



ASTRONOMIJA

pogled kroz teleskop

8. razred osnovne škole

Skripta za pripremu natjecanja

Tri razine natjecanja:

I. Školska • **II.** županijska • **III.** državna

Svaka je razina podijeljena u poglavlja s objašnjenjima, slikama, zanimljivostima i pitanjima za ponavljanje. Odgovori na sva pitanja nalaze se na kraju skripte.

Pogled kroz teleskop

Dobro došao natrag u svemir! Ovo je posljednja postaja na našem osnovnoškolskom putovanju — i u njoj postajemo pravi mali astronomi. Naučit ćeš se sigurno snalaziti na nebeskome svodu, dati svakoj zvijezdi njezinu točnu „adresu” pomoću koordinata, razumjeti zakone po kojima se planeti gibaju oko Sunca (Keplerove zakone) i upoznati spravu kojom astronomi gledaju daleko u svemir — *teleskop*. Astronomija je znanost u kojoj se najljepše stvari vide vlastitim očima — zato ova skripta nije samo za čitanje, nego i za gledanje u nebo.

Gradivo je, kao i samo natjecanje, podijeljeno u tri **razine**, redom prema težini:

- **Školska razina** – orijentacija na nebeskom svodu, elementi putanje planeta te snalaženje na proljetnome nebu.
- **Županijska razina** – dva koordinatna sustava kojima opisujemo položaj tijela na nebu: horizontski i ekvatorski.
- **Državna razina** – Keplerovi zakoni gibanja planeta te građa i vrste optičkih teleskopa (refraktori i reflektori).

U svakom ćeš poglavlju nailaziti na obojene okvire koji ti pomažu da brzo prepoznaš što je važno:

- **Definicija** važan pojam koji treba zapamtiti.
- **Riješeni primjer** proveden zadatak — najprije pokušaj sam, pa provjeri!
- **Zanimljivost** nešto čudesno ili smiješno iz svijeta astronomije.
- **Zadatci** pitanja na kraju poglavlja; odgovori su na kraju skripte.

Savjet za učenje: izađi van za vedre proljetne noći i najprije pronadi Velika kola. Produžiš li zamišljeni luk njihova „repa”, stići ćeš do narančaste Arktura, a zatim do bijele Spike — glavnih zvijezda proljetnoga neba. Imaš li pri ruci dalekozor ili mali teleskop, usmjeri ga prema Mjesecu i njegovim kraterima. Ono što jednom vidiš vlastitim očima, ostaje s tobom zauvijek.

Brojevi za podsjetnik

Za koliko je nagnuta Zemljina os?	oko $23,5^\circ$
Visina nebeskog pola nad obzorom =?	geografska širina mjesta
Koliko planeta ima Sunčev sustav?	8
Treći Keplerov zakon (u AU i godinama):	$T^2 = a^3$
Najbliža točka staze Suncu zove se?	perihel
Najdalja točka staze od Sunca zove se?	afel
Dvije vrste optičkih teleskopa:	refraktor i reflektor
Povećanje teleskopa:	$M = f_{\text{ob}}/f_{\text{ok}}$

Sadržaj

I	Školska razina	3
1	Orijentacija na nebeskom svodu	5
1.1	Nebeska sfera	5
1.2	Glavne točke i crte	5
1.3	Strane svijeta i prividna vrtnja neba	6
2	Elementi putanje planeta	7
2.1	Oblik staze: elipsa, perihel i afel	7
2.2	Elementi putanje	7
3	Astrognozija — proljetno nebo	9
3.1	Snalaženje: „slijedi luk do Arktura”	9
3.2	Proljetni trokut	9
3.2.1	Najsjajnije zvijezde proljetnoga neba	9
3.3	Lav i Djevica	10
II	Županijska razina	11
4	Koordinatni sustavi na nebu	13
4.1	Horizontski koordinatni sustav	13
4.2	Ekvatorski koordinatni sustav	13
4.3	Koji sustav kada?	14
III	Državna razina	16
5	Keplerovi zakoni	18
5.1	Prvi Keplerov zakon (zakon staza)	18
5.2	Drugi Keplerov zakon (zakon površina)	18
5.3	Treći Keplerov zakon (harmonijski zakon)	19
6	Optički teleskopi	21
6.1	Što teleskop radi	21
6.2	Refraktori i reflektori	21
6.3	Objektiv, okular i povećanje	22
	Rješenja zadataka	24
	Rješenja zadataka	25
	Poglavlje 1 — Orijentacija na nebeskom svodu	25
	Poglavlje 2 — Elementi putanje planeta	25
	Poglavlje 3 — Astrognozija (proljetno nebo)	25
	Poglavlje 4 — Koordinatni sustavi na nebu	26
	Poglavlje 5 — Keplerovi zakoni	26

Poglavlje 6 — Optički teleskopi	27
---	----

Dio I

Školska razina

Na školskoj razini učimo se snalaziti na nebu kao na karti: upoznajemo najvažnije točke i crte nebeskoga svoda, naučimo opisati put kojim planet kruži oko Sunca i prepoznati zvijezde proljetnoga neba.

1 | Orijentacija na nebeskom svodu

Kad noću gledamo nebo, čini nam se kao da su sve zvijezde pričvršćene na unutarnju stranu golema svoda iznad nas. Da bismo se na tom svodu snašli, najprije moramo upoznati njegove glavne točke i crte — poput strana svijeta na zemljopisnoj karti.

1.1 Nebeska sfera

Nebeska sfera

Nebeska sfera je zamišljena golema kugla sa središtem u promatraču, na koju kao da su projicirana sva nebeska tijela. Na njoj očitavamo samo *smjerove* u kojima vidimo zvijezde, a ne njihove (vrlo različite) udaljenosti.

Zvijezde, dakako, nisu sve jednako daleko — samo nam se tako čini. Nebeska sfera korisna nam je upravo zato što nam je za snalaženje važan jedino *smjer* u kojem nešto vidimo.

1.2 Glavne točke i crte

Evo najvažnijih oznaka na nebeskome svodu (Slika 1.1):

Točke i crte nebeske sfere

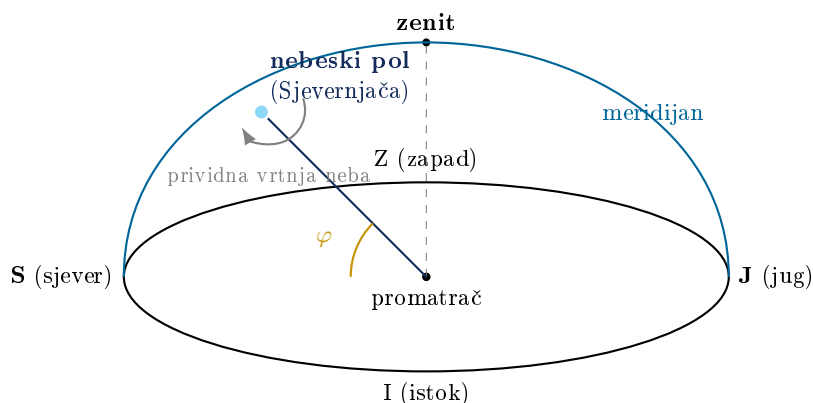
Zenit — točka točno iznad glave; **nadir** — točka točno ispod nogu.

Obzor (horizont) — kružnica na kojoj se nebo prividno spaja sa Zemljom; dijeli vidljivi (gornji) od nevidljivog (donjeg) dijela neba.

Nebeski polovi — dvije točke u kojima zamišljena Zemljina os probada nebo; blizu sjevernoga pola je *Sjevernjača*.

Nebeski meridijan — crta koja ide od sjevera, preko zenita, do juga.

Nebeski ekvator — kružnica nad Zemljinim ekvatorom, koja dijeli nebo na sjevernu i južnu polovicu.



Slika 1.1: Glavne oznake nebeskoga svoda. **Zenit** je točno iznad glave, **obzor** je kružnica oko nas (sa stranama svijeta S, J, I, Z), a **meridijan** crta od sjevera preko zenita do juga. U smjeru sjevera, na visini jednakoj geografskoj širini mjesta (φ), nalazi se **nebeski pol** sa Sjevernjačom; oko njega se nebo prividno okreće tijekom noći.

Sjevernjača i geografska širina

Visina **nebeskog pola** (Sjevernjače) iznad obzora *jednaka je geografskoj širini* mjesta. U Hrvatskoj ($\varphi \approx 45^\circ$) Sjevernjaču vidimo otprilike na pola puta između obzora i zenita.

1.3 Strane svijeta i prividna vrtnja neba

Zbog vrtnje Zemlje od zapada prema istoku, cijela nam se nebeska sfera *prividno* okreće u suprotnom smjeru — od istoka prema zapadu. Zato zvijezde (poput Sunca) „izlaze” na istoku i „zalaze” na zapadu, dok se cijelo nebo polako vrti oko nebeskoga pola. **Sjevernjača** jedina gotovo miruje, jer je tik uz pol — zato nam uvijek vjerno pokazuje *sjever*.

Cirkumpolarne zvijezde

Zvijezde blizu nebeskoga pola nikad ne zalaze — cijele se noći vrte oko Sjevernjače, ne spuštajući se pod obzor. Zovemo ih **cirkumpolarne**. Iz Hrvatske su takve, na primjer, Velika kola i Kasiopeja: možeš ih naći svake vedre noći, u bilo koje doba godine.

Primjer 1.1

Na kojoj približno visini iznad sjevernog obzora vidimo Sjevernjaču ako smo u Zagrebu ($\varphi \approx 45,8^\circ$)?

Rješenje: visina nebeskog pola jednaka je geografskoj širini, pa je Sjevernjača na visini od oko 46° iznad sjevernog obzora — otprilike na pola puta između obzora i zenita.

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Što je nebeska sfera? Očitavamo li na njoj udaljenosti ili smjerove?
2. Što je zenit, a što nadir?
3. Što je obzor (horizont)? Što dijeli?
4. Što je nebeski meridijan? Koje strane svijeta spaja?
5. Što su nebeski polovi? Koja se zvijezda nalazi blizu sjevernoga pola?
6. Čemu je jednaka visina nebeskog pola iznad obzora? Na kojoj je visini Sjevernjača u Hrvatskoj?
7. Zašto nam se čini da se cijelo nebo tijekom noći okreće? U kojem smjeru?
8. Što su cirkumpolarne zvijezde? Navedi jedan primjer.
9. (*Razmisli*) Kad bi stajao točno na sjevernom polu Zemlje ($\varphi = 90^\circ$), gdje bi se na nebu nalazila Sjevernjača?

2 | Elementi putanje planeta

Planeti kruže oko Sunca, ali ne po savršenim kružnicama — njihove su staze **elipse** (blago izdužene kružnice). Da bismo neku stazu potpuno opisali, dovoljno je znati nekoliko brojeva. Te brojeve zovemo **elementi putanje**.

2.1 Oblik staze: elipsa, perihel i afel

Elipsa i žarište

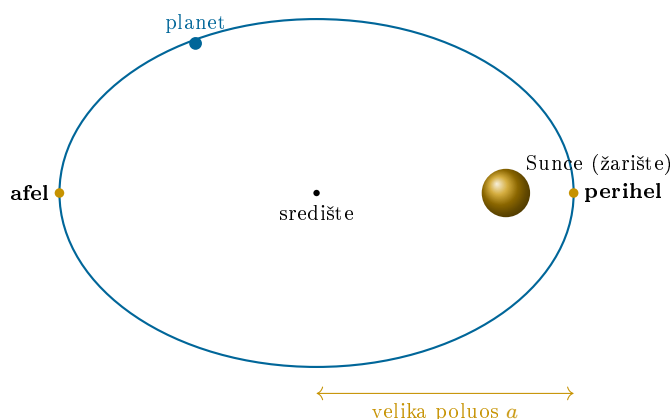
Elipsa je zatvorena krivulja nalik blago spljoštenoj kružnici. Ima dvije posebne točke — *žarišta*. Po prvom Keplerovu zakonu (o kojem više na državnoj razini) **Sunce se nalazi u jednom žarištu** planetove elipse.

Budući da Sunce nije u središtu elipse nego pomaknuto u jedno žarište, planet je nekad bliže Suncu, a nekad dalje:

Perihel i afel

Perihel je točka staze *najbliža* Suncu.

Afel je točka staze *najdalja* od Sunca.



Slika 2.1: Staza planeta je elipsa, sa Suncem u jednom žarištu. **Perihel** je najbliža, a **afel** najdalja točka staze od Sunca. Polovica najdulje crte elipse zove se **velika poluos a** — ona govori koliko je staza velika.

2.2 Elementi putanje

Stazu planeta opisujemo s nekoliko brojeva. Za 8. razred dovoljno je razumjeti ova četiri:

Glavni elementi putanje

Velika poluos a — *veličina* staze (polovica najdulje crte elipse). Govori koliko je planet u prosjeku daleko od Sunca.

Ekscentricitet e — *oblik* staze: koliko je elipsa izdužena. Za $e = 0$ staza je savršena kružnica; što je e veći (bliže 1), staza je spljoštenija.

Nagib (inklinacija) i — koliko je ravnina staze *nagnuta* u odnosu na ravninu Zemljine staze (ekliptiku).

Ophodno vrijeme T — koliko planetu treba da *jednom* obiđe Sunce.

Staze velikih planeta vrlo su *slabo* izdužene — gotovo su kružne (mali e) i leže gotovo u istoj ravnini (mali nagib). Zato sve planete na nebu uvijek nalazimo blizu ekliptike. Kometi su, naprotiv, često na vrlo izduženim stazama (veliki e), pa zalaze duboko u Sunčev sustav i opet odlaze daleko od njega.

Najizduženije i najnagnutije staze

Među planetima najizduženiju stazu (najveći e) ima **Merkur**, a Zemljina je staza gotovo savršena kružnica. Patuljasti planet **Pluton** ima i osjetno izduženu i osjetno nagnutu stazu — toliko da na dijelu svoje putanje bude bliže Suncu nego Neptun!

Primjer 2.1

Staza nekog planeta gotovo je savršena kružnica. Što možeš reći o njezinu ekscentricitetu e te o udaljenostima u perihelu i afelu?

Rješenje: ekscentricitet je vrlo **malen** (blizu 0). Kako Sunce tada leži gotovo u središtu, planet je u perihelu i afelu *približno jednako* daleko od Sunca — udaljenost se tijekom obilaska jedva mijenja.

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Po kakvoj se krivulji planeti gibaju oko Sunca? Nalazi li se Sunce u središtu te krivulje?
2. Što je perihel, a što afel?
3. Što opisuje velika poluos a staze?
4. Što nam govori ekscentricitet e ? Kakva je staza kad je $e = 0$?
5. Što je nagib (inklinacija) staze i prema čemu ga mjerimo?
6. Što je ophodno vrijeme T ?
7. Jesu li staze velikih planeta jako izdužene ili gotovo kružne? Zašto ih zato uvijek vidimo blizu ekliptike?
8. (*Razmisli*) Komet ima vrlo velik ekscentricitet. Opiši kako se mijenja njegova udaljenost od Sunca tijekom jednog obilaska.

3 | Astrognozija — proljetno nebo

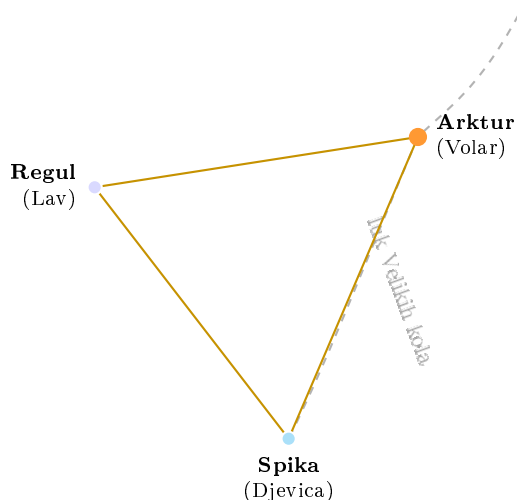
Zbog Zemljina kruženja oko Sunca navečer u svakom godišnjem dobu gledamo u drugi dio svemira, pa se zvijezda izmjenjuju. Nakon zimskoga i ljetnoga neba upoznajmo i **proljetno** nebo — doba kada visoko izlaze Lav, Djevica i Volar.

3.1 Snalaženje: „slijedi luk do Arktura”

Proljetno nebo najlakše je „otključati” pomoću **Velikih kola**, koja su u proljeće visoko. Produžiš li zamišljeni *luk* njihova „repa” (ručke), stićeš do sjajne narančaste zvijezde **Arktur** u zvijezdu Volar. Nastaviš li istim lukom dalje, dolaziš do bijele **Spika** u Djevici. Astronomi to pravilo pamte kao: „*slijedi luk do Arktura, pa pravo do Spike*”.

3.2 Proljetni trokut

Tri sjajne zvijezde iz triju zvijezda tvore velik lik proljetnoga neba — **Proljetni trokut**: **Arktur** (Volar), **Spika** (Djevica) i **Regul** (Lav).



Slika 3.1: Proljetni trokut. Produžiš li zamišljeni luk „repa” Velikih kola (isprekidana crta), stižeš najprije do narančaste **Arktura** (Volar), a zatim do bijele **Spika** (Djevica). S **Regulom** (Lav) one tvore velik Proljetni trokut.

3.2.1 Najsjajnije zvijezde proljetnoga neba

Zvijezda	Boja	Zviježđe	Po čemu se pamti
Arktur	narančasta	Volar	vrh Proljetnog trokuta, vrlo sjajna
Spika	bijelo-plava	Djevica	nalaziš je „nizom luka” od Arktura
Regul	bijelo-plava	Lav	„srce” Lava, u dnu glave-srpa

Tablica 3.1: Najsjajnije zvijezde proljetnoga neba. Narančasti Arktur jedna je od najsjajnijih zvijezda cijeloga neba; Regul leži gotovo na ekliptici, pa ga povremeno posjete Mjesec i planeti.

3.3 Lav i Djevica

Lav (Leo) lako se prepoznaje: skupina njegovih zvijezda u obliku obrnutog upitnika (ili „srpa”) tvori lavlju glavu i grivu, a na dnu toga srpa blista **Regul**. **Djevica** (Virgo) je veliko, ali slabije zvijezde; njezina najsjajnija zvijezda je upravo **Spika**. Oba leže blizu ekliptike, pa kroz njih putuju Sunce, Mjesec i planeti.

Proljeće — doba galaksija

U proljeće navečer gledamo *dalje* od trake Mliječne staze, ravno „uvis” iz naše galaksije — prema dubokom svemiru. Zato je proljetno nebo bogato **dalekim galaksijama**: u smjeru Djevice i susjedne Berenikine kose krije se golemo *Djevičino jato*, skupina od više tisuća galaksija. Golim ih okom ne vidimo, ali kroz teleskop proljeće je najbolje doba za „lov na galaksije”.

Primjer 3.1

Pronašao si Velika kola i želiš pronaći Arktur. Kako ćeš to učiniti?

Rješenje: produžiš zamišljeni **luk „repa”** (ručke) Velikih kola dalje od kutije. Taj te luk vodi ravno do sjajne narančaste zvijezde **Arktur** u Volaru. Nastaviš li istim lukom, stižeš do **Spike**.

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Zašto se zvijezda mijenjaju s godišnjim dobima?
2. Kako pomoću Velikih kola pronaći Arktur, a zatim Spiku? Kako glasi to pravilo?
3. Koje zvijezde čine Proljetni trokut i iz kojih su zvijezda?
4. Koje je boje Arktur, a koje Spika i Regul?
5. Po čemu se prepoznaje zvijezde Lav? Koja mu je najsjajnija zvijezda?
6. Koja je najsjajnija zvijezda Djevice?
7. Zašto je proljeće dobro doba za promatranje dalekih galaksija kroz teleskop?
8. (*Nacrtaj*) Nacrtaj Proljetni trokut i označi koja je zvijezda u kojem kutu te kojem zvijezdu pripada.

Dio II

Županijska razina

Kako prijatelju opisati gdje točno na nebu da gleda? Kao što svako mjesto na Zemlji ima svoju „adresu” (geografsku širinu i dužinu), tako i svako tijelo na nebu možemo opisati brojevima — koordinatama. Upoznat ćemo dva najvažnija nebeska koordinatna sustava: horizontski i ekvatorski.

4 | Koordinatni sustavi na nebu

Položaj zvijezde na nebu opisujemo s *dva* kuta — baš kao što položaj grada na Zemlji opisujemo geografskom širinom i dužinom. Postoji više načina da to učinimo; razlikuju se po tome od koje crte mjerimo. Upoznat ćemo dva: **horizontski** (vezan uz nas i naš trenutak) i **ekvatorski** (vezan uz nebo, pa stalan).

4.1 Horizontski koordinatni sustav

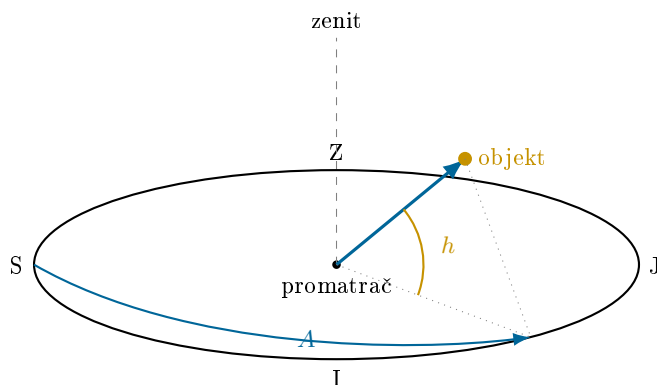
Najprirodnije je položaj opisati prema onome što vidimo oko sebe — prema obzoru i točki iznad glave.

Horizontske koordinate

Visina h — kut objekta *iznad obzora*, od 0° (na obzoru) do 90° (u zenitu).

Azimut A — kut *duž obzora*, mjereno od sjevera prema istoku (0° = sjever, 90° = istok, 180° = jug, 270° = zapad).

Umjesto visine katkad se rabi **zenitna udaljenost** $z = 90^\circ - h$.



Slika 4.1: Horizontski sustav. **Visina** h mjeri se okomito od obzora do objekta, a **azimut** A vodoravno duž obzora (od sjevera preko istoka). Te se koordinate stalno mijenjaju jer se nebo prividno okreće — ovise o mjestu i trenutku promatranja.

Horizontske su koordinate vrlo zorne, ali imaju nedostatak: **stalno se mijenjaju**. Kako se nebo tijekom noći okreće, ista zvijezda neprestano mijenja i visinu i azimut; k tome, s različitih mjesta na Zemlji ima različite vrijednosti. Zato nisu pogodne za popisivanje (kataloge) zvijezda.

4.2 Ekvatorski koordinatni sustav

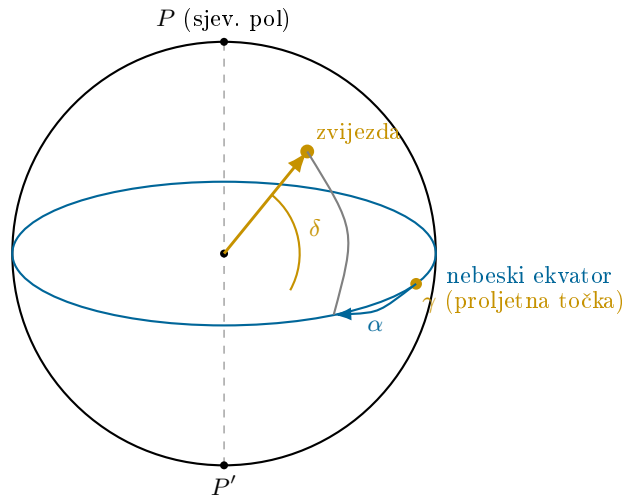
Da bismo zvijezdama dali *stalne* koordinate, vežemo sustav uz samu nebesku sferu, a ne uz promatrača. Zamislimo da Zemljin ekvator i Zemljinu os projiciramo na nebo — tako dobivamo **nebeski ekvator** i **nebeske polove**.

Ekvatorske koordinate

Deklinacija δ — kutna udaljenost objekta od nebeskog ekvatora, od -90° (južni pol) do $+90^\circ$ (sjeverni pol). Slična je geografskoj *širini*.

Rektascenzija α — kut duž nebeskog ekvatora, mjereno od *proljetne točke* γ prema istoku.

Slična je geografskoj *dužini*.



Slika 4.2: Ekvatorski sustav. **Deklinacija** δ mjeri se od nebeskog ekvatora prema polu (kao geografska širina), a **rektascenzija** α duž ekvatora od proljetne točke γ (kao geografska dužina). Kako su vezane uz nebo, ostaju (gotovo) stalne — zato se rabe u katalozima zvijezda.

4.3 Koji sustav kada?

	Horizontski	Ekvatorski
Od čega mjerimo?	od obzora	od nebeskog ekvatora
Koordinate	visina h , azimut A	deklinacija δ , rektascenzija α
Vezan uz	promatrača i trenutak	nebesku sferu
Mijenja li se?	da, stalno	ne (gotovo stalan)
Čemu služi?	„gdje gledati sada”	katalozi, navođenje teleskopa

Tablica 4.1: Usporedba dvaju sustava. Horizontski je zoran i govori gdje objekt vidimo *u ovom trenutku*; ekvatorski daje zvijezdama stalnu „adresu”, pa se rabi u katalozima i za navođenje teleskopa.

Dva sustava ukratko

Horizontski: osnovna crta je *obzor*; koordinate visina h i azimut A ; mijenja se s mjestom i vremenom.

Ekvatorski: osnovna crta je *nebeski ekvator*; koordinate deklinacija δ i rektascenzija α ; (gotovo) stalan, pa služi za kataloge.

Primjer 4.1

Zvijezda se nalazi točno u zenitu. Kolika joj je visina h , a kolika zenitna udaljenost z ?

Rješenje: u zenitu je visina najveća moguća, $h = 90^\circ$. Zenitna udaljenost je $z = 90^\circ - h = 90^\circ - 90^\circ = 0^\circ$ — objekt je točno iznad glave.

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Zašto položaj na nebu opisujemo s dva kuta? S čime je to slično na Zemlji?
2. Što je visina h , a što azimut A u horizontskom sustavu? Koliki je azimut sjevera, a koliki juga?
3. Što je zenitna udaljenost z i kako je povezana s visinom?
4. Zašto se horizontske koordinate neke zvijezde stalno mijenjaju?
5. Što je deklinacija δ , a što rektascenzija α ? S kojim su zemljopisnim koordinatama slične?
6. Od koje točke mjerimo rektascenziju?
7. Zašto su ekvatorske koordinate pogodne za kataloge zvijezda, a horizontske nisu?
8. Koji bi sustav upotrijebio (a) da popišeš položaje zvijezda u katalogu, (b) da kažeš prijatelju gdje da odmah pogleda na nebu?
9. (*Razmisli*) Zvijezda ima visinu $h = 0^\circ$. Gdje se na nebu nalazi i što se s njom upravo događa (izlazi ili zalazi)?

Dio III

Državna razina

Na državnoj razini ulazimo u srce astronomije. Najprije ćemo upoznati tri **Keplerova zakona** — pravila po kojima se svi planeti gibaju oko Sunca. Zatim ćemo razumjeti kako radi **teleskop**, sprava kojom astronomi vide daleko u svemir, i po čemu se razlikuju njegove dvije glavne vrste.

5 | Keplerovi zakoni

Kako se planeti gibaju oko Sunca? Stoljećima se mislilo da se kreću po savršenim kružnicama. Tek je početkom 17. stoljeća **Johannes Kepler**, proučavajući vrlo točna mjerenja zvjezdara Tycha Brahea, otkrio *tri zakona* koji točno opisuju gibanje planeta. Ti zakoni vrijede i danas — za planete, komete, mjesece, pa i umjetne satelite.

5.1 Prvi Keplerov zakon (zakon staza)

Prvi Keplerov zakon

Svaki se planet giba oko Sunca po **elipsi**, pri čemu se **Sunce nalazi u jednom žarištu** te elipse.

To znači da staza nije kružnica sa Suncem u sredini, nego elipsa sa Suncem pomaknutim u žarište — zato planet ima najbližu točku (perihel) i najdalju točku (afel), kao što smo vidjeli u Slici 2.1. Veličinu staze opisuje **velika poluos** a , a koliko je izdužena — **ekscentricitet** e .

Perihel, afel i velika poluos

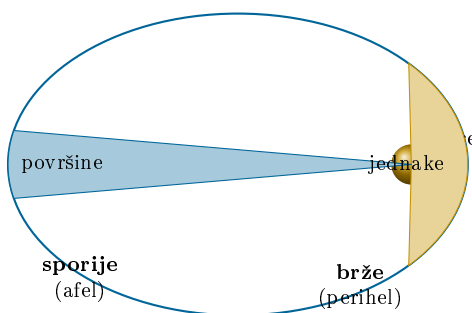
Zbroj najmanje i najveće udaljenosti od Sunca jednak je dvjema velikim poluosima:

$$r_p + r_a = 2a \quad \Rightarrow \quad a = \frac{r_p + r_a}{2}.$$

5.2 Drugi Keplerov zakon (zakon površina)

Drugi Keplerov zakon

Spojnica planeta i Sunca u **jednakim vremenima prebriše jednake površine**. Posljedica: planet se giba **brže kad je blizu Sunca** (u perihelu), a **sporije kad je daleko** (u afelu).



Slika 5.1: Drugi Keplerov zakon. U jednakom vremenu spojnica planeta i Sunca prebriše jednaku *površinu*. Zato je planet brži kad je blizu Sunca (perihel), a sporiji kad je daleko (afel). Obje su osjenčane površine jednake, iako je jedna „kratka i široka”, a druga „duga i uska”.

5.3 Treći Keplerov zakon (harmonijski zakon)

Treći Keplerov zakon

Kvadrat ophodnoga vremena planeta razmjeran je **kubu** velike poluosi njegove staze. Izrazimo li ophodno vrijeme T u godinama, a veliku poluos a u astronomskim jedinicama, zakon poprima vrlo jednostavan oblik:

$$\boxed{T^2 = a^3} \quad (T \text{ u godinama, } a \text{ u AU}).$$

To je čaroban mali alat: znaš li koliko je planet daleko od Sunca, možeš izračunati koliko mu treba da ga obiđe — i obrnuto. Što je planet dalji, to mu je godina dulja.

Tri Keplerova zakona ukratko

1. **zakon (staze):** planeti se gibaju po elipsama; Sunce je u žarištu.
2. **zakon (površine):** brže blizu Sunca, sporije daleko (jednake površine u jednakom vremenu).
3. **zakon (harmonijski):** $T^2 = a^3$ (T u godinama, a u AU).

Primjer 5.1

Planet ima veliku poluos staze $a = 4$ AU. Koliko mu je ophodno vrijeme oko Sunca?

Rješenje: iz $T^2 = a^3$:

$$T^2 = 4^3 = 64 \Rightarrow T = \sqrt{64} = 8 \text{ godina.}$$

Primjer 5.2

Komet ima ophodno vrijeme $T = 27$ godina. Kolika mu je velika poluos?

Rješenje: iz $a^3 = T^2$:

$$a^3 = 27^2 = 729 \Rightarrow a = \sqrt[3]{729} = 9 \text{ AU.}$$

Primjer 5.3

Planet ima perihel $r_p = 2$ AU i afel $r_a = 6$ AU. Izračunaj veliku poluos a i ophodno vrijeme T .

Rješenje: najprije velika poluos:

$$a = \frac{r_p + r_a}{2} = \frac{2 + 6}{2} = 4 \text{ AU,}$$

a zatim iz trećega zakona $T^2 = a^3 = 64$, dakle $T = 8$ godina.

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Iskaži sva tri Keplerova zakona svojim riječima.
2. Po kakvoj se krivulji giba planet i gdje se nalazi Sunce?
3. Gdje se planet giba brže — u perihelu ili u afelu? Koji to zakon opisuje?

4. Napiši treći Keplerov zakon u jednostavnom obliku (u godinama i AU).
5. Planet ima veliku poluos $a = 9$ AU. Koliko mu je ophodno vrijeme?
6. Asteroid obiđe Sunce za $T = 8$ godina. Kolika mu je velika poluos staze?
7. Planet ima perihel $r_p = 1$ AU i afel $r_a = 3$ AU. Izračunaj veliku poluos a .
8. (*Izazov*) Koliko je ophodno vrijeme planeta iz prethodnog zadatka? (*Uputa: najprije nadi a , pa uvrsti u $T^2 = a^3$.*)

6 | Optički teleskopi

Golim okom vidimo samo najsjajnije zvijezde i tek poneki detalj. **Teleskop** nam pomaže na dva načina: skuplja mnogo *više svjetlosti* od oka (pa vidimo i slabe, daleke objekte) i *povećava* sliku (pa vidimo sitne detalje). Zato je teleskop najvažnija astronomova sprava.

6.1 Što teleskop radi

Dvije glavne zadaće teleskopa

Skupljanje svjetlosti — veliki „otvor” teleskopa (objektiv) sakuplja mnogo više svjetla od zjenice oka, pa vidimo slabija tijela. Što je objektiv *širi* (većeg promjera), to teleskop skuplja više svjetla.

Povećanje — teleskop pod većim kutom prikazuje objekt, pa razabiremo detalje (npr. Mjesečeve kratere ili Saturnove prstenove).

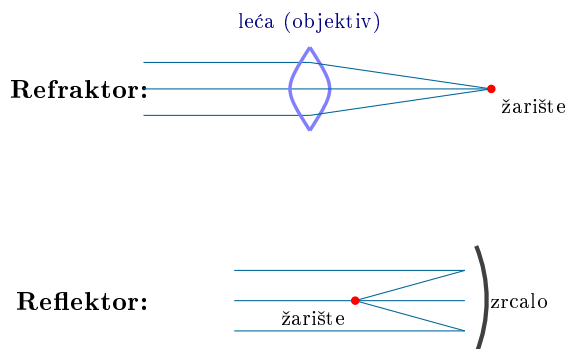
6.2 Refraktori i reflektori

Prema tome *čime* skupljaju svjetlost, optički se teleskopi dijele na dvije osnovne vrste:

Refraktor i reflektor

Refraktor (lećni teleskop) skuplja svjetlost *lećom* (objektivom) i lomi je u žarište.

Reflektor (zrcalni teleskop) skuplja svjetlost udubljenim *zrcalom*, koje je odbija u žarište.



Slika 6.1: Dvije vrste teleskopa. **Refraktor** svjetlost *lomi* lećom, a **reflektor** je *odbija* udubljenim zrcalom; oba je skupljaju u žarište. Veliki su teleskopi gotovo uvijek reflektori jer su velika zrcala mnogo praktičnija od velikih leća.

Zašto su veliki teleskopi reflektori?

Velika leća teška je, skupa i može se poduprijeti samo po rubu (pa se pod svojom težinom savija). K tome različite boje svjetla lomi malo drukčije, pa nastaje obojeni rub oko slike. Veliko zrcalo nema tih mana: lakše je, jeftinije, može se poduprijeti sa stražnje strane i sve boje odbija jednako. Zato su svi najveći teleskopi na svijetu — *reflektori*.

6.3 Objektiv, okular i povećanje

Teleskop ima dvije glavne optičke dijelove: **objektiv** (velika leća ili zrcalo koje skuplja svjetlost, žarišne duljine f_{ob}) i **okular** (manja leća kroz koju gledamo, žarišne duljine f_{ok}).

Kutno povećanje

Povećanje teleskopa jednako je omjeru žarišnih duljina objektiva i okulara:

$$M = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}}$$

Mijenjajući okular mijenjamo povećanje: *manji* okular (manji f_{ok}) daje *veće* povećanje. Što je povećanje veće, to je **vidno polje** (komad neba koji vidimo) manje — vidimo manje neba, ali izbliza. Zato za velike objekte (npr. maglice) biramo manje povećanje, a za sitne detalje (planeti) veliko.

Povećanje ima granicu

Povećanje se ne može povećavati bez kraja. Iznad otprilike $2\times$ promjera objektiva (u milimetrima) slika postaje samo veća i mutnija, bez novih detalja. Koliko detalja teleskop zaista pokazuje, određuje *promjer objektiva*, a ne sam iznos povećanja.

Teleskop ukratko

Dvije vrste: refraktor (leća) i reflektor (zrcalo).

Skuplja svjetlost — veći promjer objektiva $\Rightarrow$ vidimo slabije objekte.

Povećanje: $M = f_{\text{ob}}/f_{\text{ok}}$; manji okular $\Rightarrow$ veće povećanje.

Primjer 6.1

Teleskop ima objektiv žarišne duljine $f_{\text{ob}} = 1200$ mm. Koje povećanje daje s okularom od (a) 25 mm, (b) 10 mm?

Rješenje:

$$(a) \quad M = \frac{1200}{25} = 48\times, \quad (b) \quad M = \frac{1200}{10} = 120\times.$$

Manji okular daje veće povećanje.

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Na koja dva načina teleskop pomaže oku?
2. Po čemu se razlikuju refraktor i reflektor? Čime svaki skuplja svjetlost?
3. Zašto su svi najveći teleskopi reflektori, a ne refraktori?
4. Koja dva glavna optička dijela ima teleskop? Čemu služi svaki?
5. Napiši formulu za povećanje teleskopa. Daje li manji okular veće ili manje povećanje?
6. Što se događa s vidnim poljem kad povećavamo povećanje? Koje povećanje biramo za promatranje velike maglice?

7. Teleskop ima $f_{\text{ob}} = 1000$ mm i okular $f_{\text{ok}} = 20$ mm. Izračunaj povećanje.
8. (*Razmisli*) Dva teleskopa daju isto povećanje, ali jedan ima dvostruko širi objektiv. Koji će pokazati slabije (tamnije) zvijezde i zašto?

Rješenja zadataka

Ovdje su odgovori na sva pitanja za ponavljanje, poredani po poglavljima. Najprije pokušaj sam odgovoriti, pa provjeri — tako ćeš najviše naučiti!

Poglavlje 1 — Orijentacija na nebeskom svodu

1. **Nebeska sfera** je zamišljena golema kugla sa središtem u promatraču, na koju projiciramo sva nebeska tijela. Na njoj očitavamo **smjerove**, ne udaljenosti.
2. **Zenit** je točka točno iznad glave; **nadir** točka točno ispod nogu.
3. **Obzor (horizont)** je kružnica na kojoj se nebo prividno spaja sa Zemljom; dijeli vidljivi (gornji) od nevidljivog (donjeg) dijela neba.
4. **Nebeski meridijan** je crta od sjevera, preko zenita, do juga — spaja **sjever i jug**.
5. **Nebeski polovi** su točke u kojima zamišljena Zemljina os probada nebo. Blizu sjevernoga pola je **Sjevernjača**.
6. Visina nebeskog pola jednaka je **geografskoj širini** mjesta. U Hrvatskoj ($\varphi \approx 45^\circ$) Sjevernjača je na visini od oko 45° — otprilike na pola puta između obzora i zenita.
7. Jer se *Zemlja* vrti (od zapada prema istoku), pa nam se cijelo nebo prividno okreće u suprotnom smjeru — **od istoka prema zapadu**.
8. **Cirkumpolarne** su zvijezde koje nikad ne zalaze — cijele se noći vrte oko Sjevernjače, ne spuštajući se pod obzor. Primjer: Velika kola (ili Kasiopeja).
9. Bila bi točno u **zenitu** (iznad glave), na visini 90° — jer je visina pola jednaka geografskoj širini, a ondje je $\varphi = 90^\circ$.

Poglavlje 2 — Elementi putanje planeta

1. Po **elipsi** (blago izduženoj kružnici). Sunce **nije** u središtu — nalazi se u jednom *žarištu*.
2. **Perihel** je točka staze najbliža Suncu; **afel** točka najdalja od Sunca.
3. Velika poluos a opisuje **veličinu** staze (polovica najdulje crte elipse) — koliko je planet u prosjeku daleko od Sunca.
4. Ekscentricitet e govori koliko je staza **izdužena** (spljoštena). Kad je $e = 0$, staza je **savršena kružnica**.
5. **Nagib (inklinacija)** je koliko je ravnina staze nagnuta; mjerimo ga u odnosu na ravninu Zemljine staze — **ekliptiku**.
6. Ophodno vrijeme T je vrijeme koje planetu treba da **jednom obiđe** Sunce.
7. Gotovo su **kružne** (mali ekscentricitet) i leže gotovo u istoj ravnini (mali nagib). Zato ih na nebu uvijek nalazimo blizu ekliptike.
8. Komet se zbog velikog ekscentriciteta jako približi Suncu (u perihelu), a zatim ode vrlo daleko (u afelu) — udaljenost mu se tijekom obilaska **jako mijenja**.

Poglavlje 3 — Astronozija (proljetno nebo)

1. Jer Zemlja kruži oko Sunca, pa navečer u svakom godišnjem dobu gledamo u drugi dio svemira — zvijezda se izmjenjuju.

2. Produžiš zamišljeni **luk „repa”** (ručke) Velikih kola: vodi te do **Arktura**, a nastavljanjem do **Spike**. Pravilo glasi: „*slijedi luk do Arktura, pa pravo do Spike*”.
3. **Arktur** (Volar), **Spika** (Djevica) i **Regul** (Lav).
4. Arktur je **narančast**, a Spika i Regul **bijelo-plavi**.
5. Lav se prepoznaje po skupini zvijezda u obliku obrnutog upitnika („srpa”), koja čini glavu i grivu. Najsjajnija mu je zvijezda **Regul**.
6. Najsjajnija zvijezda Djevice je **Spika**.
7. Jer tada gledamo *dalje* od trake Mliječne staze, prema dubokom svemiru, gdje je mnogo dalekih galaksija (npr. Djevičino jato).
8. (Crtež.) Trokut s Arkturom (Volar) i Regulom (Lav) gore te Spikom (Djevica) dolje.

Poglavlje 4 — Koordinatni sustavi na nebu

1. Jer je nebo (poput Zemljine površine) zakrivljeno, pa je za jednoznačan položaj potrebno **dva kuta**. Na Zemlji su to geografska **širina i dužina**.
2. **Visina** h je kut iznad obzora; **azimut** A je kut duž obzora (od sjevera prema istoku). Azimut sjevera je 0° , a juga 180° .
3. **Zenitna udaljenost** z je kut od zenita do objekta; vrijedi $z = 90^\circ - h$.
4. Jer se nebo prividno okreće (zbog Zemljine vrtnje), pa zvijezda neprestano mijenja visinu i azimut; k tome se vrijednosti razlikuju od mjesta do mjesta.
5. **Deklinacija** δ je kutna udaljenost od nebeskog ekvatora (slična geografskoj *širini*); **rektascenzija** α je kut duž ekvatora od proljetne točke (slična geografskoj *dužini*).
6. Od **proljetne točke** γ .
7. Jer su vezane uz nebesku sferu, pa ostaju (**gotovo**) **stalne** — ne mijenjaju se s mjestom ni vremenom. Horizontske se stalno mijenjaju, pa nisu prikladne za popise.
8. (a) **ekvatorski** (stalne koordinate za katalog); (b) **horizontski** (gdje odmah pogledati na nebu).
9. Nalazi se točno na **obzoru** ($h = 0^\circ$) — upravo **izlazi ili zalazi**.

Poglavlje 5 — Keplerovi zakoni

1. **1.** Planeti se gibaju po elipsama, sa Suncem u jednom žarištu. **2.** U jednakim vremenima spojnica planeta i Sunca prebriše jednake površine (brže blizu Sunca, sporije daleko). **3.** $T^2 = a^3$ (u godinama i AU).
2. Po **elipsi**; Sunce je u jednom **žarištu** te elipse.
3. U **perihelu** (blizu Sunca) planet se giba brže. To opisuje **drugi** Keplerov zakon (zakon površina).
4. $T^2 = a^3$, gdje je T u godinama, a a u astronomskim jedinicama (AU).
5. Iz $T^2 = a^3 = 9^3 = 729$, slijedi $T = \sqrt{729} = 27$ godina.
6. Iz $a^3 = T^2 = 8^2 = 64$, slijedi $a = \sqrt[3]{64} = 4$ AU.

7. $a = \frac{r_p + r_a}{2} = \frac{1 + 3}{2} = 2 \text{ AU}.$

8. Iz prethodnog je $a = 2 \text{ AU}$, pa $T^2 = a^3 = 2^3 = 8$, dakle $T = \sqrt{8} \approx 2,8$ godine.

Poglavlje 6 — Optički teleskopi

1. Teleskop **skuplja više svjetlosti** od oka (pa vidimo slabija tijela) i **povećava** sliku (pa vidimo sitne detalje).
2. **Refraktor** skuplja svjetlost *lećom* (objektivom) i lomi je u žarište; **reflektor** je skuplja udubljenim *zrcalom* koje je odbija u žarište.
3. Jer su velika **zrcala** mnogo praktičnija od velikih leća: lakša su, jeftinija, mogu se poduprijeti sa stražnje strane i sve boje odbijaju jednako (nema obojenog ruba).
4. **Objektiv** (velika leća ili zrcalo) skuplja svjetlost; **okular** je manja leća kroz koju gledamo (uvećava sliku iz žarišta).
5. $M = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}}$. **Manji** okular daje **veće** povećanje.
6. Vidno polje postaje **manje** (vidimo manji komad neba). Za veliku maglicu biramo **manje** povećanje (šire vidno polje).
7. $M = \frac{1000}{20} = 50\times$.
8. **Onaj sa širim objektivom** — veći promjer skuplja više svjetlosti, pa pokazuje slabije (tamnije) zvijezde. Povećanje pritom ne pomaže skupljanju svjetla.