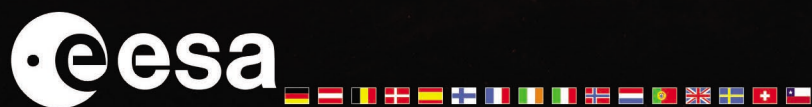


ZBIRKA VAJ ESA-ESO



OSNOVNI ASTRONOMSKI POJMI
IN RAČUNSKA ORODJA



Osnovni astronomski pojmi in računska orodja

Magnitude – že od leta 120 pr.n.št.

Ko v jasni noči pogledamo v nebo, vidimo zvezde. Nekatere so videti svetle, druge pa medle oziroma šibko sijejo. Zvezde seveda niso od Zemlje enako oddaljene, zato so lahko nekatere »šibke« zvezde lahko dejansko zelo svetle, a so zelo oddaljene, druge pa lahko oddajajo mnogo manj svetlobe, a so nam bližje, zato so na nebu videti svetlejše. Ker zvezde opazujemo z Zemlje, lahko izmerimo le svetlobnih tok, količino svetlobe, ki od njih prihaja do nas. Žal nam to neposredno ne pove veliko o njihovih »dejanskih lastnostih«. Če hočemo več izvedeti o zvezdah, na primer o velikosti, fizikalnih lastnostih, izsevu, moramo poznati njihovo oddaljenost od Zemlje.

Zgodovinsko so z prostim očesom vidne zvezde razdeljene v šest velikostnih razredov, ki jim pravimo magnitude. Tako razdelitev je uvedel starogrški astronom Hiparh okoli leta 120 pr.n.št. in je v nekoliko spremenjeni obliki v veljavi še danes. Hiparh je najsvetlejše zvezde na nebu označil kot zvezde prve



velikosti, najšibkejše še vidne zvezde pa kot zvezde šeste velikosti.

Astronomija se je od Hiparhových časov močno spremenila! Astronomi neba ne opazujejo le s prostimi očmi, temveč uporabljajo velike teleskope, na primer zemeljske teleskope VLT ali vesoljski teleskop Hubble, katerih zrcala zberejo mnogo več svetlobe kot človeško oko. To svetlobo nato zaznavajo in analizirajo inštrumenti, ki lahko »vidijo« vesoljska telesa, katerih svetloba je več milijardink šibkejša od svetlobe, ki jo lahko zazna oko.

Kljub temu astronomi še vedno uporabljajo sicer nekoliko prenovljen sistem magnitud, ki ga je vpeljal Hiparh – navidezne magnitude. Sodobna definicija magnitud je bila izbrana tako, da ni bila potrebna velika sprememba pri meritvah magnitud, ki so bile pred tem v rabi. Astronomi ločijo dve vrsti magnitud – navidezno magnitudo in absolutno magnitudo.

Navidezna magnituda

Navidezna magnituda m zvezde je merilo za navidezni sij zvezde na nebu. Namesto, da bi bila navidezna magnituda definirana s številom fotonov z zvezde, ki gredo vsako sekundo skozi določeno površino na Zemlji, je definirana kot razmerje med gostoto svetlobnega toka z zvezde j in gostoto svetlobnega toka j_0 referenčne zvezde. To pomeni, da lahko astronomi izmerijo magnitudo kake zvezde, tako da jo primerjajo z prej izmerjenimi magnitudami referenčnih zvezd.

Slika 1

Hiparh (približno 190-120 pr.n.št.) je bil grški astronom, ki je prvi zvezde uredil po navideznem sijju.

Tako je navidezna magnituda kake zvezde podana kot

$$m = m_0 - 2,5 \log j/j_0,$$

kjer je m_0 navidezna magnituda referenčne zvezde. Faktor 2,5 pred logaritmom je namenjen temu, da se sodobna definicija magnitud ujema s staro bolj subjektivno zasnovo velikosti zvezd.

Zanimiva je ugotovitev, da je že Hiparhova lestvica zvezdnih velikosti logaritmčna, čeprav je bila narejena na intuitivni osnovi. To je posledica dejstva, da je odziv očesa pri zaznavi različno svetlih teles logaritmčen. Za primerjavo povejmo, da je magnituda polne Lune približno -12,7, Venere lahko doseže -4, Sonce pa ima magnitudo -26,5.

Absolutna magnituda

Navidezna magnituda je za astronome uporaben podatek, a nič ne pove o dejanskih lastnostih zvezd. Definirati moramo novo količino – absolutno magnitudo M , ki omogoča neposredno primerjavo sija zvezd. Absolutna magnituda pomeni, kakšno navidezno magnitudo bi imela zvezda, če bi bila od Sonca oddaljena 10 parsekov. O definiciji parseka preberi v razdelku o računskih orodjih.

Ker je le malo zvezd oddaljenih natanko 10 parsekov, moramo z enačbo povezati navidezno magnitudo in oddaljenost zvezde:

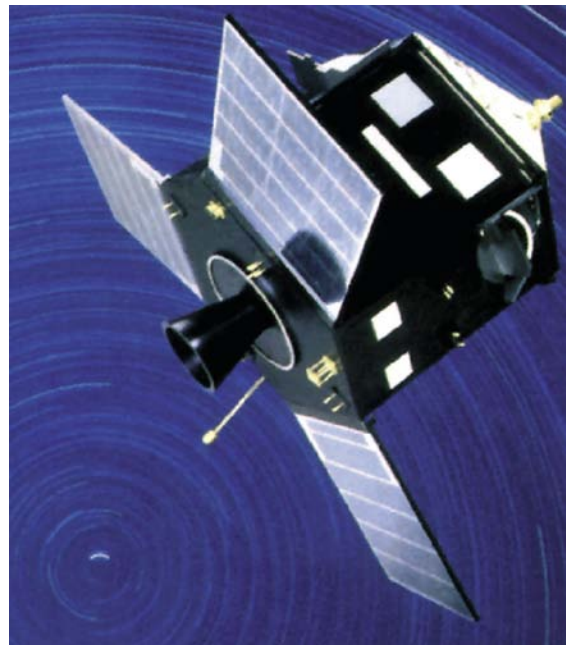
$$m - M = 5 \log(D/10 \text{ pc}) = 5 \log D - 5,$$

kjer je D oddaljenost zvezde, izražena v parsekih (pc).

Enačbo lahko tudi preoblikujemo tako, da je oddaljenost neposredno izražena:

$$D = 10^{(m-M+5)/5}.$$

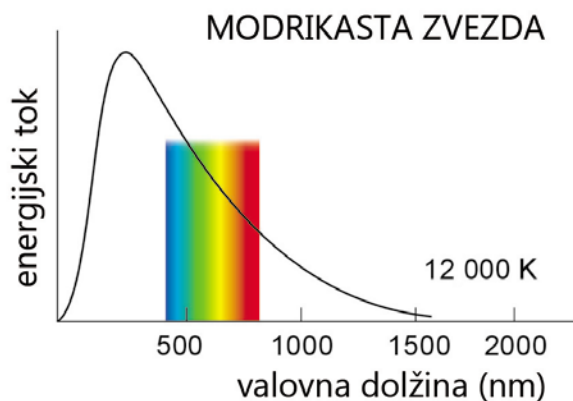
Pri določanju oddaljenosti vesoljskih teles lahko najprej izmerimo njihovo navidezno magnitudo m in če na neodvisen način določimo še njihovo absolutno magnitudo M , potem lahko izračunamo njihovo oddaljenost D . Astronomi veliko truda vlagajo v meritve absolutnih magnitud določenih vrst vesoljskih teles. Najnatančneje je bilo absolutne magnitude zvezd mogoče določiti iz meritev Esinega vesoljskega observatorija HIPPARCOS, ki je meril oddaljenosti in navidezne magnitude velikega števila bližnjih zvezd.



Slika 2
Satelit HIPPARCOS je Esa v vesolje izstrelila 8. avgusta 1989. Njegova glavna naloga je bila izdelava zvezdnega kataloga z do tedaj še nedoseženo natančnostjo. HIPPARCOS je do leta 1993 za približno 120.000 zvezd do 13. magnitude zelo natančno meril lege na nebu in njihove oddaljenosti. Zvezdni katalog je bil objavljen leta 1997.

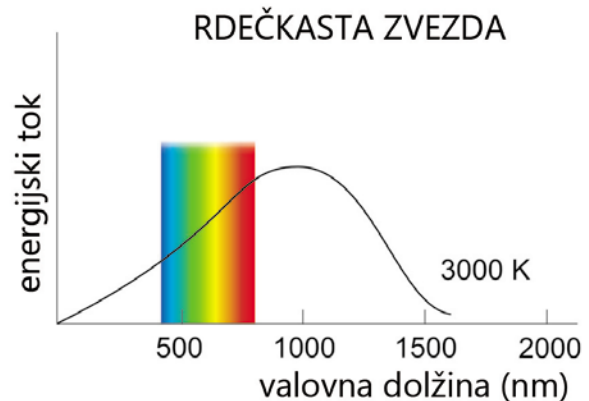
Različne barve, različne magnitude

Ob koncu 19. stoletja, ko so astronomi začeli s fotografskimi metodami določati navidezne magnitude, so imele na fotografijah različne magnitude. Fotografske plošče so bile namreč bolj občutljive na modro in manj na rdečo svetlobo kot oko. Tako sta nastali ločeni skali magnitud. Vizualna magnituda m_{viz} opisuje magnitudo zvezde, če jo opazujemo z očesom, fotografska magnituda m_{fot} pa označuje magnitudo zvezde na črno-beli na modro svetlobo bolj občutljivi fotografski emulziji. Toda različne fotografske emulzije so različno



magnitudo zvezd, se je pojavila nova težava. Nekatere zvezde, ki so pri vizualnih opazovanjih imele enake

Danes se magnitudo natančno določa s standardnimi fotometri, opremljenimi s standardnimi barvnimi filtri. Nastalo je več fotometričnih sistemov. Najpogosteje je v rabi sistem UBV, ki označuje meritve s tremi osnovnimi barvnimi filtri. Filter U je najbolj prepusten v bližnji ultravijolični svetlobi, filter B prepušča predvsem modro svetlobo, filter V pa približno sovпада s staro vizualno magnitudo; njegova



občutljive na barve, pa tudi občutljivost oči pri vseh opazovalcih ni enaka. Potreben je bil bolj natančen sistem magnitud za različne dele spektra vidne svetlobe. prepustnost je največja v rumeno-zelenem delu spektra, kjer so tudi oči najbolj občutljive. Pripadajoče magnitude v tem sistemu označujemo z m_U , m_B in m_V .

Od barvnega indeksa B-V do temperature zvezd

Barvni indeks B-V (skrajšano kar B-V) je definiran kot razlika magnitud $m_B - m_V$, kot jih zmerimo v sistemu UBV. Povsem bela zvezda ima B-V indeks približno 0,2, naše rumeno

Slika 3: Temperatura in barva zvezd
Shematski prikaz deleža energijskega toka svetlobe z zvezde (neprekinjeni črti) v odvisnosti od valovne dolžine za zvezdi s temperaturo 12000 K in 3000 K. Vidni del spektra je označen z mavrico. Barva zvezde je odvisna od

Sonce 0,63, oranžno-rdeča Betelgeza 1,85, najbolj modra zvezda pa -0,4.

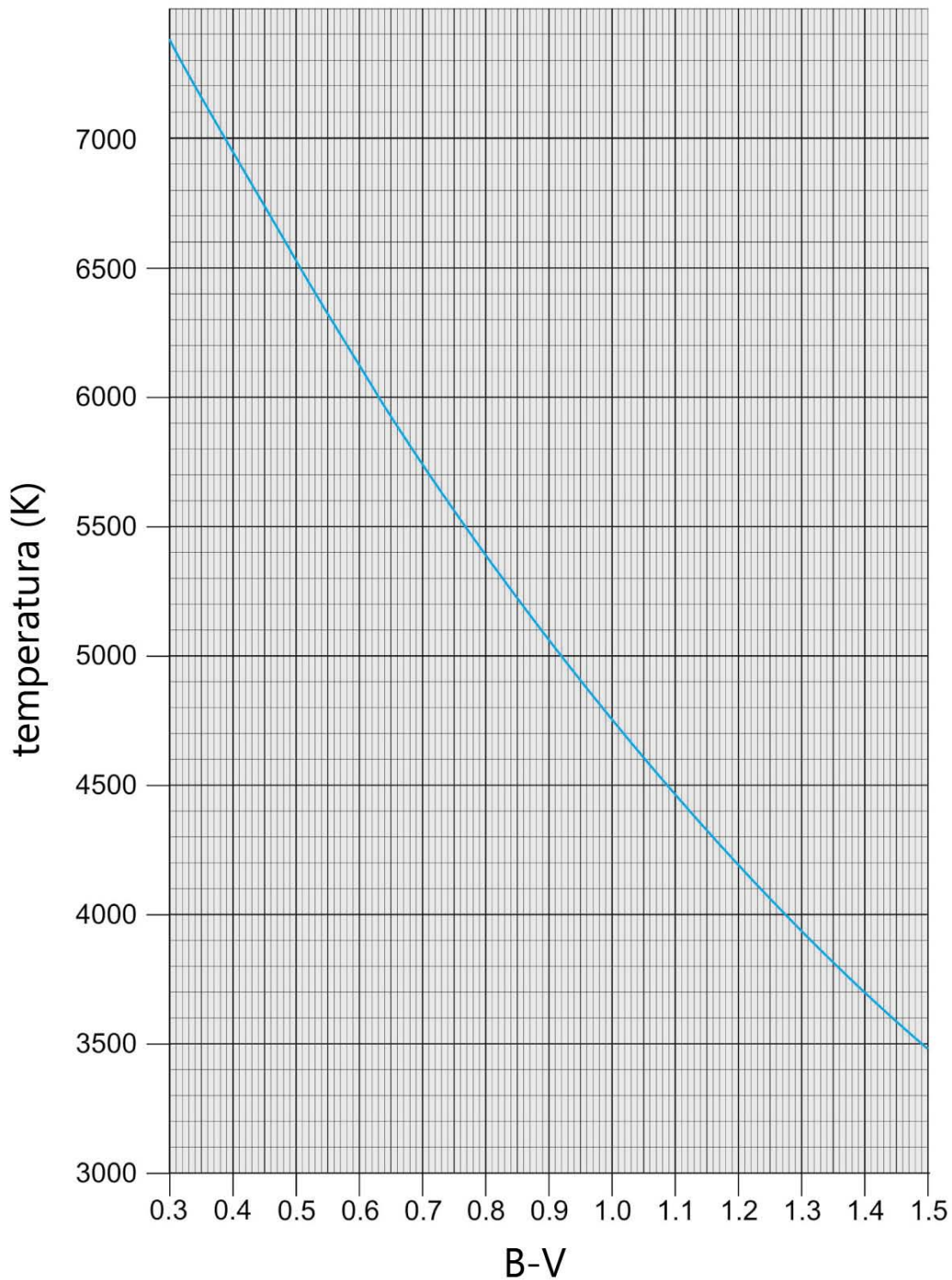
Barvni indeks lahko beremo tako, da bolj kot je zvezda modrikasta, bolj negativna je m_B in posledično je manjša tudi razlika $m_B - m_V$, torej manjši indeks B-V.

Obstaja stroga povezava med površinsko (efektivno) temperaturo T_{ef} zvezde in barvnim indeksom B-V.

Efektivno temperaturo zvezde lahko potemtakem določimo iz grafa

odvisnosti T_{ef} od barvnega indeksa $m_B - m_V$ (glej sliko 4), ki grafično ponazarja zvezo

$$\log T_{ef} = (14,551 - (m_B - m_V))/3,684.$$



Slika 4: Površinska (efektivna) temperatura zvezd v odvisnosti od barvnega indeksa $B-V$. Graf prikazuje zvezo med površinsko oz. efektivno temperaturo zvezd T in njihovim barvnim indeksom $B-V$. Če poznamo samo temperaturo ali samo barvni indeks kake zvezde, lahko s tem diagramom poiščemo drugo vrednost.

Vaje

Vaje so namenjene utrjevanju prej opisanih astronomskih količin.

1. naloga

Zvezda Betelgeza (alfa Oriona) ima navidezno magnitudo $m = 0,45$ in absolutno magnitudo $M = -5,14$.

Izračunaj oddaljenost Betelgeze.

Betelgeza je zvezda, ki tvori rame ozvezdja Orion. Uvrščamo jo med rdeče nadorjakinje. Že s prostim očesom je vidna njena oranžno-rdeča barva.

2. naloga

Zvezda Vega (alfa Lire) ima absolutno magnitudo $M=0,58$ in je oddaljena 7,76 parseka.

Izračunaj navidezno magnitudo Vege.

Vega je najsvetlejša zvezda v ozvezdju Lira in ena od zvezd asterizma Poletni trikotnik.

3. naloga

Deneb (alfa Laboda) je ena od zvezd tako imenovanega Poletnega trikotnika in najsvetlejša zvezda v ozvezdju Labod. Njena navidezna magnituda $m=1,25$, oddaljena pa je 993 parsekov.

Izračunaj njeno absolutno magnitudo.

Kaj ti ta podatek pove o Denebu?

4. naloga

Sirij (alfa Velikega psa) je najsvetlejša zvezda na nočnem nebu. Oddaljena je 2,64 parseka, njena navidezna magnituda pa je $m=-1,44$.

Izračunaj absolutno magnitudo Sirija.

Kaj lahko poveš o izsevu Sirija v primerjavi z zvezdami iz predhodnih nalog, če dobljeni rezultat primerjaš z absolutnimi magnitudami teh zvezd?

5. naloga

Denimo, da bi bile zvezde Vega, Betelgeza in Deneb oddaljene 10 parsekov.

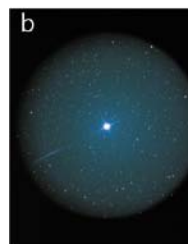
Kako bi si na našem nebu sledile po velikosti navideznega sija?

6. naloga

Absolutna magnituda M je definirana kot navidezna magnituda, ki bi jo imela zvezda, če bi bila oddaljena 10 parsekov od Sonca.

Kaj ne bi bilo vseeno, če bi njeno oddaljenost merili od Zemlje?

Zakaj ni bistvene razlike, če njeno oddaljenost merimo od Sonca ali od Zemlje?



Slika 5

a – Betelgeza

b – Vega

c – Poletni trikotnik:

Deneb (svetla zvezda

zgoraj levo), Vega (svetla

zvezda zgoraj desno) in

Altair (svetla zvezda

spodaj)

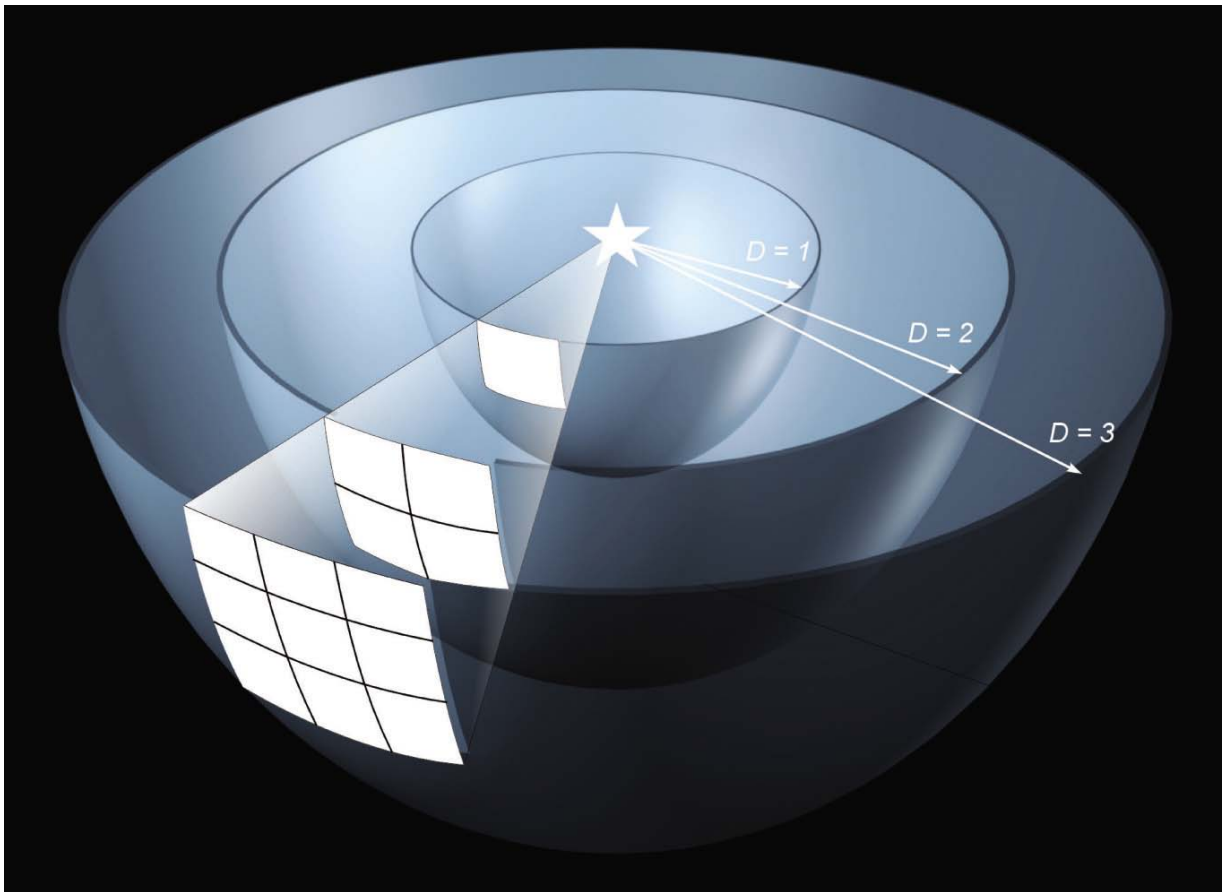
Izsev in gostota svetlobnega toka

Do sedaj smo govorili o magnitudah zvezd, nič pa nismo povedali o tem, koliko energije v obliki svetlobe zvezda oddaja. Celotni energiji v obliki svetlobe, ki jo vsako sekundo izseva zvezda pravimo izsev zvezde (L) in ga merimo v vatih (W). Izsev je enakovreden pojmu izsevana moč. Izsev je povezan z magnitudami zvezde. Zelo oddaljena zvezda z

njen polmer pa je enak oddaljenosti D med zvezdo in Zemljo (glej sliko 5):

$$j = L/4\pi D^2.$$

Izsev zvezde lahko izrazimo tudi kot večkratnik izseva Sonca $L_0=3,85 \times 10^{26}$ W. Ker je Sonce »naša« zvezda, jo ponavadi vzamemo kot referenčno zvezdo.



velikim izsevom ima lahko enako navidezno magnitudo kot bližnja zvezda z manjšim izsevom. Če poznamo navidezno magnitudo in oddaljenost kake zvezde, lahko izračunamo njen izsev. Privzamemo lahko, da je zvezda krogla, ki v vse smeri enakomerno seva svetlobo. Če hočemo izračunati gostoto svetlobnega toka j (moč v obliki svetlobe na enoto površine), ki s kake zvezde pride do Zemlje, potem njen izsev delimo s površino namišljene krogle, v središču katere je zvezda,

*Slika 6
Zamislimo si zvezdo, ki leži v središču namišljenih krogelnih lupin različnih polmerov D . Moč, ki jo v obliki svetlobe izseva zvezda, gre skozi vsako lupino, toda gostota svetlobnega toka se manjša s kvadratom oddaljenosti D od zvezde. To je na sliki ponazorjeno z belimi kvadrati na krogelnih lupinah. Tok, ki gre skozi izbrano površino v prvi lupini ($D=1$), gre v drugi lupini ($D=2$) skozi štirikrat večjo površino. V tretji lupini ($D=3$) pa skozi devetkrat večjo površino.*

Z malo matematične telovadbe ni težko poiskati razmerja izseva kake zvezde in Sonca:

$$L/L_o = (D/D_o)^2 j/j_o,$$

kjer je D_o oddaljenost Sonca od Zemlje, j_o pa gostota svetlobnega toka s Sonca na Zemlji oz. tako imenovana solarna konstanta.

Majhni koti in velike razdalje

Oglej si sliko 7. Če je b majhen v primerjavi s c , lahko predpostavimo, da je dolžina daljših stranic trikotnika enaka njegovi višini (središčna črta, ki deli b na polovico). Iz enačb za pravokotni trikotnik sledi:

$$\sin(\beta/2) = (b/2)/c.$$

Pri zelo majhnih kotih lahko zapišemo $\sin x = x$, seveda pa moramo kot meriti v radianih. Čeprav ta izraz ni povsem očiten, pa je matematično dokazljiv. S privzetki za majhne kote dobimo enostavno zvezo med b , c in β :

$$\beta/2 = (b/2)/c,$$

$$c = b/\beta.$$

Razmerje j/j_o lahko dobimo iz enačbe v poglavju o navideznih magnitudah ($m_S = -26,5$).

7. naloga

Zgornjo enačbo preveri z žepnim računalom za kote 1° , $1'$ in $1''$. Preden izračunaš sinus teh kotov, jih moraš pretvoriti v radiane (pomnožiš s $\pi/180^\circ$).

Enote in druge osnovne količine

1 kotna minuta = $1' = 1/60$ stopinje = $2,9089 \times 10^{-4}$ radiana

1 kotna sekunda = $1'' = 1/3600$ stopinje = $4,8481 \times 10^{-6}$ radiana

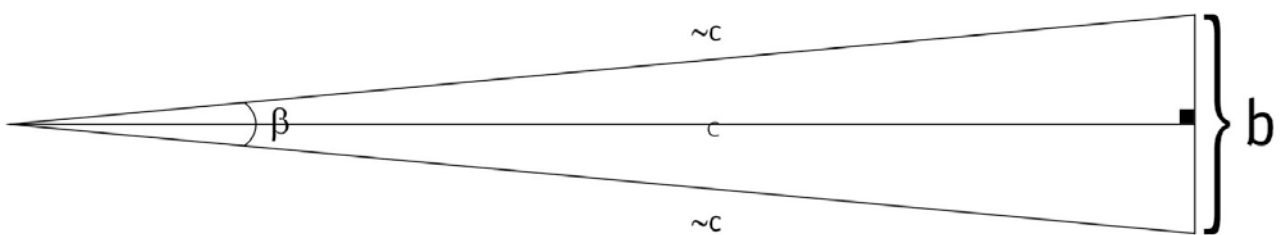
hitrost svetlobe (c) = $2,997 \times 10^8$ m/s

1 parsek (pc) = $3,086 \times 10^{16}$ m = 3,26 svetlobnega leta

1 kiloparsek (kpc) = 1000 parsekov

1 Megaparsek (Mpc) = 10^6 parsekov

1 nanometer (nm) = 10^{-9} m



Slika 7

Če je b majhne v primerjavi c , potem je kot β majhen. V tem primeru lahko razmerja med b , c in β izrazimo brez trigonometričnih funkcij.