

Zorni koti nebesnih teles



MARIJAN PROSEN

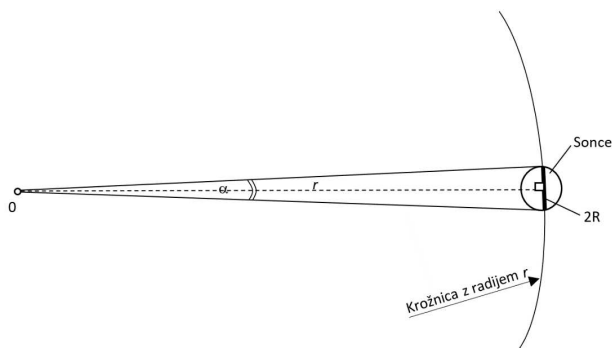
→ Zorni kot je temeljni pojem astronomske geometrije. Najprej bomo obravnavali zorni kot Sonca, nato pa še zorni kot Lune, planetov in zvezd.

Zorni kot Sonca

Zvezd je nešteto. Ena od njih in nam najbližja je Sonce. To je velikanska krogla razbeljenih plinov (poenostavljeni model). Sonce vidimo ali ga opazujemo kot svetlo rumeno dobro vidno okroglo ploskvico (disk, krožec) na dnevnem nebu. Pri opazovanju moramo biti zelo previdni. Opazujemo ga s posebnimi zaščitnimi očali s filtri, ki ne prepuščajo za naše oči njegove nevarne svetlobne žarke.

Zorni kot Sonca je kot, v katerem iz opazovališča na Zemlji, vidimo zelo oddaljeno Sonce.

Izračunajmo, koliko meri zorni kot α Sonca, ki je oddaljeno od Zemlje $r = 150$ milijonov km, njegov premer pa meri okoli $2R = 1\,400$ tisoč km.



SLIKA 1.

(Trenutni) zorni kot α Sonca, O - opazovalec na Zemlji; namesto Sonca si lahko predstavljamo Luno, planet, zvezdo ali drugo vesoljsko telo.

Ker je Sonce vidno v majhnem zornem kotu, lahko upravičeno uporabimo enačbo (sorazmerje) za središčni kot v krožnici in njemu pripadajoči lok, ki je v tem primeru kar enak dolžini tetive. Velja $\alpha/360^\circ = 2R/2\pi r$, od koder sledi za zorni kot Sonca $\alpha = 2R \cdot 360^\circ/2\pi r = 1\,400\,000\text{ km} \cdot 360^\circ/2\pi \cdot 150\,000\,000\text{ km} = 0,5^\circ (= 30')$, kar je približna vrednost.

Zorni kot Sonca pri opazovanju z Zemlje meri polovico kotne stopinje ali 30 kotnih minut. To okroglo vrednost si zlahka zapomnimo.

Zorni kot Sonca pri opazovanju z Zemlje ni stalen. Spreminja se, ker se Zemlja giblje okrog Sonca po elipsi in se oddaljenost Zemlje od Sonca spreminja. Enkrat je Zemlja najbližje Soncu, drugič najdlje. Ko je najbližje v priončju ali perihelu, ima največji zorni kot $32,5'$; ko je najdlje v odsončju ali afelu, pa najmanjšega $31,5'$. Povprečno meri $32'$, kar je okoli $0,5^\circ$, kot smo izračunali.

Pripomba. Ker se zorni kot Sonca s časom spreminja, bi vedno morali reči trenutni zorni kot. Enako velja za zorni kot Lune in planetov. Vendar bomo besedo *trenutni* v nadaljevanju izpuščali.

Zorni kot Lune

Luna je povprečno oddaljena od Zemlje $r = 60R$, njen radij pa je okoli $1/4R$, če R pomeni radij Zemlje. Izračunajmo zorni kot Lune pri pogledu z Zemlje.

Ker je Luna zelo oddaljena od Zemlje in vidna v majhnem kotu, lahko spet uporabimo že prej navedeno enačbo $\alpha/360^\circ = 2R/2\pi r$, od koder za zorni kot Lune dobimo $\alpha = 2 \cdot 1/4R \cdot 360^\circ/2\pi \cdot 60R = 90^\circ/\pi \cdot 60 = 0,5^\circ$, kar je približna vrednost.

Zorni kot Lune pri pogledu z Zemlje meri polovico kotne stopinje ali 30 kotnih minut. To je vrednost,

ki si jo zlahka zapomnimo. V prvem približku sta zorni kot Sonca in zorni kot Lune enaka $0,5^\circ$.

Luna se giblje po elipsi okrog Zemlje, ki leži v enem od gorišč elipse. Zato se oddaljenost Lune od Zemlje spreminja, s tem pa se spreminja tudi njen zorni kot pri pogledu z Zemlje. Spreminja se od $29,4'$ do $33,7'$. Srednja vrednost zornega kota Lune je $31'$, prvi približek in vrednost, ki jo uporabljamo v šoli, pa je $0,5^\circ$.

Pri računanju Luninega zornega kota bi morali torej dobiti vedno vrednost α , ki leži med omenjenima skrajnima vrednostma, zapisano matematično, kot interval $29,4' \leq \alpha \leq 33,7'$ ali $[29,4', 33,7']$.

Ali je možno iz splošnih astronomskih podatkov, ki jih imamo vedno na razpolago in jih znamo na pamet, s preprostim računom, ki povezuje nekaj fizikalnih zakonov, izračunati oziroma primerno oceniti zorni kot Lune ob opoziciji s Soncem, tj. ob polni luni? Gre za oceno Luninega zornega kota, ki naj bi se ne razlikovala za več kakor $\pm 15'$ od srednje vrednosti $31'$, najbolje pa bi bilo, da bi izračunana vrednost padla znotraj intervala $[29,4', 33,7']$. Nalogo rešimo za splošni (ne posebni) primer, saj je polna luna različno oddaljena od Zemlje in od Sonca. Zato bo rezultat naloge bolj ocena, približna vrednost za Lunin zorni kot, ki je seveda ob vsaki polni luni nekoliko drugačen, vendar naj bi njena vrednost padla znotraj ali vsaj blizu navedenega intervala (kar je ostra zahteva).

Za reševanje naloge smo izbrali naslednje osnovne podatke: sprejeta gostota svetlobnega toka s Sonca na Zemlji (solarna konstanta) $j_0 = 1400 \text{ W/m}^2$, ki je praktično taka kot na Luni (razlika je le za 4 W/m^2 (manj), kar zanemarimo glede na vrednost 1400 W/m^2), radij Lune R , sij polne lune (opozicija s Soncem) $m = 12,75$ magnituda (srednja vrednost) in albedo (svetlobna odbojnost) Lune $\delta = 0,12$ (približna vrednost). Podatki so približni, zato lahko pričakujemo, da bo približen tudi rezultat.

Lunin zorni kot α pri opazovanju z Zemlje izračunamo iz $\alpha/360^\circ = 2R/2\pi r$, kjer pomeni R radij Lune in r oddaljenost Lune od Zemlje. Zorni kot v kotnih enotah je

$$\alpha = 57,3^\circ \cdot (2R/r).$$

Gostota svetlobnega toka j_0 , ki pade s Sonca na Luno ob polni luni, je glede na gostoto svetlobnega toka, ki pade na Zemljo, kar $j_0 = 1400 \text{ W/m}^2$.

Gostoto svetlobnega toka j , ki pade s polne lune na Zemljo, izračunamo iz osnovne astrofotometrične Pogsonove enačbe $j/j' = 10^{-0,4(m-m')}$, kjer je $j' = 10^{-8} \text{ W/m}^2$ pri $m' = 1$ magnituda. Sledi, da je $j = 10^{-8} \cdot 10^{-0,4(-13,75)} \text{ W/m}^2 = 32 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$.

Od Lune se odbije svetlobni tok $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta$. V razdalji r pade na Zemljo tok z gostoto $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi r^2$ (upoštevamo le od Sonca osvetljeno Lunino polkroglo ob polni luni, obrnjeno proti Zemlji). Ta kvocient je enak gostoti svetlobnega toka j . Iz enakosti $j_0 \cdot \pi R^2 \cdot \delta / 2\pi r^2 = j$ dobimo $2R/r = \sqrt{(8 \cdot j/j_0 \cdot \delta)} = \sqrt{(8 \cdot 32 \cdot 10^{-4} / 1400 \cdot 0,12)} = 1,23 \cdot 10^{-2}$ radiana in $\alpha = 0,71^\circ \approx 42'$.

Dobili smo rezultat, ki je nekako na meji. Ne pade ravno v postavljeni interval, precej se razlikuje tudi od srednje vrednosti $31'$ (35 % relativna napaka). Vendar je za nas sprejemljiv. Solarna konstanta j_0 je podana približno, napaka je pri j , kjer ni upoštevana vpojnost Zemljinega ozračja (če jo upoštevamo, dobimo že boljšo vrednost za zorni kot $37'$), vprašljiva je tudi δ , ki je zelo približna. Vsak netočen podatek vpliva na končni rezultat, tako da ne moremo dobiti natančne vrednosti računane količine.

V takem primeru je najbolje, da zorni kot izračunamo iz neposredne zveze med premerom Lune in njeno trenutno oddaljenostjo od Zemlje, kar lahko natančno izmerimo z radarjem ali laserjem ali pa preberemo iz Astronomskih efemerid, radij Lune je konstanten.

Če je bila Luna v času polne lune od Zemlje npr. oddaljena $r = 59R_0$, potem je bil njen zorni kot $2R/r = 2 \cdot 1/4R_0/59R_0 = 1/118$ radiana ali $\alpha = 29'$, kar je odličen rezultat.

Na tak neposredni način vedno pravilno izračunamo zorni kot Lune, če imamo natančno podano oddaljenost Lune. Napaka se pojavi lahko samo zaradi nepravilno znanega premera Lune in njene oddaljenosti od Zemlje. Lunin premer ima stalno in znano vrednost, oddaljenost nam najbližjega vesoljskega telesa pa je tudi vsak trenutek zelo znana. Tako je tudi z izračunanim trenutnim zornim kotom Lune, ki se ne more dosti razlikovati od srednje vrednosti.



→ Zorni kot planeta

Zorni kot α planeta je kot, v katerem iz površja Zemlje vidimo oziroma opazujemo planet kot majčkeno navidezno okroglo ploskvico (disk) na nebu. Ker je kot α zelo majhen, tudi za planete velja sorazmerje $\alpha/2R = 360^\circ/2\pi r$, kjer je r oddaljenost planeta, $2R$ premer planeta in R radij planeta.

Planeti se gibljejo okrog Sonca, seveda tudi Zemlja.

Oddaljenost planetov od Zemlje se neprestano spreminja. Zato se spreminja tudi njihov zorni kot, in to pri vsakem planetu od neke najmanjše do neke največje vrednosti; pri Veneri od $10''$ do $65''$, pri Jupitru od $30''$ do $50''$, Saturnu od $15''$ do $21''$, Marsu od $3,5''$ do $25''$, Merkurju od $5''$ do $13''$, Uranu od $3''$ do $4''$, Neptunu od $2,2''$ do $2,4''$. Iz teh podatkov ugotovimo, da ima Venera največji zorni kot, najbolj pa se spreminja pri Marsu. Vse to pojasnimo s spreminjanjem oddaljenosti planetov od Zemlje.

Ločljivost človeškega očesa je nekaj kotnih minut, tako da nobenega planeta z očmi ne ločimo oziroma ne vidimo v zornem kotu. Vse vidimo le kot svetle pike (točke) na nočnem nebu. Z daljnogledom premera objektiva 5 cm, ki ima ločljivost okoli $3''$, pa že vidimo planete kot majčkene svetle okrogle ploskvice, vse tja do Saturna. Če želimo več in bolje opazovati planete, vzamemo zmogljivejši daljnogled.

Zgled

Mars zelo spreminja oddaljenost od Zemlje. Ima precej sploščen tir, vendar bomo privzeli, da se giblje po krožnici. Izračunajmo zorni kot Marsa pri pogledu z Zemlje, ko je v neki povprečni opoziciji s Soncem in je od Zemlje oddaljen okoli $1/2$ astronomske enote (ae.), če meri $1 \text{ ae} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$ in je radij Marsa $1/2$ radija Zemlje $R_0 = 6400 \text{ km}$.

Zorni kot α Marsa v povprečni opoziciji izračunamo iz $\alpha/2R = 360^\circ/2\pi r$, od koder sledi $\alpha = 2 \cdot 1/2R_0 \cdot 360^\circ/2\pi r = 6400 \text{ km} \cdot 360 \cdot 60 \cdot 60''/2\pi \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ km} \approx 18''$. Čeprav smo računali s približnimi podatki, smo dobili kar dober rezultat, ki leži v ustreznem intervalu [$3,5''$, $25''$] za vrednost zornega kota Marsa pri pogledu z Zemlje. S pet-centimetrskim daljnogledom ga že razločimo oziroma vidimo v zornem kotu.

Zorni kot zvezde

Sonce, Luno, planete vidimo v določenem zornem kotu. Kaj pa številne zvezde, ki jih na nočnem nebu vidimo le kot bolj ali manj svetle pike, kot točke brez razsežnosti? Z očmi jih res vidimo kot pike, toda z uporabo posebnih inštrumentov in posebnih načinov opazovanja pa tudi pri zvezdah zaznamo njihovo kotno razsežnost. Saj so to vendar velikanška vesoljska telesa, ogromne žareče krogle razbejlenih plinov (poenostavljeno) večinoma veliko večje od planetov, samo zelo, zelo so daleč. Zato so videti kot pike. Vse je tudi odvisno od zmogljivosti, natančnosti, od ločljivosti inštrumenta, s katerim opazujemo. Na vprašanje, *ali zvezde vidimo v zornem kotu*, lahko odgovorimo z da. Neverjetno, a resnično. Najbrž ste presenečeni, ko ste zvedeli, da so tudi zvezde vidne v določenem zornem kotu, čeprav jih s prostim očesom zaznavamo kot pike na jasnem nočnem nebu. Imajo, ampak skrajno, rečemo ekstremno majhne zorne kote.

Pri pogledu z Zemlje je Sonce vidno v zornem kotu okoli $0,5^\circ$ ali $30'$; Venera, ko nam je najbližje, je vidna v kotu okoli $1'$, Jupiter v opoziciji s Soncem v kotu okoli $50''$, Mars v opoziciji okoli $25''$, Saturn $20''$, Uran $4''$, Neptun $2,4''$, planetoidi pod $1''$, vse zvezde pa pod $0,06''$.

Torej: kot $0,06''$ je največji zorni kot zvezde (meja), v katerem je sploh kakšna zvezda zaznavna z Zemlje, vse druge zvezde zaznavamo v manjšem zornem kotu.

Človeško oko ima ločljivost okoli $5'$, daljnogled z odprtino (vhodno zenico ali premerom objektiva) 5 cm okoli $3''$, 10-centimetrski okoli $1,4''$, 1,2-metrski okoli $0,1''$, šest-metrski optični zvezdni interferometer, ki je deloval v letih 1920–1930 na astronomskem observatoriju na gori Wilson (Kalifornija, ZDA), okoli $0,02''$, 180-metrski intenzitetni zvezdni interferometer v Narrabriju (Avstralija), ki deluje od leta 1965 dalje, pa že okoli $0,0008''$, kar je zelo velika ločljivost.

Poglejmo, kaj razločimo s prostim očesom, v kakšnem zornem kotu katero od nebesnih teles še vidimo. Lahko smo zelo razočarani, kajti na nebu razločimo samo Sonce in Luno in nič več. Tudi zornega kota Venere ne moremo zaznati s svojimi očmi, čeprav pogosto pripovedujejo, kako zelo velika je včasih Venera na nebu. A takrat je velika bolj zaradi

svojega zelo močnega sija okoli -4 . magnituda, kar daje vidni vtis velike navidezne velikosti planeta. Kaj šele, da bi s svojimi očmi zaznali zorni kot Marsa, Jupitra, ..., sploh pa zvezd. Oko odpove že takoj v začetku, na drugi oviri. Razširimo vhodno zenico, ostreje vidimo, manjši kot razločimo.

S pet-centimetrskim dvogledom že razločimo planete kot majčkene svetle okrogle ploskvice na nebu. Vse tja do Saturna jih vidimo v določenem zornem kotu, z Uranom in planetoidi pa so že težave. Vzamemo spet zmogljivejši daljnogled z večjo vhodno zenico. Nekaj časa to gre, pri zvezdah se ustavi. Tudi z zelo ali najbolj zmogljivimi daljnogledi jih vidimo kot točke.

Toda kakšen daljnogled neki bi morali vzeti, da bi razločili zvezdo oziroma da bi jo videli v zornem kotu? Hm, seveda, dovolj zmogljiv, z zelo veliko ločljivostjo, morali pa bi si izmislili še kakšen poseben način opazovanja. To je bila silna želja številnih astronomov preteklosti, vse od Galileja (1610) dalje, a se jim stvar ni posrečila.

Uresničili pa so jo na astronomskem observatoriju Mt. Wilson, v prvi četrtini prejšnjega stoletja. Najprej so izdelali in namenili opazovanjem 2,5-metrski reflektor (1917–1949 največji daljnogled na svetu) s teoretično ločljivostjo $0,06''$ in z nekoliko slabšo praktično ločljivostjo. Tako z njim ni bilo mogoče neposredno izmeriti zornega kota zvezde $0,06''$. Potem pa so si genialci izmislili poseben šest-metrski nastavek, ki so ga pričvrstili na vrh obstoječega reflektorja. Z novo nastalim inštrumentom, imenovanim šest-metrski optični zvezdni interferometer, so povečali ločljivost na $0,02''$. Z inštrumentom takšne ločljivosti pa so že mogli razločiti kot $0,06''$, tj. izmeriti zorni kot zvezde.

S tem inštrumentom so z interferenco svetlobe, ki je prihajala od merjene zvezde preko odbojev na štirih ravnih zrcalih v gorišče reflektorja, 13. decembra leta 1920 prvič izmerili zorni kot zvezde. Ta, za vse astronomske dni najbolj slavna zvezda, je bila Betelgeza v ozvezdju Orion, njen izmerjeni zorni kot pa je bil $0,047''$.

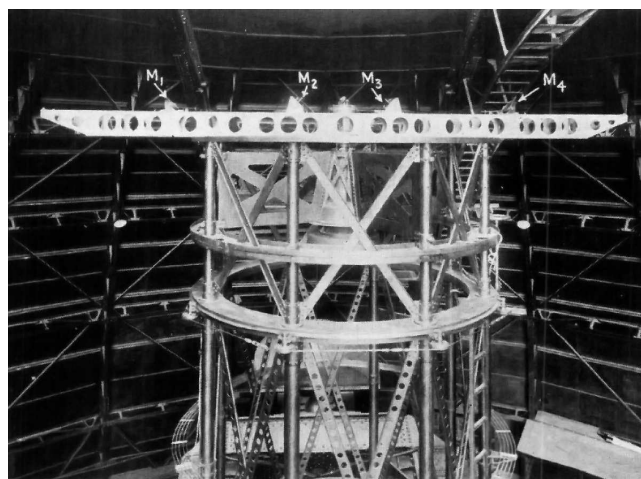
Prva, zgodovinska meritev zornega kota zvezde je tudi potrdila teoretične izračune $0,04''$ za zorni kot te zvezde. Pri tedanji znani oddaljenosti zvezde so nato še določili radij zvezde in ga ocenili na okoli 450 radijev Sonca. S tem so potrdili teoretične izračune in razmišljanja, da v vesolju obstajajo zvezde,

ki so po dolžinskih razsežnostih, tj. po radijih, veliko večje od Sonca, da torej obstajajo orjakinje in nadorjakinje.

S tem šest-metrskim in pozneje še s 15-metrskim optičnim zvezdnim interferetrom so od leta 1920 do leta 1939 izmerili zorne kote petnajstim zvezdam, ki so bile večinoma nadorjakinje poznega spektralnega tipa kot Betelgeza. Izmerjeni zorni koti pa so bili od $0,02''$ do $0,05''$. Z meritvami so prenehali po letu 1939 predvsem zaradi izredno velikih težav pri povečanju ločljivosti tega tipa zvezdnega interferetrometra in smrti F. G. Peasa, ki je pravzaprav edini znal ravnati s tem inštrumentom.

Kmalu nato so v astronomsko prakso začeli uvajati nove načine merjenja zornih kotov zvezd, in sicer večinoma iz Luninih zakritij ali okultacij zvezd (med drugo svetovno vojno in pozneje) in z intenzivnimi zvezdnimi interferometri (od 1958 dalje).

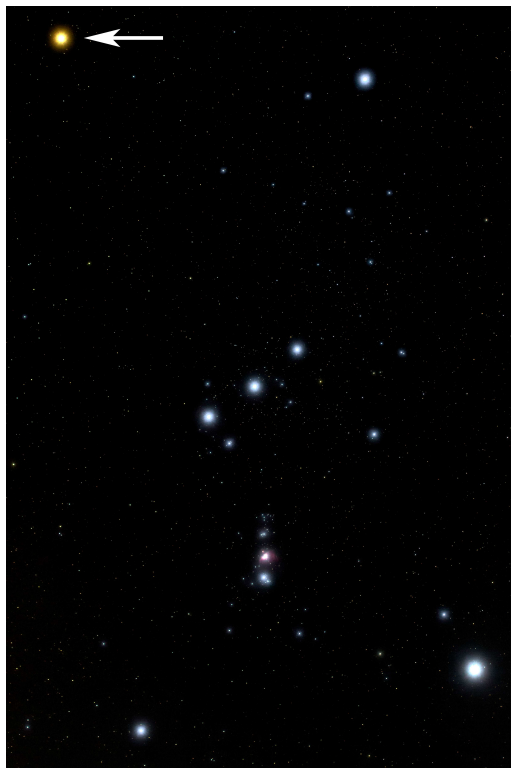
Ločljivosti intenzivnih interferetrometrov, skupaj s teorijo in načini opazovanja, so tako velike, da lahko izmerijo zorne kote zvezd precej pod $0,001''$. To je



SLIKA 2.

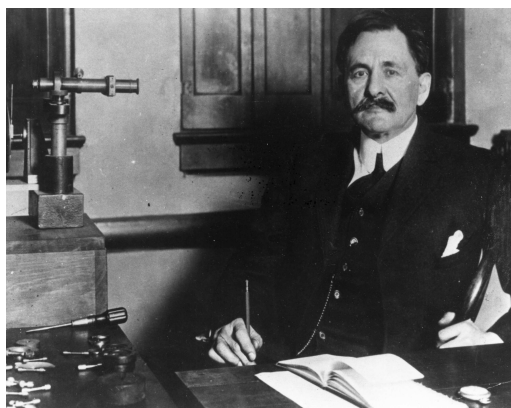
Na vrh, to je pred vhodno zenico novo izdelanega 2,5-metrskega reflektorja na zvezdarni Mt. Wilson, so pričvrstili kovinski tram s štirimi glede na optično os reflektorja simetričnimi ravnimi zrcali, in s tem sestavili šest-metrski optični zvezdni interferometer. Z njim so z interferenco svetlobe zvezde v gorišču reflektorja izmerili prvi zorni kot zvezde. Obsežno in zahtevno teorijo interferometričnih meritev zornih kotov zvezd tu pustimo ob strani, saj nas zanimajo samo rezultati meritev. (Foto: Wikipedia)





SLIKA 3.

Lega najbolj slavne zvezde v zgodovini astronomije – Betelgeze v ozvezdju Orion. (Foto: Andrej Guštin)



SLIKA 4.

Fizik Albert A. Michelson (1852–1931) – nobelovec 1907. (Foto: University of Chicago)

tako majhen kot, za kakršnega so včasih mislili, da ga sploh ni mogoče izmeriti. Pisati o teh meritvah pa je že nova astronomska zgodba.

Želeli smo povedati, da imajo zvezde zorni kot, da je ta zelo, zelo majhen in da je tudi tako ekstremno majhne kote mogoče izmeriti. Odlična teorija, izbrani način opazovanja ter super tehnika in tehnologija naredijo svoje: nemogoče postane mogoče.

Do zdaj so izmerili zorne kote nekaj sto zvezdam. Največji zorni kot $0,057''$ ima zvezda R Zlate ribe, sledijo Betelgeza in Mira z $0,050''$, Antares z $0,041''$, Ras Algeti z $0,03''$, Aldebaran in Arktur z $0,02''$ ter druge zvezde, med njimi Sirij s skrajno majhnim zornim kotom $0,0059''$.

Ob koncu si za orientacijo oglejmo, kaj pomeni, da ima inštrument ločljivost $0,06''$, da ima zvezda tak zorni kot ali da opazujemo v zornem kotu $0,06''$. Isto stvar lahko povemo na različne načine.



SLIKA 5.

Nobelovec (1907) in astronom Francis G. Pease (1881–1938), (foto: UNC Charlotte ITS) – S fizikom A. A. Michelson sta bili duši in srci enkratnih ter edinstvenih interferometričnih meritev zornih kotov zvezd na astronomskem observatoriju Mt. Wilson. To je bil tako velik astronomski dosežek kot prve meritve oddaljenosti zvezd v sredini 19. stoletja (ali pa še večji).

Naj bo x višina 10 km oddaljenega predmeta, ki ga opazujemo v kotu $\alpha = 0,06''$. Ker je kot skrajno majhen, lahko zapišemo $x/\alpha = 2\pi r/360^\circ$, kjer je r oddaljenost. Sledi $x = \pi r \alpha / 180^\circ = \pi \cdot 0,06'' \cdot 10\,000 \text{ m} / 180 \cdot 60 \cdot 60'' = 3 \text{ mm}$.

Če gledamo v zornem kotu $0,06''$, v oddaljenosti 10 km, razločimo pokončno daljico z dolžino tri milimetre ali razločimo točki, ki sta med seboj razmaknjeni za 3 mm. Taka ločljivost, da človeku vzame sapo. So pa še boljše.

Ko poznamo zorni kot zvezde, lahko pri znani oddaljenosti izračunamo radij zvezde.

Zgled

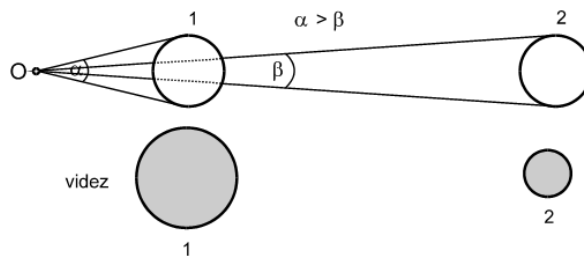
Izračunajmo radij R zvezde Antares v radijih R_0 Sonca, če je zorni kot Antaresa $\alpha = 0,041''$ in oddaljenost $r = 620$ svetlobnih let (1 svetlobno leto je $9,5 \cdot 10^{12}$ km), radij Sonca pa je $R_0 = 7 \cdot 10^5$ km.

Radij Antaresa v radijih Sonca dobimo iz $2R/2\pi r = \alpha/360^\circ$, od koder sledi $R/R_0 = \pi r \alpha / 360^\circ R_0 = \pi \cdot 620 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km} \cdot 0,041'' / 360 \cdot 60 \cdot 60'' \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ km} \approx 840$.

Antares je nadorjakinja z radijem, ki je približno 840-krat večji od radija Sonca. Ker zvezda pulzira (radij se ji spreminja za $\pm 20\%$), njena površinska temperatura tudi niha za ± 150 K. Mimogrede: Antares ni navadna stacionarna ali stabilna zvezda, je spremenljivka.

Naloge

- Sonce vidimo v prisočju v zornem kotu $32,5'$, v odsončju pa v zornem kotu $31,5'$. Izračunajte, koliko merita najkrajša in najdaljša oddaljenost Zemlje od Sonca, če je radij Sonca $696\,000$ km. [147 milijonov km, 152 milijonov km]
- Tudi Luno, planete in zvezde vidimo v določenem zornem kotu. Pri Luni in planetih se spreminja, pri zvezdah pa ne. Zakaj? Pojasnite!
- Na sliki 6 je zgoraj v legi 1 in v legi 2 enako velika krogla (tj. krogla z enakim radijem). Kako je z zornim kotom, v katerem vidimo kroglo pri opazovanju iz točke O v obeh primerih? Opišite situacijo. Pri približevanju se nam zdi tudi gora večja.



SLIKA 6.

- Luna je povprečno oddaljena od Zemlje $380\,000$ km, njen premer pa je okoli 3500 km. Izračunajte zorni kot Lune pri pogledu z Zemlje. [0,5°]
- Trenutni zorni kot Lune je $30,5'$. Koliko je Luna oddaljena od Zemlje, če je radij Lune 1740 km? [392 000 km]
- Katere planete (če jih najdete na zvezdnem nebu) vidite v zornem kotu z opernim kukulom odprtine $2,5$ cm (ločljivosti okoli $6''$)?
- Opazujte planete z daljnogledi različnih povečav in ločljivosti. Opazovanja skrbno skicirajte in komentirajte.
- Izračunajte povprečni zorni kot Jupitra in povprečni zorni kot Saturna v povprečni opoziciji s Soncem pri opazovanju z Zemlje, če Jupiter kroži okrog Sonca v oddaljenosti 5 a e, Saturn v oddaljenosti 10 a e in je radij Jupitra enak 11 radijev Zemlje, radij Saturna pa enak $9,5$ radija Zemlje; 1 a e = $1,5 \cdot 10^8$ km, radij Zemlje $R_0 = 6400$ km. [Povprečni zorni kot Jupitra je okoli $48''$, Saturna okoli $19''$.]
- Venera je v trenutku opazovanja od Zemlje oddaljena 105 milijonov km, njen radij pa je skoraj enak radiju Zemlje. Izračunajte njen trenutni zorni kot. [25'']
- Izračunajte radij zvezde v radijih Sonca $R_0 = 7 \cdot 10^5$ km za: a) Betelgezo $\alpha = 0,05''$, $r = 643$ sv.l.; b) Sirij $\alpha = 0,0059''$ in $r = 8,6$ sv.l. (vzamemo ga kot enojno zvezdo, čeprav vemo, da je dvojna) in c) Proksimo Kentavra $\alpha = 0,001''$ in $r = 4,25$ sv.l. Rezultate komentirajte. [a) ≈ 1050 , b) $\approx 1,7$ in c) $\approx 0,14$]

× × ×