

Određivanje koeficijenta atmosferske ekstinkcije

U ovom radu određen je koeficijent atmosferske ekstinkcije iznad Istraživačke stanice Petnica. Za određivanje koeficijenta ekstinkcije korišćen je Bugerov metod. Posmatranja su vršena u noći 18/19. avgust 2010. Obradom dobijenih snimaka dobijeni su grafici zavisnosti magnitude od debljine atmosfere. Fitovanjem linearnom funkcijom dobijen je koeficijent atmosferske ekstinkcije za dva modela ekstinkcije: dvokomponentni i trokomponentni model. S obzirom da koeficijent ekstinkcije zavisi od talasne dužine, merenja su vršena u BGR sistemu filtera talasnih dužina 451, 532 i 641 nm i dobijene su vrednosti 0.93, 0.92 i 0.91 magnitude po jediničnoj debljini atmosfere.

Uvod

Atmosferska ekstinkcija predstavlja pojavu slabljenja upadnog zračenja pri prolasku kroz atmosferu. čestice atmosfere apsorbiraju ili raseju jedan deo upadnog zračenja. Zbog nehomogenosti atmosfere, ova pojava se u različitoj meri manifestuje na različitim mestima na Zemlji. Uticaj ekstinkcije zavisi od fizičkih uslova koji vladaju u atmosferi kao što su vlažnost vazduha, temperatura, kretanje vazdušnih masa itd. Koeficijent atmosferske ekstinkcije je brojna vrednost koja pokazuje koliki se deo upadnog zračenja apsorbira ili raseje. Ovaj parametar se koristi za korigovanje astronomskih posmatranja, kao jedna od niza ispravki koje je potrebno napraviti kada na snimku ne postoji poredbeni objekat.

Usled prividnog kretanja nebeske sfere tokom noći, zvezde imaju različitu zenitnu daljinu, odnosno, menja se debljina atmosfere kroz koju prolazi nji-

hovo zračenje pa se shodno tome menja i prividna magnituda, (posmatrano sa površine Zemlje), posmatrane zvezde. Slabljenje intenziteta zračenja usled prolaska kroz atmosferu se može izraziti jedinačinom:

$$I = I_0 \cdot e^{-cd} \quad (1)$$

gde je I detektovani intenzitet zračenja na Zemlji, I_0 intenzitet zračenja pre ulaska u atmosferu, c koeficijent koji zavisi od sastava atmosfere, a d debljina sloja atmosfere kroz koji zračenje prolazi.

Obradena su dva modela ekstinkcije: dvokomponentni i trokomponentni model. U sastav dvokomponentnog modela ulaze Rayljijevo rasejanje i komponenta koju uzrokuju makromolekuli, (aerosoli), u atmosferi, (dust extinction).

U slučaju Petnice spoljašnji faktori imaju značajnu ulogu zbog specifičnog geografskog položaja. Iz tog razloga je u radu obrađivan i trokomponentni model koeficijenta ekstinkcije. U trokomponentnom modelu je pored dve gore pomenute komponente iz dvokomponentnog modela takođe prisutna i treća, čestična komponenta, (particular extinction), koju uzrokuju molekuli vode u atmosferi i još neke supstance koje nisu aerosoli. Za određivanje koeficijenta ekstinkcije u oba modela korišćen je Bugerov metod koji se zasniva na pretpostavci da se magnituda zvezde linearno menja sa promenom njene zenitne daljine. Fitovanjem posmatrane linearne zavisnosti dobija se koeficijent atmosferske ekstinkcije (Cousins i Caldwell 2001).

Pojedine komponente menjaju svoju vrednost a time i celokupan koeficijent ekstinkcije tokom određenih vremenskih perioda ili usled određenih događaja.

Kako je druga komponenta određena količinom aerosoli u atmosferi, lako se može zaključiti da će

Aleksandar Reljić (1993), Valjevo, Gradski Trg 30/9, učenik 2. razreda Valjevske gimnazije

MENTOR: Ivan Milić, IS Petnica

ona biti izraženija u toku zimskog nego u toku letnjeg perioda zato što je u toku zimskog perioda pojačana emisija aerosoli u atmosferu kao produkata sagorevanja, izduvnih gasova i sličnog. Druga komponenta nije toliko uslovljena klimatskim faktorima tako da promene temperature ne utiču na promenu njene vrednosti.

Treća, čestična komponenta će meri biti izražena u Petnici zato što se u neposrednoj blizini ISP nalaze Petničko jezero i reka Banja. Pored isparenja sa ovih vodenih površina koje je uslovljeno temperaturom i najizraženije u letnjim mesecima, na ovu komponentu utiče i promena vlažnosti vazduha što je posledica dešavanja u atmosferi, tako da se može zaključiti da je ova komponenta značajno uslovljena meteorološkim uslovima. U letnjoj polovini godine temperatura se drastično menja tokom dana i noći, ali te promene nemaju veliki uticaj zato što se voda zbog mešanja slojeva duže zagreva i hladi, pa tako nema velike promene u količini isparavanja a time ni u numeričkoj vrednosti treće komponente. Čestična komponenta ima znatno manji uticaj na sveukupni koeficijent ekstinkcije nego druga komponenta.

Uzevši u obzir sve navedeno, može se zaključiti da je najpovoljnije vreme za vršenje astronomskih posmatranja u Petnici letnja polovina godine zbog manjih promena u vrednostima samih promenljivih komponenti, kao i zbog njihovog manjeg uticaja.

Metod

Logaritmovanjem formule (1) dobija se:

$$m = m_0 + k \cdot d \quad (2)$$

gde je m prividna magnituda objekta posmatrano sa površine Zemlje, m_0 prividna magnituda objekta posmatrano van atmosfere, k koeficijent atmosferske ekstinkcije.

Pod aproksimacijom da je Zemljina površina ravna, koju je razumno uvesti za zenitne uglove veće od 15 stepeni, pređeni put se izražava kao (Cousins 1999):

$$d = \frac{1 \text{ debljina atmosfere}}{\cos z} \quad (3)$$

gde je z zenitni ugao posmatranog objekta.

Iz formule (2) se vidi da je zavisnost magnitude posmatrane zvezde od pređenog puta zračenja kroz atmosferu linearna funkcija. Koeficijent pravca te funkcije predstavlja koeficijent ekstinkcije. Ovaj

metod, poznat kao Bugerov metod, može se koristiti samo u mestima sa stabilnom atmosferom. Stabilna atmosfera podrazumeva da nema naglih promena uslova koji u njoj vladaju, to jest, da se klimatske prilike i sastav atmosfere ne menjaju u rasponu od nekoliko časova.

Prvi model ekstinkcije koji je u ovom radu obrađen je dvokomponenti model. Prva komponenta ovog modela je Rajlijevo rasejanje koje zavisi isključivo od nadmorske visine mesta sa kojeg se vrši posmatranje. Druga komponenta (dust extinction) je promenljiva koja zavisi od količine i sastava makromolekula u atmosferi i brže se menja. U ovom modelu koeficijent ekstinkcije k ima oblik (Mikulášek *et al.* 2001):

$$k = A \cdot \lambda^{-4} + B \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (4)$$

gde je k koeficijent ekstinkcije, λ talasna dužina, A parametar koji zavisi od Rajlijevog rasejanja, B parametar koji zavisi od količine i sastava makromolekula u atmosferi, i α spektralni parametar atmosferske ekstinkcije.

Parametar A takode zavisi i od ozonske apsorpcije, ali uzevši u obzir da su promene količine ozona, a time i njegove apsorpcije na godišnjem nivou, zanemarljivo male (manje od 4%), vrednost ovog parametra se uzima kao konstantna.

Rajlijevo rasejanje, (prva komponenta), za pojedine filtere se računa po sledećim formulama:

– za B filter:

$$R(B) = 0.2261 \cdot \frac{R(h)}{R(0)} + 0.031 [\text{magnituda}/X] \quad (5)$$

– za G filter:

$$R(G) = 0.1066 \cdot \frac{R(h)}{R(0)} + 0.001 [\text{magnituda}/X] \quad (6)$$

– za talasne dužine veće od 550 nm:

$$R(\lambda) = 0.107 \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-4} \frac{R(h)}{R(0)} + 0.001 [\text{magnituda}/X] \quad (7)$$

gde je R Rajlijevo rasejanje, λ talasna dužina u nm i $P(h)/P(0)$ odnos pritiska na nadmorskoj visini mesta iz kojeg su vršena posmatranja i pritiska na nivou mora. Taj odnos se predstavlja sledećom jednačinom (Mikulášek *et al.* 2001):

$$\frac{P(h)}{P(0)} = \exp\left(\frac{-h}{7996}\right) \quad (8)$$

gde je h nadmorska visina (u metrima) mesta sa koga su vršena posmatranja.

Oduzimanjem vrednosti Rajlijevog rasejanja dobijenih preko formula (5), (6) i (7) od koeficijenata atmosfere ekstinkcije, dobijaju se korigovani koeficijenti ekstinkcije za odgovarajuće talasne dužine. Korigovani koeficijenti ekstinkcije se računaju preko sledeće formule:

$$K'(\lambda) = K(\lambda) - R(\lambda) \cong D(\lambda) \quad (9)$$

gde je $K'(c)$ korigovani koeficijent ekstinkcije, $K(c)$ koeficijent ekstinkcije, $R(c)$ Rajlijevo rasejanje, c talasna dužina, i $D(c)$ druga komponenta u dvokomponentnom modelu. Iz formule (9) vidi se da je korigovani koeficijent ekstinkcije upravo tražena druga komponenta u dvokomponentnom modelu.

Spektralni parametar α se uzima kao srednja vrednost nagiba krive funkcije međusobne linearne zavisnosti korigovanih koeficijenta ekstinkcije za različite kombinacije talasnih dužina (tri filtera – tri talasne dužine).

U ovom radu su takođe obrađeni spektralni parametri za sve tri kombinacije filtera pojedinačno. Ovi spektralni parametri ustvari predstavljaju odnos između korigovanih koeficijenata ekstinkcije i oni se računaju preko formule:

$$\alpha_{ji} = \left[\frac{D_{cj}}{D_{ci}} \right] = \left(\frac{\lambda_{cj}}{\lambda_{ci}} \right)^{-4} \quad (10)$$

gde je α_{ji} spektralni parametar zavisnosti koeficijenta ekstinkcije za dve talasne dužine, D_{cj} korigovani koeficijent za jednu talasnu dužinu, D_{ci} korigovani koeficijent ekstinkcije drugu talasnu dužinu, λ_{cj} jedna talasna dužina i λ_{ci} druga talasna dužina.

Da bi se u trokomponentnom modelu sve tri komponente dobile pojedinačno, potrebno je prvo dobiti zavisnost koeficijenta ekstinkcije od talasne dužine i podatke fitovati funkcijom:

$$k = R + D \cdot \lambda + E \cdot \lambda^4 \quad (11)$$

gde je k koeficijent atmosfere ekstinkcije, R Rajlijevo rasejanje, D parametar promenljive koja zavisi od količine i sastava makromolekula (aerosola), E parametar promenljive koja se naziva čestična komponenta, i λ je talasna dužina. Fitovanjem zavisnosti koeficijenta ekstinkcije od talasne dužine funkcijom (11), i poznavanjem koeficijenta ekstinkcije za te talasne dužine mogu se dobiti ostali parametri. Za to je neophodno imati merenja za

najmanje tri različite talasne dužine, ali se dobijaju precizniji rezultati ukoliko je broj tih merenja veći.

Posmatrački materijal

Zvezda koja se posmatra treba da se bira po dva kriterijuma. Prvi kriterijum: neophodno je da posmatrana zvezda tokom noći što više menja visinu. Drugi kriterijum je da se maksimum njene krive sjaja nalazi upravo u vidljivom delu spektra, odnosno, da je intenzitet zračenja isti celom dužinom posmatranog dela spektra. Posmatrana je zvezda Altair u sazvežđu Orao.

Posmatranje je obavljeno u noć 18-19. avgusta 2010. godine od 22 h 20 min do 03 h 15 min po lokalnom vremenu (UT+1). Korišćen je teleskop Meade 178ED APo na Paramount ME Robotic telescope System montaži. Snimci su napravljeni SBIG ST-7 CCD kamerom opremljenom RGB sistemom filtera. Dobijena su 104 upotrebljiva snimka po filteru, koji su potom spojeni u pakete po 8 snimaka. Ekspozicije je bila 0.4 sekunde. Talasne dužine koje B, G i R filteri propuštaju su, redom, u graincama 390-510, 490-650 i 610-670 nm. Grafici zavisnosti magnitude od debljine atmosfere fitovani su linearnom funkcijom. Koeficijenti pravca dobijenih pravih predstavljaju tražene koeficijente ekstinkcije. Obrada podataka je rađena u programu MaxIm DL 5.08.

Rezultati

Dvokomponentni model atmosfere ekstinkcije

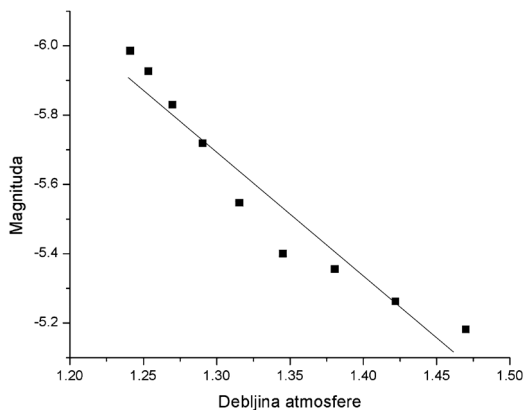
Dobijeni rezultati su dati u tabeli 1. Na slikama 1, 2 i 3 su prikazani grafici zavisnosti magnitude od debljine atmosfere i zavisnost koeficijenta ekstinkcije od talasne dužine. U tabeli 2 dati su spektralni indeksi dobijeni iz jednačine (10).

Tabela 1. Dobijeni rezultati ekstinkcije u dvokomponentnom modelu

| Filter | λ | $K[\text{mag}/d]$ | R | D |
|--------|-----------|-------------------|--------|-------|
| B | 451 | 0.93(5) | 0.2596 | 0.661 |
| G | 532 | 0.92(5) | 0.1346 | 0.784 |
| R | 641 | 0.91(7) | 0.0564 | 0.851 |

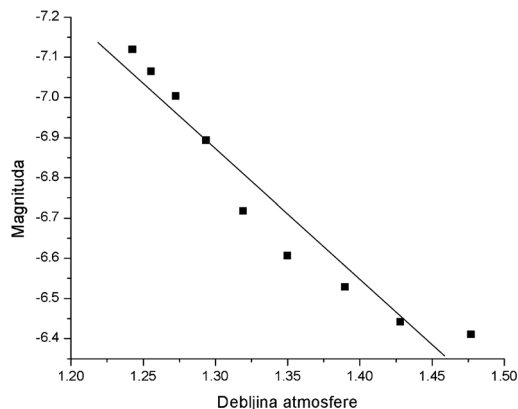
Tabela 2. Odnosi između korigovanih koeficijenata ekstinkcije i spektralni parametri pojedinačnih kombinacija filtera

| Korigovani koeficijenti | $\lambda_{ci}/\lambda_{cj}$ | α_{ij} | α |
|-------------------------|-----------------------------|---------------|----------|
| $K'(B)$ vs $K'(G)$ | 451/532 | 0.8432 | 1.5185 |
| $K'(B)$ vs $K'(R)$ | 451/641 | 0.7764 | 1.0016 |
| $K'(G)$ vs $K'(R)$ | 532/641 | 0.9208 | 1.0016 |



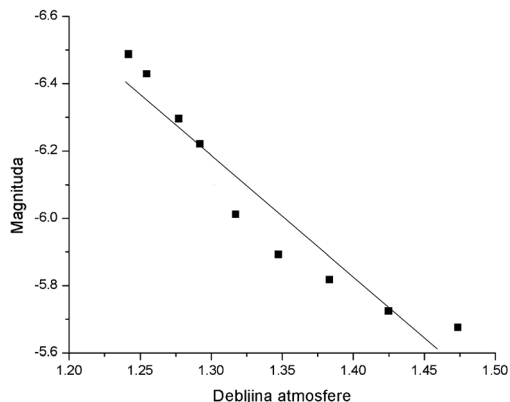
Slika 1. Zavisnosti magnituda od debljine atmosfere u B filteru

Figure 1. Magnitude depending on the thickness of the atmosphere in the B filter



Slika 2. Zavisnosti magnituda od debljine atmosfere u G filteru

Figure 2. Magnitude depending on the thickness of the atmosphere in the G filter



Slika 3. Zavisnosti magnituda od debljine atmosfere u R filteru

Figure 3. Magnitude depending on the thickness of the atmosphere in the R filter

Trokomponentni model atmosferske ekstinkcije

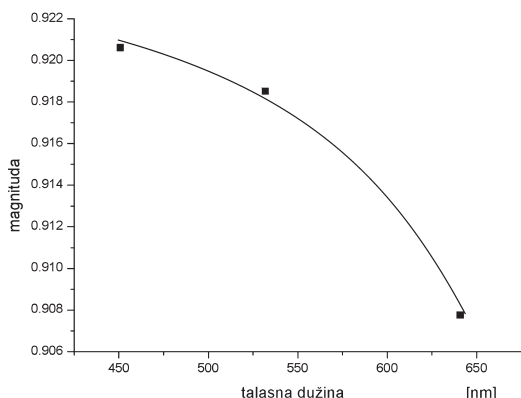
Dobijeni rezultati su dati u tabeli 3, a grafik zavisnosti koeficijenta ekstinkcije od talasne dužine je dat na slici 4. Kod ovog modela jedini dodatak je čestična komponenta čijim uvođenjem se menja iznos druge komponente, dok Rejljeva konstanta ostaje ista.

Tabela 3. Dobijeni parametri ekstinkcije u trokomponentnom modelu

| Filter | λ [nm] | k | R | D | E |
|--------|----------------|---------|--------|--------|--------|
| B | 451 | 0.93(5) | 0.2596 | 0.6137 | 0.0473 |
| G | 532 | 0.92(5) | 0.1346 | 0.7595 | 0.0244 |
| R | 641 | 0.91(7) | 0.0564 | 0.8397 | 0.0116 |

Diskusija i zaključak

Izračunati koeficijenti k koji su navedeni u tabelama 1 i 3, i spektralni parametri u tabeli 2, slični su koeficijentima i parametrima izračunatim u češkoj opservatoriji Brno (Mikulášek *et al.* 2001; Mikulášek *et al.* 2003). Dobijeni grafici dati na slikama 1, 2, 3 i 4 se takođe podudaraju sa rezultatima



Slika 4. Zavisnost koeficijenta ekstinkcije od talasne dužine. Na slici se vidi grafik promene koeficijenta ekstinkcije u zavisnosti od talasne dužine.

Figure 4. Extinction coefficient as a function of wave length. Here the changes of the extinction coefficient caused by the changes of the wave length are shown.

merjenja u toj opservatoriji. Koeficijent ekstinkcije kao i komponente u oba modela se ponašaju na očekivani način. Naime, koeficijent ekstinkcije, Rejljivo rasejanje i treća komponenta rastu sa smanjenjem talasne dužine, dok druga komponenta opada sa smanjenjem talasne dužine.

Metod koji je korišćen kod obrade trokomponentnog modela je ograničen malim brojem podataka, što omogućava korišćenje drugih, preciznijih načina obrade koji zahtevaju ili veću količinu podataka, ili simultana posmatranja na više lokacija. Treba zapaziti da se na na grafiku 4 se nalaze samo tri tačke, dok funkcija kojom se fituje zavisnost ima 3 nepoznata parametra. Ovakav metod ne ostavlja mogućnost ocene greške, tako da se na osnovu grafika na slici 4 ne može govoriti o kvalitetu obavljenih merjenja.

Pojedini rezultati u oba modela su dati u tri ili četiri decimale radi lakšeg uočavanja razlika između vrednosti dobijenih u Petnici i onih dobijenih u opservatoriji u Brnu, koje se u nekim slučajevima uočavaju tek na trećoj decimali, i radi lakšeg uočavanja međusobnih razlika između dva modela.

Rezultati dobijeni u ovom radu su dovoljno pouzdani da se mogu primenjivati u praksi tako da mogu biti korišćeni za poboljšanje kvaliteta posmatranja vršenih u Petnici.

Uvođenje treće komponente ne pravi veliku razliku jer se koeficijent ekstinkcije ne menja. Međutim, uvođenjem treće komponente se postiže veća preciznost pri raspodeli pojedinačnih faktora koji čine koeficijent ekstinkcije, ali samo u slučaju obrade veće količine podataka u većem broju filtera, posebno pri nižim talasnim dužinama gde se ta komponenta više manifestuje. Za kvalitetnije posmatranje bi bilo potrebno vršiti snimanja simultano sa dve lokacije na različitim nadmorskim visinama i srednjoj međusobnoj udaljenosti, ili posmatranje treba vršiti sa jedne lokacije ali u UBVRI sistemu filtera. U prvom slučaju bi se komponente koje sačinjavaju koeficijent atmosfere ekstinkcije dobile upoređivanjem rezultata dobijenih na jednoj i na drugoj lokaciji, a u drugom slučaju bi samo povećanje broja podataka uz korišćenje metoda izloženog u ovom radu omogućilo veću preciznost u izračunavanju.

Zahvalnost. Zahvaljujem se na valikoj pomoći vođi seminara i mentoru na projektu Ivanu Miliću, kao i saradnicima programa astronomije u Istraživačkoj stanici Petnica, koji su svojim sugestijama doprineli kvalitetu projekta.

Literatura

- Cousins A. W. J. 1999. A comparison of the usual graphical method with the Bouguer line method of determining atmospheric extinctions. *Monthly Notes of the Astron. Soc. Southern Africa.*, **58**: 41.
- Cousins A. W. J., Caldwell J. A. R. 2001 Atmospheric extinction of U-B photometry. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **323**: 380.
- Mikulášek Z., Papoušek J., Tremko J., Žižnovsky J. 2001. Atmospheric extinction at the Brno and Skalnaté Pleso Observatories II. Interpretation of Observations. Models of Extinction. Long-term and Seasonal Variations. Prediction. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, **31** (2): 90.
- Mikulášek Z., Svoren J., Žižnovsky J. 2003. Atmospheric Extinction at the Brno and Skalnaté Pleso Observatories. III. Model of extinction derived for Skalnaté Pleso from IHW/IAU medium-band photometrical observation of comets in 1985-90. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, **33** (1): 21.

Aleksandar Reljić

Determination of the Atmospheric Extinction Coefficient

Atmospheric extinction is manifested by the absorption and scattering of light that passes through the atmosphere. The goal of this paper is to determine the atmospheric extinction coefficient in Petnica. For the determination of extinction coefficients the Bougers method was used. The method lays in observing the linear change of the stars magnitude over the change of zenith angle. Measurements were made during the night between the 18th

and the 19th of August, 2010. Processing the data gathered during that night we acquire the dependency between the apparent magnitude and the thickness of the atmosphere. Fitting the observed data with a linear function, we acquire the atmospheric extinction coefficient, as the slope of the line (Cousins and Caldwell 2001). Two models of extinction are described in this paper, one containing two components and another containing three components. Since the extinction coefficient is different for different wavelengths, the measurements were made in a BGR filter system for wavelengths of 451, 532 and 641 nanometers, and the values of 0.93, 0.92 I 0.91 magnitudes per air mass were gotten for the B, G and R, filter respectively. 