

Udaljenost Malog Magelanovog oblaka

Uvod

Merenje rastojanja u astronomiji je vrlo zahtevan posao s obzirom da su skale na kojima se vrše posmatranja od Sunčevog sistema (reda nekoliko AJ) do velikih skala u Svemiru (nekoliko stotina Mpc, ali se u vangalaktičkoj astronomiji većinom koristi crveni pomak kao mera rastojanja). Kako bi se merila velika rastojanja, pre toga moraju biti poznate udaljenosti do bližih objekata na osnovu kojih se mogu kalibrisati ostale metode. Tako se sa povećanjem udaljenosti objekata od Zemlje povećava i neodređenost merenja rastojanja do istih.

Jedan od načina mere rastojanja je korišćenje standardnih sveća - objekata sa tačno poznatim apsolutnim sjajem. Objekti koje često koristimo kao standardne sveće su cefeide i supernove tipa Ia. Cefeide predstavljaju periodično pulsirajuće zvezde sa periodom pulsacije od 1^d do 50^d . Mehanizam koji je odgovoran za pulsacije cefeida je predložio Edington i naziva se mehanizmom ventila (još se naziva i κ -mehanizam).

Posmatrajmo jedan sloj unutar zvezde. Sažimanjem zvezde, dolazi do povećanja gustine unutar datog sloja i smanjuje se količina zračenja koja izlazi na površinu zvezde. Kada pritisak zračenja nadvlada gravitacioni pritisak, zvezda kreće da se širi i sloj se pomera naviše. Pri tome dolazi do smanjenja gustine datog sloja i zračenje slobodno izlazi iz zvezde. U trenutku kada je gravitacioni pritisak veći nego pritisak zračenja, dolazi do ponovnog sabijanja i povećava se gustina u datom sloju. Periodične oscilacije ovog sloja oko nekog ravnotežnog položaja izazivaju periodičnu promenu sjaja koja se detektuju.

Kako bi ove pulsacije opstale, neprozračnost datog sloja mora da se povećava pri sabijanju, a to se jedino dešava ukoliko se u datom sloju nalazi parcijalno jonizovani helijum. Ovo otkriće se prepisuje Sergeju Ževakinu. Pri sabijanju sloja gasa u zvezdi dolazi do jonizacije He II jona (povećava se temperatura, učestaliji su sudari i dolazi do jonizacije), dok pri širenju dolazi do rekombinacije jona He III (sredina se hladi, jon He III zahvata elektrone i rekombinuje se).

Cefeide nazivamo standardnim svećama zato što mereći period pulsacije može se proceniti apsolutna magnituda same zvezde. Relaciju period-luminoznost kod cefeida primetila je Henrijeta Livit 1912. godine i ona se razlikuje od tipa cefeida:

$$\overline{M_V} = -1.5 - 1.74 \log P \quad \text{- cefeide tipa I}$$

$$\overline{M_V} = -0.2 - 1.50 \log P \quad \text{- cefeide tipa II}$$

gde je P period pulsacije u danima, a $\overline{M_V}$ srednja apsolutna magnituda. Cefeide tipa I su mlađe zvezde (populacija I), a cefeide tipa II su starije zvezde (populacije II). Iz posmatrane prividne i izračunate apsolutne magnitude može se proceniti rastojanje do date cefeide iz Pogsonovog zakona.

Zadataka

Na osnovu posmatranja pet cefeida tipa I (HV822, HV1328, HV1333, HV13335, HV1345) u Malom Magelanovom oblaku proceniti period pulsacija cefeida, a potom i rastojanje do Malog Magelanovog oblaka.

U programskom jeziku Python3 napisati kod za obradu krive sjaja cefeida koji će proceniti period, a potom i izračunati rastojanje do svake cefeide. Možete koristiti već gotove pakete u Pythonu za analizu perioda signala, kao što su Furijeova transformacija ili Lomb-Scargle algoritma, ili sami da isprogramirate Lomb-Scargle (videti dodatak i Press et al. 2007). Za rad se preporučuje Lomb-Scargle algoritam s obzirom da su posmatranja izvršena u neekvidistantnim vremenskim intervalima i predlaže se korišćenje funkcije Lomb-Scargle iz `astropy` modula.

U izveštaju priložiti krivu sjaja svake cefeide svedene na fazu. Uporediti i prokomentarisati rastojanje do Malog Magelanovog oblaka sa današnjom prihvaćenom vrednošću.

Literatura

- [1] Vukićević-Karabin M., Atanacković O., 2010. Opšta astrofizika, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.
- [2] Press H. William, Teukolsky A. Saul, Vetterling T. William, Flannery P. Brian, 2007. Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, New York.
- [3] Storm J., Carney B. W., Gieren W. P., Fouque P., Freedman W. L., Madore B. F., Habgood M. J., 2004. BVRIJK light curve and radial velocity curves for selected Magellanic Cloud Cepheids. *Astronomy and Astrophysics*, **415**: 521-529.

Dodatak

Signal sa cefeide meren je u različitom vremenskom intervalu sa nekonstantnim korakom. Za analizu perioda nekog signala koriste se različiti algoritmi, kao što je Furijeova analiza. Međutim, Furijeova analiza radi samo na uzorcima sa jednakim razmakom između uzastopnih merenja, što ne možemo primeniti kod krivih sjaja cefeida. Zbog toga se koristi Lomb-Scargle algoritam iz čijeg se periodograma očitava frekvencija najjačeg signala.

Algoritmi za analizu periodičnosti signala razlažu signal na skup sinusnih i kosinusnih funkcija različitog perioda. Lomb-Scargle fituje odgovarajuće kombinacije funkcija i računa snagu signala sa određenim periodom (frekvencom) prema:

$$P_N(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{[\sum_j (h_j - \bar{h}) \cos(\omega(t_j - \tau))]^2}{\sum_j \cos^2(\omega(t_j - \tau))} + \frac{[\sum_j (h_j - \bar{h}) \sin(\omega(t_j - \tau))]^2}{\sum_j \sin^2(\omega(t_j - \tau))} \right)$$

što nazivamo periodogramom - zavisnost jačine signala određene ugaone frekvencije ω . U gornjem izrazu nezavisna promenljiva je vreme t_j gde je τ definisano prema relaciji:

$$\tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_j \sin(2\omega t_j)}{\sum_j \cos(2\omega t_j)}$$

Promenljiva h je zavisna promenljiva, u našem primeru je to prividna magnituda m koja se menja tokom vremena: $h_j = h(t_j)$. Tako su onda definisane vrednosti:

$$\bar{h} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} h_i, \quad \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} (h_i - \bar{h})^2$$

U prethodnim izrazima je pretpostavljeno da je na raspolaganju N mernih vrednosti. Za detalje videti odličnu knjigu Press i saradnici (2007).