Opažanja varijabilnosti međuzvjezdanih apsorpcijskih linija

Vješnica, Stella

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, University of Split, Faculty of science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:166:825830

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Science







SVEUČILIŠTE U SPLITU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Završni rad

Opažanja varijabilnosti međuzvjezdanih apsorpcijskih linija

Stella Vješnica

Split, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
Sveučilišni preddiplomski studij Fizika

Završni rad

Opažanja varijabilnosti međuzvjezdanih apsorpcijskih linija

Stella Vješnica

Mentor: **doc. dr. sc. Marko Kovač**

Ocjena završnog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

Datum polaganja: _____

Split, rujan 2018.

Zahvale

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Jaceku Krełowskom iz Centra za Astronomiju u Toruńu u Poljskoj koji mi je strpljivim razgovorima i kvalitetnom diskusijom pružio temelje za razumijevanje postupka astronomske spektralne analize, te se zahvaljujem što me je opskrbio spektrima zvijezda obrađenih u ovome radu.

Zahvaljujem se i prof. dr. sc. Andrzeju Strobelu na pruženoj potpori i usmjeravanju prilikom realizacije ovog rada.

Zahvaljujem se programu TAPS („Toruń Astrophysics/Physics Summer Program“) koji mi je omogućio suradnju s gore uvaženim profesorima, tijekom srpnja 2017. godine.

Sažetak

Nedavna otkrića varijabilnosti intenziteta međuzvjezdanih spektralnih linija ukazuju na moguće postojanje brzih i vrlo malih struktura materije u međuzvjezdanom mediju, reda veličine od 10 do 100 astronomskih jedinica (AU). U ovom radu pažnja je bila posvećena zvijezdama aktivnog zvjezdorodnog područja η Carinae, u kojem je vjerojatnija prisutnost spomenutih struktura, zbog gustoće okolnog plina i prašine. Spomenuto potvrđuju i rezultati rada, gdje sam uočila varijabilnost međuzvjezdanih apsorpcijskih linija na većem broju spektara, nego što je to ranije bilo primijećeno. U rezultatima su analizirane vrijednosti radijalnih brzina varirajućih komponenti, vremenske epohe unutar kojih su varijabilnosti uočene, te njihova manifestacija na profil pojedine linije.

Sadržaj

Zahvale **i**

Sažetak **ii**

Uvod **1**

1 Eksperimentalni podatci i metoda analize podataka **3**
1.1 Analizirani spektri 3
1.2 η Carinae 4
1.2.1 Odabrane zvijezde 5
1.3 DECH software 5

2 Rezultati spektralne analize **7**

3 Diskusija **12**

4 Zaključak **14**

Popis literature **15**

Uvod

Osim obilja informacija koje spektroskopska istraživanja zvijezda pružaju, ponajviše o kemijskoj strukturi i fizikalnim karakteristikama istih, ona su dodatno potvrdila i postojanje međuzvjezdanog plina. Naime, međuzvjezdani plin se očituje uskim spektralnim linijama koje nastaju prilikom apsorpcije svjetlosti opažanih zvijezda, na putu od zvijezde do promatrača. Uski profil linije ukazuje na to da su svi čimbenici koji inače kod zvijezda doprinose proširenju linije (temperatura, vrtnja itd.) u ovom slučaju malog iznosa.

Dugo vremena se smatralo da međuzvjezdane apsorpcijske linije moraju biti konstantnog intenziteta, s obzirom da međuzvjezdani oblaci plina, zbog svoje veličine procijenjene na nekoliko parseka, ne bi smjeli dopuštati ikakvu promjenu fizikalnih parametara tijekom prosječnog ljudskog životnog vijeka. Međutim, nedavna opažanja ukazuju na to da međuzvjezdani oblaci nisu homogeni i stoga prethodni argument ne mora biti valjan u svim slučajevima. Promjene jakosti linija mogu se javiti i kod nehomogenosti kojima površinska veličina ne premašuje 100 AU. Ovaj red veličine češće se povezuje s ovojnicama plina oko zvijezda, nego sa pravim međuzvjezdanim oblacima. Nadalje, spomenute nehomogenosti sijeku pravac gledanja velikim brzinama i posebno ih je lako zateći unutar OB asocijacija zvijezda koje su nedavno formirane iz gustih molekularnih oblaka ili u okolini brzo ekspandirajućih objekata. Stoga ne začuđuje da su navedene promjene u ne-stelarnim apsorpcijama prvi puta i uočene u spektrima zvijezda koje leže iza ostataka supernove, kao što je to priopćeno u radu od Hobbs, Wallerstein & Hu (1982) [1] koji su pronašli varijabilne Dopplerove komponente u međuzvjezdanim linijama ioniziranog kalcija (CaII).

Opažanja varijabilnih međuzvjezdanih linija u većini slučajeva su ovisila o optičkim spektrografima visoke rezolucije koji pospješuju detektiranje slabih uskih linija i pomoću kojih je moguće razlučiti varijabilne apsorpcijske komponente od ne-varijabilnih susjednih komponenata. Jedno takvo novije istraživanje provedeno od strane McEvoy et al. (2015) [2] oslanjalo se na multi epohalna optička

opažanja u visokoj rezoluciji, gdje su autori usporedili međuzvjedane apsorpcijske linije vidljive duž 104 pravca gledanja prema odabranim zvijezdama spektralnih razreda O i B, tijekom dvije (ponekad i tri) epohe odvojene razdobljem od 5 do 20 godina. Međutim, od istražena 104 pravca gledanja, moguće varijacije su uočene kod H i K linija ioniziranog kalcija, neutralnog kalcija (CaI), te D linije neutralnog natrija (NaI), samo za 6% pravaca gledanja.

Prethodno istraživanje, iako provedeno za različite pravce gledanja i dalje nije jaka potvrda da je varijacija međuzvjezdanih linija općenito zastupljena pojava u međuzvjezdanom mediju, već bi ona ipak mogla biti lokalne prirode, tj. fenomen koji se povezuje uz atipična područja međuzvjezdanog medija. Na primjer, ovaj fenomen može biti većinom prisutan unutar mladih zvjezdanih agragata gdje se mnogo difuzne materije i dalje opaža. Mlade OB asocijacije zvijezda tipično se sastoje od mnogo gustih tamnih oblaka (tzv. Bokovih globula) koje se mogu opaziti na fotografijama i koje ukazuju na mogućnost postojanja gustih, ali ipak transparentnih oblaka na skali od samo nekoliko desetaka astronomskih jedinica. Takvi oblaci malih veličina, koji presjecaju pravce gledanja velikim brzinama, mogu uzrokovati varijabilnost u međuzvjezdanim atomskim ili molekularnim linijama. Također, mogu uzrokovati atipičnu ekstinkciju, jer se tijekom gravitacijskog urušavanja zrna mogu udružiti i formirati veće čestice - mnogo veće od onih od kojih su sačinjeni difuzni ili poluprozirni oblaci, te na taj način efektivno smanjiti sjaj zvijezda. Upravo je jedan takav slučaj diskutiran u ovome radu na primjeru zvijezda unutar η Carinae asocijacije.

Poglavlje 1

Eksperimentalni podatci i metoda analize podataka

Tehničke karakteristike spektrografa i dobivenih spektara, odabir zvijezda u području interesa, kao i samo mjerenje karakteristika spektralnih linija biti će detaljnije objašnjeni u slijedećim potpoglavljima.

1.1 Analizirani spektri

Spektri analizirani u ovom radu snimljeni su korištenjem dva tzv. „echelle“ spektrografa - *Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph* (UVES) i *The Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph* (FEROS). Echelle je sklop kojim je moguće postići vrlo visoku razlučivost spektara. Echelle rešetka je vrsta difrakcijske rešetke koju karakterizira relativno niska gustoća utora, ali oblik utora koji je optimiziran za dobivanje viših difrakcijskih redova, koje je zbog prostornog preklapanja potrebno naknadno odvojiti slabijom difrakcijskom rešetkom tzv. „križastom rešetkom“ (eng. *cross disperser*). Detaljnije o korištenim spektrografima:

- UVES je optički spektrograf visoke rezolucije korišten skupa s 8-metarskim Kueyen VLT zrcalom. Spektralna razlučivost može ići do R = 80 000 u plavom dijelu spektra i R = 110 000 u crvenom. Veličina teleskopa omogućava dostizanje visokog *Signal-to-noise* (S/N) omjera, čak i za slabo sjajne zvijezde.
- FEROS spektrograf koristi se skupa s 2.2-metarskim ESO La Silla teleskopom i omogućava snimanje pojedinačnih ekspozicija koje obuhvaćaju spektralna područja od 3 600 Å do 9 200 Å podijeljenih u 39 echelle redova.

Kako redovi pokrivaju prilično širok raspon valnih duljina, to čini FEROS spektrograf vrlo korisnim alatom za provjeru spektralnih i luminozitetnih razreda promatranih objekata. Razlučivost FEROS spektra iznosi R = 48 000.

Objekti južne nebeske polusfere analizirani u ovome radu, dostupni su objema spektrografima. Omjer željenog signala naspram količine pozadinskog šuma predstavlja S/N omjer i u ovome radu on je iznosio između 100 i 400 u slučaju spektara snimljenih sa spektrografom FEROS, te 300 u slučaju spektrografa UVES.

1.2 η Carinae

Emisijska maglica η Carinae (NGC 3372) dio je Carina OB1 asocijacije u Carina-Sagittarius spiralnom kraku galaksije. U maglici se još mogu pronaći otvoreni skupovi zvijezda poput Trumpler (Tr) 14, Tr 16 i Collinder 228.

Cjelokupna maglica predstavlja ogromni sustav zvijezda velikih masa, prašine i plina, te se smatra jednom od najmlađih takvih asocijacija unutar Mliječne staze. Prisutnost ostataka roditeljskog oblaka, posebno u formi malih gruda materije, vrlo vjerojatno mogu biti uzrokom varijabilnosti međuzvjezdanih linija prilikom presjecanja pravca gledanja.

Zbog trenutno aktivne formacije zvijezda η Carina maglica pokazuje znakove najsloženijih profila Dopplerovih komponenti, koji se mogu zateći u našoj galaksiji. Promatrajući zvijezde unutar maglice, Walborn & Hesser (1975) [3] su pokazali da se vrlo složene strukture mogu pronaći u CaII apsorpcijskim linijama, kojih ima čak šest komponenti u jednome spektru, od kojih je pet formirano unutar maglice. Također, to potvrđuje ideju da se vrlo dinamični procesi mogu zateći u η Carinae maglici i da ima smisla očekivati varijacije intenziteta međuzvjezdanih linija u unutrašnjosti maglice, čak i u vrlo kratkom vremenskom razdoblju. Zaista, one su već jednom bile registrirane u η Carinae maglici, no samo u slučaju jedne zvijezde pod nazivom CPD -59° 2603 (Danks et al., 2001) [4], gdje su varijacije primijećene u razdoblju od 22 godine sa spektrografom visoke razlučivosti, priključenim na svemirski teleskop Hubble.

Kako mi je cilj bio opaziti navedeni fenomen varijacije za veći broj zvijezda unutar navedene maglice, koristila sam se nekolicinom spektara dostupnih iz *European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere* (ESO) arhive, za zvijezde unutar skupova Trumpler 16 i 14.

1.2.1 Odabrane zvijezde

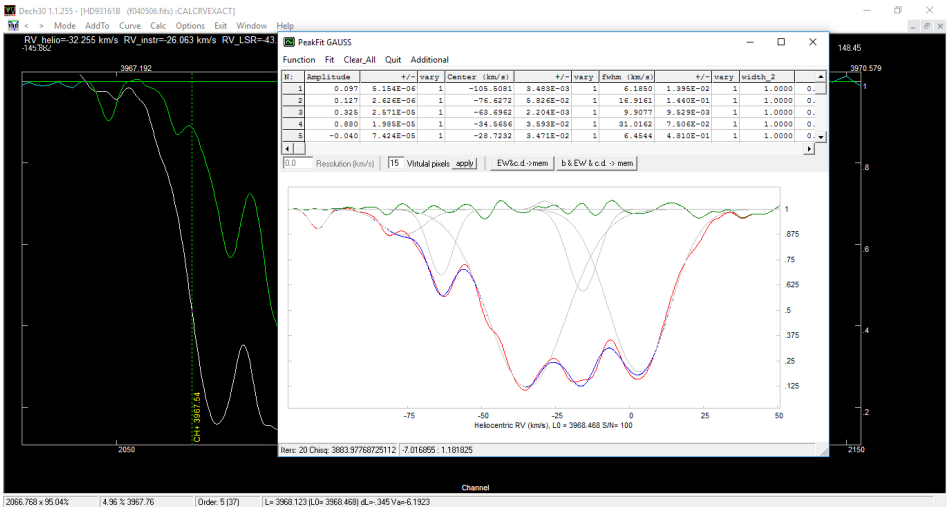
Iako je η Carinae vrlo bogato zvjezdorodno područje, do sada nije snimljeno mnogo spektara koji bi bili pogodni i raspoloživi za provedbu analize, a još manje zvijezda zadovoljava uvjet dostupnosti dva ili više spektara snimljena u različitim epohama. Uz prethodni uvjet, bilo je potrebno ograničiti se i na zvijezde razreda O i B, jer su spektri zvijezda kasnijih spektralnih razreda kompleksniji, te dolazi do pojave težih elemenata koji mogu remetiti identifikaciju pojedinih komponenti međuzvjezdanih linija. Naravno, dodatni uvjet je predstavljao i prividni sjaj zvijezda, gdje sam se morala ograničiti na zvijezde prividne magnitude manje od 8.5, kako bih uopće mogla razaznati određene komponente međuzvjezdanih linija od okolnog šuma koji je prisutniji u spektrima manje sjajnih zvijezda.

Uzimajući sve spomenute uvjete u obzir, moj izbor zvijezda spao je na četiri kandidata koji su navedeni u tablici 3.1.

1.3 DECH software

Za potrebe ovoga rada nije bila nužna dodatna obrada korištenih spektara poput postupka poništavanja biasa, uklanjanja pozadinskog šuma i/ili primjenjivanja korekcije za difuzno svjetlo. Bilo je dovoljno odrediti kontinuum spektra kako bih mogla doći do njegovog normaliziranog oblika. Iz takvog su se prikaza mogle izmjeriti ekvivalentne širine i odrediti pozicije traženih apsorpcijskih linija. Posljednje spomenuto bilo je nužno kako bi se saznale radijalne brzine Dopplerovih komponenti promatranih linija. Za prethodno nabrojane postupke bio mi je sasvim dovoljan DECH software [5] koji omogućava vrlo jednostavnu primjenu navedenih operacija. Naime, DECH funkcionira na način da učitava FITS datoteke echelle spektara, tj. pojedinačne datoteke u kojima su svi redovi echelle spektra pohranjeni u nizu, te se nad takvim „sirovim“ spektrima vrši aproksimacija kontinuuma, kojeg DECH pohranjuje u datoteku s ekstenzijom CCM. Kontinuum predstavlja liniju koja za dani objekt, koji se nalazi u termičkoj ravnoteži određene temperature prati liniju raspodjele intenziteta prema raspodjeli intenziteta zračenja crnoga tijela te iste temprature. Početne točke kontinuuma se ručno postavljaju, te ga program dalje određuje kubičnom spline aproksimacijom. Nakon što je kontinuum određen, spektar se može normalizirati kako bi se dalje za svaku liniju od interesa mogla računati ekvivalentna širina. Za razliku od pune širine na polovini visine (eng. *Full Width at Half Maximum Height*, FWHM) čiji iznos direktno ovisi o temperaturi, tlaku, gustoći i turbulencijama u zvijezdinoj atmosferi, ekvivalentna širina (EW) predstavlja površinu linije u normaliziranom spektru, odnosno, kombiniranu mjeru širine i intenziteta spektralne linije i pruža bolju predodžbu o količini određene tvari u promatranom pravcu.

Kako bi se utvrdilo da je riječ o istoj grudi materije koja uzrokuje varijabilnost više različitih kemijskih elemenata, bilo je važno odrediti radijalne brzine pojedinih Dopplerovih komponenti spektralnih linija. Do toga se može doći u programu DECH izdvajanjem željene spektralne linije i otvaranjem potprozora u kojem se numeričkim metodama aproksimiraju centri pojedinih komponenti i pronalaze iznosi radijalnih brzina, kao što je prikazano na slici 1.1.

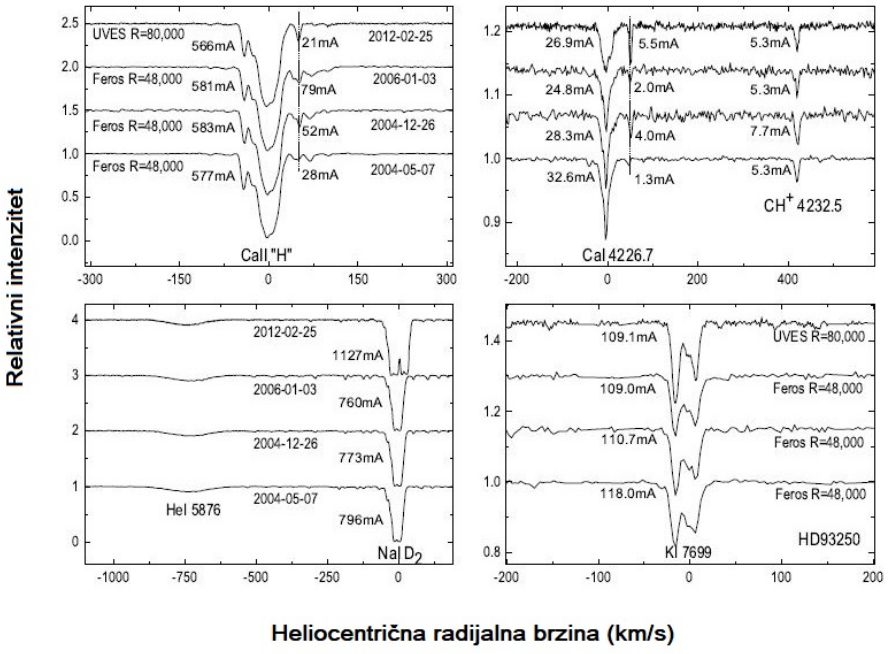


Slika 1.1: Primjer sučelja u DECH programu - mjerenje radijalnih brzina komponenti CaII H linije u spektru zvijezde HD 93161

Poglavlje 2

Rezultati spektralne analize

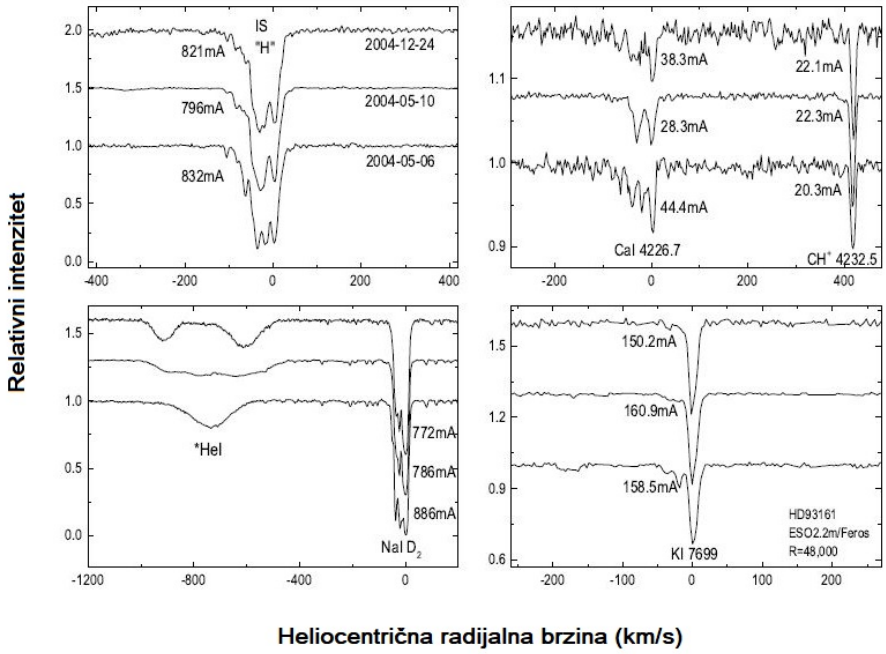
Pojava varijabilnosti spektralnih linija na vrlo neobičan način je istaknuta u spektrima zvijezde HD 93250, kao što je prikazano na slici 2.1. Sva četiri profila CaII,



Slika 2.1: Intenziteti i radijalne brzine atomskih linija u spektru HD 93250. Obratite pažnju na označene linije, posebno na NaI i CaI u najnovijim epohama. Dane su ekvivalentne širine označenih linija.

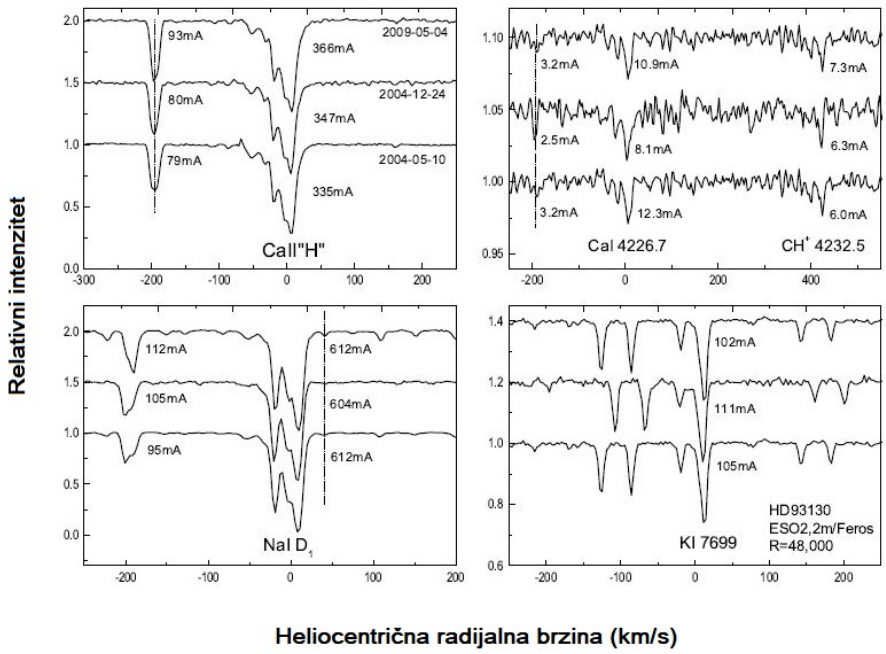
snimljena u različitim epohama, su gotovo identična. Jedino slaba komponenta radijalne brzine blizu $+50$ km s^{-1} pokazuje određene varijacije intenziteta i samoga profila. Takva komponenta mora biti lokalne prirode, povezana s η Carinae sustavom. Naime, komponente tako velike radijalne brzine ne mogu se povezivati s orbitalnom brzinom oko centra galaksije jer bi bile kinematički nemoguće (to je moguće zaključiti iz rotacijske krivulje Mliječne staze izvedene u Sofue et al. (2009) [6] i dodatno kasnije diskutirane u Galazutdinov et al. (2015) [7]). Također, KI linija je prividno konstantnog intenziteta i profila u svim analiziranim spektrima spomenute zvijezde. U jednom slučaju ekvivalentna širina je zanemarivo većeg iznosa, no profil je ostao nepromjenjen. Međutim, u slučaju spektralne linije NaI uočava se slijedeće: dok je profil ostao nepromijenjen u spektrima snimljenim 2004. i 2006. godine, u 2012. postao je mnogo širi, protežući se u oba smjera, plavom i crvenom. Iste je godine došlo i do određene modifikacije u profilu CaI linije. Dodatno, CaI sadrži i izraženu promjenjivu komponentu radijalne brzine $+50$ km s^{-1} koja je u profilu CaII bila mnogo manje zamjetna. Očigledno se određeni vrlo dinamičan proces odvijao između 2006. i 2012. godine ispred zvijezde HD 93250. Važno je naglasiti da su radijalne brzine stelarnih linija jednake u svim spektrima i stoga HD 93250 predstavlja jednostruku zvijezdu ili je pak orbita binarnog sustava okomita na naš pravac gledanja.

S druge strane, spektar zvijezde HD 93161, prikazan na slici 2.2, očigledno pokazuje da je riječ o višestrukom zvjezdanom sustavu. Profil zvjezdane HeI linije na 5876 Å mijenja se iz spektra u spektar. Sukladno orbitiranju zvijezda moguće je uočiti i nagle promjene u profilu CaII međuzvjezdane linije, kao i promjene u profilu CaI linije. Zanimljivo je primjetiti da su se promjene dogodile u razmaku od samo 4 dana, što nam ukazuje na to da je očigledno riječ o blisko zvjezdanim procesima. Inače se tako nagli procesi ne bi mogli odvijati u velikim međuzvjezdanim oblacima. Varijacije u profilu NaI prate one istaknute u profilu CaII linije. Linija KI je jednostruka i prividno konstantnog intenziteta i oblika profila. Takvu jednostruku komponentu vrlo male radijalne brzine moguće je uočiti u profilima svih prethodno spomenutih elemenata i stoga ona najvjerojatnije predstavlja stvarnu međuzvjezdanu komponentu tj. onu nastalu u međuzvjezdanom mediju na putu od maglice do nas kao promatrača. Ostale komponente koje variraju značajno su najvjerojatnije posljedice bliskozvjezdanih ili lokalnih turbulencija, što prati tvrdnju da je η Carinae vrlo mladi agregat praktično uronjen u ostatke roditeljskog oblaka koji urušavanjem mogu uzrokovati vrlo turbulentna gibanja pojedinačnim manjih oblaka.



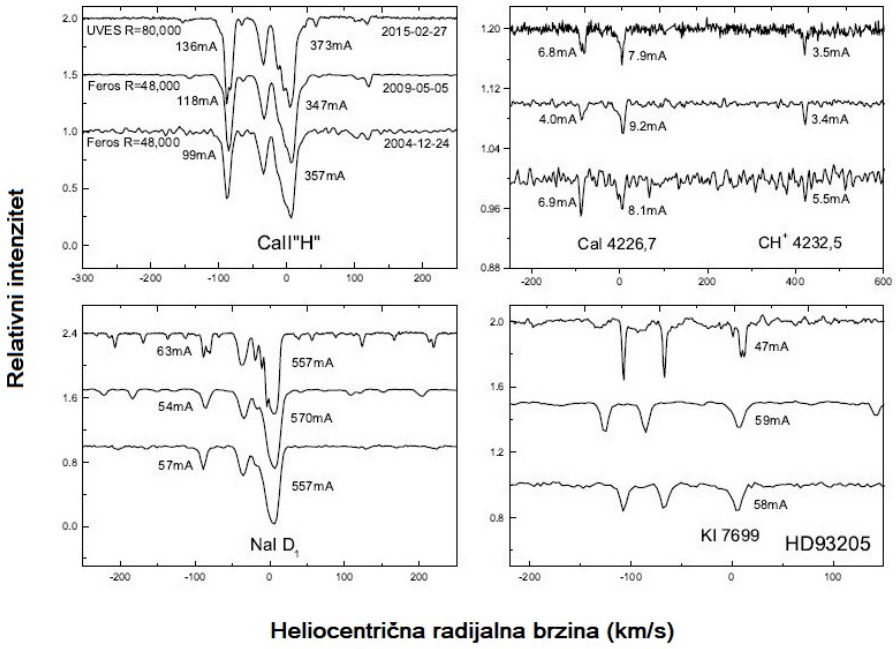
Slika 2.2: Intenziteti i radijalne brzine atomskih linija u spektru HD 93161. Obratite pažnju na varijabilnost atomskih linija, dok one molekularne CH^+ ostaju konstantne. Dane su ekvivalentne širine označenih linija.

Slijedeća zvijezda s više od jednog spektra kod koje su uočene varijacije jest HD 93130. Međuzvjezdane linije u njenim spektrima su označene na slici 2.3. Ovdje se ne uočavaju drastične promjene intenziteta linija, neovisno o tome što je jaka komponenta radijalne brzine od ~ 200 km s^{-1} prisutna kod većine međuzvjezdanih linija. Spomenuta linija je neznatno varijabilna, dok je skupina glavnih komponenti evidentno konstantnog intenziteta (kao i kod HD 93161). Stelarne radijalne brzine protežu se između -85 i $+38$ km s^{-1} mjereno iz danih spektara i jasno demonstriraju da je riječ o višestrukoj zvijezdi.



Slika 2.3: Intenziteti i radijalne brzine atomskih linija u spektru HD 93130. Spektralne linije slabo pokazuju varijabilnost - ona se najviše uočava kod komponenti velikih radijalnih brzina označenih vertikalnim crtama. Dane su ekvivalentne širine označenih linija.

Iz ESO-ine arhive nađena je i nekolicina spektara zvijezde HD 93205. Moguće je opaziti određenu varijabilnost komponenti elemenata CaII, NaI i CaI velike radijalne brzine, kao što je prikazano na slici 2.4, no ponovno su glavne komponente međuzvjezdanih linija naizgled konstantnog intenziteta.



Slika 2.4: Intenziteti i radijalne brzine atomskih linija u UVES/FEROS spektru HD 93205. Obratite pažnju na različito ponašanje označenih linija - dane su njihove ekvivalentne širine.

Poglavlje 3

Diskusija

Potporu tome da je riječ o stvarno opaženim promjenama, a ne nekakvim instrumentalnim artefaktima ili onima nastalim tijekom obrade spektara, pruža sama činjenica da su pojavom bile zahvaćene samo određene, a ne sve Dopplerove komponente pojedinih linija.

Stoga, korektno je tvrditi da se stelarni agregat η Carinae nalazi u vrlo nestabilnom stanju. Promatranja visoke prostorne i spektralne razlučivosti dokazala su da je agregat pun vrlo malih globula, tj. kuglica plina i prašine, koja se gibaju u različitim smjerovima. Prema Grenman & Gahm (2014) [8] gustoća takvih kuglica iznosi 10^5 čestica po cm^3. U takvom su sustavu veoma izgledne stohastičke varijacije profila i intenziteta međuzvjezdanih linija, koje su i opažene u ovom radu. Dapače, rast i/ili opadanje intenziteta linija mogu biti nepredvidljivi, te se varijacije mogu događati na mnogo većem slučaju zvijezda od onih opaženih.

Naziv	V	Sp. razred	B−V	π [mas]	D[pc], Gaia	D[pc], Sp/L
HD 93130	8.09	O6.5III(f)	0.23	0.23±0.27	4350	3570
HD 93161	7.87	O7.5V+O9V	0.09	–	–	3570
HD 93205	7.75	O3.5V((f))+O8V	0.05	0.59±0.25	1695	3460
HD 93250	7.37	O4III(fc)	0.17	0.42±0.22	2380	3340

Tablica 3.1: Specifikacije za zvijezde iz skupova Tr 14 i Tr 16. Udaljenosti iz šestog stupca su dobivene od letjelice Gaia, dok su vrijednosti iz sedmog stupca izračunate u DECH-u preko podataka dostupnih u arhivi SIMBAD [9].

Dodatno zapažanje koje podupire tvrdnju da u η Carinae maglici postoje čestice velikog radijusa, koje urušavanjem mogu oblikovati spomenute globule, oslanja se na usporedbu iznosa udaljenosti do opažanih zvijezda koja su dobivena

različitim metodama mjerenja (tablica 3.1). Naime, za tri od četiri analizirana objekta η Carinae pronašla sam vrijednosti paralakse dobivene trigonometrijskim mjerenjima ESA-ine letjelice Gaia [10]. Nažalost, za slučaj objekta HD93130 je istaknuta greška veća od same izmjerene vrijednosti, dok su druga dva slučaja bolja, no također sa zamjetnom greškom. Uzrok značajne greške u mjerenju udaljenosti do HD 93130 leži u činjenici da je riječ o višestrukom sustavu zvijezda, te su gibanja oko lokalnog gravitacijskog centra zahvaćena trigonometrijskim mjerenjem. Međutim, ono što se može primjetiti jest da su udaljenosti izračunate spektrofotometrijskom metodom sistematično većeg iznosa. U spektrofotometrijskoj metodi, posebno za objekte udaljene više kiloparseka (kpc), uvijek se treba uzeti u obzir međuzvjezdana ekstinkcija - pojava uzrokovana prisutnošću međuzvjezdane prašine, koja na efektivan način prigušuje sjaj zvijezda i u jednadžbi

$$m_v = M_v + 5logD - 5 + A_v \tag{3.1}$$

djeluje kao dodatna udaljenost. U prethodno navedenoj jednadžbi m_v i M_v su prividna i apsolutna magnituda, dok A_v predstavlja faktor ekstinkcije. No i kada se uzme taj faktor u obzir i napravi korekcija, može se vidjeti da se za rezultate i dalje dobivaju sistematično veće udaljenosti - i to ne samo od onih dobivenih trigonometrijskom metodom, nego veće i od nekih procijena udaljenosti same η Carinae maglice! Tu "dodatnu udaljenost" logično je pripisati "dodatnoj ekstinkciji", tzv. sivoj ekstinkciji, koja je uzrokovana prisutnošću čestica mnogo većeg radijusa od onih koje uzrokuju uobičajeno slabljenje (i crvenjenje) svjetlosti zvijezda u međuzvjezdanom mediju.

Poglavlje 4

Zaključak

Najvažniji zaključak prethodno opisanog rada jest činjenica da dobiveni rezultati nisu u kontradiktornosti s prihvaćenim mišljenjem da međuzvjezdane linije nastale u međuzvjezdanom mediju ne bi trebale varirati. Varijacije koje su opažene u radu povezane su isključivo s lokalnim fenomenima koji se zbivaju unutar promatranog stelarnog agregata.

Radijalne brzine Dopplerovih komponenti opaženih u spektrima odabranih zvijezda koje nisu lokalne prirode, već nastaju duž pravca promatranja usporedive su s radijalnim brzinama koje se mogu izvesti iz galaktičke rotacijske krivulje i ne pokazuju ikakvu promjenu intenziteta i/ili profila međuzvjezdanih linija.

Kako određene metode determiniranja udaljenosti u astronomiji direktno ovise o mjerenju ekvivalentne širine CaII H i K linije, od iznimne je važnosti dalje istražiti pojavljuju li se opažene varijacije u općenitim slučajevima ili su samo vezane uz atipična područja međuzvjezdanog medija, poput η Carinae analizirane u ovome radu.

Popis literature

[1] Hobbs L. M., Wallerstein G., Hu E. M., 1982, ApJ, 252L, 17

[2] McEvoy C. M. et al., 2015, MNRAS, 451, 1396

[3] Walborn N. R., Hesser J. E., 1975, ApJ, 199, 535

[4] Danks A. C., Walborn N. R., Vieira G., Landsman W. B., Gales J., Garcia B., 2001, ApJ, 547, L155

[5] DECH software, https://gazinur.com/DECH-software.html

[6] Sofue Y., Honma M., Omodaka T., 2009, PASJ, 61, 227

[7] Galazutdinov G. et al., 2015, PASP, 127, 126

[8] Grenman T., Gahm G. F., 2014, A&A, 565A, 107

[9] SIMBAD arhiva, https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid

[10] Gaia arhiva, https://gea.esac.esa.int/archive/

Temeljna dokumentacijska kartica

Završni rad

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Odjel za fiziku
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

OPAŽANJA VARIJABILNOSTI MEĐUZVJEZDANIH APSORPCIJSKIH LINIJA

Stella Vješnica

SAŽETAK

Nedavna otkrića varijabilnosti inteziteta međuzvjezdanih spektralnih linija ukazuju na moguće postojanje brzih i vrlo malih struktura materije u međuzvjezdanom mediju, reda veličine od 10 do 100 astronomskih jedinica (AU). U ovom radu pažnja je bila posvećena zvijezdama aktivnog zvjezdorodnog područja η Carinae, u kojem je vjerojatnija prisutnost spomenutih struktura, zbog gustoće okolnog plina i prašine. Spomenuto potvrđuju i rezultati rada, gdje sam uočila varijabilnost međuzvjezdanih apsorpcijskih linija na većem broju spektara, nego što je to ranije bilo primijećeno. U rezultatima su analizirane vrijednosti radijalnih brzina varirajućih komponenti, vremenske epohe unutar kojih su vrijednosti uočene, te njihova manifestacija na profil pojedine linije.

Ključne riječi: spektri, međuzvjezdani medij, OB asocijacije

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Rad sadrži: [15] stranica, [5] grafičkih prikaza, [1] tablica i [10] literaturnih navoda.

Izvornik je na hrvatskom jeziku.

Mentor: **Dr.sc. Marko Kovač,** *docent Prirodoslovno – matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*

Ocjenjivači: **Dr.sc. Marko Kovač,** *docent Prirodoslovno – matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*
Dr.sc. Marin Kosović. *docent Prirodoslovno – matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*
Mr.sc. Tomislav Primorac, *viši asistent Prirodoslovno – matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*

Rad prihvaćen: rujan, 2018.

Basic documentation card

Bachelor thesis

University of Split
Faculty of Science
Department of Physics
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

OBSERVATIONS OF VARIABILITY IN INTERSTELLAR ABSORPTION LINES

Stella Vješnica

ABSTRACT

Recent discoveries of variability in interstellar spectral line intensity indicate possible resence of fast and very small structures of matter in interstellar media, ranging from 10 to 100 astronomical units (AU). In this paper, attention was given to the stars of active stellar region η Carinae, where the presence of the mentioned structures is more likely due to the density of surrounding gas and dust. This is also confirmed by the results of this thesis, where I have found variability of interstellar absorption lines in a bigger sample of spectra, than it has been previously observed. Radial velocities of the variable components, the time periods within which the variability was observed and its manifestation on the profile of a particular line have been analysed in the results.

Key words: spectra, interstellar medium, OB associations

Thesis deposited in library of Faculty of science, University of Split

Thesis consists of: [15] pages, [5] figures, [1] tables and [10] references.

Original language: Croatian

Mentor: **Marko Kovač, Ph.D.** *Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split*

Reviewers: **Marko Kovač, Ph.D.** *Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split*
Marin Kosović, Ph.D. *Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split*
Tomislav Primorac, M.Sc. *Senior Instructor of Faculty of Science, University of Split*

Thesis accepted: September 2018