

Ob listanju poljudnih knjig se astronomija zdi kot nekakšna pravljica o nebu. Mitološka ozvezdja, čudovite meglice, razburkani planeti, črne luknje, nastanek vesolja in kar je še takega daje vtis, da je nebo nad nami zakladnica čudes in fantastičnih pojavov. Toda astronomska spoznanja temeljijo na opazovanjih, ki so največkrat mukotrpna, zahtevna in dolgotrajna. Še na videz enostavna določitev položaja nebesnih teles ali pa meritev njihovega sija se izkaže za zapleten problem. Šele ko se lotimo konkretnih opazovanj in meritev se zavemo, koliko dela moramo vložiti za vsak najmanjši korak v astronomijo. Kljub temu si osnove astronomskih opazovanj lahko pridobimo na igriv način. Z enostavnimi pripravami, ki jih po večini lahko izdelamo kar sami, je mogoče narediti marsikatero zanimivo opazovanje. Čeprav se zdijo nekatere astronomske "igrice" otroško lahke, so te lahko najvažnejši korak v praktična znanja, v osnove astronomije. Nadgradnja in prehod na bolj zapletena poglavja so zato lahko mnogo lažja. Rubrika Astronomska merjenja je namenjena začetnikom oziroma učencem osnovnih in srednjih šol, ki bi radi spoznali nekatere osnove astronomskih opazovanj. Primerna je za aktivnosti v astronomskih krožkih, za popestritev pouka fizike oziroma astronomije in za samostojno delo.

Križna palica

Andrej Guštin

Križna palica je enostaven astronomski instrument, s katerim merimo kote med nebesnimi telesoma, na morju pa njihovo višino nad obzorjem. Z njo sta aleksandrijska astronom Aristil in Timoharis okrog leta 284 pred našim štetjem naredila katalog svetlejših zvezd. Nekaj desetletij kasneje je Aristarh s križno palico meril položaje in navidezno velikost Sonca in Lune. Pomorščaki in ribiči so jo uporabljali do konca devetnajstega stoletja.

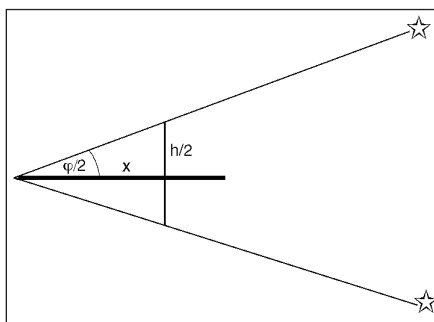
Križna palica je v principu sestavljena iz daljšega vodila z merilom in krajše drsne prečke. Kot med dvema nebesnima telesoma izmerimo tako, da en konec vodila prislonimo na ličnico tik pod očesom, prečko pa premaknemo v tako lego, da želena objekta vidimo tik ob koncih prečke. Enostavna trigonometrija nam pove, da je razmerje med polovico dolžine prečne palice ($h/2$) in njeno oddaljenostjo od očesa (x) enako tangensu polovičnega kota med nebesnima telesoma:

$$\operatorname{tg}(\varphi/2) = (h/2)/x$$

Kot med telesoma je torej:

$$\varphi = 2 \operatorname{arc\,tg}(h/2x)$$

Ker je dolžina prečke stalna, lahko z odčitavanjem njene lege (x) od očesa izračunamo kot (φ). Navadno je vodilna palica opremlje-



na z merilom ali kar z oznakami za kote. Merilo v kotih je priročajše, saj ne zahteva dodatnega preračunavanja, vendar je njegova izdelava bolj zapletena. Tako merilo ni linearno, saj tangens kota ni sorazmeren z razdaljo med očesom in prečko. Najprikladneje je, če je vodilo opremljeno kar z merskim trakom z milimetrsko natančnostjo. Opazovalec si zapiše izmerjene vrednosti (x) kar v milimetrih in jih kasneje po zgornji enačbi preračuna v kote.

Križna palica ima lahko več različno dolgih prečk, ki jih po potrebi zamenjujemo. Za manjše kotne razdalje navadno izberemo krajšo, za večje pa daljšo prečno palico. Tako izboljšamo natančnost meritev. Dolžina vodila je lahko poljubna, toda za samostojno rabo naj ne bo daljša od enega metra, sicer z roko prečke v skrajni legi ne moremo več doseči. Pri merjenju z daljšimi palicami morata sodelovati dva, opazovalec in pomočnik, ki premika prečko.

ENOSTAVNA "KARTONASTA" KRIŽNA PALICA

Vsi ljudje niso enako spretni z obdelovanjem lesa oziroma kovine, večina pa nima delavnice za tako opravilo. Najenostavnejšo križno palico lahko naredimo iz metrskega lesnega ravnila in kartonske maske. Za izdelavo ni potrebno kakšno posebno orodje, zato je ta model primeren za izdelavo v šoli oziroma za mladež v nižjih razredih osnovne šole. V zelo kratkem času si vsak učenec lahko izdelava svojo križno palico in princip merjenja preizkusi kar v učilnici.

Potrebščine:

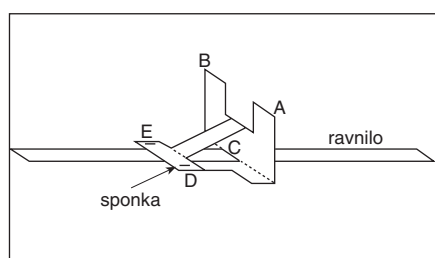
fotokopija maske (slika na sosednji strani);
manjši kos trše ravne lepenke;
olfa nož;
spenjač za papir;
metrsko leseno ravnilo.

1 Najprej naredimo fotokopijo maske in preverimo, če je razdalja med koncema A in B točno 10 centimetrov. Če ni, potem naredimo povečano oziroma pomanjšano fotokopijo maske.

2 List nato nalepimo na povsem ravno lepenko in masko z olfa nožem izrežemo (ne-

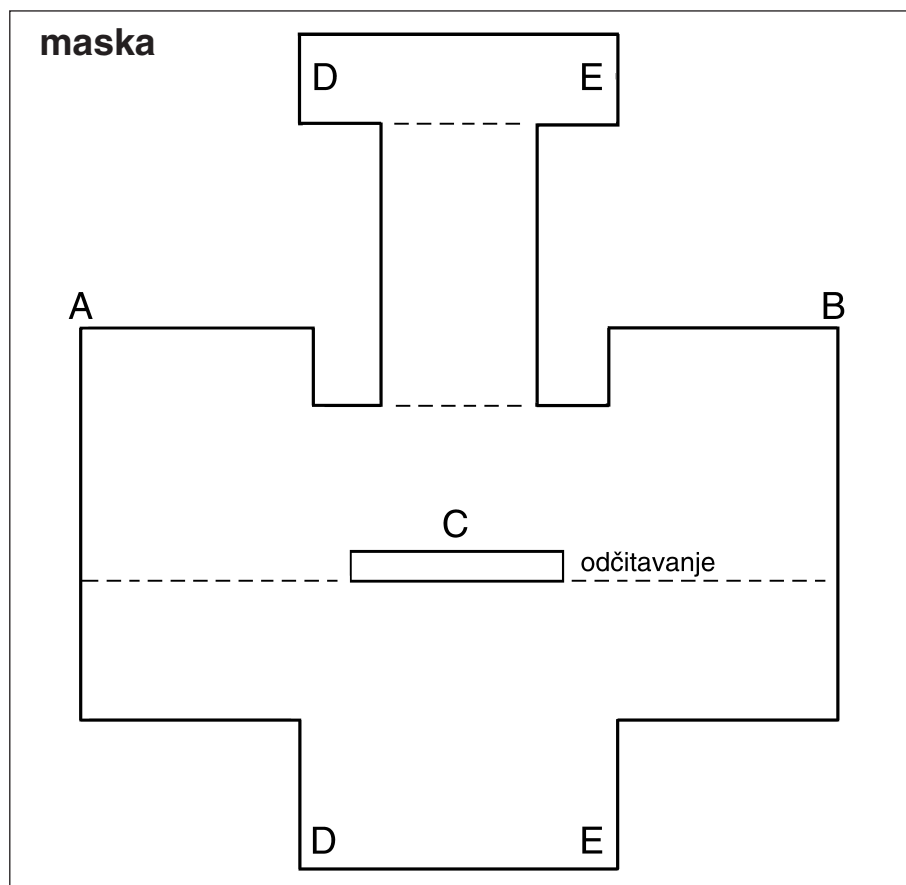
prekinjena črta). Po izrezovanju še enkrat preverimo razdaljo med A in B. Preden izrežemo odprtino za ravnilo C, preverimo prečno dimenzijo ravnila, ki se mora ujemati z odprtino. Ta se mora namreč tesno prilegati ravnilu.

☉ Ko je odprtina izrezana, masko prepognemo po prekinjenih črtah in jo potisnemo na ravnilo. S spenjačem spnemo prepognjene dele maske (točko D na zgornjem delu s točko D na spodnjem delu, enako še točki E). Nепrepognjen del maske mora stati navpično glede na ravnilo. Maska mora po ravnilu teči gladko, ne sme pa biti preveč ohlapna. Končni izgled križne palice si oglejte na sliki spodaj.



☉ Razdaljo med očesom in masko na ravnilu odčitamo ob oznaki oziroma tam, kjer se navpični del maske stika z ravnilom. Opozorilo! Če se oznake na ravnilu ne začnejo čisto ob koncu, moramo predhodno ta zamik izmeriti in ga pri merjenju prišteti odčitanim vrednostim.

☉ Princip merjenja kotov s križno palico preizkusimo kar v učilnici ali na planem, tako da bomo pri astronomskih meritvah z napravo že domači. Na tablo na primer narišemo dve ali več točk. Postavimo se na drugi ko-



nec učilnice in križno palico pristonimo k očesu. Kartonsko masko premaknemo v takšno lego, da bo ena od točk vidna tik ob levem, druga pa ob desnem robu maske. Na ravnilu odčitamo razdaljo od očesa do maske. S pomočjo spodnje tabele pretvorimo odčitano vrednost v centimetrih v kotne stopinje. Na prostem lahko na podoben način iz-

merimo zorni kot med drevesi, hišami, določimo "višino" stavb...

☉ Primer enostavne astronomske vaje je opisan v nadaljevanju pod naslovom *Merjenje deklinacije zvezd s križno palico*.

LESENA KRIŽNA PALICA Z MERILOM V STOPINJAH

Izdelava lesene križne palice je nekoliko zamudnejša in zahteva nekaj spretnosti z obdelavo lesa. Primerna je predvsem za pogostejšo rabo, saj je manj občutljiva od kartonaste različice. V nadaljevanju je opisana ena od različic take palice, na kateri sami zarišemo skalo v stopinjah. Namesto lastnih oznak je na vodilo mogoče pritrditi papirnato metrsko merilo, kakršne najdemo v tehničnih trgovinah.

Potrebščine:

lesena letvica dolžine 1 meter, širine od 2 do 3,5 centimetra in debeline največ 1 centimeter, lesena letvica dolžine 50 centimetrov, širine 3,5 do 5 centimetrov in debeline 2 centimetra, dva vijaka dolžne 70 milimetrov s krilnima maticama, žaga, tračni meter, svinčnik, ročni lesni sveder ali električni vrtalnik, kotomer, daljše ravnilo.

☉ Letvico dolžine 50 centimetrov razžagamo na dva dela. Prvi naj bo dolg 30 centimetrov in bo služil kot glavna prečka. Drugi naj bo

x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)
10	53,13	29	19,56	48	11,89	67	8,54	86	6,65
11	48,89	30	18,92	49	11,65	68	8,41	87	6,58
12	45,24	31	18,32	50	11,42	69	8,29	88	6,50
13	42,08	32	17,76	51	11,20	70	8,17	89	6,43
14	39,31	33	17,23	52	10,98	71	8,06	90	6,36
15	36,87	34	16,73	53	10,78	72	7,94	91	6,29
16	34,71	35	16,26	54	10,58	73	7,84	92	6,22
17	32,78	36	15,81	55	10,39	74	7,73	93	6,15
18	31,05	37	15,39	56	10,20	75	7,63	94	6,09
19	29,49	38	14,99	57	10,03	76	7,53	95	6,03
20	28,07	39	14,61	58	9,85	77	7,43	96	5,96
21	26,79	40	14,25	59	9,69	78	7,34	97	5,90
22	25,61	41	13,91	60	9,53	79	7,24	98	5,84
23	24,53	42	13,58	61	9,37	80	7,15	99	5,78
24	23,54	43	13,27	62	9,22	81	7,06	100	5,72
25	22,62	44	12,97	63	9,08	82	6,98		
26	21,77	45	12,68	64	8,93	83	6,89		
27	20,98	46	12,41	65	8,80	84	6,81		
28	20,25	47	12,14	66	8,66	85	6,73		

Tabela pretvorb oddaljenosti (x) prečke dolžine h = 10 centimetrov v ločne stopinje. Kotne vrednosti veljajo za cel kot φ med objektoma, ki sta med opazovanjem poravnana ob koncih prečne palice.

dolg 15 centimetrov in bo opornica glavni prečki.

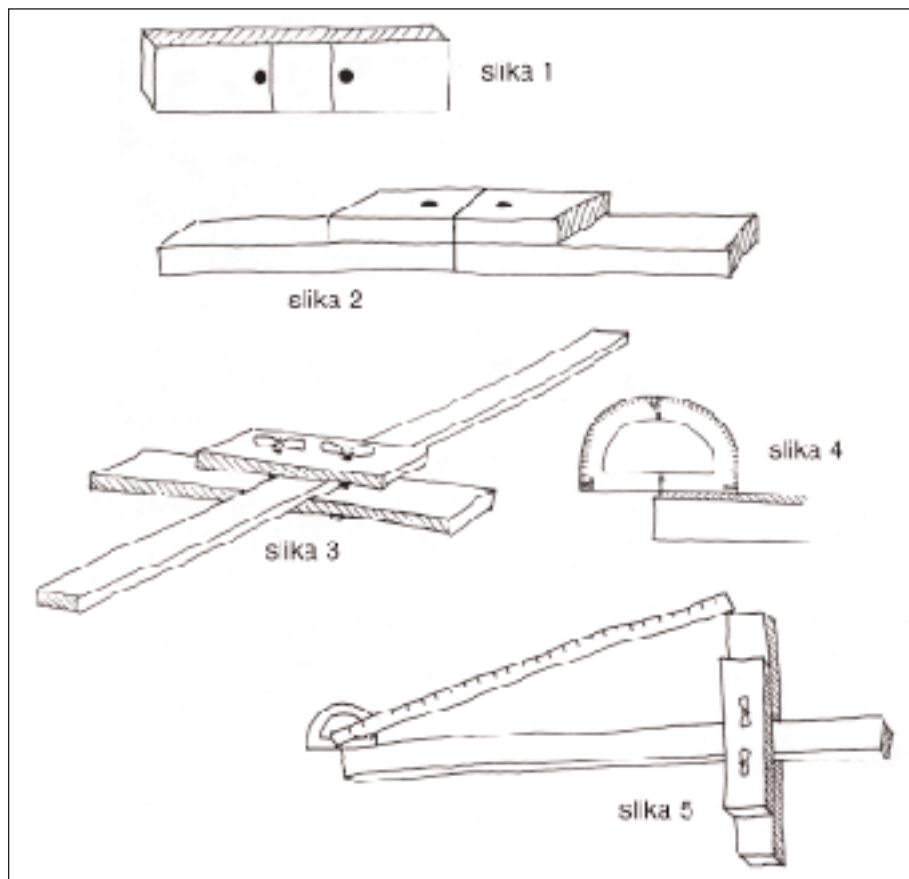
2 Z metrom določimo sredino 15-centimetrovske deščice in tja pravokotno položimo metrsko palico. S svinčnikom ob robovih daljše palice na letvico zarišemo oznake. Odstranimo metrsko palico in na zunanji strani (!) oznak na krajši palici označimo dve točki (slika 1).

3 Skozi označeni točki zvrtejmo luknji enake debeline kot sta vijaka.

4 Določimo še sredino 30-centimetrovske deščice in nanjo (točno na sredino) položimo krajšo deščico (slika 2). Skozi izvrtani luknji s svinčnikom označimo točke na daljši deščici. Skozi oznake izvrtamo še luknji v daljši deščici.

5 Skozi luknji v obeh deščicah potisnemo vijaka, med obe deščici pa metrsko palico, kot je prikazano na sliki 3. Vijake zategnemo le toliko, da bo prečka z nekaj upora drsela po vodilni letvici.

6 Tako izdelano križno palico opremimo še s skalo. Na konec vodila postavimo kotomer (slika 4). Ravnilo položimo na isti konec in na vrh prečke (slika 5). Prečko premaknemo tako, da se ravnilo na kotomeru poravnava z



oznako na primer 10 stopinj in s svinčnikom na vodilu označimo lego prečke (na strani, ki je bližja koncu s kotomerom). Pri tem moramo paziti, da je ravnilo pritisnjeno ob konec vodila in prečke ter da je ničla kotomera poravnana s koncem. Kot vedno gledamo na delu ravnila, ki je obrnjen k palici. S premikanjem prečke in odčitavanjem na kotomeru poiščemo še lege za druge kote (11 stopinj, 12 stopinj...). Tako določeni koti so polovična vrednost zornih kotov med dvema objektoma, ki jih med opazovanjem poravnamo ob koncih prečke! Če smo torej s kotomerom določili na primer kot 10 stopinj, potem moramo na tem mestu na vodilni palici zapisati vrednost 20 stopinj. Vrednost, določeno s kotomerom, moramo pri vsaki oznaki pomnožiti z 2! Križno palico s tako določenim merilom v kotih lahko zaradi lažjega odčitavanja še lično pobarvamo in že je nared za opazovanje.

7 Skalo v ločnih stopinjah primerjajmo z referenčno tabelo na sosednji strani. Vrednosti morajo približno sovpadati.

8 Na enak način lahko izdelamo še krajšo prečko, na primer dolžine 10 centimetrov, za merjenje manjših kotov. Pri tem moramo izdelati drugo skalo za kote.

9 Namesto kotne skale lahko križno palico opremimo z metrom, ki ga prilepimo na stranico vodila. Tedaj si pri meritvah zapišemo

oddaljenost prečke od očesa v centimetrih (milimetrih) in jo nato pretvorimo v kotne vrednosti. Take meritve bodo natančnejše!

MERJENJE DEKLINACIJE ZVEZD S KRIŽNO PALICO

To je najenostavnejši primer astronomske uporabe križne palice. Deklinacija (δ - delta) je kotna oddaljenost zvezd od nebesnega ekvatorja oziroma ekvivalent zemljepisni širini v ekvatorialnem nebesnem koordinatnem sistemu. Ker se ob severnem nebesnem polu nahaja svetla Severnica, je deklinacijo zvezd mogoče približno izmeriti kar z meritvijo kota (φ) med Severnico in izbrano zvezdo. Deklinacija je v tem primeru enaka:

$$\delta = 90^\circ - \varphi$$

Potrebščine:

križna palica, vrtljiva zvezdna karta oziroma zvezdni atlas, zvezek za zapiske, žepna svetilka.

1 Predpriprava

Pred odhodom na plano naredimo načrt opazovanja. Najprej si na vrtljivi karti za opazovalni večer izberemo zvezde, ki jim bomo izmerili deklinacijo. Pripravimo si tabelo z imeni zvezd in štirimi dodatnimi stolpci. V prvi in drugi stolpec bomo vpisovali izmerjene oddaljenosti od Severnice, v tretji stolpec

povprečno vrednost meritev, v četrtega pa izračunano deklinacijo.

🔍 Meritve

V jasni noči z vrtljivo zvezdno karto poiščemo zvezde, ki smo si jih izbrali za opazovanje. Vodilo križne palice prislonimo na ličnico tik pod očesom. Prečko premaknemo v tako lego, da je en konec poravnana s Severnico, drugi pa z izbrano zvezdo. Odčitano vrednost na merilu vpišemo v tabelo in meritev ponovimo. Pred ponovnim merjenjem prečko znatno premaknemo iz lege, ki smo jo dobili s predhodno meritvijo. Tako se izognemo nesmiselnemu podvajanju meritev. Zaradi boljše vidljivosti lahko križno palico s strani osvetlimo s šibko žepno svetilko. Tako bo sta konca prečne palice lepše vidna.

🔢 Izračuni in vprašanja

Iz dveh meritev oddaljenosti zvezde od Severnice izračunajte srednjo vrednost v ločnih stopinjah. Nato izračunajte deklinacijo zvezde ($90^\circ - \text{meritev}$). Primerjajte izmerjene vrednosti s pravimi vrednostmi (Zvezdni atlas, drugi zvezdni katalogi, računalniški zvezdni katalogi in podobno). Ocenite razliko med pravimi in izmerjenimi vrednostmi.

x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)	x (cm)	φ (°)
10	112,62	29	54,70	48	34,71	67	25,24	86	19,79
11	107,49	30	53,13	49	34,04	68	24,88	87	19,56
12	102,68	31	51,64	50	33,40	69	24,53	88	19,35
13	98,17	32	50,23	51	32,78	70	24,19	89	19,13
14	93,95	33	48,89	52	32,18	71	23,86	90	18,92
15	90	34	47,61	53	31,61	72	23,54	91	18,72
16	86,30	35	46,40	54	31,05	73	23,22	92	18,52
17	82,85	36	45,24	55	30,51	74	22,92	93	18,32
18	79,61	37	44,14	56	29,99	75	22,62	94	18,13
19	76,58	38	43,08	57	29,49	76	22,33	95	17,95
20	73,74	39	42,08	58	29,00	77	22,05	96	17,76
21	71,08	40	41,11	59	28,53	78	21,77	97	17,58
22	68,57	41	40,19	60	28,07	79	21,50	98	17,40
23	66,22	42	39,31	61	27,63	80	21,24	99	17,23
24	64,01	43	38,46	62	27,20	81	20,98	100	17,06
25	61,93	44	37,65	63	26,79	82	20,73		
26	59,96	45	36,87	64	26,38	83	20,49		
27	58,11	46	36,12	65	25,99	84	20,25		
28	56,36	47	35,40	66	25,61	85	20,02		

Tabela pretvorb oddaljenosti (x) prečke dolžine H = 30 centimetrov v ločne stopinje. Kotne vrednosti veljajo za cel kot φ med objektoma, ki sta med opazovanjem poravnana ob koncih prečne palice.

Razmislite oziroma posvetujte se z mentorjem, kateri dejavniki so najbolj vplivali na napako (oddaljenost Severnice od nebesnega

polja, natančnost skale na križni palici, oena poravnave zvezd s križem palice...). Kako bi bilo mogoče meritve izboljšati? ●