$s = 27^\circ 41,1'$$

Budući da je azimut veći od 180° , zvijezda se nalazi na zapadnoj strani horizonta, pa mjesni satni kut ima zapadni predznak.

Račun surektascenzije:

$$\text{Iz NG: } S_\gamma = 133^\circ 37'$$

$$s_\gamma = S_\gamma + \lambda = 133^\circ 37' + (-17^\circ 31') = 116^\circ 06'$$

$$(360^\circ - \alpha) = s - s_\gamma = 27^\circ 41,1' - 116^\circ 06' = 387^\circ 41,1' - 116^\circ 06' = 271^\circ 35,1'$$

Kad se rezultati usporede s podacima u Nautičkom godišnjaku, vidi se da je opažana zvijezda Betelgeuse.

Račun azimuta ABC tablicama:

Zamjenom ($s = W$) i s φ , tablice A..... $A = -0,15$.

Zamjenom ($s = W, \delta = V$), tablice B..... $B = -1,80$.

$$C = A + B = -1,95.$$

Iz tablica C..... $s = 27,5^\circ$.

Račun deklinacije:

Zamjenom ($s = W$) i sa φ , tablice C..... $C = -0,69$

sa s i φ , tablica A..... $A = -0,40$

$$B = C - A = -0,28.$$

Iz tablica B (sa s i B)..... $\delta = +7,3^\circ$

PRIMJER 3. Na poziciji s koordinatama $\varphi = 36^\circ 23' N$ i $\lambda = 133^\circ 37' W$, 15. studenoga 1993. u $UT = 18^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 23^\circ 11,6'$ i $W = 57,9^\circ$. Izračunajte deklinaciju i surektascenziju nepoznate zvijezde i identificirajte zvijezdu.

RJEŠENJE

Račun deklinacije:

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin V + \cos \varphi \cos V \cos W = 0,626\ 852\ 82$$

$$\delta = 38^\circ 49,1' N.$$

Račun mjesnog satnog kuta:

$$\cos s_E = (\sin V - \sin \varphi \sin \delta) / (\cos \varphi \cos \delta) = 0,035\ 066\ 043$$

$$s_E = 87^\circ\ 59,4'$$

Budući da je azimut manji od 180° , zvijezda se nalazi na istočnoj strani horizonta, pa izračunani mjesni satni kut ima istočni predznak.

$$s = 360^\circ - s_E = 360^\circ - 87^\circ\ 59,4' = 272^\circ\ 0,6'$$

Račun surektascenzije:

$$\text{Iz NG: } S_\gamma = 324^\circ\ 49,9'$$

$$s_\gamma = S_\gamma + \lambda = 324^\circ\ 49,9' + (-133^\circ\ 37') = 191^\circ\ 12,9'$$

$$(360^\circ - \alpha) = s - s_\gamma = 271^\circ\ 00,6' - 191^\circ\ 12,9' = 80^\circ\ 47,7'$$

Kad se rezultati usporede s podacima u Nautičkom godišnjaku, vidi se da je opažana zvijezda Vega.

Račun azimuta ABC tablicama:

$$\text{Zamjenom } (s = W) \text{ i } s \varphi, \text{ tablice A..... } A = -0,46.$$

$$\text{Zamjenom } (s = W, \delta = V), \text{ tablice B..... } B = +0,50.$$

$$C = A + B = +0,04.$$

$$\text{Iz tablica C..... } s = 272^\circ$$

Surektascenzija se odredi tako da se od mjesnoga satnog kuta oduzme vrijednost mjesnoga satnog kuta proljetne točke.

Račun deklinacije:

$$\text{Zamjenom } (s = W) \text{ i } s \varphi, \text{ tablice C..... } C = +0,77$$

$$\text{sa } s \text{ i } \varphi, \text{ tablica A..... } A = -0,03$$

$$B = C - A = +0,80$$

$$\text{Iz tablica B (sa } s \text{ i } B)\text{..... } \delta = +38,5^\circ$$

ZADACI ZA VJEŽBU

1. Izračunajte visinu i azimut Mjeseca 3. 5. 1993. u $UT = 22^h$ na poziciji $\varphi = 47^\circ\ 32' N$ i $\lambda = 12^\circ\ 07' W$.
(Rješenje: $V = 32^\circ\ 33,5'$ $W = 168^\circ$)
2. Izračunajte visinu i azimut Marsa 4. 5. 1993. u $UT = 20^h$ na poziciji $\varphi = 38^\circ\ 16' N$ i $\lambda = 19^\circ\ 25' W$.
(Rješenje: $V = 67^\circ\ 26,2'$ $W = 226^\circ$)
3. Izračunajte visinu i azimut Jupitera 16. 11. 1993. u $UT = 16^h$ na poziciji $\varphi = 32^\circ\ 12' N$ i $\lambda = 18^\circ\ 33' W$.
(Rješenje: $V = 12^\circ\ 26'$ $W = 248,4^\circ$)
4. Izračunajte visinu i azimut Saturna 18. 11. 1993. u $UT = 22^h$ na poziciji $\varphi = 43^\circ\ 37' N$ i $\lambda = 21^\circ\ 07' W$.
(Rješenje: $V = 21^\circ\ 01,6'$ $W = 221,7^\circ$)
5. Izračunajte visinu i azimut zvijezde Alpheratz 3. 5. 1993. u $UT = 4^h$ na poziciji $\varphi = 37^\circ\ 28' N$ i $\lambda = 48^\circ\ 33' E$.
(Rješenje: $V = 16^\circ\ 53,3'$ $W = 29,3^\circ$)
6. Izračunajte visinu i azimut zvijezde Rigel 6. 5. 1993. u $UT = 4^h$ na poziciji $\varphi = 28^\circ\ 34' S$ i $\lambda = 73^\circ\ 12' E$.
(Rješenje: $V = 11^\circ\ 30,1'$ $W = 93,2^\circ$)
7. Izračunajte visinu i azimut zvijezde Mizar 16. 11. 1993. u $UT = 2^h$ na poziciji $\varphi = 47^\circ\ 32' N$ i $\lambda = 16^\circ\ 03' W$.
(Rješenje: $V = 20^\circ\ 12,7'$ $W = 27,1^\circ$)
8. Izračunajte visinu i azimut zvijezde Alkaid 17. 11. 1993. u $UT = 8^h$ na poziciji $\varphi = 17^\circ\ 22' S$ i $\lambda = 21^\circ\ 09' W$.
(Rješenje: $V = 09^\circ\ 15'$ $W = 31,1^\circ$)
9. Na poziciji $\varphi = 47^\circ\ 32' N$ i $\lambda = 19^\circ\ 03' W$, 4. 5. 1993. u $UT = 6^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 21^\circ\ 06,7'$ $W = 37,7^\circ$.
Identificirajte zvijezdu.
(Rješenje: Mirfak)
10. Na poziciji $\varphi = 09^\circ\ 38' N$ i $\lambda = 44^\circ\ 35' E$, 16. 11. 1993. u $UT = 4^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 43^\circ\ 54,1'$ $W = 115,8^\circ$.
Identificirajte zvijezdu.
(Rješenje: Spica)
11. Na poziciji $\varphi = 28^\circ\ 17' S$ i $\lambda = 44^\circ\ 31' W$, 5. 5. 1993. u $UT = 0^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 47^\circ\ 05,7'$ $W = 358,3^\circ$.
Identificirajte zvijezdu.
(Rješenje: Denebola)
12. Na poziciji $\varphi = 41^\circ\ 48' S$ i $\lambda = 73^\circ\ 09' E$, 15. 11. 1993. u $UT = 4^h$ izmjereni su visina i azimut nepoznate zvijezde: $V = 70^\circ\ 31,7'$ $W = 81,7^\circ$.
Identificirajte zvijezdu.
(Rješenje: Menkent)

VRIJEME I OSNOVE MJERENJA VREMENA

Pravi Sunčev dan i pravo vrijeme

PRIMJER 1. Izračunajte pravo vrijeme ako mjesni satni kut Sunca iznosi $s = 11^\circ 23,7'$.

RJEŠENJE

Mjesni satni kut manji je od 180° , pa se Sunce nalazi na zapadnoj strani horizonta.

$$s = 11^\circ 23,7' = 00^h 45^{\text{min}} 34,8^{\text{s}}$$

$$t_p = 12^h + s = 12^h 00^{\text{min}} 00^{\text{s}} + 00^h 41^{\text{min}} 34,8^{\text{s}} = 12^h 45^{\text{min}} 34,8^{\text{s}}$$

PRIMJER 2. Izračunajte pravo vrijeme ako je mjesni satni kut Sunca $s = 346^\circ 15,2'$.

RJEŠENJE

Mjesni satni kut veći je od 180° , što znači da je Sunce na istočnoj strani horizonta, a njegov istočni satni kut je:

$$s_E = 360^\circ - s = 360^\circ - 346^\circ 15,2' = 13^\circ 44,8' = 0^h 54^{\text{min}} 59,2^{\text{s}}$$

Pravo vrijeme:

$$t_p = 12^h - s_E = 11^h 05^{\text{min}} 0,8^{\text{s}}$$

Jednadžba vremena

PRIMJER 1. Izračunajte jednadžbu vremena 3. svibnja 1993. za $UT = 0^h$.

RJEŠENJE

Iz NG za 3. svibnja 1993. i $UT = 0^h$:

$$e = 3^{\text{min}} 6,3^{\text{s}}$$

PRIMJER 2. Izračunajte jednadžbu vremena 16. studenoga 1993. za $UT = 12^h$.

RJEŠENJE

Iz NG za 16. studenoga 1993. i $UT = 12^h$:

$$e = 15^{\text{min}} 10,4^{\text{s}}$$

PRIMJER 3. Izračunajte jednadžbu vremena 5. svibnja 1993. za $UT = 04^h$.

RJEŠENJE

Iz NG za 5. svibnja 1993. za $UT = 0^h$:

$$e_{0^h} = 3^{\text{min}} 18,1^{\text{s}} \quad \text{Popravak jednadžbe vremena za 1 sat: } \Delta/24 = 0,2^{\text{s}}$$

$$\text{Popravak jednadžbe vremena za 4 sata: } \Delta e = 4 \cdot 0,2^{\text{s}} = 0,8^{\text{s}}$$

$$e_{0^h} = 3^{\text{min}} 18,1^{\text{s}}$$

$$+\Delta e = + \quad 0,8^{\text{s}}$$

$$e_{4^h} = 3^{\text{min}} 18,9^{\text{s}}$$

PRIMJER 4. Izračunajte jednadžbu vremena 18. studenoga 1993. u $UT = 19^h 26^{\text{min}}$

RJEŠENJE

$$e_{12^h} = 14^{\text{min}} 46,3^{\text{s}} \quad \text{Popravak jednadžbe vremena za 1 sat: } \Delta/24 = -0,5^{\text{s}}$$

$$\text{Popravak jednadžbe vremena za } 07,4^h \text{ (od } 12^h \text{ do } 19^h 26^{\text{min}} \text{ prošlo je } 07,4^h \text{):}$$

$$\Delta e = 7,4 \cdot (-0,5^{\text{s}}) = -3,7^{\text{s}}$$

$$\text{Jednadžba vremena za } UT = 19^h 26^{\text{min}}:$$

$$e_{12^h} = 14^{\text{min}} 46,3^{\text{s}}$$

$$+\Delta e = \quad -3,7^{\text{s}}$$

$$e_{4^h} = 14^{\text{min}} 42,6^{\text{s}}$$

PRIMJER 5. Izračunajte jednadžbu vremena 7. kolovoza 1993. u $UT = 08^h 44^{\text{min}}$

RJEŠENJE

$$e_{0^h} = -5^{\text{min}} 46,9^{\text{s}} \quad \text{Popravak jednadžbe vremena za 1 sat: } \Delta/24 = 0,3^{\text{s}}$$

$$\text{Popravak jednadžbe vremena za } 08,7^h \text{ (od } 00^h \text{ do } 08^h 44^{\text{min}} \text{ prošlo je } 08,7^h \text{):}$$

$$\Delta e = 8,7 \cdot 0,3^{\text{s}} = 2,6^{\text{s}}$$

$$\text{Jednadžba vremena za } UT = 08^h 44^{\text{min}}:$$

$$e_{0^h} = -5^{\text{min}} 46,9^{\text{s}}$$

$$+\Delta e = \quad 2,6^{\text{s}}$$

$$e_{8,7^h} = -5^{\text{min}} 44,3^{\text{s}}$$

PRIMJER 6. Izračunajte srednje vrijeme u meridijanu Greenwich 6. svibnja 1993. ako je satni kut Sunca za taj meridijan $S = 0^\circ 51,3'$ ($0^h 03^{\text{min}} 25,2^{\text{s}}$).

RJEŠENJE

$$T_p = 12 + S = 12^h + 0^h 03^{\text{min}} 25,4^{\text{s}} = 12^h 03^{\text{min}} 25,2^{\text{s}}$$

$$\text{Jednadžba vremena za } UT = 12^h = 3^{\text{min}} 25,4^{\text{s}}$$

$$UT = T_p - e = 12^h 03^{\text{min}} 25,4^{\text{s}} - 3^{\text{min}} 25,4^{\text{s}} = 12^h$$

Provjera: u NG za $UT = 12^h$ satni kut Sunca u Greenwichu iznosi $S = 0^\circ 51,3'$.

PRIMJER 7. Izračunajte srednje vrijeme u meridijanu Greenwich 9. kolovoza 1993. ako je satni kut Sunca za taj meridijan $S = 268^\circ 37,6'$.

RJEŠENJE

Satni kut Sunca veći je od 180° , što znači da se Sunce nalazi na istočnoj strani horizonta, pa je potrebno izračunati vrijednost istočnog satnog kuta:

$$s_E = 360^\circ - S = 360^\circ - 268^\circ 37,6' = 91^\circ 22,4' = 6^h 05^{\text{min}} 29,6^{\text{s}}$$

$$T_p = 12 - s_E = 12^h - 6^h 05^{\text{min}} 29,6^{\text{s}} = 05^h 54^{\text{min}} 30,4^{\text{s}}$$

$$\text{Jednadžba vremena za } UT = 0^h: \quad e_{0^h} = -5^{\text{min}} 31,4^{\text{s}} \quad \Delta/24 = 0,4^{\text{s}}$$

$$\text{Popravak jednadžbe vremena za } 5,9^h \text{ (od } 00^h \text{ do } 05^h 54^{\text{min}} \text{ prošlo je } 5,9^h \text{):}$$

$$\Delta e = 5,9 \cdot 0,4^{\text{s}} = 2,4^{\text{s}}$$

Jednadžba vremena za $UT = 05^h 54^{\text{min}}$:

$$e_{0h} = -5^{\text{min}} 31,4^s$$

$$+\Delta e = 2,4^s$$

$$e_{8,7h} = -5^{\text{min}} 29,0^s$$

$$UT = T_p - e = 05^h 54^{\text{min}} 30,4^s - (-5^{\text{min}} 29,0^s) = 05^h 59^{\text{min}} 59,4^s \approx 06^h$$

Provjera: u NG za $UT = 06^h$ satni kut Sunca u Greenwichu iznosi $S = 268^\circ 37,6'$.

Geografska dužina u funkciji vremena

PRIMJER 1. Izračunajte pravo mjesno vrijeme meridijana $\lambda = 47^\circ 38' W$ ($3^h 10^{\text{min}} 32^s$) ako je pravo vrijeme u meridijanu Greenwich $T_p = 18^h$.

RJEŠENJE

$$t_p = T_p + \lambda = 18^h + (-3^h 10^{\text{min}} 32^s) = 14^h 49^{\text{min}} 28^s.$$

PRIMJER 2. Izračunajte pravo vrijeme meridijana Greenwich ako je u meridijanu $\lambda = 142^\circ 51' W$ ($9^h 31^{\text{min}} 24^s$) pravo vrijeme $t_p = 14^h 17^{\text{min}} 03^s$.

RJEŠENJE

$$T_p = t_p - \lambda = 14^h 17^{\text{min}} 03^s - (-9^h 31^{\text{min}} 24^s) = 23^h 48^{\text{min}} 27^s.$$

PRIMJER 3. Izračunajte srednje vrijeme meridijana $\lambda = 112^\circ 36' E$ ($7^h 30^{\text{min}} 24^s E$) u trenutku prolaska Sunca kroz meridijan Greenwich 10. kolovoza 1993.

RJEŠENJE

U trenutku prolaska Sunca kroz meridijan Greenwich pravo vrijeme tog meridijana je $T_p = 12^h$. Srednje vrijeme meridijana Greenwich može se izračunati uračunavanjem jednadžbe vremena:

$$UT = T_p - e = 12^h - (-5^{\text{min}} 18,3^s) = 12^h 5^{\text{min}} 18,3^s$$

$$t_s = UT + \lambda = 12^h 05^{\text{min}} 18,3^s + 07^h 30^{\text{min}} 24^s = 19^h 35^{\text{min}} 42,3^s.$$

PRIMJER 4. Izračunajte srednje mjesno vrijeme meridijana $\lambda = 75^\circ E$ (5^h) u trenutku prolaska Sunca kroz taj meridijan 16. studenoga 1993.

RJEŠENJE

U trenutku prolaska Sunca kroz meridijan pravo mjesno vrijeme iznosi 12^h .

Srednje se vrijeme može izračunati poznavanjem jednadžbe vremena za 16. studenoga, pri čemu je potrebno izračunati pravo ili srednje vrijeme u meridijanu Greenwich.

$$T_p = t_p - \lambda = 12^h - 5^h = 7^h,$$

$$\text{Jednadžba vremena za } T_p = 7^h: \quad e_{0h} = 15^{\text{min}} 16^s \quad \Delta/24 = -0,5^s.$$

Popravak jednadžbe vremena za 7^h :

$$\Delta e = 7 \cdot (-0,5^s) = -3,5^s.$$

Jednadžba vremena za $UT = 07^h$:

$$e_{0h} = 15^{\text{min}} 16,0^s$$

$$+\Delta e = -3,5^s$$

$$e_{8,7h} = 15^{\text{min}} 12,5^s$$

$$UT = T_p - e = 7^h - 15^{\text{min}} 12,5^s = 6^h 44^{\text{min}} 47,5^s$$

$$t_s = UT + \lambda = 6^h 44^{\text{min}} 47,5^s + 5^h = 11^h 44^{\text{min}} 47,5^s.$$

PRIMJER 5. U trenutku prolaska Sunca kroz meridijan 17. studenoga 1993. na kronometru je pročitano srednje vrijeme u Greenwichu koje je iznosilo $UT = 04^h 23^{\text{min}} 12^s$. Izračunajte geografsku dužinu.

RJEŠENJE

U trenutku prolaska Sunca kroz meridijan pravo mjesno vrijeme $t_p = 12^h$

$$\lambda = t_p - T_p$$

$$T_p = UT + e.$$

$$\text{Jednadžba vremena za } UT = 04^h 23^{\text{min}} 12^s: \quad e_{0h} = 15^{\text{min}} 04,8^s \\ \Delta/24 = -0,5^s.$$

Popravak jednadžbe vremena za $4,4^h$:

$$\Delta e = 4,4 \cdot (-0,5^s) = -2,2^s.$$

Jednadžba vremena za $UT = 04^h 23^{\text{min}} 12^s$:

$$e_{0h} = 15^{\text{min}} 04,8^s$$

$$+\Delta e = -2,2^s$$

$$e_{8,7h} = 15^{\text{min}} 02,6^s$$

$$T_p = UT + e = 04^h 23^{\text{min}} 12^s + 15^{\text{min}} 02,6^s = 04^h 38^{\text{min}} 14,6^s$$

$$\lambda = t_p - T_p = 12^h - 04^h 38^{\text{min}} 14,6^s = 07^h 21^{\text{min}} 45,6^s = 110^\circ 26,4'$$

$$\lambda = 110^\circ 26,4' E.$$

Zonsko vrijeme i datumska granica

PRIMJER 1. U kojim se zonama nalaze mjesta kojih su geografske dužine:

$$a) 174^\circ 31' E (11^h 38^{\text{min}} 04^s), \quad b) 172^\circ 13' E (11^h 28^{\text{min}} 52^s),$$

$$c) 127^\circ 30,5' W (08^h 30^{\text{min}} 02^s), \quad d) 127^\circ 29' W (08^h 29^{\text{min}} 56^s),$$

$$e) 37^\circ 19' W (02^h 29^{\text{min}} 16^s).$$

RJEŠENJE

$$a) x = +12 (\lambda \text{ prelazi } 11,5 \text{ sati}), \quad b) x = +11 (\lambda \text{ ne prelazi } 11,5 \text{ sati}),$$

$$c) x = -9 (\lambda \text{ prelazi } 8,5 \text{ sati}) \quad d) x = -8 (\lambda \text{ ne prelazi } 8,5 \text{ sati})$$

$$e) x = -2 (\lambda \text{ ne prelazi } 2,5 \text{ sata})$$

PRIMJER 2. Izračunajte zonsko vrijeme mjesta na meridijanu $\lambda = 14^\circ 37' E$ ($0^h 58^{\text{min}} 28^s$) ako je srednje vrijeme u Greenwichu $UT = 14^h 12^{\text{min}} 36^s$.

RJEŠENJE

Budući da je geografska širina $\lambda = 0^h 58^{\text{min}} 28^s$, mjesto se nalazi u zoni $x = +1$.

$$t_x = UT + x = 14^h 12^{\text{min}} 36^s + 1 = 15^h 12^{\text{min}} 36^s.$$

PRIMJER 3. Izračunajte zonsko vrijeme meridijana $\lambda = 104^\circ 37' W$ ($06^h 58^{min} 28^s$) ako je 5. svibnja 1993. satni kut Sunca u meridijanu Greenwich $S = 60^\circ 50,3'$ ($04^h 03^{min} 21,2^s$).

RJEŠENJE

$$x = -7 \text{ (\lambda prelazi 6,5 sati)}$$

$$T_p = 12^h + S = 16^h 03^{min} 21,2^s$$

$$UT = T_p - e = 16^h 03^{min} 21,2^s - 03^{min} 21,4^s = 15^h 59^{min} 59,8^s \approx 16^h.$$

Vrijednost može biti zaokružena jer je satni kut Sunca iskazan u desetinkama lučne minute.

$$t_x = UT + x = 16^h + (-7) = 9^h.$$

PRIMJER 4. Izračunajte zonsko vrijeme prolaza Sunca kroz meridijan $\lambda = 76^\circ 32' E$ ($5^h 6^{min} 8^s$) 8. kolovoza 1993.

RJEŠENJE

$$x = 5 \text{ (\lambda ne prelazi 5,5 sati)}$$

$$t_p = 12^h$$

$$T_p = t_p - \lambda = 12^h - 05^h 06^{min} 08^s = 06^h 53^{min} 52^s$$

$$UT = T_p - e = 06^h 53^{min} 52^s - (-05^{min} 37^s) = 06^h 59^{min} 29^s$$

$$t_x = UT + x = 06^h 59^{min} 30^s + 5^h = 11^h 59^{min} 29^s.$$

ZADACI ZA VJEŽBU

- Izračunajte pravo mjesno vrijeme ako je mjesni satni kut Sunca $s = 231^\circ 19,6'$.
(Rješenje: $t_p = 03^h 25^{min} 18,4^s$)
- Izračunajte pravo mjesno vrijeme ako je mjesni satni kut Sunca $s = 103^\circ 04'$.
(Rješenje: $t_p = 18^h 52^{min} 16^s$)
- Izračunajte jednadžbu vremena za 3. svibnja 1993. u $UT = 03^h 51^{min} 13^s$.
(Rješenje: $e = 03^{min} 07,5^s$)
- Izračunajte jednadžbu vremena 10. kolovoza 1993. u $UT = 15^h 13^{min} 42^s$.
(Rješenje: $e = -5^{min} 17,0^s$)
- Izračunajte jednadžbu vremena 15. studenoga 1993. u $UT = 11^h 32^{min} 17^s$.
(Rješenje: $e = 15^{min} 21,8^s$)
- Izračunajte jednadžbu vremena 18. studenoga 1993. u $UT = 23^h 17^{min} 36^s$.
(Rješenje: $e = 14^{min} 40,7^s$)
- Izračunajte srednje Sunčevo vrijeme meridijana Greenwich ako je 4. svibnja 1993. satni kut Sunca $S = 120^\circ 46,3'$.
(Rješenje: $UT = 20^h 00^{min} 00^s$)
- Izračunajte srednje Sunčevo vrijeme meridijana Greenwich ako je 8. kolovoza 1993. satni kut Sunca $S = 268^\circ 35,6'$.
(Rješenje: $UT = 06^h 00^{min} 00^s$)
- Izračunajte srednje Sunčevo vrijeme meridijana Greenwich ako je 17. studenoga 1993. satni kut Sunca $S = 303^\circ 45,2'$.
(Rješenje: $UT = 08^h 00^{min} 00^s$)
- Izračunajte srednje Sunčevo vrijeme meridijana Greenwich ako je 6. svibnja 1993. satni kut Sunca $S = 137^\circ 29,7'$.
(Rješenje: $UT = 21^h 06^{min} 31,6^s$)
- Izračunajte srednje Sunčevo vrijeme meridijana Greenwich ako je 10. kolovoza 1993. satni kut Sunca $S = 37^\circ 57,7'$.
(Rješenje: $UT = 14^h 37^{min} 12,7^s$)
- Izračunajte srednje Sunčevo vrijeme meridijana Greenwich ako je 18. studenoga 1993. satni kut Sunca $S = 341^\circ 30,3'$.
(Rješenje: $UT = 10^h 31^{min} 13,8^s$)
- Izračunajte geografsku dužinu ako je 3. svibnja 1993. Sunce prošlo kroz meridijan u $UT = 21^h 04^{min} 17^s$.
(Rješenje: $\lambda = 136^\circ 52,3' W$)
- Izračunajte geografsku dužinu ako je 10. kolovoza 1993. Sunce prošlo kroz meridijan u $UT = 02^h 38^{min} 54^s$.
(Rješenje: $\lambda = 141^\circ 37,0' E$)
- Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz meridijan $\lambda = 49^\circ 12' E$ dana 6. svibnja 1993.
(Rješenje: $t_x = 11^h 39^{min} 47,2^s$)
- Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz meridijan $\lambda = 103^\circ 47' W$ dana 16. studenoga 1993.
(Rješenje: $t_x = 11^h 52^{min} 11,6^s$)

PRIMJENA NAUTIČKOG GODIŠNJAKA

Izračunavanje satnog kuta i deklinacije

PRIMJER 1. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 17. studenoga 1993. u $UT = 04^h 47^{min} 21^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 37^\circ 45,7' E$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

za $UT = 4^h$ $S = 243^\circ 45,7' (-1)$ $\delta = -18^\circ 58,4' (-6)$

Iz interpolacijskih tablica

za $\Delta UT = 47^{min} 21^s$ $K_1 = 11^\circ 50,3'$

Drugi popravak

(-1 za S , -6 za δ) $+ K_2 = -0,1'$ $+ K_2 = -0,5'$

Za traženo vrijeme

$UT = 4^h 47^{min} 21^s$ $S = 255^\circ 35,9'$ $\delta = -18^\circ 58,9'$

$s = S + \lambda = 255^\circ 35,9' + 37^\circ 45,7' = 293^\circ 21,6'$

PRIMJER 2. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 6. svibnja 1993. u $UT = 15^h 28^{min} 47^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 43^\circ 22,3' W$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

za $UT = 14^h$ $S = 30^\circ 51,4' (0)$ $\delta = 16^\circ 38,4' (7)$

Iz interpolacijskih tablica

za $\Delta UT = 1^h 28^{min} 47^s$ $K_1 = 22^\circ 11,8'$

Drugi popravak

(0 za S , 7 za δ) $+ K_2 = 0,0'$ $+ K_2 = 1,0'$

Za traženo vrijeme

$UT = 15^h 28^{min} 47^s$ $S = 53^\circ 03,2'$ $\delta = 16^\circ 39,4'$

$s = S + \lambda = 53^\circ 03,2' + (-43^\circ 22,3') = 09^\circ 40,9'$

PRIMJER 3. Izračunajte mjesni satni kut proljetne točke 5. svibnja 1993. u $UT = 22^h 49^{min} 17^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 127^\circ 53,2' E$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

za $UT = 22^h$ $S = 193^\circ 46,8'$

Iz interpolacijskih tablica

za $\Delta UT = 0^h 49^{min} 17^s$ $K_1 = 12^\circ 21,3'$

Za traženo vrijeme

$UT = 22^h 49^{min} 17^s$ $S = 206^\circ 08,1'$

$s = S + \lambda = 206^\circ 08,1' + 127^\circ 53,2' = 334^\circ 01,3'$

PRIMJER 4. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Venere 7. kolovoza 1993. u $UT = 12^h 46^{min} 32^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 114^\circ 34,3' W$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

za $UT = 12^h$ $S = 327^\circ 08,8' (-3)$ $\delta = 6^\circ 05,7' (-12)$

Iz interpolacijskih tablica

za $\Delta UT = 0^h 46^{min} 32^s$ $K_1 = 11^\circ 38,0'$

Drugi popravak

$+ K_2 = -0,2'$ $+ K_2 = -0,9'$

Za traženo vrijeme

$UT = 12^h 46^{min} 32^s$ $S = 338^\circ 46,6'$ $\delta = 6^\circ 04,8'$

$s = S + \lambda = 338^\circ 46,6' + (-114^\circ 34,3') = 224^\circ 12,3'$

PRIMJER 5. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Marsa 9. kolovoza 1993. u $UT = 17^h 27^{min} 19^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 17^\circ 44,5' E$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

za $UT = 16^h$ $S = 19^\circ 17,5' (10)$ $\delta = 1^\circ 08,5' (-6)$

Iz interpolacijskih tablica

za $\Delta UT = 1^h 27^{min} 19^s$ $K_1 = 21^\circ 49,8'$

Drugi popravak

$+ K_2 = 1,5'$ $+ K_2 = -0,9'$

Za traženo vrijeme

$UT = 17^h 27^{min} 19^s$ $S = 41^\circ 08,8'$ $\delta = 1^\circ 07,6'$

$s = S + \lambda = 41^\circ 08,8' + 17^\circ 44,5' = 58^\circ 53,3'$

PRIMJER 6. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Mjeseca 16. studenoga 1993. u $UT = 21^h 28^{min} 31^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 28^\circ 37,7' E$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

za $UT = 20^h$ $S = 81^\circ 55,9' (68)$ $\delta = -20^\circ 40,9' (38)$

Iz interpolacijskih tablica

za $\Delta UT = 1^h 28^{min} 31^s$ $K_1 = 21^\circ 07,3'$

Drugi popravak

$+ K_2 = 10,0'$ $+ K_2 = 5,6'$

Za traženo vrijeme

$UT = 21^h 28^{min} 31^s$ $S = 103^\circ 13,2'$ $\delta = -20^\circ 35,3'$

$s = S + \lambda = 103^\circ 13,2' + 28^\circ 37,7' = 131^\circ 50,9'$

PRIMJER 7. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Jupitera 3. svibnja 1993. u $UT = 14^h 49^{min} 06^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 36^\circ 12,5' W$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

$$\text{za } UT = 14^h \quad S = 245^\circ 24,1' (27) \quad \delta = -0^\circ 57,1' (1)$$

Iz interpolacijskih tablica

$$\text{za } \Delta UT = 0^h 49^{min} 06^s \quad K_1 = 12^\circ 16,5'$$

Drugi popravak

$$+ K_2 = 2,2' \quad + K_2 = 0,1'$$

Za traženo vrijeme

$$UT = 14^h 49^{min} 06^s \quad S = 257^\circ 42,8' \quad \delta = -0^\circ 57,0'$$

$$s = S + \lambda = 257^\circ 42,8' + (-36^\circ 12,5') = 221^\circ 30,3'$$

PRIMJER 8. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Saturna 9. kolovoza 1993. u $UT = 03^h 27^{min} 00^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 58^\circ 36,2' E$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

$$\text{za } UT = 02^h \quad S = 17^\circ 05,7' (26) \quad \delta = -13^\circ 39,8' (0)$$

Iz interpolacijskih tablica

$$\text{za } \Delta UT = 1^h 27^{min} 00^s \quad K_1 = 21^\circ 45,0'$$

Drugi popravak

$$+ K_2 = 3,8' \quad + K_2 = 0,0'$$

Za traženo vrijeme

$$UT = 03^h 27^{min} 00^s \quad S = 38^\circ 54,5' \quad \delta = -13^\circ 39,8'$$

$$s = S + \lambda = 38^\circ 54,5' + 58^\circ 36,2' = 97^\circ 30,7'$$

PRIMJER 9. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju zvijezde Kochab 4. svibnja 1993. u $UT = 19^h 28^{min} 37^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 12^\circ 51' W$.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka

$$\text{za } UT = 18^h \quad S_\gamma = 132^\circ 37,9'$$

Iz interpolacijskih tablica

$$\text{za } \Delta UT = 1^h 28^{min} 37^s \quad K_1 = 22^\circ 12,9'$$

Za traženo vrijeme

$$UT = 19^h 28^{min} 37^s \quad S_\gamma = 154^\circ 50,8'$$

$$s_\gamma = S_\gamma + \lambda = 154^\circ 50,8' + (-12^\circ 51') = 141^\circ 59,8'$$

Iz NG (tablice „Prividni položaji zvijezda”)

$$360^\circ - \alpha = 137^\circ 18,1' \quad \delta = 74^\circ 10,9' N$$

$$s_* = s_\gamma + (360^\circ - \alpha) = 141^\circ 59,8' + 137^\circ 18,1' = 279^\circ 17,9'$$

Račun vremena prolaza nebeskih tijela kroz meridijan

PRIMJER 1. Izračunajte zonsko vrijeme prolaza Sunca kroz meridijan $\lambda = 33^\circ 44,4' W$ ($-02^h 14^{min} 57,6^s$) za 17. studenoga 1993.

RJEŠENJE

Prvi način:

U trenutku prolaska Sunca kroz meridijan pravo mjesno vrijeme je 12 sati.

$$T_p = 12^h - \lambda = 12^h - (-02^h 14^{min} 57,6^s) = 14^h 14^{min} 57,6^s$$

Jednadžba vremena za 17. studenoga za 14,2 sata iznosi $e = 14^{min} 57,7^s$

$$UT = T_p - e = 14^h 14^{min} 57,6^s - 14^{min} 57,7^s = 13^h 59^{min} 59,9^s = 16 \text{ sati}$$

Za $\lambda = -02^h 14^{min} 57,6^s$ zona je $x = -2^h$

$$t_x = UT + x = 14^h + (-2^h) = 12^h$$

Drugi način:

Iz NG za 17. studenoga 1993. $t_m = 11^h 45,0^{min}$

Vremenska razlika između srednjeg meridijana zone ($\lambda = 30^\circ W$ ili $2^h W$) i meridijana mjesta ($\lambda = 33^\circ 44,4' W$ ili $02^h 14^{min} 57,6^s$) iznosi:

$$x - \lambda = -2 - (-02^h 14^{min} 57,6^s) = +14^{min} 57,7^s = 15^{min}$$

Zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz mjesni meridijan:

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 11^h 45,0^{min} - 15^{min} = 12^h$$

Treći način:

U trenutku prolaska Sunca kroz mjesni meridijan, njegov satni kut u meridijanu Greenwich odgovara zapadnoj geografskoj dužini:

$$S = \lambda = 33^\circ 44,4'$$

Ulaskom u NG za 17. studenoga vidi se da taj satni kut odgovara vremenu $UT = 14^h$:

$$\text{za } S = 33^\circ 44,4' \quad UT = 14^h$$

Zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz mjesni meridijan:

$$t_x = UT + x = 14^h + (-2^h) = 12^h.$$

PRIMJER 2. Izračunajte zonsko vrijeme prolaza Sunca kroz meridijan $\lambda = 69^\circ 17,1' E$ ($04^h 37^{min} 11,2^s$) za 9. kolovoza 1993.

RJEŠENJE

Prvi način:

$$T_p = 12^h - \lambda = 12^h - 04^h 37^{min} 11,2^s = 07^h 22^{min} 48,8^s$$

Jednadžba vremena za 9. kolovoza za 07,4 sati iznosi $e = -5^{min} 28,4^s$

$$UT = T_p - e = 07^h 22^{min} 48,8^s - (-5^{min} 28,4^s) = 07^h 28^{min} 17,2^s$$

Za $\lambda = 04^h 37^{min} 11,2^s$ zona je $x = 5^h$

$$t_x = UT + x = 07^h 28^{min} 17,2^s + 5^h = 12^h 28^{min} 17,2^s = 12^h 28,3^{min}$$

Drugi način:

Iz NG za 9. kolovoza 1993. $t_m = 12^h 05,5^{min}$

Vremenska razlika između srednjeg meridijana zone i meridijana mjesta iznosi:

$$x - \lambda = 5 - 04^h 37^{min} 11,2^s = +22^{min} 48,8^s = 22,8^{min}$$

Zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz mjesni meridijan:

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 12^h 05,5^{\text{min}} + 22,8^{\text{min}} = 12^h 28,3^{\text{min}}$$

Treći način:

U trenutku prolaska Sunca kroz mjesni meridijan, njegov istočni satni kut u meridijanu Greenwich odgovara istočnoj geografskoj dužini:

$$S_E = \lambda = 33^\circ 44,4'$$

$$S_W = S = 360^\circ - S_E = 360^\circ - 33^\circ 44,4' = 290^\circ 42,2'$$

Ulaskom u NG za 9. kolovoza može se izračunati:

$$S = 290^\circ 42,0'$$

$$S = 268^\circ 37,6' \quad \text{za } UT = 06^h \quad (\text{NG, efemeride Sunca za 9. kolovoz})$$

$$\Delta S = 22^\circ 04,4' \quad \Delta UT = 01^h 28^{\text{min}} 19^s \quad (\text{NG, tablice za korekcije})$$

$$\text{Za } S = 290^\circ 42,09 \quad UT = 07^h 28^{\text{min}} 19^s$$

Zonsko vrijeme:

$$t_x = UT + x = 07^h 28^{\text{min}} 19^s + 5 = 12^h 28^{\text{min}} 18^s = 12^h 28,3^{\text{min}}$$

PRIMJER 3. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz meridijan $\lambda = 42^\circ 58,4' \text{ W}$ ($-02^h 51^{\text{min}} 53,6^s$) za 6. svibnja 1993.

RJEŠENJE

Prvi način:

$$T_p = 12^h - \lambda = 12^h - (-02^h 51^{\text{min}} 53,6^s) = 14^h 51^{\text{min}} 53,6^s$$

Jednadžba vremena za 6. svibnja za 14,9 sati iznosi $e = 3^{\text{min}} 26,0^s$

$$UT = T_p - e = 14^h 51^{\text{min}} 53,6^s - 3^{\text{min}} 26^s = 14^h 48^{\text{min}} 27,6^s$$

Za $\lambda = -02^h 51^{\text{min}} 53,6^s$ zona je $x = -3^h$

$$t_x = UT + x = 04^h 48^{\text{min}} 27,6^s + (-3) = 11^h 48^{\text{min}} 27,6^s = 11^h 48,5^{\text{min}}$$

Drugi način:

Iz NG za dan 6. svibnja 1993. $t_m = 11^h 56,6^{\text{min}}$

Vremenska razlika između srednjeg meridijana zone i meridijana mjesta iznosi:

$$x - \lambda = -3 - (-02^h 51^{\text{min}} 53,6^s) = -08^{\text{min}} 06,4^s = -08,1^{\text{min}}$$

Zonsko vrijeme prolaza Sunca kroz mjesni meridijan:

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 11^h 56,6^{\text{min}} + (-8,1^{\text{min}}) = 11^h 48,5^{\text{min}}$$

Treći način:

U trenutku prolaska Sunca kroz mjesni meridijan, njegov satni kut u meridijanu Greenwich odgovara zapadnoj geografskoj dužini:

$$S = \lambda = 42^\circ 58,4'$$

$$S = 30^\circ 51,4' \quad \text{za } UT = 14^h \quad (\text{NG, efemeride Sunca za 6. svibnja})$$

$$\Delta S = 12^\circ 07,0' \quad \Delta UT = 00^h 48^{\text{min}} 28^s \quad (\text{NG, tablice za korekcije})$$

$$\text{Za } S = 42^\circ 58,4 \quad UT = 14^h 48^{\text{min}} 28^s$$

$$t_x = UT + x = 14^h 48^{\text{min}} 28^s + (-3) = 11^h 48^{\text{min}} 28^s = 11^h 48,5^{\text{min}}$$

PRIMJER 4. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Mjeseca kroz meridijan $\lambda = 74^\circ 28' \text{ W}$ ($-04^h 57^{\text{min}} 52^s$) za dan 8. kolovoza 1993.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka za 8. kolovoz 1993:

$$T_m = 03^h 55^{\text{min}} \quad \Delta/24 = 1,8^{\text{min}}$$

Popravak za geografsku dužinu:

$$\Delta T_m = \lambda \cdot \Delta/24 = (-5) \cdot 1,8 = -9,0^{\text{min}}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 03^h 55^{\text{min}} - (-9,0^{\text{min}}) = 04^h 04,0^{\text{min}}$$

$$(x - \lambda) = -5 - (-04^h 57^{\text{min}} 52^s) = -02^{\text{min}} 08^s = -02,1^{\text{min}}$$

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 04^h 04,0^{\text{min}} + (-02,1^{\text{min}}) = 04^h 01,9^{\text{min}}$$

PRIMJER 5. Izračunajte zonsko vrijeme prolaza Mjeseca kroz meridijan $\lambda = 104^\circ 27' \text{ E}$ ($06^h 57^{\text{min}} 48^s$) za dan 18. studenog 1993.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka za 18. studenog 1993:

$$T_m = 16^h 07^{\text{min}}$$

NG za 17. studenoga 1993.

$$\Delta/24 = 2,2^{\text{min}}$$

Popravak za geografsku dužinu:

$$\Delta T_m = \lambda \cdot \Delta/24 = (7) \cdot 2,2 = 15,4^{\text{min}}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 16^h 07^{\text{min}} - 15,4^{\text{min}} = 15^h 51,6^{\text{min}}$$

$$(x - \lambda) = 5 - 06^h 57^{\text{min}} 48^s = 02^{\text{min}} 12^s = 02,2^{\text{min}}$$

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 15^h 51,6^{\text{min}} + 02,2^{\text{min}} = 15^h 53,4^{\text{min}}$$

PRIMJER 6. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Venere kroz meridijan $\lambda = 48^\circ 37' \text{ W}$ ($-03^h 14^{\text{min}} 28^s$) za dan 3. svibnja 1993.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka za 8. kolovoz 1993:

$$T_m = 09^h 34^{\text{min}}$$

Vremensko zakašnjenje za jedan sat dobije se ako se vremenu prolaska kroz meridijan za 3. svibnja ($09^h 32^{\text{min}}$) oduzme vrijeme prolaza Venere kroz meridijan za sljedeći dan 4. svibnja 1993. ($09^h 34^{\text{min}}$) i podijeli s brojem sati u danu (24):

$$\Delta/24 = (09^h 32^{\text{min}} - 09^h 34^{\text{min}})/24 = -0,08^{\text{min}}$$

Popravak za geografsku dužinu:

$$\Delta T_m = \lambda \cdot \Delta/24 = (-3,2) \cdot (-0,08) = 0,3^{\text{min}}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 09^h 34^{\text{min}} - 0,3^{\text{min}} = 09^h 33,7^{\text{min}}$$

$$(x - \lambda) = -3 - (-03^h 14^{\text{min}} 28^s) = 14^{\text{min}} 28^s = 14,5^{\text{min}}$$

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 09^h 33,7^{\text{min}} + 14,5^{\text{min}} = 09^h 48,2^{\text{min}}$$

PRIMJER 7. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Saturna kroz meridijan $\lambda = 76^\circ 33' \text{ E}$ ($05^h 06^{\text{min}} 12^s$) za dan 15. studenog 1993.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka za 15. studenog 1993:

$$T_m = 18^h 08^{\text{min}}$$

$$\Delta/24 = (18^h 08^{\text{min}} - 18^h 04^{\text{min}})/24 = -0,17^{\text{min}}$$

Popravak za geografsku dužinu:

$$\Delta T_m = \lambda \cdot \Delta/24 = 5,1 \cdot (-0,17) = -0,9^{\text{min}}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 18^h 08^{\text{min}} - (-0,9^{\text{min}}) = 18^h 08,9^{\text{min}}$$

$$(x - \lambda) = 5 - 05^h 06^{\text{min}} 12^{\text{s}} = -06^{\text{min}} 12^{\text{s}} = -6,2^{\text{min}}$$

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 18^h 08,9^{\text{min}} + (-6,2^{\text{min}}) = 18^h 02,7^{\text{min}}$$

PRIMJER 8. Izračunajte zonsko vrijeme prolaza zvijezde Spica kroz meridijan $\lambda = 48^\circ 45' W$ ($03^h 15^{\text{min}}$) za 17. ožujka 1993.

RJEŠENJE

Iz Nautičkoga godišnjaka (tablica „Vremena prolaza zvijezda kroz gornji meridijan Greenwicha”) za 1. ožujka 1993:

$$T_m = 02^h 49^{\text{min}}$$

Popravak za datum (17), na dnu iste stranice godišnjaka:

$$\Delta T_m = 01^h 03^{\text{min}}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 02^h 49^{\text{min}} - 01^h 03^{\text{min}} = 01^h 46^{\text{min}}$$

$$(x - \lambda) = -3 - (-03^h 15^{\text{min}}) = 15^{\text{min}}$$

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 01^h 46^{\text{min}} + 15^{\text{min}} = 02^h 01^{\text{min}}$$

PRIMJER 9. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska zvijezde Aloth kroz meridijan $\lambda = 78^\circ 33' E$ ($05^h 14^{\text{min}} 12^{\text{s}}$) za 22. rujna 1993.

RJEŠENJE

$$T_m = 14^h 11^{\text{min}} \quad \Delta T_m = 01^h 23^{\text{min}}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 14^h 11^{\text{min}} - 01^h 23^{\text{min}} = 12^h 48^{\text{min}}$$

$$(x - \lambda) = 5 - 05^h 14^{\text{min}} 12^{\text{s}} = -14,2^{\text{min}}$$

$$t_x = t_m + (x - \lambda) = 12^h 48^{\text{min}} + (-14,2^{\text{min}}) = 12^h 33,8^{\text{min}}$$

Račun vremena izlaska i zalaska Sunca i trajanje sumraka

PRIMJER 1. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Sunca, trajanje građanskih i astronomskih sumraka, početak svitanja, završetak jutarnjeg nautičkog sumraka, početak večernjeg nautičkog sumraka i početak noći 4. svibnja 1993. na poziciji: $\varphi = 23^\circ 14' N$ i $\lambda = 17^\circ 34' E$ ($+01^h 10^{\text{min}} 16^{\text{s}}$).

RJEŠENJE

Račun vremena izlaska, početka astronomske i početka građanskog svitanja.

Iz NG za 4. svibnja:

Izlazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 20^\circ \dots T_{izl} = 05^h 29^{\text{min}} \quad \text{za } \varphi = 30^\circ \dots T_{izl} = 05^h 15^{\text{min}} \quad (\Delta T_{izl} = -14^{\text{min}})$$

Grđ. sumrak

$$\text{za } \varphi = 20^\circ \dots t_{GS1} = 00^h 23^{\text{min}} \quad \text{za } \varphi = 30^\circ \dots t_{GS2} = 00^h 26^{\text{min}} \quad (\Delta T_{GS} = +03^{\text{min}})$$

Astr. sumrak

$$\text{za } \varphi = 20^\circ \dots t_{AS1} = 01^h 18^{\text{min}} \quad \text{za } \varphi = 30^\circ \dots t_{AS2} = 01^h 28^{\text{min}} \quad (\Delta T_{AS} = +10^{\text{min}})$$

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 23^\circ 14' N$ i $\varphi = 20^\circ$ ($\Delta\varphi = 3,2^\circ$)

(NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = 0^\circ$ do $\pm 30^\circ$):

$$\text{za } \Delta T_{izl} = -14^{\text{min}} \quad i \Delta\varphi = 3,2^\circ \dots \quad \Delta t_{izl} = -4,5^{\text{min}}$$

$$\text{za } \Delta t_{GS} = 03^{\text{min}} \quad i \Delta\varphi = 3,2^\circ \dots \quad \Delta t_{GS} = 1,0^{\text{min}}$$

$$\text{za } \Delta t_{AS} = 10^{\text{min}} \quad i \Delta\varphi = 3,2^\circ \dots \quad \Delta t_{AS} = 3,2^{\text{min}}$$

Izlazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 23,2^\circ \dots T_{izl} = T_{izl1} + \Delta T_{izl} = 05^h 29^{\text{min}} + (-4,5^{\text{min}}) = 05^h 24,5^{\text{min}}$$

Trajanje GS

$$\text{za } \varphi = 23,2^\circ \dots t_{GS} = t_{GS1} + \Delta t_{GS} = 00^h 23^{\text{min}} + 1^{\text{min}} = 00^h 24^{\text{min}}$$

Trajanje AS

$$\text{za } \varphi = 23,2^\circ \dots t_{AS} = t_{AS1} + \Delta t_{AS} = 01^h 18^{\text{min}} + 3,2^{\text{min}} = 01^h 21,2^{\text{min}}$$

Razlika zone i geografske dužine ($x - \lambda$):

$$(x - \lambda) = 1^h - 1^h 10^{\text{min}} 16^{\text{s}} = -00^h 10^{\text{min}} 16^{\text{s}}$$

Ispravak vremena izlaska Sunca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xizl} = T_{izl} + (x - \lambda) = 05^h 24,5^{\text{min}} + (-10,3^{\text{min}}) = 05^h 14,2^{\text{min}}$$

Početak svitanja:

$$t_x = t_{xizl} - t_{AS} = 05^h 14,2^{\text{min}} - 01^h 21,2^{\text{min}} = 03^h 53^{\text{min}}$$

Završetak jutarnjeg nautičkog sumraka (početak građanskog svitanja):

$$t_x = t_{xizl} - t_{GS} = 05^h 14,2^{\text{min}} - 00^h 24^{\text{min}} = 04^h 50,2^{\text{min}}$$

Račun vremena zalaska, početka nautičkog sumraka i početka noći.

Iz NG za 4. svibnja:

Zalazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 20^\circ \dots T_{zal} = 18^h 25^{\text{min}} \quad \text{za } \varphi = 30^\circ \dots T_{zal} = 18^h 39^{\text{min}} \quad (\Delta T_{zal} = 14^{\text{min}})$$

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 23^\circ 14' N$ i $\varphi = 20^\circ$ ($\Delta\varphi = 3,2^\circ$):

(NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = 0^\circ$ do $\pm 30^\circ$):

$$\text{za } \Delta T_{zal} = 14^{\text{min}} \quad i \Delta\varphi = 3,2^\circ \dots \quad \Delta t_{zal} = 4,5^{\text{min}}$$

Zalazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 23,2^\circ \dots T_{zal} = T_{zal1} + \Delta T_{zal} = 18^h 25^{\text{min}} + 4,5^{\text{min}} = 18^h 29,5^{\text{min}}$$

Ispravak vremena zalaska Sunca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xzal} = T_{zal} + (x - \lambda) = 18^h 29,5^{\text{min}} + (-10,3^{\text{min}}) = 18^h 19,2^{\text{min}}$$

Početak nautičkog sumraka:

$$t_x = t_{xzal} + t_{GS} = 18^h 19,2^{\text{min}} + 00^h 24^{\text{min}} = 18^h 43,2^{\text{min}}$$

Početak noći:

$$t_x = t_{xzal} + t_{AS} = 18^h 19,2^{\text{min}} + 01^h 21,2^{\text{min}} = 19^h 40,4^{\text{min}}$$

PRIMJER 2. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Sunca, trajanje građanskih i astronomskih sumraka, početak svitanja, završetak jutarnjeg nautičkog sumraka, početak večernjeg nautičkog sumraka i početak noći 8. kolovoza 1993. na poziciji: $\varphi = 48^\circ 36' N$ i $\lambda = 114^\circ 50,5' W$ ($-07^h 39^{min} 22^s$).

RJEŠENJE

Račun vremena izlaska, početka astronomskog i početka građanskog svitanja.

Iz NG za 8 kolovoza:

Izlazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 45^\circ \dots T_{izl1} = 04^h 53^{min} \quad \text{za } \varphi = 50^\circ \dots T_{izl2} = 04^h 39^{min} \quad (\Delta T_{izl} = -14^{min})$$

Grad. sumrak

$$\text{za } \varphi = 45^\circ \dots t_{GS1} = 00^h 33^{min} \quad \text{za } \varphi = 50^\circ \dots t_{GS2} = 00^h 37^{min} \quad (\Delta T_{GS} = +04^{min})$$

Astr. sumrak

$$\text{za } \varphi = 45^\circ \dots t_{AS1} = 01^h 59^{min} \quad \text{za } \varphi = 50^\circ \dots t_{AS2} = 02^h 23^{min} \quad (\Delta T_{AS} = +24^{min})$$

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 48^\circ 36' N$ i $\varphi = 45^\circ$ ($\Delta\varphi = 3,6^\circ$)

NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{izl} = -14^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 3,6^\circ \dots \Delta t_{izl} = -10,1^{min}$$

$$\text{za } \Delta t_{GS} = 04^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 3,6^\circ \dots \Delta t_{GS} = 2,9^{min}$$

$$\text{za } \Delta t_{AS} = 24^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 3,6^\circ \dots \Delta t_{AS} = 17,3^{min}$$

Izlazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 48,6^\circ \dots T_{izl} = T_{izl1} + \Delta T_{izl} = 04^h 53^{min} + (-10,1^{min}) = 04^h 42,9^{min}$$

$$\text{Trajanje GS za } \varphi = 48,6^\circ \dots t_{GS} = t_{GS1} + \Delta t_{GS} = 00^h 33^{min} + 2,9^{min} = 00^h 35,9^{min}$$

$$\text{Trajanje AS za } \varphi = 48,6^\circ \dots t_{AS} = t_{AS1} + \Delta t_{AS} = 01^h 59^{min} + 17,3^{min} = 02^h 16,3^{min}$$

Razlika zone i geografske dužine ($x - \lambda$):

$$(x - \lambda) = -8^h - (-7^h 39^{min} 22^s) = -00^h 20^{min} 38^s$$

Ispravak vremena izlaska Sunca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xizl} = T_{izl} + (x - \lambda) = 04^h 42,9^{min} + (-20,6^{min}) = 04^h 22,3^{min}$$

Početak svitanja:

$$t_x = t_{xizl} - t_{AS} = 04^h 22,3^{min} - 02^h 16,3^{min} = 02^h 06^{min}$$

Završetak jutarnjeg nautičkog sumraka (početak građanskog svitanja):

$$t_x = t_{xizl} - t_{GS} = 04^h 22,3^{min} - 00^h 35,9^{min} = 03^h 46,4^{min}$$

Račun vremena zalaska, početka nautičkog sumraka i početka noći.

Iz NG za 8. kolovoza:

Zalazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 45^\circ \dots T_{zal1} = 19^h 17^{min} \quad \text{za } \varphi = 50^\circ \dots T_{zal2} = 19^h 31^{min} \quad (\Delta T_{zal} = 14^{min})$$

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 48^\circ 36' N$ i $\varphi = 45^\circ$ ($\Delta\varphi = 3,6^\circ$)

NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{zal} = 14^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 3,6^\circ \dots \Delta t_{zal} = 10,1^{min}$$

Zalazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 48,6^\circ \dots T_{zal} = T_{zal1} + \Delta T_{zal} = 19^h 17^{min} + 10,1^{min} = 19^h 27,1^{min}$$

Ispravak vremena zalaska Sunca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xzal} = T_{zal} + (x - \lambda) = 19^h 27,1^{min} + (-20,6^{min}) = 19^h 06,5^{min}$$

Početak nautičkog sumraka:

$$t_x = t_{xzal} + t_{GS} = 19^h 06,5^{min} + 00^h 35,9^{min} = 19^h 42,4^{min}$$

Početak noći:

$$t_x = t_{xzal} + t_{AS} = 19^h 06,5^{min} + 02^h 16,3^{min} = 21^h 22,8^{min}$$

PRIMJER 3. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Sunca, trajanje građanskih i astronomskih sumraka, početak svitanja, završetak jutarnjeg nautičkog sumraka, početak večernjeg nautičkog sumraka i početak noći 17. studenoga 1993. na poziciji: $\varphi = 46^\circ 17' S$ i $\lambda = 79^\circ 43,3' W$ ($-05^h 18^{min} 53,2^s$).

RJEŠENJE

Račun vremena izlaska, početka astronomskog i početka građanskog svitanja.

Iz NG za 17 studenog:

Izlazak Sunca

$$\text{za } \varphi = -45^\circ \dots T_{izl1} = 04^h 19^{min} \quad \text{za } \varphi = -50^\circ \dots T_{izl2} = 04^h 02^{min} \quad (\Delta T_{izl} = -17^{min})$$

Grad. sumrak

$$\text{za } \varphi = -45^\circ \dots t_{GS1} = 00^h 34^{min} \quad \text{za } \varphi = -50^\circ \dots t_{GS2} = 00^h 40^{min} \quad (\Delta T_{GS} = +06^{min})$$

Astr. sumrak

$$\text{za } \varphi = -45^\circ \dots t_{AS1} = 02^h 10^{min} \quad \text{za } \varphi = -50^\circ \dots t_{AS2} = 02^h 46^{min} \quad (\Delta T_{AS} = +36^{min})$$

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 46^\circ 17' S$ i $\varphi = 45^\circ S$ ($\Delta\varphi = 1,3^\circ$)

NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{izl} = -17^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 1,3^\circ \dots \Delta T_{izl} = -04,4^{min}$$

$$\text{za } \Delta t_{GS} = 06^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 1,3^\circ \dots \Delta t_{GS} = 1,6^{min}$$

$$\text{za } \Delta t_{AS} = 36^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 1,3^\circ \dots \Delta t_{AS} = 09,4^{min}$$

Izlazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 46,3^\circ \dots T_{izl} = T_{izl1} + \Delta T_{izl} = 04^h 19^{min} + (-04,4^{min}) = 04^h 14,6^{min}$$

$$\text{Trajanje GS za } \varphi = 46,3^\circ \dots t_{GS} = t_{GS1} + \Delta t_{GS} = 00^h 34^{min} + 1,6^{min} = 00^h 35,6^{min}$$

$$\text{Trajanje AS za } \varphi = 46,3^\circ \dots t_{AS} = t_{AS1} + \Delta t_{AS} = 02^h 10^{min} + 09,4^{min} = 02^h 19,4^{min}$$

Razlika zone i geografske dužine ($x - \lambda$):

$$(x - \lambda) = -5^h - (-5^h 18^{min} 53,2^s) = 18^{min} 53,2^s$$

Ispravak vremena izlaska Sunca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xizl} = T_{izl} + (x - \lambda) = 04^h 14,6^{min} + 18,9^{min} = 04^h 33,5^{min}$$

Početak svitanja:

$$t_x = t_{xizl} - t_{AS} = 04^h 33,5^{min} - 02^h 19,4^{min} = 02^h 14,1^{min}$$

Završetak jutarnjeg nautičkog sumraka (početak građanskog svitanja):

$$t_x = t_{xizl} - t_{GS} = 04^h 33,5^{min} - 00^h 35,6^{min} = 03^h 57,9^{min}$$

Račun vremena zalaska, početka nautičkog sumraka i početka noći.

Iz NG za 17. studenog:

Zalazak Sunca

$$\text{za } \varphi = 45^\circ S \dots T_{zal1} = 19^h 12^{min} \quad \text{za } \varphi = 50^\circ \dots T_{zal2} = 19^h 29^{min} \quad (\Delta T_{zal} = 17^{min})$$

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 46^\circ 17' S$ i $\varphi = 45^\circ$ ($\Delta\varphi = 1,3^\circ$)

NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{zal} = 17^{min} \text{ i } \Delta\varphi = 1,3^\circ \dots \Delta t_{zal} = 4,4^{min}$$

Zalazak Sunca

za $\varphi = 23,2^\circ \dots T_{zal} = T_{zal1} + \Delta T_{zal} = 19^h 12^m + 4,4^m = 19^h 16,4^m$.

Ispravak vremena zalaska Sunca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xzal} = T_{zal} + (x - \lambda) = 19^h 16,4^m + 18,9^m = 19^h 35,3^m.$$

Početak nautičkog sumraka:

$$t_x = t_{xzal} + t_{GS} = 19^h 35,3^m + 00^h 35,6^m = 20^h 10,9^m.$$

Početak noći:

$$t_x = t_{xzal} + t_{AS} = 19^h 35,3^m + 02^h 19,4^m = 21^h 54,7^m.$$

Račun vremena izlaska i zalaska Mjeseca

PRIMJER 1. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Mjeseca 6. svibnja 1993. na poziciji: $\varphi = 34^\circ 27' N$ i $\lambda = 83^\circ 47,7' W$ ($-05^h 35^m 10,8^s$).

RJEŠENJE

Iz NG za 6 svibnja:

Izlazak Mjeseca

za $\varphi = 30^\circ \dots T_{izl1} = 19^h 22^m$ za $\varphi = 35^\circ \dots T_{izl2} = 19^h 33^m$ ($\Delta T_{izl} = 11^m$).

Promjena surektascenzije za 1 sat $\Delta/24 = 2,6^m$.

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 34^\circ 27' N$ i $\varphi = 30^\circ N$ ($\Delta\varphi = 4,5^\circ$)

(NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$):

$$\text{za } \Delta T_{izl} = 11^m \text{ i } \Delta\varphi = 4,5^\circ \dots \Delta T_{izl} = 9,9^m.$$

Izlazak Mjeseca

za $\varphi = 34,4^\circ \dots T_{izl}' = T_{izl1} + \Delta T_{izl} = 19^h 22^m + 09,9^m = 19^h 31,9^m$.

Ispravak za promjenu surektascenzije

(NG, „Interpolaciona tablica za izračunavanje Mjesečevih izlaza i zalaza”)

za $\Delta/24 = 2,6^m$ i $\lambda = -83,8^\circ \dots \lambda t = -14,5^m$ (interpolacijom).

Izlazak Mjeseca

za $\lambda = -83,8^\circ \dots T_{izl} = T_{izl}' - \lambda t = 19^h 31,9^m - (-14,5^m) = 19^h 46,4^m$.

Razlika zone i geografske dužine ($x - \lambda$):

$$(x - \lambda) = -6^h - (-5^h 35^m 10,8^s) = -24^m 49,2^s.$$

Ispravak vremena izlaska Mjeseca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xizl} = T_{izl} + (x - \lambda) = 19^h 46,4^m + (-24,8^m) = 19^h 21,6^m.$$

NG za 6. svibnja:

Zalazak Mjeseca

za $\varphi = 30^\circ \dots T_{zal1} = 05^h 11^m$ za $\varphi = 35^\circ \dots T_{zal2} = 05^h 01^m$ ($\Delta T_{zal} = -10^m$).

Promjena surektascenzije za 1 sat $\Delta/24 = 2,2^m$.

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 34^\circ 27' N$ i $\varphi = 30^\circ N$ ($\Delta\varphi = 4,5^\circ$):

NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{zal} = -10^m \text{ i } \Delta\varphi = 4,5^\circ \dots \Delta T_{zal} = -9^m.$$

Zalazak Mjeseca

za $\varphi = 34,4^\circ \dots T_{zal}' = T_{zal1} + \Delta T_{zal} = 05^h 11^m + (-9^m) = 05^h 02^m$.

Ispravak za promjenu surektascenzije

(NG, „Interpolaciona tablica za izračunavanje Mjesečevih izlaza i zalaza”)

za $\Delta/24 = 2,2^m$ i $\lambda = -83,8^\circ \dots \lambda t = -12,3^m$ (interpolacijom)

Zalazak Mjeseca

za $\lambda = -83,8^\circ \dots T_{zal} = T_{zal}' - \lambda t = 05^h 02^m - (-12,3^m) = 05^h 14,3^m$.

Ispravak vremena zalaska Mjeseca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xzal} = T_{zal} + (x - \lambda) = 05^h 14,3^m + (-24,8^m) = 04^h 49,5^m.$$

PRIMJER 2. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Mjeseca 9. kolovoza 1993. na poziciji: $\varphi = 42^\circ 44' N$ i $\lambda = 27^\circ 36,7' E$ ($01^h 50^m 26,8^s$).

RJEŠENJE

Iz NG za 9. kolovoza:

Izlazak Mjeseca

za $\varphi = 40^\circ \dots T_{izl1} = 22^h 12^m$ za $\varphi = 45^\circ \dots T_{izl2} = 22^h 00^m$ ($\Delta T_{izl} = -12^m$).

Promjena surektascenzije za 1 sat $\Delta/24 = 1,3^m$ (za 8. kolovoza, zbog istočne geografske dužine)

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 42^\circ 44' N$ i $\varphi = 40^\circ N$ ($\Delta\varphi = 2,7^\circ$)

NG „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{izl} = -12^m \text{ i } \Delta\varphi = 2,7^\circ \dots \Delta T_{izl} = -6,5^m.$$

Izlazak Mjeseca

za $\varphi = 42,7^\circ \dots T_{izl}' = T_{izl1} + \Delta T_{izl} = 22^h 12^m + (-6,5^m) = 22^h 05,5^m$.

Ispravak za promjenu surektascenzije

(NG, „Interpolaciona tablica za izračunavanje Mjesečevih izlaza i zalaza”)

Za $\Delta/24 = 1,3^m$ i $\lambda = 27,6^\circ \dots \lambda t = 2,4^m$ (interpolacijom).

Izlazak Mjeseca za $\lambda = 27,6^\circ \dots T_{izl} = T_{izl}' - \lambda t = 22^h 05,5^m - 2,4^m = 22^h 03,1^m$.

Razlika zone i geografske dužine ($x - \lambda$):

$$(x - \lambda) = 2^h - 1^h 50^m 26,8^s = 09^m 33,2^s.$$

Ispravak vremena izlaska Mjeseca za razliku zone i geografske dužine:

$$t_{xizl} = T_{izl} + (x - \lambda) = 22^h 03,1^m + 09,6^m = 22^h 12,7^m.$$

NG za 9 kolovoza:

Zalazak Mjeseca

za $\varphi = 40^\circ \dots T_{zal1} = 11^h 46^m$ za $\varphi = 45^\circ \dots T_{zal2} = 11^h 57^m$ ($\Delta T_{zal} = +11^m$).

Promjena surektascenzije za 1 sat $\Delta/24 = 2,4^m$ (za 8. kolovoza, zbog istočne geografske dužine)

Ispravak za razliku geografske širine od $\varphi = 42^\circ 44' N$ i $\varphi = 40^\circ N$ ($\Delta\varphi = 2,7^\circ$)

NG, „Interpolaciona tablica” za $\varphi = \pm (30^\circ \text{ do } 60^\circ)$:

$$\text{za } \Delta T_{zal} = 11^m \text{ i } \Delta\varphi = 2,7^\circ \dots \Delta T_{zal} = 5,9^m.$$

Zalazak Mjeseca

za $\varphi = 42,7^\circ \dots T_{zal}' = T_{zal1} + \Delta T_{zal} = 11^h 46^m + 5,9^m = 11^h 51,9^m$.

Ispravak za promjenu surektascenzije

(NG, „Interpolaciona tablica za izračunavanje Mjesečevih izlaza i zalaza”)

za $\Delta/24 = 2,4^m$ i $\lambda = 27,6^\circ \dots \lambda t = 1,2^m$ (interpolacijom).

Zalazak Mjeseca

za $\lambda = 27,6^\circ \dots T_{zal} = T_{zal}' - \lambda t = 11^h 51,9 \text{ min} - 1,2 \text{ min} = 11^h 50,7 \text{ min}$.

Ispravak vremena zalaska Mjeseca za razliku zone i geografske dužine:

$t_{xzal} = T_{zal} + (x - \lambda) = 11^h 50,7 \text{ min} + 9,6 \text{ min} = 12^h 00,3 \text{ min}$.

Račun vremena izlaska i zalaska zvijezda i planeta

PRIMJER 1. Izračunajte vrijeme pravog izlaska i zalaska planeta Mars 5. svibnja 1993. na poziciji $\varphi = 43^\circ 12' N$ i $\lambda = 49^\circ 04,5' W$ ($-03^h 16 \text{ min } 18^s$).

RJEŠENJE

Iz Nautičkog godišnjaka za 5. svibnja 1993. (prolaz kroz meridijan):

$T_m = 17^h 32 \text{ min}$.

Popravak za geografsku dužinu:

$(x - \lambda) = -3 - (-03^h 16,3 \text{ min}) = 16,3 \text{ min}$.

$t_{xmer} = T_m + (x - \lambda) = 17^h 32 \text{ min} + 16,3 \text{ min} = 17^h 48,3 \text{ min}$.

Za račun deklinacije zonsko vrijeme treba pretvoriti u srednje vrijeme u Greenwichu:

$UT = t_{xmer} - x = 17^h 48,3 \text{ min} - (-3) = 20^h 48,3 \text{ min}$.

Iz NG za 5. svibnja 1993:

$\delta = 21^\circ 06,7' N$

Račun satnog kuta izlaska i zalaska:

$\cos s = -\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta = -0,362 573 765$

$s = 111^\circ 15,5' = 07^h 25 \text{ min } 02^s$

Vrijeme izlaska i zalaska:

$t_{xizl} = t_{xmer} - s = 17^h 48,3 \text{ min} - 07^h 25 \text{ min} = 10^h 23,3 \text{ min}$.

$t_{xzal} = t_{xmer} + s = 17^h 48,3 \text{ min} + 07^h 25 \text{ min} = 25^h 01,3 \text{ min}$.

Mars zalazi 5. svibnja u $25^h 01,3 \text{ min}$, odnosno 6. svibnja u $01^h 01,3 \text{ min}$.

PRIMJER 2. Izračunajte vrijeme pravog izlaska i zalaza planeta Saturn 10. kolovoza 1993. na poziciji $\varphi = 38^\circ 17' S$ i $\lambda = 88^\circ 00' W$ ($-05^h 52 \text{ min } 00^s$).

RJEŠENJE

Iz Nautičkog godišnjaka za 10. kolovoza 1993. (prolaz kroz meridijan):

$T_m = 00^h 48 \text{ min}$.

Popravak za geografsku dužinu:

$(x - \lambda) = -6 - (-05^h 52 \text{ min}) = -8 \text{ min}$.

$t_{xmer} = T_m + (x - \lambda) = 00^h 48 \text{ min} + (-8 \text{ min}) = 00^h 40 \text{ min}$.

Račun srednjeg vremena u Greenwichu i deklinacije:

$UT = t_{xmer} - x = 00^h 40 \text{ min} - (-6) = 06^h 40 \text{ min}$.

Iz NG za 10. kolovoza 1993:

$\delta = -13^\circ 41,8'$.

Račun satnog kuta izlaska i zalaza:

$\cos s = -\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta = -0,192 357 127$

$s = 101^\circ 05,4' = 06^h 44,4 \text{ min}$.

Vrijeme izlaska i zalaska:

$t_{xizl} = t_{xmer} - s = 00^h 40 \text{ min} (10.8.) = 24^h 40 \text{ min} (9.8.) - 06^h 44,4 \text{ min}$

$t_{xizl} = 17^h 55,6 \text{ min}$.

Saturn 9. kolovoza izlazi u $17^h 55,6 \text{ min}$.

$t_{xzal} = t_{xmer} + s = 00^h 40 \text{ min} + 06^h 44,4 \text{ min} = 07^h 24,4 \text{ min}$

Saturn 10. kolovoza zalazi u $07^h 44,4 \text{ min}$.

PRIMJER 3. Izračunajte vrijeme pravog izlaska i zalaska zvijezde Rigel 23. lipnja 1993. na poziciji $\varphi = 47^\circ 22' N$ i $\lambda = 103^\circ 24' E$ ($06^h 53 \text{ min } 36^s$).

RJEŠENJE

Iz Nautičkog godišnjaka za Rigel (prolaz kroz meridijan):

$T_m = 12^h 34 \text{ min}$ $\Delta T_m = 01^h 27 \text{ min}$

$t_m = T_m - \Delta T_m = 12^h 34 \text{ min} - 01^h 27 \text{ min} = 11^h 07 \text{ min}$.

Popravak za geografsku dužinu:

$(x - \lambda) = 7 - 06^h 53,6 \text{ min} = 6,4 \text{ min}$.

$t_{xmer} = T_m + (x - \lambda) = 11^h 07 \text{ min} + 6,4 \text{ min} = 11^h 13,4 \text{ min}$.

Iz NG za Rigel (tablica „Prividni položaji zvijezda”):

$\delta = -08^\circ 12,5'$.

Račun satnog kuta izlaska i zalaska:

$\cos s = -\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta = 0,156 688 369$

$s = 80^\circ 59,1' = 05^h 23,9 \text{ min}$

Vrijeme izlaska i zalaska:

$t_{xizl} = t_{xmer} - s = 11^h 13,4 \text{ min} - 05^h 23,5 \text{ min} = 05^h 49,5 \text{ min}$

$t_{xzal} = t_{xmer} + s = 11^h 13,4 \text{ min} + 05^h 23,5 \text{ min} = 16^h 36,9 \text{ min}$.

PRIMJER 4. Izračunajte vrijeme pravog izlaska i zalaska zvijezde Mizar 14. listopada 1993. na poziciji $\varphi = 12^\circ 53' 0N$ i $\lambda = 103^\circ 07' W$ ($06^h 52 \text{ min } 28^s$).

RJEŠENJE

Iz Nautičkog godišnjaka za Mizar (prolaz kroz meridijan):

$T_m = 12^h 43 \text{ min}$ $\Delta T_m = 00^h 51 \text{ min}$

$t_m = T_m - \Delta T_m = 12^h 43 \text{ min} - 00^h 51 \text{ min} = 11^h 52 \text{ min}$.

Popravak za geografsku dužinu:

$(x - \lambda) = -7 - (-06^h 52,5 \text{ min}) = -7,5 \text{ min}$

$t_{xmer} = T_m + (x - \lambda) = 11^h 52 \text{ min} + (-7,5 \text{ min}) = 11^h 44,5 \text{ min}$.

Iz NG za Mizar (tablica „Prividni položaji zvijezda”):

$\delta = 54^\circ 57,5'$

Račun satnog kuta izlaska i zalaska:

$\cos s = -\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta = -0,326 147 301$

$s = 109^\circ 02,1' = 07^h 16,1 \text{ min}$.

Vrijeme izlaska i zalaska:

$t_{xizl} = t_{xmer} - s = 11^h 44,5 \text{ min} - 07^h 16,1 \text{ min} = 04^h 28,4 \text{ min}$

$t_{xzal} = t_{xmer} + s = 11^h 44,5 \text{ min} + 07^h 16,1 \text{ min} = 19^h 00,6 \text{ min}$.

PRIMJER 5. Izračunajte vrijeme pravog izlaska i zalaska zvijezde Caph 19. veljače 1993. na poziciji $\varphi = 47^\circ 03' N$ i $\lambda = 27^\circ 13' E$ ($01^h 08^{min} 02,5^s$).

RJEŠENJE

Iz Nautičkog godišnjaka za Caph (prolaz kroz meridijan):

$$T_m = 15^h 21^{min} \Delta T_m = 01^h 11^{min}$$

$$t_m = T_m - \Delta T_m = 15^h 21^{min} - 01^h 11^{min} = 14^h 10^{min}$$

Popravak za geografsku dužinu:

$$(x - \lambda) = 7 - 01^h 08^{min} = -8^{min}$$

$$t_{xmer} = T_m + (x - \lambda) = 14^h 10^{min} + (-8^{min}) = 14^h 02^{min}$$

Iz NG za Caph (tablica „Prividni položaji zvijezda”):

$$\delta = 59^\circ 07'$$

Račun satnog kuta izlaska i zalaza:

$$\cos s = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta = -1,796 120 868$$

Mjesni satni kut ima beskonačnu vrijednost. Zvijezda nema izlaska ni zalaska i stalno kruži iznad horizonta (cirkumpolarna zvijezda).

ZADACI ZA VJEŽBU:

1. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 15. studenoga 1993. u UT = $02^h 47^{min} 53^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 49^\circ 53,7' E$.
(Rješenje: $s = 275^\circ 43,3'$ $\delta = 18^\circ 27,6' S$)
2. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 6. svibnja 1993. u UT = $07^h 28^{min} 22^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 122^\circ 53' W$.
(Rješenje: $s = 170^\circ 03,5'$ $\delta = 16^\circ 33,8' N$)
3. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 9. kolovoza 1993. u UT = $18^h 49^{min} 17^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 66^\circ 58,4' E$.
(Rješenje: $s = 167^\circ 56,5'$ $\delta = 15^\circ 41,2'$)
4. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 17. studenoga 1993. u UT = $23^h 28^{min} 57^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 104^\circ 28,4' W$.
(Rješenje: $s = 71^\circ 29,2'$ $\delta = -19^\circ 10,2'$)
5. Izračunajte mjesni satni kut proljetne točke 4. svibnja 1993. u UT = $04^h 47^{min} 53^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 17^\circ 55,2' E$.
(Rješenje: $s = 311^\circ 58,8'$)
6. Izračunajte mjesni satni kut proljetne točke 8. kolovoza 1993. u UT = $21^h 26^{min} 04^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 109^\circ 37' E$.
(Rješenje: $s = 28^\circ 31,7'$)
7. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Sunca 17. studenoga 1993. u UT = $04^h 47^{min} 21^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 37^\circ 45,7' E$.
(Rješenje: $s = 293^\circ 21,6'$ $\delta = -18^\circ 58,9'$)
8. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Mjeseca 3. svibnja 1993. u UT = $01^h 26^{min} 45^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 53^\circ 21,7' E$.
(Rješenje: $s = 117^\circ 55,8'$ $\delta = 04^\circ 35,1' S$)
9. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Mjeseca 18. studenoga 1993. u UT = $10^h 49^{min} 17^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 53^\circ 21,7' E$.
(Rješenje: $s = 144^\circ 17,9'$ $\delta = 16^\circ 54,6' S$)
10. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Venere 4. svibnja 1993. u UT = $06^h 48^{min} 45^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 161^\circ 29,8' W$.
(Rješenje: $s = 157^\circ 40,5'$ $\delta = 03^\circ 37,4' N$)
11. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Marsa 6. svibnja 1993. u UT = $11^h 27^{min} 130^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 16^\circ 39,3' E$.
(Rješenje: $s = 285^\circ 52'$ $\delta = 21^\circ 01,8' N$)
12. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Jupitera 7. kolovoza 1993. u UT = $12^h 46^{min} 37^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 176^\circ 39,9' W$.
(Rješenje: $s = 140^\circ 40,5'$ $\delta = 3^\circ 10,9' S$)
13. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju Saturna 5. studenoga 1993. u UT = $17^h 26^{min} 51^s$ na geografskoj dužini $\lambda = 03^\circ 03,7' W$.
(Rješenje: $s = 346^\circ 42,7'$ $\delta = 14^\circ 56,2' S$)

14. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju zvijezde Arcturus 5. svibnja 1993. u UT = 13^h 27^{min} 11^s na geografskoj dužini $\lambda = 56^\circ 12,9' E$.
(Rješenje: $s = 267^\circ 35,6'$ $\delta = 19^\circ 12,9' N$)
15. Izračunajte mjesni satni kut i deklinaciju zvijezde Antares 8. kolovoza 1993. u UT = 21^h 29^{min} 53^s na geografskoj dužini $\lambda = 171^\circ 19,8' W$.
(Rješenje: $s = 221^\circ 16,6'$ $\delta = 26^\circ 25,1' S$)
16. Izračunajte (na tri načina) zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz meridijan, $\lambda = 106^\circ 22,4' W$ za 6. svibnja 1993.
(Rješenje: $t_x = 12^h 02,6 \text{ min}$)
17. Izračunajte (na tri načina) zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz meridijan $\lambda = 57^\circ 39,7' E$ za 8. kolovoza 1993.
(Rješenje: $t_x = 12^h 15 \text{ min}$)
18. Izračunajte (na tri načina) zonsko vrijeme prolaska Sunca kroz meridijan $\lambda = 91^\circ 13,7' W$ za 16. studenoga 1993.
(Rješenje: $t_x = 11^h 49,7 \text{ min}$)
19. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Mjeseca kroz meridijan $\lambda = 38^\circ 54' E$ za 8. kolovoza 1993.
(Rješenje: $t_x = 04^h 14 \text{ min}$)
20. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Mjeseca kroz meridijan $\lambda = 56^\circ 23' W$ za 17. studenoga 1993.
(Rješenje: $t_x = 15^h 08,8 \text{ min}$)
21. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Venere kroz meridijan $\lambda = 73^\circ 36' W$ za 3. svibnja 1993.
(Rješenje: $t_x = 09^h 28 \text{ min}$)
22. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Marsa kroz meridijan $\lambda = 50^\circ 37,7' E$ za 4. svibnja 1993.
(Rješenje: $t_x = 17^h 11,8 \text{ min}$)
23. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Jupitera kroz meridijan $\lambda = 104^\circ 32' W$ za 8. kolovoza 1993.
(Rješenje: $t_x = 15^h 31 \text{ min}$)
24. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska Saturna kroz meridijan $\lambda = 134^\circ 05' E$ za 15. studenoga 1993.
(Rješenje: $t_x = 18^h 11 \text{ min}$)
25. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska zvijezde Kochab kroz meridijan $\lambda = 15^\circ 03' E$ za 13. travnja 1993.
(Rješenje: $t_x = 01^h 25,8 \text{ min}$)
26. Izračunajte zonsko vrijeme prolaska zvijezde Alpheratz kroz meridijan $\lambda = 47^\circ 33' W$ za 19. lipnja 1993.
(Rješenje: $t_x = 06^h 28,2 \text{ min}$)
27. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Sunca, trajanje građanskih i astronomskih sumraka, početak svitanja, završetak jutarnjeg nautičkog sumraka, početak večernjeg nautičkog sumraka i početak noći 5. svibnja 1993. na poziciji: $\varphi = 41^\circ 12' N$ i $\lambda = 19^\circ 54' E$.

(Rješenje: Početak svitanja u	02 ^h 43,2 ^{min}
Završetak nautičkog sumraka	04 ^h 02,1 ^{min}
Izlazak Sunca	04 ^h 32,8 ^{min}
Zalazak Sunca	8 ^h 42,0 ^{min}
Početak nautičkog sumraka	19 ^h 12,7 ^{min}
Početak noći	20 ^h 31,6 ^{min})

28. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Sunca, trajanje građanskih i astronomskih sumraka, početak svitanja, završetak jutarnjeg nautičkog sumraka, početak večernjeg nautičkog sumraka i početak noći 10. kolovoza 1993. na poziciji: $\varphi = 39^\circ 15' S$ i $\lambda = 56^\circ 07' W$.

(Rješenje: Početak svitanja u	05 ^h 13,3 ^{min}
Završetak nautičkog sumraka	06 ^h 16,6 ^{min}
Izlazak Sunca	06 ^h 44,3 ^{min}
Zalazak Sunca	16 ^h 55,7 ^{min}
Početak nautičkog sumraka	17 ^h 23,4 ^{min}
Početak noći	18 ^h 26,7 ^{min})

29. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Sunca, trajanje građanskih i astronomskih sumraka, početak svitanja, završetak jutarnjeg nautičkog sumraka, početak večernjeg nautičkog sumraka i početak noći 15. studenog 1993. na poziciji: $\varphi = 48^\circ 12' N$ i $\lambda = 105^\circ 37' E$.

(Rješenje: Početak svitanja u	05 ^h 16,1 ^{min}
Završetak nautičkog sumraka	06 ^h 30,5 ^{min}
Izlazak Sunca	07 ^h 05,1 ^{min}
Zalazak Sunca	16 ^h 18,9 ^{min}
Početak nautičkog sumraka	16 ^h 53,5 ^{min}
Početak noći	18 ^h 07,9 ^{min})

30. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Mjeseca 9. kolovoza 1993. na poziciji: $\varphi = 30^\circ 05' N$ i $\lambda = 19^\circ 33' W$.

(Rješenje: Izlazak 22 ^h 46 ^{min}	Zalazak 11 ^h 41,8 ^{min})
--	---

31. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Mjeseca 18. studenog 1993. na poziciji: $\varphi = 32^\circ 30' N$ i $\lambda = 68^\circ 05' E$.

(Rješenje: Izlazak 11 ^h 00,5 ^{min}	Zalazak 21 ^h 53,3 ^{min})
--	---

32. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Venere 4. svibnja 1993. na poziciji: $\varphi = 37^\circ 18' N$ i $\lambda = 16^\circ 00' E$.

(Rješenje: Izlazak 03 ^h 16,9 ^{min}	Zalazak 15 ^h 39,1 ^{min})
--	---

33. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Marsa 6. svibnja 1993. na poziciji: $\varphi = 34^\circ 05' S$ i $\lambda = 29^\circ 48' W$.

(Rješenje: Izlazak 12 ^h 24,4 ^{min}	Zalazak 22 ^h 29 ^{min})
--	---

34. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Jupitera 7. kolovoza 1993. na poziciji: $\varphi = 47^\circ 22' N$ i $\lambda = 39^\circ 12' E$.
(Rješenje: Izlazak $09^h 37,5^{min}$ Zalazak $21^h 09,7^{min}$)
35. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska Saturna 17. studenog 1993. na poziciji: $\varphi = 51^\circ 17' N$ i $\lambda = 71^\circ 39' W$.
(Rješenje: Izlazak $13^h 04,2^{min}$ Zalazak $22^h 29^{min}$)
36. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska zvijezde Procyon 13. rujna 1993. na poziciji: $\varphi = 48^\circ 12' N$ i $\lambda = 107^\circ 05' W$.
(Rješenje: Izlazak $01^h 54,7^{min}$ Zalazak $14^h 41,9^{min}$)
37. Izračunajte zonsko vrijeme izlaska i zalaska zvijezde Alnilam 19. ožujka 1993. na poziciji: $\varphi = 51^\circ 02' S$ i $\lambda = 73^\circ 54' W$.
(Rješenje: Izlazak $11^h 36,6^{min}$ Zalazak $23^h 48,6^{min}$)

KRONOMETAR

Stanje i hod kronometra

PRIMJER 1. U trenutku primitka vremenskog signala u $UT = 20^h 00^{min} 00^s$ kronometar je pokazivao $t_k = 20^h 03^{min} 16^s$. Koliko je stanje kronometra?

RJEŠENJE

$$St = UT - t_k = 20^h 00^{min} 00^s - 20^h 03^{min} 16^s = -03^{min} 16^s.$$

PRIMJER 2. U trenutku primitka vremenskog signala u $UT = 08^h 00^{min} 00^s$ kronometar je pokazivao $t_k = 07^h 54^{min} 21^s$. Koliko je stanje kronometra?

RJEŠENJE

$$St = UT - t_k = 08^h 00^{min} 00^s - 07^h 54^{min} 21^s = 05^{min} 39^s.$$

PRIMJER 3. Visina zvijezde izmjerena je u $t_k = 17^h 24^{min} 52^s$. Stanje kronometra $St = -04^{min} 22^s$. Izračunajte srednje vrijeme u meridijanu Greenwich.

RJEŠENJE

$$UT = t_k + St = 17^h 24^{min} 52^s + (-04^{min} 22^s) = 17^h 20^{min} 30^s.$$

PRIMJER 4. Visina zvijezde izmjerena je u $t_k = 23^h 57^{min} 46^s$. Stanje kronometra $St = 05^{min} 13^s$. Izračunajte srednje vrijeme u meridijanu Greenwich.

RJEŠENJE

$$UT = t_k + St = 23^h 57^{min} 46^s + 05^{min} 13^s = 24^h 02^{min} 59^s = 00^h 02^{min} 59^s.$$

PRIMJER 5. Dana 21. 3. 1993. slušan je vremenski signal u $UT = 20^h$. Kronometar je pokazivao $t_{k1} = 20^h 07^{min} 15^s$. Sljedećeg dana (22. 03. 1993.) u isto vrijeme kronometar je pokazivao $t_{k2} = 20^h 07^{min} 34^s$. Koliko će stanje kronometra biti 23. 3. 1993. za vrijeme slušanja vremenskog signala u $UT = 20^h$.

RJEŠENJE

$$St = St_2 + h$$

$$h = St_2 - St_1$$

$$St_2 = UT - t_{k2} = 20^h 00^{min} 00^s - 20^h 07^{min} 34^s = -07^{min} 34^s$$

$$St_1 = UT - t_{k1} = 20^h 00^{min} 00^s - 20^h 07^{min} 15^s = -07^{min} 15^s$$

$$h = St_2 - St_1 = -07^{min} 34^s - (-07^{min} 15^s) = -19^s$$

$$St = St_2 + h = -07^{min} 34^s + (-19^s) = -07^{min} 53^s.$$

ZADACI ZA VJEŽBU:

1. U trenutku primitka vremenskog signala u $UT = 22^h 00^{min} 00^s$ kronometar je pokazivao $t_k = 22^h 04^{min} 37^s$. Koliko je stanje kronometra?
(Rješenje: $St = -04^{min} 37^s$)
2. U trenutku primitka vremenskog signala u $UT = 10^h 00^{min} 00^s$ kronometar je pokazivao $t_k = 09^h 58^{min} 52^s$. Koliko je stanje kronometra?
(Rješenje: $St = 01^{min} 08^s$)
3. Visina zvijezde izmjerena je u $t_k = 23^h 15^{min} 12^s$. Stanje kronometra $St = -06^{min} 07^s$. Izračunajte srednje vrijeme u meridijanu Greenwich.
(Rješenje: $UT = 23^h 09^{min} 05^s$)
4. Visina zvijezde izmjerena je u $t_k = 15^h 53^{min} 29^s$. Stanje kronometra $St = 04^{min} 21^s$. Izračunajte srednje vrijeme u meridijanu Greenwich.
(Rješenje: $UT = 15^h 57^{min} 50^s$)
5. Dana 14. 8. 1993. slušan je vremenski signal u $UT = 14^h$. Kronometar je pokazivao $t_{k1} = 14^h 03^{min} 21^s$. Slijedećeg dana (15. 08. 1993.) u isto vrijeme kronometar je pokazivao $t_{k2} = 14^h 03^{min} 27^s$. Koliko će stanje kronometra biti 16. 08. 1993. za vrijeme slušanja vremenskog signala u $UT = 14^h$.
(Rješenje: $St = -03^{min} 33^s$)

LITERATURA

- Berić, M. i grupa autora, *Astronomija*, Narodna tehnika Hrvatske, Zagreb, 1982.
- Bowditch, N., *American practical Navigator*, US Navy Hydrographic Office, Washington, 1958.
- Čumbelić, P., *Astronomska navigacija II*, Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik, 1990.
- Duffet, P., *Astronomy with your calculator*, Cambridge University press, Cambridge, 1988.
- Franušić, B., *Novi navigacijski kalkulator NC-88*, Naše more, br 3/4, Dubrovnik, 1986.
- Franušić, B., *Navigacijski džepni kalkulatori*, Naše more, br. 6, Dubrovnik, 1982.
- Hekman, I., *Povijest navigacije I*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka, 1992.
- Hekman, I., *Povijest navigacije II*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka, 1992.
- Hekman, I., *Astronomska stajnica bez sekstanta*, Društvo za prouč. i unapr. pomorstva, Zadar, 1965
- Kitarović, I., *Sferna trigonometrija s primjenama u astronomskoj navigaciji*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka
- Kitarović, I., *Primjena džepnog računala HP-67 u navigaciji*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka, 1982.
- Lipovac, M., *Astronomska navigacija*, HIRM, Split 1981.
- Roša, D., *Opća astronomija*, Zvezdarnica HPD, Zagreb 1993.
- Terzić, P., *Opća i sferna astronomija*, Geodetski fakultet Zagreb, Zagreb, 1978.
- Vujnović, V., *Astronomija I*, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- Vujnović, V., *Astronomija II*, Školska knjiga, Zagreb, 1989.

Prilog

Nautički godišnjak

Efemeride

Sunca, Mjeseca, Venere,
Marsa, Jupitera, Saturna
i proljetne točke

Ephemerides

Of Sun, Moon, Venus,
Mars, Jupiter, Saturn
and aries

Table with columns: UT, SUNCE, PROLJET TOČKA, VENERA, MARS. Rows show astronomical data for the first 22 hours of the day.

Table with columns: UT, MJESEK, JUPITER, SATURN. Rows show astronomical data for the first 22 hours of the day.

Table with columns: SUNCE, TRAJANJE SUMRAKA, MJESEK. Rows show sunset and moon data for the first 22 hours of the day.

Summary table for SUNCE, MJESEK, and PLANETI with various astronomical parameters.

Table with columns: UT, SUNCE, PROLJET TOČKA, VENERA, MARS. Rows show astronomical data for the first 22 hours of the day.

Table with columns: UT, MJESEK, JUPITER, SATURN. Rows show astronomical data for the first 22 hours of the day.

Table with columns: SUNCE, TRAJANJE SUMRAKA, MJESEK. Rows show sunset and moon data for the first 22 hours of the day.

Summary table for SUNCE, MJESEK, and PLANETI with various astronomical parameters.

Table with columns: UT (T_s), SUNCE (S₀, δ₀), PROLJET TOČKA (S_T), VENERA (S_q, δ_q), MARS (S_r, δ_r). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: UT (T_s), MJESEC (S_ε, Δ, δ_ε, Δ), JUPITER (S_J, δ_J), SATURN (S_H, δ_H). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR.), TRAJANJE SUMRAKA, MJESEC (IZLAZ, Δ/24, ZALAZ, Δ/24). Rows show sunrise, sunset, and moon phase data.

Table with columns: SUNCE (UT, Δ-Tp-UT, Δ/24, r, Protaz, Δ/24, Π_ε, r), MJESEC, PLANETI (Pl, T_m, Π, 360-α, Val, Pl, T_m, Π, 360-α, Val). Rows show detailed astronomical parameters.

Table with columns: UT (T_s), SUNCE (S₀, δ₀), PROLJET TOČKA (S_T), VENERA (S_q, δ_q), MARS (S_r, δ_r). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: UT (T_s), MJESEC (S_ε, Δ, δ_ε, Δ), JUPITER (S_J, δ_J), SATURN (S_H, δ_H). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR.), TRAJANJE SUMRAKA, MJESEC (IZLAZ, Δ/24, ZALAZ, Δ/24). Rows show sunrise, sunset, and moon phase data.

Table with columns: SUNCE (UT, Δ-Tp-UT, Δ/24, r, Protaz, Δ/24, Π_ε, r), MJESEC, PLANETI (Pl, T_m, Π, 360-α, Val, Pl, T_m, Π, 360-α, Val). Rows show detailed astronomical parameters.

Table with columns: UT (T_s), SUNCE (S₀, δ₀), PROLJET TOČKA (S_T), VENERA (S_q, δ_q), MARS (S_r, δ_r). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: UT (T_s), MJESEC (S_ε, Δ, δ_ε, Δ), JUPITER (S_J, δ_J), SATURN (S_H, δ_H). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: UT (T_s), SUNCE (S₀, δ₀), PROLJET TOČKA (S_T), VENERA (S_q, δ_q), MARS (S_r, δ_r). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: UT (T_s), MJESEC (S_ε, Δ, δ_ε, Δ), JUPITER (S_J, δ_J), SATURN (S_H, δ_H). Rows show astronomical data for the month of May.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR.), TRAJANJE SUMRAKA, MJESEC (IZLAZ, Δ/24, ZALAZ, Δ/24). Rows show sunrise, sunset, and moon phase data.

Table with columns: SUNCE (UT, Δ-Tp-UT, Δ/24, r, Protaz, Δ/24, Π_ε, r), MJESEC, PLANETI (Pl, T_m, Π, 360-α, Val, Pl, T_m, Π, 360-α, Val). Rows show detailed astronomical parameters.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR.), TRAJANJE SUMRAKA, MJESEC (IZLAZ, Δ/24, ZALAZ, Δ/24). Rows show sunrise, sunset, and moon phase data.

Table with columns: SUNCE (UT, Δ-Tp-UT, Δ/24, r, Protaz, Δ/24, Π_ε, r), MJESEC, PLANETI (Pl, T_m, Π, 360-α, Val, Pl, T_m, Π, 360-α, Val). Rows show detailed astronomical parameters.

Table with columns: UT, SUNCE (S_sun, delta_sun), PROLJET TOCKA (S_T), VENERA (S_V, delta_V), MARS (S_M, delta_M). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: UT, MJESEC (S_e, delta_e), JUPITER (S_J, delta_J), SATURN (S_S, delta_S). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR), MJESEC (IZLAZ, ZALAZ). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE, MJESEC, PLANETI. Includes sub-tables for planet positions and phases.

Table with columns: UT, SUNCE (S_sun, delta_sun), PROLJET TOCKA (S_T), VENERA (S_V, delta_V), MARS (S_M, delta_M). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: UT, MJESEC (S_e, delta_e), JUPITER (S_J, delta_J), SATURN (S_S, delta_S). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR), MJESEC (IZLAZ, ZALAZ). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE, MJESEC, PLANETI. Includes sub-tables for planet positions and phases.

Table with columns: UT, SUNCE (S_sun, delta_sun), PROLJET TOCKA (S_T), VENERA (S_V, delta_V), MARS (S_M, delta_M). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: UT, MJESEC (S_e, delta_e), JUPITER (S_J, delta_J), SATURN (S_S, delta_S). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR), MJESEC (IZLAZ, ZALAZ). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE, MJESEC, PLANETI. Includes sub-tables for planet positions and phases.

Table with columns: UT, SUNCE (S_sun, delta_sun), PROLJET TOCKA (S_T), VENERA (S_V, delta_V), MARS (S_M, delta_M). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: UT, MJESEC (S_e, delta_e), JUPITER (S_J, delta_J), SATURN (S_S, delta_S). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE (IZLAZ, ZALAZ, GRAB, ASTR), MJESEC (IZLAZ, ZALAZ). Rows show data for UT 0 to 22.

Table with columns: SUNCE, MJESEC, PLANETI. Includes sub-tables for planet positions and phases.

Table with columns for UT, SUNCE, PROLJET. TOČKA, VENERA, MARS. Includes astronomical data for the Sun, Venus, and Mars.

Table with columns for UT, MJESEC, JUPITER, SATURN. Includes astronomical data for the Moon, Jupiter, and Saturn.

Table with columns for SUNCE, TRAJANJE SUMRAKA, MJESEC. Includes astronomical data for sunrise, sunset, and moon phases.

Table with columns for SUNCE, MJESEC, PLANETI. Includes astronomical data for the Sun, Moon, and planets.

Table with columns for UT, SUNCE, PROLJET. TOČKA, VENERA, MARS. Includes astronomical data for the Sun, Venus, and Mars.

Table with columns for UT, MJESEC, JUPITER, SATURN. Includes astronomical data for the Moon, Jupiter, and Saturn.

Table with columns for SUNCE, TRAJANJE SUMRAKA, MJESEC. Includes astronomical data for sunrise, sunset, and moon phases.

Table with columns for SUNCE, MJESEC, PLANETI. Includes astronomical data for the Sun, Moon, and planets.

Main table listing stars with columns for name, magnitude, position, and other characteristics. Includes stars like ACHERNAR, ALDEBARAN, and SIRIUS.

Promjenjiva od 0.1 do 1.2 Change from 0.1 to 1.2

PRIVIDNI POLOŽAJI
APPARENT PLACES OF

Red. br.	Ime nekretnice Name of the Star	360-α SHA	1. 1.	1. 2.	1. 3.	1. 4.	1. 5.	1. 6.	1. 7.	1. 8.	1. 9.	1. 10.	1. 11.	1. 12.	1. 1.
1	ALPHERATZ	357	59.4	59.5	59.5	59.5	59.4	59.2	58.9	58.7	58.5	58.4	58.4	58.5	58.6
2	CAPH	357	47.7	47.9	48.1	48.1	47.9	47.6	47.2	46.8	46.5	46.4	46.5	46.6	46.8
3	DIPHDA	349	11.2	11.3	11.3	11.3	11.3	11.1	10.9	10.6	10.4	10.3	10.3	10.4	10.4
4	ACHERNAR	335	37.8	38.1	38.3	38.4	38.4	38.3	38.0	37.6	37.3	37.1	37.1	37.1	37.4
5	POLARIS	323	35.6	46.9	57.7	5.8	7.5	2.2	51.9	38.6	25.8	15.9	10.1	10.3	17.1
6	HAMAL	328	17.9	18.0	18.1	18.2	18.1	18.0	17.8	17.5	17.3	17.1	17.0	17.0	17.0
7	MIRFAK	309	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5	2.4	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.8
8	ALDEBARAN	291	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	6.9	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	5.8
9	RIGEL	281	26.4	26.4	26.5	26.7	26.8	26.8	26.7	26.5	26.3	26.1	25.9	25.8	25.7
10	CAPELLA	280	56.6	56.6	56.7	56.9	57.1	57.1	57.0	56.7	56.4	56.1	55.8	55.6	55.5
11	BELLATRIX	278	48.1	48.1	48.2	48.3	48.4	48.4	48.3	48.2	48.0	47.7	47.5	47.4	47.3
12	ELNATH	278	31.6	31.6	31.7	31.8	31.9	31.9	31.8	31.7	31.4	31.2	30.9	30.7	30.6
13	ALNILAM	276	1.5	1.5	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8
14	BETELGEUSE	271	17.5	17.5	17.6	17.7	17.8	17.8	17.8	17.6	17.4	17.2	17.0	16.8	16.7
15	CANOPUS	264	2.3	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.3	3.2	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
16	SIRIUS	258	46.8	46.8	46.9	47.0	47.1	47.2	47.2	47.1	46.9	46.7	46.5	46.3	46.2
17	ADHARA	255	24.1	24.1	24.2	24.4	24.5	24.6	24.5	24.4	24.2	23.9	23.7	23.6	23.6
18	PROCYON	245	15.4	15.3	15.3	15.4	15.5	15.6	15.6	15.4	15.2	15.0	14.8	14.6	14.6
19	POLLUX	243	46.0	45.9	45.9	46.0	46.2	46.3	46.3	46.2	46.0	45.8	45.6	45.1	45.1
20	AVIOR	234	23.7	23.6	23.7	23.9	24.2	24.5	24.7	24.7	24.6	24.4	24.0	23.6	23.3
21	SUHAIL	223	3.3	3.2	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	3.8	3.7	3.6	3.3	3.0	2.8
22	MIAPLACIDUS	221	42.2	42.0	42.1	42.3	42.7	43.2	43.5	43.7	43.4	42.9	42.4	41.9	41.9
23	ALPHARD	218	10.8	10.7	10.7	10.8	10.9	11.0	11.0	10.9	10.8	10.6	10.4	10.1	10.1
24	REGULUS	207	59.5	59.3	59.3	59.3	59.4	59.5	59.5	59.6	59.5	59.4	59.3	59.0	58.8
25	DUBHE	194	10.0	9.6	9.4	9.4	9.6	9.8	10.1	10.3	10.3	10.2	10.0	9.6	9.2
26	DENEbola	182	49.1	48.9	48.8	48.7	48.7	48.8	48.9	49.0	49.0	48.9	48.7	48.4	48.4
27	ACRUX	173	26.5	26.1	25.8	25.7	25.9	26.1	26.3	26.5	26.6	26.4	26.1	25.6	25.6
28	GACRUX	172	18.0	17.7	17.4	17.3	17.3	17.4	17.6	17.8	17.9	18.0	17.9	17.6	17.2
29	MIMOSA	168	10.1	9.6	9.4	9.2	9.2	9.3	9.5	9.7	9.9	10.0	9.8	9.5	9.1
30	ALIOth	166	34.0	33.7	33.4	33.3	33.3	33.4	33.6	33.8	34.0	34.1	34.0	33.8	33.5
31	MIZAR	159	5.3	4.9	4.7	4.5	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.3	5.1	4.8
32	SPICA	158	47.5	47.2	47.0	46.9	46.8	46.8	46.9	47.0	47.1	47.1	46.9	46.7	46.7
33	ALKaid	153	11.0	10.7	10.4	10.3	10.2	10.3	10.4	10.6	10.8	10.9	10.8	10.5	10.5
34	MENKENT	148	25.8	25.5	25.3	25.1	25.0	25.0	25.0	25.1	25.3	25.4	25.3	25.2	24.9
35	ARCTURUS	146	9.8	9.5	9.3	9.2	9.1	9.1	9.1	9.2	9.4	9.5	9.5	9.4	9.2
36	RIGIL KENTaurus	140	13.1	12.6	12.2	11.9	11.7	11.7	11.8	12.0	12.3	12.5	12.6	12.4	12.0
37	KOCHAB	137	20.0	19.4	18.8	18.3	18.1	18.3	18.6	19.2	19.8	20.3	20.6	20.6	20.2
38	ALPHECCA	126	24.2	24.0	23.7	23.5	23.4	23.3	23.3	23.4	23.6	23.7	23.8	23.8	23.6
39	DSCHUBBA	120	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3
40	ANTARES	112	45.3	45.1	44.9	44.6	44.4	44.3	44.2	44.3	44.4	44.5	44.6	44.6	44.4
41	ATRIA	108	1.5	1.0	0.5	59.9	59.4	59.1	59.0	59.1	59.4	59.8	0.1	0.2	59.9
42	SHAULA	96	43.1	42.9	42.6	42.3	42.1	41.9	41.7	41.7	41.8	42.0	42.2	42.2	42.1
43	RASALHAGUE	96	21.0	20.8	20.6	20.4	20.2	20.0	19.9	20.0	20.1	20.2	20.3	20.4	20.3
44	ELTANIN	90	53.8	53.6	53.4	53.1	52.8	52.6	52.5	52.6	52.8	53.0	53.3	53.4	53.4
45	KAUSA AUSTRALIS	84	4.5	4.3	4.1	3.8	3.5	3.3	3.2	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.5
46	VEGA	80	49.7	49.6	49.4	49.2	48.9	48.7	48.6	48.6	48.7	48.9	49.1	49.2	49.2
47	NUNKI	76	17.6	17.5	17.3	17.0	16.8	16.6	16.4	16.3	16.4	16.5	16.7	16.7	16.7
48	ALTAIR	62	23.4	23.4	23.3	23.1	22.8	22.6	22.5	22.4	22.4	22.5	22.6	22.7	22.7
49	PEACOCK	53	43.7	43.6	43.5	43.1	42.8	42.4	42.1	41.9	41.9	42.0	42.3	42.5	42.6
50	DENEb	49	42.3	42.3	42.2	42.0	41.8	41.5	41.2	41.1	41.1	41.3	41.5	41.7	41.8
51	ENIF	34	2.3	2.4	2.3	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6
52	AL NA'IR	28	3.1	3.1	3.1	2.9	2.7	2.4	2.1	1.8	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2
53	FOMALHAUT	15	40.9	41.0	41.0	40.9	40.7	40.5	40.2	40.0	39.9	39.8	39.9	40.0	40.1
54	MARKAB	13	53.7	53.7	53.8	53.7	53.5	53.3	53.1	52.9	52.7	52.7	52.8	52.9	52.9

ZVIJEZDA (ZA 1. U MJESECU)
SELECTED STARS (FOR 1ST IN MONTH)

Red. br.	Ime nekretnice Name of the Star	δ Dec.	1. 1.	1. 2.	1. 3.	1. 4.	1. 5.	1. 6.	1. 7.	1. 8.	1. 9.	1. 10.	1. 11.	1. 12.	1. 1.
1	α ANDROMEDAE	29	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7
2	β CASSIOPEIAE	59	7.1	7.0	6.9	6.8	6.7	6.6	6.7	6.8	6.9	7.1	7.3	7.4	7.4
3	β CETI	-18	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2
4	α ERIDANI	-57	16.5	16.5	16.5	16.3	16.1	16.0	15.8	15.8	15.8	15.9	16.0	16.2	16.2
5	α URSAE MINORIS	89	14.4	14.4	14.4	14.3	14.1	14.0	13.9	13.9	13.9	14.1	14.3	14.4	14.6
6	α ARIETIS	23	26.0	25.9	25.9	25.8	25.8	25.8	25.9	25.9	26.0	26.1	26.2	26.2	26.2
7	α PERSEI	49	50.4	50.5	50.4	50.4	50.3	50.2	50.2	50.2	50.3	50.4	50.5	50.6	50.6
8	α TAURI	16	29.8	29.8	29.7	29.7	29.7	29.8	29.8	29.8	29.9	29.9	29.9	29.9	29.8
9	β ORIONIS	-8	12.6	12.7	12.7	12.7	12.7	12.6	12.5	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	12.6
10	α AURIGAE	45	59.5	59.6	59.6	59.6	59.6	59.5	59.4	59.4	59.4	59.4	59.5	59.5	59.5
11	γ ORIONIS	6	20.6	20.6	20.5	20.5	20.5	20.6	20.6	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.6
12	β TAURI	28	36.1	36.1	36.2	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1
13	ε ORIONIS	-1	12.4	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.3	12.2	12.2	12.3	12.3	12.4
14	α ORIONIS	7	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.4	24.4	24.4	24.4	24.3	24.3
15	α CARINAE	-52	41.6	41.7	41.8	41.8	41.8	41.7	41.6	41.4	41.3	41.3	41.3	41.5	41.6
16	α CANIS MAJORIS	-16	42.4	42.6	42.6	42.7	42.6	42.6	42.5	42.4	42.3	42.3	42.3	42.4	42.6
17	ε CANIS MAJORIS	-28	57.8	57.9	58.0	58.1	58.1	58.0	57.9	57.7	57.6	57.6	57.7	57.8	57.9
18	α CANIS MINORIS	5	14.5	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.3
19	β GEMINORUM	28	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
20	ε ARGUS	-59	29.2	29.4	29.5	29.7	29.7	29.7	29.6	29.4	29.2	29.2	29.1	29.2	29.4
21	λ VELORUM	-43	24.2	24.4	24.5	24.7	24.7	24.7	24.6	24.5	24.4	24.3	24.3	24.3	24.5
22	β CARINAE	-69	41.2	41.4	41.6	41.7	41.8	41.8	41.8	41.6	41.5	41.3	41.3	41.3	41.5
23	α HYDRAE	-8	37.8	37.9	38.0	38.0	38.0	38.0	37.9	37.8	37.8	37.9	37.9	38.1	38.1
24	α LEONIS	11	59.9	59.8	59.8	59.8	59.8	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.6
25	α URSAE MAJORIS	61	46.9	47.0	47.0	47.2	47.3	47.3	47.3	47.2	47.1	46.9	46.8	46.6	46.6
26	β LEONIS	14	36.5	36.4	36.3	36.4	36.4	36.5	36.5	36.5	36.5	36.4	36.3	36.2	36.1
27	α CRUCIS	-63	3.4	3.5	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.7
28	β CRUCIS	-57	4.3	4.4	4.5	4.7	4.9	5.0	5.0	4.9	4.9	4.7	4.6	4.6	4.6
29	γ CRUCIS	-59	38.9	39.0	39.1	39.3	39.4	39.5	3						

1993

VREMENA PROLAZA ZVIJEZDA KROZ GORNJI MERIDIJAN GREENWICHA
UPPER TRANSIT OF STARS AT GREENWICH

Red br.	Ime nekretnice Name of the Star	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.													
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	1.	
		h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	
1	ALPHERATZ	17 23	15 21	13 31	11 29	9 31	7 29	5 31	3 29	1 27	23 25	21 23	19 25	17 24	
2	CAPH	17 23	15 21	13 31	11 29	9 32	7 30	5 32	3 30	1 28	23 26	21 24	19 26	17 24	
3	DIPHDA	17 58	15 56	14 6	12 4	10 6	8 4	6 6	4 4	2 2	0 4	21 59	20 1	17 59	
4	ACHERNAR	18 52	16 50	14 60	12 58	10 60	8 58	7 0	4 58	2 56	0 58	22 53	20 55	18 53	
5	POLARIS	19 40	17 37	15 46	13 44	11 46	9 44	7 47	5 46	3 45	1 48	23 42	21 44	19 42	
6	HAMAL	19 21	17 19	15 29	13 27	11 29	9 27	7 29	5 27	3 26	1 28	23 22	21 24	19 22	
7	MIRFAK	20 38	18 36	16 46	14 44	12 46	10 44	8 46	6 44	4 42	2 45	0 43	22 41	20 39	
8	ALDEBARAN	21 49	19 47	17 57	15 55	13 58	11 56	9 58	7 56	5 54	3 56	1 54	23 52	21 50	
9	RIGEL	22 28	20 26	18 36	16 34	14 36	12 34	10 36	8 34	6 32	4 35	2 33	0 35	22 29	
10	CAPELLA	22 30	20 28	18 38	16 36	14 38	12 36	10 38	8 36	6 34	4 37	2 35	0 37	22 31	
11	BELLATRIX	22 38	20 37	18 46	16 45	14 47	12 45	10 47	8 45	6 43	4 45	2 43	0 45	22 39	
12	ELNATH	22 40	20 38	18 48	16 46	14 48	12 46	10 48	8 46	6 44	4 46	2 44	0 46	22 41	
13	ALNILAM	22 50	20 48	18 58	16 56	14 58	12 56	10 58	8 56	6 54	4 56	2 54	0 56	22 51	
14	BETELGEUSE	23 8	21 7	19 16	17 15	15 17	13 15	11 17	9 15	7 13	5 15	3 13	1 15	23 9	
15	CANOPUS	23 37	21 35	19 45	17 43	15 45	13 44	11 46	9 44	7 42	5 44	3 42	1 44	23 38	
16	SIRIUS	0 2	21 56	20 6	18 4	16 6	14 5	12 7	10 5	8 3	6 5	4 3	2 5	0 3	
17	ADHARA	0 16	22 10	20 20	18 18	16 20	14 18	12 20	10 18	8 16	6 18	4 17	2 19	0 17	
18	PROCYON	0 56	22 50	21 0	18 58	17 0	14 59	13 1	10 59	8 57	6 59	4 57	2 59	0 57	
19	POLLUX	1 2	22 56	21 6	19 4	17 6	15 4	13 7	11 5	9 3	7 5	5 3	3 5	1 3	
20	AVIOR	1 40	23 34	21 44	19 42	17 44	15 42	13 44	11 42	9 40	7 42	5 40	3 42	1 40	
21	SUHAIL	2 25	0 23	22 29	20 27	18 29	16 27	14 29	12 27	10 25	8 27	6 26	4 28	2 26	
22	MIAPLACIDUS	2 30	0 28	22 34	20 32	18 34	16 32	14 34	12 33	10 31	8 33	6 31	4 33	2 31	
23	ALPHARD	2 44	0 42	22 48	20 46	18 48	16 47	14 49	12 47	10 45	8 47	6 45	4 47	2 45	
24	REGULUS	3 25	1 23	23 29	21 27	19 29	17 27	15 29	13 27	11 25	9 28	7 26	5 28	3 26	
25	DUBHE	4 20	2 18	0 28	22 22	20 24	18 22	16 24	14 22	12 21	10 23	8 21	6 23	4 21	
26	DENEbola	5 5	3 3	1 13	23 7	21 10	19 8	17 10	15 8	13 6	11 8	9 6	7 8	5 6	
27	ACRUX	5 43	3 41	1 51	23 45	21 47	19 45	17 47	15 45	13 43	11 45	9 43	7 46	5 44	
28	GACRUX	5 47	3 45	1 55	23 49	21 52	19 50	17 52	15 50	13 48	11 50	9 48	7 50	5 48	
29	MIMOSA	6 4	4 2	2 12	0 10	22 8	20 6	18 8	16 6	14 4	12 6	10 5	8 7	6 5	
30	ALIOTh	6 10	4 8	2 18	0 16	22 14	20 12	18 15	16 13	14 11	12 13	10 11	8 13	6 11	
31	MIZAR	6 40	4 38	2 48	0 46	22 44	20 42	18 44	16 42	14 41	12 43	10 41	8 43	6 41	
32	SPICA	6 41	4 39	2 49	0 47	22 45	20 44	18 46	16 44	14 42	12 44	10 42	8 44	6 42	
33	ALKAID	7 3	5 2	3 12	1 10	23 8	21 6	19 8	17 6	15 4	13 6	11 4	9 6	7 4	
34	MENKENT	7 22	5 21	3 30	1 29	23 27	21 25	19 27	17 25	15 23	13 25	11 23	9 25	7 23	
35	ARCTURUS	7 31	5 30	3 40	1 38	23 36	21 34	19 36	17 34	15 32	13 34	11 32	9 34	7 32	
36	RIGIL KENTAURUS	7 55	5 53	4 3	2 1	0 3	21 58	19 60	17 58	15 56	13 58	11 56	9 58	7 56	
37	KOCHAB	8 7	6 5	4 15	2 13	0 15	22 9	20 11	18 9	16 7	14 9	12 7	10 10	8 8	
38	ALPHECCA	8 50	6 48	4 58	2 56	0 59	22 53	20 55	18 53	16 51	14 53	12 51	10 53	8 51	
39	DSCHUBBA	9 16	7 14	5 24	3 22	1 24	23 18	21 20	19 18	17 16	15 18	13 17	11 19	9 17	
40	ANTARES	9 45	7 43	5 53	3 51	1 53	23 47	21 49	19 47	17 45	15 47	13 46	11 48	9 46	
41	ATRIA	10 4	8 2	6 12	4 10	2 12	0 10	22 8	20 6	18 4	16 6	14 5	12 7	10 5	
42	SHAULA	10 49	8 47	6 57	4 55	2 57	0 55	22 53	20 51	18 49	16 51	14 50	12 52	10 50	
43	RASALHAGUE	10 50	8 48	6 58	4 56	2 58	0 57	22 55	20 53	18 51	16 53	14 51	12 53	10 51	
44	ELTANIN	11 12	9 10	7 20	5 18	3 20	1 18	23 16	21 15	19 13	17 15	15 13	13 15	11 13	
45	KAUS AUSTRALIS	11 39	9 37	7 47	5 45	3 47	1 46	23 44	21 42	19 40	17 42	15 40	13 42	11 40	
46	VEGA	11 52	9 50	8 0	5 58	4 0	1 58	0 1	21 55	19 53	17 55	15 53	13 55	11 53	
47	NUNKI	12 10	10 8	8 18	6 16	4 18	2 17	0 19	22 13	20 11	18 13	16 11	14 13	12 11	
48	ALTAIR	13 6	11 4	9 14	7 12	5 14	3 12	1 14	23 8	21 6	19 8	17 7	15 9	13 7	
49	PEACOCK	13 40	11 38	9 48	7 46	5 48	3 47	1 49	23 43	21 41	19 43	17 41	15 43	13 41	
50	DENEB	13 56	11 54	10 4	8 2	6 4	4 3	2 5	0 3	21 57	19 59	17 57	15 59	13 57	
51	ENIF	14 59	12 57	11 7	9 5	7 7	5 5	3 7	1 5	22 59	21 2	18 60	17 2	14 60	
52	AL NA'IR	15 23	13 21	11 31	9 29	7 31	5 29	3 31	1 29	23 23	21 25	19 24	17 26	15 24	
53	FOMALHAUT	16 12	14 10	12 20	10 18	8 20	6 18	4 20	2 18	0 17	22 15	20 13	18 15	16 13	
54	MARKAB	16 19	14 17	12 27	10 25	8 27	6 25	4 27	2 26	0 24	22 22	20 20	18 22	16 20	

Popravlak za datum (uvijek se oduzima) / Date correction (all ways negative)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min
0 0	0 4	0 8	0 12	0 16	0 20	0 24	0 28	0 31	0 35	0 39	0 43	0 47	0 51	0 55	0 59
16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min	h min
0 59	1 3	1 7	1 11	1 15	1 19	1 23	1 27	1 30	1 34	1 38	1 42	1 46	1 50	1 54	1 58

Interpolazione
i
pomoćne tablice

Za $\varphi = 0^\circ$ do $+30^\circ$

INTERPOLACIONA TABLICA

Za $\varphi = 0^\circ$ do $\pm 30^\circ$

za izračunavanje vremena Sunčevih i Mjesečevih izlaza i zalaza

$\Delta\tau$	$\Delta\lambda$	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	$\Delta\tau$	$\Delta\lambda$	
01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
02	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
03	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
04	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
05	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
06	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
07	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6	6.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
08	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
09	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
10	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
11	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
12	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
13	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.4	11.7	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
14	1.4	2.8	4.2	5.6	7.0	8.4	9.8	11.2	12.6	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
15	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
16	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0	9.6	11.2	12.8	14.4	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
17	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.2	11.9	13.6	15.3	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
18	1.8	3.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
19	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.4	13.3	15.2	17.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
20	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
21	2.1	4.2	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	0.2	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
22	2.2	4.4	6.6	8.8	11.0	13.2	15.4	17.6	19.8	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
23	2.3	4.6	6.9	9.2	11.5	13.8	16.1	18.4	20.7	0.2	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
24	2.4	4.8	7.2	9.6	12.0	14.4	16.8	19.2	21.6	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
25	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
26	2.6	5.2	7.8	10.4	13.0	15.6	18.2	20.8	23.4	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
27	2.7	5.4	8.1	10.8	13.5	16.2	18.9	21.6	24.3	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
28	2.8	5.6	8.4	11.2	14.0	16.8	19.6	22.4	25.2	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
29	2.9	5.8	8.7	11.6	14.5	17.4	20.3	23.2	26.1	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
30	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
31	3.1	6.2	9.3	12.4	15.5	18.6	21.7	24.8	27.9	0.3	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
32	3.2	6.4	9.6	12.8	16.0	19.2	22.4	25.6	28.8	0.3	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
33	3.3	6.6	9.9	13.2	16.5	19.8	23.1	26.4	29.7	0.3	0.7	1.0	1.3	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
34	3.4	6.8	10.2	13.6	17.0	20.4	23.8	27.2	30.6	0.3	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.1	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
35	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5	0.4	0.7	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
36	3.6	7.2	10.8	14.4	18.0	21.6	25.2	28.8	32.4	0.4	0.7	1.1	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.2	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
37	3.7	7.4	11.1	14.8	18.5	22.2	25.9	29.6	33.3	0.4	0.7	1.1	1.5	1.9	2.2	2.6	3.0	3.3	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
38	3.8	7.6	11.4	15.2	19.0	22.8	26.6	30.4	34.2	0.4	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3	2.7	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
39	3.9	7.8	11.7	15.6	19.5	23.4	27.3	31.2	35.1	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.3	2.7	3.1	3.5	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
40	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
41	4.1	8.2	12.3	16.4	20.5	24.6	28.7	32.8	36.9	0.4	0.8	1.2	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
42	4.2	8.4	12.6	16.8	21.0	25.2	29.4	33.6	37.8	0.4	0.8	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.4	3.8	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
43	4.3	8.6	12.9	17.2	21.5	25.8	30.1	34.4	38.7	0.4	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6	3.0	3.4	3.9	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
44	4.4	8.8	13.2	17.6	22.0	26.4	30.8	35.2	39.6	0.4	0.9	1.3	1.8	2.2	2.6	3.1	3.5	4.0	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
45	4.5	9.0	13.5	18.0	22.5	27.0	31.5	36.0	40.5	0.5	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
46	4.6	9.2	13.8	18.4	23.0	27.6	32.2	36.8	41.4	0.5	0.9	1.4	1.8	2.3	2.8	3.2	3.7	4.1	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
47	4.7	9.4	14.1	18.8	23.5	28.2	32.9	37.6	42.3	0.5	0.9	1.4	1.9	2.4	2.8	3.3	3.8	4.2	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
48	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8	33.6	38.4	43.2	0.5	1.0	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.8	4.3	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
49	4.9	9.8	14.7	19.6	24.5	29.4	34.3	39.2	44.1	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
50	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
51	5.1	10.2	15.3	20.4	25.5	30.6	35.7	40.8	45.9	0.5	1.0	1.5	2.0	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
52	5.2	10.4	15.6	20.8	26.0	31.2	36.4	41.6	46.8	0.5	1.0	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
53	5.3	10.6	15.9	21.2	26.5	31.8	37.1	42.4	47.7	0.5	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	3.7	4.2	4.8	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
54	5.4	10.8	16.2	21.6	27.0	32.4	37.8	43.2	48.6	0.5	1.1	1.6	2.2	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
55	5.5	11.0	16.5	22.0	27.5	33.0	38.5	44.0	49.5	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
56	5.6	11.2	16.8	22.4	28.0	33.6	39.2	44.8	50.4	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
57	5.7	11.4	17.1	22.8	28.5	34.2	39.9	45.6	51.3	0.6	1.1	1.7	2.3	2.9	3.4	4.0	4.6	5.1	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
58	5.8	11.6	17.4	23.2	29.0	34.8	40.6	46.4	52.2	0.6	1.2	1.7	2.3	2.9	3.5	4.1	4.7	5.2	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
59	5.9	11.8	17.7	23.6	29.5	35.4	41.3	47.2	53.1	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
60	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36																	

INTERPOLACIONA TABLICA

za izračunavanje Mjesečevih izlaza, prolaza kroz meridijan i zalaza

Δ 26	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	Δ 24	
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
0.4	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
0.5	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5
0.6	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6
0.7	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7
0.8	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	0.8
0.9	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	0.9
1.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.0
1.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.1
1.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	1.2
1.3	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.3
1.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.4
1.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	1.5
1.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	1.6
1.7	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.3	1.7
1.8	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.4	1.8
1.9	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	1.9
2.0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	2.7	2.0
2.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	2.8	2.1
2.2	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	2.9	2.2
2.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.1	2.3
2.4	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.2	2.4
2.5	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.3	3.3	2.5
2.6	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.5	2.6
2.7	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.6	2.7
2.8	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.7	2.8
2.9	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	3.9	2.9
3.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.0	3.0
3.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.1	3.1
3.2	0.2	0.4	0.6	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.3	3.2
3.3	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.0	4.2	4.4	4.4	3.3
3.4	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6	3.9	4.1	4.3	4.5	4.5	3.4
3.5	0.2	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	3.0	3.3	3.5	3.7	4.0	4.2	4.4	4.7	4.7	3.5
3.6	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	4.8	3.6
3.7	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.2	3.5	3.7	3.9	4.2	4.4	4.7	4.9	4.9	3.7
3.8	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	5.1	5.1	3.8
3.9	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4	3.6	3.9	4.2	4.4	4.7	4.9	5.2	5.2	3.9
4.0	0.3	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	2.9	3.2	3.5	3.7	4.0	4.3	4.5	4.8	5.1	5.3	5.3	4.0
4.1	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7	3.0	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.9	5.2	5.5	5.5	4.1
4.2	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	5.6	4.2
4.3	0.3	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6	4.9	5.2	5.4	5.7	5.7	4.3
4.4	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.6	5.9	5.9	4.4
4.5	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0	6.0	4.5
4.6	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8	6.1	6.1	4.6
4.7	0.3	0.6	0.9	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.6	6.0	6.3	6.3	4.7
4.8	0.3	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.8	6.1	6.4	6.4	4.8
4.9	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.6	3.9	4.2	4.6	4.9	5.2	5.6	5.9	6.2	6.5	6.5	4.9
5.0	0.3	0.7	1.0	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	3.7	4.0	4.3	4.7	5.0	5.3	5.7	6.0	6.3	6.7	6.7	5.0

INTERPOLACIONA TABLICA

za izračunavanje Mjesečevih izlaza, prolaza kroz meridijan i zalaza

Δ 24	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	Δ 24				
0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
0.4	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	2.9	3.2	3.5	3.7	4.0	4.3	4.5	4.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
0.5	0.7	1.0	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	3.7	4.0	4.3	4.7	5.0	5.3	5.7	6.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.6	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
0.7	0.9	1.4	1.9	2.3	2.8	3.3	3.7	4.2	4.7	5.1	5.6	6.1	6.5	7.0	7.5	7.9	8.4	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
0.8	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	3.7	4.3	4.8	5.3	5.9	6.4	6.9	7.5	8.0	8.5	9.1	9.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
0.9	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6	10.2	10.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
1.0	1.3	2.0	2.7	3.3	4.0	4.7	5.3	6.0	6.7	7.3	8.0	8.7	9.3	10.0	10.7	11.3	12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.1	1.5	2.2	2.9	3.7	4.4	5.1	5.9	6.6	7.3	8.1	8.8	9.5	10.3	11.0	11.7	12.5	13.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
1.2	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.															

Interpolaciona tablica
za popravak satnog kuta
i deklinacije

46_{min}

POPRAVAK SATNOG KUTA					DRUGI POPRAVAK za satni kut α i planeta kao i za δ ovih nebeskih tijela				
s	Sunca i planeta	Proletnje točke	Mjeseca	Δ	popr.		popr.		
					Δ	popr.	Δ	popr.	
0	11 30.0	11 31.9	10 58.6	0	0.0	60	4.7	120	9.3
1	11 30.3	11 32.1	10 58.8	1	0.1	61	4.7	121	9.4
2	11 30.5	11 32.4	10 59.0	2	0.2	62	4.8	122	9.5
3	11 30.8	11 32.6	10 59.3	3	0.2	63	4.9	123	9.5
4	11 31.0	11 32.9	10 59.5	4	0.3	64	5.0	124	9.6
5	11 31.3	11 33.1	10 59.8	5	0.4	65	5.0	125	9.7
6	11 31.5	11 33.4	11 00.0	6	0.5	66	5.1	126	9.8
7	11 31.8	11 33.6	11 00.2	7	0.5	67	5.2	127	9.8
8	11 32.0	11 33.9	11 00.5	8	0.6	68	5.3	128	9.9
9	11 32.3	11 34.1	11 00.7	9	0.7	69	5.3	129	10.0
10	11 32.5	11 34.4	11 01.0	10	0.8	70	5.4	130	10.1
11	11 32.8	11 34.6	11 01.2	11	0.9	71	5.5	131	10.2
12	11 33.0	11 34.9	11 01.4	12	0.9	72	5.6	132	10.2
13	11 33.3	11 35.1	11 01.7	13	1.0	73	5.7	133	10.3
14	11 33.5	11 35.4	11 01.9	14	1.1	74	5.7	134	10.4
15	11 33.8	11 35.6	11 02.1	15	1.2	75	5.8	135	10.5
16	11 34.0	11 35.9	11 02.4	16	1.2	76	5.9	136	10.5
17	11 34.3	11 36.2	11 02.6	17	1.3	77	6.0	137	10.6
18	11 34.5	11 36.4	11 02.9	18	1.4	78	6.0	138	10.7
19	11 34.8	11 36.7	11 03.1	19	1.5	79	6.1	139	10.8
20	11 35.0	11 36.9	11 03.3	20	1.6	80	6.2	140	10.9
21	11 35.3	11 37.2	11 03.6	21	1.6	81	6.3	141	10.9
22	11 35.5	11 37.4	11 03.8	22	1.7	82	6.4	142	11.0
23	11 35.8	11 37.7	11 04.1	23	1.8	83	6.4	143	11.1
24	11 36.0	11 37.9	11 04.3	24	1.9	84	6.5	144	11.2
25	11 36.3	11 38.2	11 04.5	25	1.9	85	6.6	145	11.2
26	11 36.5	11 38.4	11 04.8	26	2.0	86	6.7	146	11.3
27	11 36.8	11 38.7	11 05.0	27	2.1	87	6.7	147	11.4
28	11 37.0	11 38.9	11 05.2	28	2.2	88	6.8	148	11.5
29	11 37.3	11 39.2	11 05.5	29	2.2	89	6.9	149	11.5
30	11 37.5	11 39.4	11 05.7	30	2.3	90	7.0	150	11.6
31	11 37.8	11 39.7	11 06.0	31	2.4	91	7.1	151	11.7
32	11 38.0	11 39.9	11 06.2	32	2.5	92	7.1	152	11.8
33	11 38.3	11 40.2	11 06.4	33	2.6	93	7.2	153	11.9
34	11 38.5	11 40.4	11 06.7	34	2.6	94	7.3	154	11.9
35	11 38.8	11 40.7	11 06.9	35	2.7	95	7.4	155	12.0
36	11 39.0	11 40.9	11 07.2	36	2.8	96	7.4	156	12.1
37	11 39.3	11 41.2	11 07.4	37	2.9	97	7.5	157	12.2
38	11 39.5	11 41.4	11 07.6	38	2.9	98	7.6	158	12.2
39	11 39.8	11 41.7	11 07.9	39	3.0	99	7.7	159	12.3
40	11 40.0	11 41.9	11 08.1	40	3.1	100	7.8	160	12.4
41	11 40.3	11 42.2	11 08.3	41	3.2	101	7.8	161	12.5
42	11 40.5	11 42.4	11 08.6	42	3.3	102	7.9	162	12.6
43	11 40.8	11 42.7	11 08.8	43	3.3	103	8.0	163	12.6
44	11 41.0	11 42.9	11 09.1	44	3.4	104	8.1	164	12.7
45	11 41.3	11 43.2	11 09.3	45	3.5	105	8.1	165	12.8
46	11 41.5	11 43.4	11 09.5	46	3.6	106	8.2	166	12.9
47	11 41.8	11 43.7	11 09.8	47	3.6	107	8.3	167	12.9
48	11 42.0	11 43.9	11 10.0	48	3.7	108	8.4	168	13.0
49	11 42.3	11 44.2	11 10.3	49	3.8	109	8.4	169	13.1
50	11 42.5	11 44.4	11 10.5	50	3.9	110	8.5	170	13.2
51	11 42.8	11 44.7	11 10.7	51	4.0	111	8.6	171	13.3
52	11 43.0	11 44.9	11 11.0	52	4.0	112	8.7	172	13.3
53	11 43.3	11 45.2	11 11.2	53	4.1	113	8.8	173	13.4
54	11 43.5	11 45.4	11 11.5	54	4.2	114	8.8	174	13.5
55	11 43.8	11 45.7	11 11.7	55	4.3	115	8.9	175	13.6
56	11 44.0	11 45.9	11 11.9	56	4.3	116	9.0	176	13.6
57	11 44.3	11 46.2	11 12.2	57	4.4	117	9.1	177	13.7
58	11 44.5	11 46.4	11 12.4	58	4.5	118	9.1	178	13.8
59	11 44.8	11 46.7	11 12.6	59	4.6	119	9.2	179	13.9
60	11 45.0	11 46.9	11 12.9	60	4.7	120	9.3	180	14.0

47_{min}

POPRAVAK SATNOG KUTA					DRUGI POPRAVAK za satni kut α i planeta kao i za δ ovih nebeskih tijela				
s	Sunca i planeta	Proletnje točke	Mjeseca	Δ	popr.		popr.		
					Δ	popr.	Δ	popr.	
0	11 45.0	11 46.9	11 12.9	0	0.0	60	4.8	120	9.5
1	11 45.3	11 47.2	11 13.1	1	0.1	61	4.8	121	9.6
2	11 45.5	11 47.4	11 13.4	2	0.2	62	4.9	122	9.7
3	11 45.8	11 47.7	11 13.6	3	0.2	63	5.0	123	9.7
4	11 46.0	11 47.9	11 13.8	4	0.3	64	5.1	124	9.8
5	11 46.3	11 48.2	11 14.1	5	0.4	65	5.1	125	9.9
6	11 46.5	11 48.4	11 14.3	6	0.5	66	5.2	126	10.0
7	11 46.8	11 48.7	11 14.6	7	0.6	67	5.3	127	10.1
8	11 47.0	11 48.9	11 14.8	8	0.6	68	5.4	128	10.1
9	11 47.3	11 49.2	11 15.0	9	0.7	69	5.5	129	10.2
10	11 47.5	11 49.4	11 15.3	10	0.8	70	5.5	130	10.3
11	11 47.8	11 49.7	11 15.5	11	0.9	71	5.6	131	10.4
12	11 48.0	11 49.9	11 15.7	12	1.0	72	5.7	132	10.5
13	11 48.3	11 50.2	11 16.0	13	1.0	73	5.8	133	10.5
14	11 48.5	11 50.4	11 16.2	14	1.1	74	5.9	134	10.6
15	11 48.8	11 50.7	11 16.5	15	1.2	75	5.9	135	10.7
16	11 49.0	11 50.9	11 16.7	16	1.3	76	6.0	136	10.8
17	11 49.3	11 51.2	11 16.9	17	1.3	77	6.1	137	10.8
18	11 49.5	11 51.4	11 17.2	18	1.4	78	6.2	138	10.9
19	11 49.8	11 51.7	11 17.4	19	1.5	79	6.3	139	11.0
20	11 50.0	11 51.9	11 17.7	20	1.6	80	6.3	140	11.1
21	11 50.3	11 52.2	11 17.9	21	1.7	81	6.4	141	11.2
22	11 50.5	11 52.4	11 18.1	22	1.7	82	6.5	142	11.2
23	11 50.8	11 52.7	11 18.4	23	1.6	83	6.6	143	11.3
24	11 51.0	11 52.9	11 18.6	24	1.9	84	6.7	144	11.4
25	11 51.3	11 53.2	11 18.8	25	2.0	85	6.7	145	11.5
26	11 51.5	11 53.4	11 19.1	26	2.1	86	6.9	146	11.6
27	11 51.8	11 53.7	11 19.3	27	2.1	87	6.9	147	11.6
28	11 52.0	11 53.9	11 19.6	28	2.2	88	7.0	148	11.7
29	11 52.3	11 54.2	11 19.8	29	2.3	89	7.0	149	11.8
30	11 52.5	11 54.5	11 20.0	30	2.4	90	7.1	150	11.9
31	11 52.8	11 54.7	11 20.3	31	2.5	91	7.2	151	12.0
32	11 53.0	11 55.0	11 20.5	32	2.5	92	7.3	152	12.0
33	11 53.3	11 55.2	11 20.8	33	2.6	93	7.4	153	12.1
34	11 53.5	11 55.5	11 21.0	34	2.7	94	7.4	154	12.2
35	11 53.8	11 55.7	11 21.2	35	2.8	95	7.5	155	12.3
36	11 54.0	11 56.0	11 21.5	36	2.9	96	7.6	156	12.4
37	11 54.3	11 56.2	11 21.7	37	2.9	97	7.7	157	12.4
38	11 54.5	11 56.5	11 22.0	38	3.0	98	7.8	158	12.5
39	11 54.8	11 56.7	11 22.2	39	3.1	99	7.8	159	12.6
40	11 55.0	11 57.0	11 22.4	40	3.2	100	7.9	160	12.7
41	11 55.3	11 57.2	11 22.7	41	3.2	101	8.0	161	12.7
42	11 55.5	11 57.5	11 22.9	42	3.3	102	8.1	162	12.8
43	11 55.8	11 57.7	11 23.1	43	3.4	103	8.2	163	12.9
44	11 56.0	11 58.0	11 23.4	44	3.5	104	8.2	164	13.0
45	11 56.3	11 58.2	11 23.6	45	3.6	105	8.3	165	13.1
46	11 56.5	11 58.5	11 23.9	46	3.6	106	8.4	166	13.1
47	11 56.8	11 58.7	11 24.1	47	3.7	107	8.5	167	13.2
48	11 57.0	11 59.0	11 24.3	48	3.8	108	8.6	168	13.3
49	11 57.3	11 59.2	11 24.6	49	3.9	109	8.6	169	13.4
50	11 57.5	11 59.5	11 24.8	50	4.0	110	8.7	170	13.5
51	11 57.8	11 59.7	11 25.1	51	4.0	111	8.8	171	13.5
52	11 58.0	12 00.0	11 25.3	52	4.1	112	8.9	172	13.6
53	11 58.3	12 00.2	11 25.5	53	4.2	113	8.9	173	13.7
54	11 58.5	12 00.5	11 25.8	54	4.3	114	9.0	174	13.8
55	11 58.8	12 00.7	11 26.0	55	4.4	115	9.1	175	13.9
56	11 59.0	12 01.0	11 26.2	56	4.4	116	9.2	176	13.9
57	11 59.3	12 01.2	11 26.5	57	4.5	117	9.3	177	14.0
58	11 59.5	12 01.5	11 26.7	58	4.6	118	9.3	178	14.1
59	11 59.8	12 01.7	11 27.0	59	4.7	119	9.4	179	14.2
60	12 00.0	12 02.0	11 27.2	60	4.8	120	9.5	180	14.3

48min

POPRAVAK SATNOG KUTA					DRUGI POPRAVAK za satni kut (α, δ) i planeta kao i za 5 ovih nebeskih tijela				
S	Sunca i planeta	Projelne točke	Mjeseca	Δ	popr.	Δ	popr.	Δ	popr.
0	12 00.0	12 02.0	11 27.2	0	0.0	60	4.9	120	9.7
1	12 00.3	12 02.2	11 27.4	1	0.1	61	4.9	121	9.8
2	12 00.5	12 02.5	11 27.7	2	0.2	62	5.0	122	9.9
3	12 00.8	12 02.7	11 27.9	3	0.2	63	5.1	123	9.9
4	12 01.0	12 03.0	11 28.2	4	0.3	64	5.2	124	10.0
5	12 01.3	12 03.2	11 28.4	5	0.4	65	5.3	125	10.1
6	12 01.5	12 03.5	11 28.6	6	0.5	66	5.3	126	10.2
7	12 01.8	12 03.7	11 28.9	7	0.6	67	5.4	127	10.3
8	12 02.0	12 04.0	11 29.1	8	0.6	68	5.5	128	10.3
9	12 02.3	12 04.2	11 29.3	9	0.7	69	5.6	129	10.4
10	12 02.5	12 04.5	11 29.6	10	0.8	70	5.7	130	10.5
11	12 02.8	12 04.7	11 29.8	11	0.9	71	5.7	131	10.6
12	12 03.0	12 05.0	11 30.1	12	1.0	72	5.8	132	10.7
13	12 03.3	12 05.2	11 30.3	13	1.1	73	5.9	133	10.8
14	12 03.5	12 05.5	11 30.5	14	1.1	74	6.0	134	10.8
15	12 03.8	12 05.7	11 30.8	15	1.2	75	6.1	135	10.9
16	12 04.0	12 06.0	11 31.0	16	1.3	76	6.1	136	11.0
17	12 04.3	12 06.2	11 31.3	17	1.4	77	6.2	137	11.1
18	12 04.5	12 06.5	11 31.5	18	1.5	78	6.3	138	11.2
19	12 04.8	12 06.7	11 31.7	19	1.5	79	6.4	139	11.2
20	12 05.0	12 07.0	11 32.0	20	1.6	80	6.5	140	11.3
21	12 05.3	12 07.2	11 32.2	21	1.7	81	6.5	141	11.4
22	12 05.5	12 07.5	11 32.4	22	1.8	82	6.6	142	11.5
23	12 05.8	12 07.7	11 32.7	23	1.9	83	6.7	143	11.6
24	12 06.0	12 08.0	11 32.9	24	1.9	84	6.8	144	11.6
25	12 06.3	12 08.2	11 33.2	25	2.0	85	6.9	145	11.7
26	12 06.5	12 08.5	11 33.4	26	2.1	86	7.0	146	11.8
27	12 06.8	12 08.7	11 33.6	27	2.2	87	7.0	147	11.9
28	12 07.0	12 09.0	11 33.9	28	2.3	88	7.1	148	12.0
29	12 07.3	12 09.2	11 34.1	29	2.3	89	7.2	149	12.0
30	12 07.5	12 09.5	11 34.4	30	2.4	90	7.3	150	12.1
31	12 07.8	12 09.7	11 34.6	31	2.5	91	7.4	151	12.2
32	12 08.0	12 10.0	11 34.8	32	2.6	92	7.4	152	12.3
33	12 08.3	12 10.2	11 35.1	33	2.7	93	7.5	153	12.4
34	12 08.5	12 10.5	11 35.3	34	2.7	94	7.6	154	12.4
35	12 08.8	12 10.7	11 35.6	35	2.8	95	7.7	155	12.5
36	12 09.0	12 11.0	11 35.8	36	2.9	96	7.8	156	12.6
37	12 09.3	12 11.2	11 36.0	37	3.0	97	7.8	157	12.7
38	12 09.5	12 11.5	11 36.3	38	3.1	98	7.9	158	12.8
39	12 09.8	12 11.7	11 36.5	39	3.2	99	8.0	159	12.9
40	12 10.0	12 12.0	11 36.7	40	3.2	100	8.1	160	12.9
41	12 10.3	12 12.2	11 37.0	41	3.3	101	8.2	161	13.0
42	12 10.5	12 12.5	11 37.2	42	3.4	102	8.2	162	13.1
43	12 10.8	12 12.8	11 37.5	43	3.5	103	8.3	163	13.2
44	12 11.0	12 13.0	11 37.7	44	3.6	104	8.4	164	13.3
45	12 11.3	12 13.3	11 37.9	45	3.6	105	8.5	165	13.3
46	12 11.5	12 13.5	11 38.2	46	3.7	106	8.6	166	13.4
47	12 11.8	12 13.8	11 38.4	47	3.8	107	8.6	167	13.5
48	12 12.0	12 14.0	11 38.7	48	3.9	108	8.7	168	13.6
49	12 12.3	12 14.3	11 38.9	49	4.0	109	8.8	169	13.7
50	12 12.5	12 14.5	11 39.1	50	4.0	110	8.9	170	13.7
51	12 12.8	12 14.8	11 39.4	51	4.1	111	9.0	171	13.8
52	12 13.0	12 15.0	11 39.6	52	4.2	112	9.1	172	13.9
53	12 13.3	12 15.3	11 39.8	53	4.3	113	9.1	173	14.0
54	12 13.5	12 15.5	11 40.1	54	4.4	114	9.2	174	14.1
55	12 13.8	12 15.8	11 40.3	55	4.4	115	9.3	175	14.1
56	12 14.0	12 16.0	11 40.6	56	4.5	116	9.4	176	14.2
57	12 14.3	12 16.3	11 40.8	57	4.6	117	9.5	177	14.3
58	12 14.5	12 16.5	11 41.0	58	4.7	118	9.5	178	14.4
59	12 14.8	12 16.8	11 41.3	59	4.8	119	9.6	179	14.5
60	12 15.0	12 17.0	11 41.5	60	4.9	120	9.7	180	14.6

49min

POPRAVAK SATNOG KUTA					DRUGI POPRAVAK za satni kut (α, δ) i planeta kao i za 5 ovih nebeskih tijela				
S	Sunca i planeta	Projelne točke	Mjeseca	Δ	popr.	Δ	popr.	Δ	popr.
0	12 15.0	12 17.0	11 41.5	0	0.0	60	5.0	120	9.9
1	12 15.3	12 17.3	11 41.8	1	0.1	61	5.0	121	10.0
2	12 15.5	12 17.5	11 42.0	2	0.2	62	5.1	122	10.1
3	12 15.8	12 17.8	11 42.2	3	0.2	63	5.2	123	10.1
4	12 16.0	12 18.0	11 42.5	4	0.3	64	5.3	124	10.2
5	12 16.3	12 18.3	11 42.7	5	0.4	65	5.4	125	10.3
6	12 16.5	12 18.5	11 42.9	6	0.5	66	5.4	126	10.4
7	12 16.8	12 18.8	11 43.2	7	0.6	67	5.5	127	10.5
8	12 17.0	12 19.0	11 43.4	8	0.7	68	5.6	128	10.6
9	12 17.3	12 19.3	11 43.7	9	0.7	69	5.7	129	10.6
10	12 17.5	12 19.5	11 43.9	10	0.8	70	5.8	130	10.7
11	12 17.8	12 19.8	11 44.1	11	0.9	71	5.9	131	10.8
12	12 18.0	12 20.0	11 44.4	12	1.0	72	5.9	132	10.9
13	12 18.3	12 20.3	11 44.6	13	1.1	73	6.0	133	11.0
14	12 18.5	12 20.5	11 44.9	14	1.2	74	6.1	134	11.1
15	12 18.8	12 20.8	11 45.1	15	1.2	75	6.2	135	11.1
16	12 19.0	12 21.0	11 45.3	16	1.3	76	6.3	136	11.2
17	12 19.3	12 21.3	11 45.6	17	1.4	77	6.4	137	11.3
18	12 19.5	12 21.5	11 45.8	18	1.5	78	6.4	138	11.4
19	12 19.8	12 21.8	11 46.1	19	1.6	79	6.5	139	11.5
20	12 20.0	12 22.0	11 46.3	20	1.7	80	6.6	140	11.6
21	12 20.3	12 22.3	11 46.5	21	1.7	81	6.7	141	11.6
22	12 20.5	12 22.5	11 46.8	22	1.8	82	6.8	142	11.7
23	12 20.8	12 22.8	11 47.0	23	1.9	83	6.8	143	11.8
24	12 21.0	12 23.0	11 47.2	24	2.0	84	6.9	144	11.9
25	12 21.3	12 23.3	11 47.5	25	2.1	85	7.0	145	12.0
26	12 21.5	12 23.5	11 47.7	26	2.1	86	7.1	146	12.1
27	12 21.8	12 23.8	11 48.0	27	2.2	87	7.2	147	12.2
28	12 22.0	12 24.0	11 48.2	28	2.3	88	7.3	148	12.2
29	12 22.3	12 24.3	11 48.4	29	2.4	89	7.3	149	12.3
30	12 22.5	12 24.5	11 48.7	30	2.5	90	7.4	150	12.4
31	12 22.8	12 24.8	11 48.9	31	2.6	91	7.5	151	12.5
32	12 23.0	12 25.0	11 49.2	32	2.6	92	7.6	152	12.5
33	12 23.3	12 25.3	11 49.4	33	2.7	93	7.7	153	12.6
34	12 23.5	12 25.5	11 49.6	34	2.8	94	7.8	154	12.7
35	12 23.8	12 25.8	11 49.9	35	2.9	95	7.8	155	12.8
36	12 24.0	12 26.0	11 50.1	36	3.0	96	7.9	156	12.9
37	12 24.3	12 26.3	11 50.3	37	3.1	97	8.0	157	13.0
38	12 24.5	12 26.5	11 50.6	38	3.1	98	8.1	158	13.0
39	12 24.8	12 26.8	11 50.8	39	3.2	99	8.2	159	13.1
40	12 25.0	12 27.0	11 51.1	40	3.3	100	8.3	160	13.2
41	12 25.3	12 27.3	11 51.3	41	3.4	101	8.3	161	13.3
42	12 25.5	12 27.5	11 51.5	42	3.5	102	8.4	162	13.4
43	12 25.8	12 27.8	11 51.8	43	3.5	103	8.5	163	13.4
44	12 26.0	12 28.0	11 52.0	44	3.6	104	8.6	164	13.5
45	12 26.3	12 28.3	11 52.3	45	3.7	105	8.7	165	13.6
46	12 26.5	12 28.5	11 52.5	46	3.8	106	8.7	166	13.7
47	12 26.8	12 28.8	11 52.7	47	3.9	107	8.8	167	13.8
48	12 27.0	12 29.0	11 53.0	48	4.0	108	8.9	168	13.9
49	12 27.3	12 29.3	11 53.2	49	4.0	109	9.0	169	13.9
50	12 27.5	12 29.5	11 53.4	50	4.1	110	9.1	170	14.0
51	12 27.8	12 29.8	11 53.7	51	4.2	111	9.2	171	14.1
52	12 28.0	12 30.0	11 53.9	52	4.3	112	9.2	172	14.2
53	12 28.3	12 30.3	11 54.2	53	4.4	113	9.3	173	14.3
54	12 28.5	12 30.5	11 54.4	54	4.5	114	9.4	174	14.4
55	12 28.8	12 30.8	11 54.6	55	4.5	115	9.5	175	14.4
56	12 29.0	12 31.1	11 54.9	56	4.6	116	9.6	176	14.5
57	12 29.3	12 31.3	11 55.1	57	4.7	117	9.7	177	14.6
58	12 29.5	12 31.6	11 55.4	58	4.8	118	9.7	178	14.7
59	12 29.8	12 31.8	11 55.6	59	4.9	119	9.8	179	14.8
60	12 30.0	12 32.1	11 55.8	60	5.0	120	9.9	180	14.9

1h 26min

POPRAVAK SATNOG KUTA					DRUGI POPRAVAK za satni kut (α, δ) i planeta kao i za 5 ovih nebeskih tijela				
S	Sunca i planeta	Projelne točke	Mjeseca	Δ	popr.	Δ	popr.	Δ	popr.
0	21 30.0	21 33.6	20 31.2	0	0.0	60			

