

UNIVERZITET U BEOGRADU
MATEMATIČKI FAKULTET

Sanja Tomić

**PROMENLJIVOST PROFILA SPEKTRALNIH LINIJA KOD
SUPERDŽINOVA SPEKTRALNE KLASE B**

master rad

Beograd, 2012

Sadržaj

1	Uvod	3
2	Promenljivost profila linija	5
2.1	Promenljive zvezde	5
2.2	Zvezdane pulsacije	5
2.2.1	Kapa mehanizam	6
2.2.2	Radijalne pulsacije	6
2.2.3	Neradijalne pulsacije	7
2.2.4	Oblasti nestabilnosti	8
2.3	Zvezdani vetar	9
3	Metode	10
3.1	Metod momenata	10
3.1.1	Izračunavanje momenata	10
3.2	FFT metod za izračunavanje brzine rotacije u pravcu vizure	11
4	Posmatranja i redukcija spektara	13
4.1	Redukcija spektara	13
5	Rezultati	15
5.1	Zvezda HD 2905	16
5.1.1	Kratkoperiodične promene	16
5.1.2	Dugoperiodične promene	17
5.1.3	Makroturbulencija	18
5.2	Zvezda HD 91316	19
5.2.1	Kratkoperiodične promene	19
5.2.2	Dugoperiodične promene	21
5.2.3	Makroturbulencija	21
5.3	Zvezda HD 202850	22
5.3.1	Kratkoperiodične promene	22
5.3.2	Dugoperiodične promene	25
5.3.3	Makroturbulencija	26
6	Zaključak	29
7	Zahvalnica	30
A	Dodatak: Poznate klase pulsirajuće promenljivih zvezda	33
B	Dodatak: Posmatračke beležnice	34

Sažetak

Oblik profila linija superdžinova spektralne klase B je promenljiv. Širini linija ovih zvezda pored rotacije doprinosi i makroturbulencija, fenomen čije poreklo još uvek nije jasno, ali je u poslednje vreme dovedeno u vezu sa zvezdanim pulsacijama. Zajedno makroturbulencija i promenljivost profila linija ukazuju na prisustvo pulsacije kod zvezda. Pomoću metoda momenata i FFT metoda za izračunavanje brzine rotacije u pravcu vizure analizirali smo spektroskopske podatke superdžinova spektralne klase B.

1 Uvod

Masivne zvezde ($M > 8M_{\odot}$), iako su relativno malobrojne, imaju značajnu ulogu u zvezdanoj i galaktičkoj evoluciji jer kad postanu supernove obogaćuju međuzvezdani prostor teškim elementima. Superdžinovi spektralne klase B su podklasa masivnih zvezdi. Oni su sišli sa glavnog niza na bočnu granu sa superdžinovima i maksimum zračenja imaju u plavom delu spektra. Medjutim još uvek nije jasno u kojoj fazi zvezdane evolucije se nalaze, jer mogu da se kreću i nalevo i nadesno na Hertzsprung-Russel (H-R) dijagramu ([13]). Na istom delu H-R dijagrama se nalaze i masivne zvezde koje su u fazi plave petlje, ali ove zvezde imaju drugačije karakteristike. Superdžinovi spektralne klase B imaju relativno sporu rotaciju ($v \sin i < 50 \text{ km/s}$) i malu površinsku gravitaciju. Kao i mala površinska gravitacija i spora rotacija je posledica širenja omotača zvezde. Kako se omotač širi prečnik zvezde se povećava i brzina rotacije se smanjuje. Jaki zvezdani vetrovi, koji su često promenljivi karakteristični su za ove zvezde i linija H_{α} je ponekad u emisiji. Pretpostavlja se da će ove zvezde svoj život završiti u eksploziji supernove.

Kod superdžinova spektralne klase B prisutan je dodatni mehanizam širenja. Ovaj fenomen se naziva makroturbulencija. Njegov efekat vidljiv je kod fotosferskih linija. Zbog toga što utiče na ceo profil linije ovaj mehanizam mora da bude ukorenjen duboko u fotosferi zvezde ([21]). Makroturbulencija, zapravo, nema veze sa turbulentnim kretanjem, zbog toga što visoke, često supersonične vrednosti čine kinematičko poreklo makroturbulencije malo verovatnim. Brzina makroturbulencije (v_{mac}) često se računa iz jednog spektra.

Širenje spektralnih linija superdžinova je posledica više faktora. Ukupnoj širini doprinose zvezdana rotacija, termalno širenje, širenje zbog rezolucije spektrografa i makroturbulencija. Zvezdana rotacija doprinosi okruglim profilom dok termalno širenje, širenje usled rezolucije spektrografa i makroturbulencija doprinose Gausovim profilom. Kod zvezda glavnog niza vrednosti brzine makroturbulencije su male i makroturbulencija ne utiče puno na oblik profila linija, medjutim kod superdžinova spektralne klase B makroturbulencija doprinosi širini linije i ne može da se zanemari. Spektralna linija je šira nego samo usled zvezdane rotacije. Zanemarivanje uticaja makroturbulencije na spektralnu liniju može da dovede do znatno veće vrednosti pri računu brzine rotacije u pravcu vizure. Da bi potvrdili prisustvo makroturbulencije u zvezdi mi smo brzinu rotacije u pravcu vizure ($v \sin i$) računali pomoću metoda brze Furier-ove transformacije (FFT (eng. Fast Fourier Transform)) opisane u [7]. Ako se dobijene vrednosti $v \sin i$ menjanju za različite linije ili se vrednosti za jednu liniju menjaju sa vremenom možemo da potvrdimo prisustvo makroturbulencije kod zvezde. Zajedno sa promenljivošću profila spektralnih linija prisustvo makroturbulencije je veoma jaka indikacija da zvezda pulsira. Dugo je priroda makroturbulencije bila nejasna. U skorije vreme Aerts i saradnici([2]) su ponudili rešenje i povezali makroturbulenciju sa zvezdanim pulsacijama. Oni su modelirali veliki broj pulsacija u jednoj zvezdi i uspeli je da potvrde da pulsacije doprinose dodatnom širenju spektralne linije kao i da rezultira neslaganjima vrednosti $v \sin i$ kada se koristi FFT metod.

Osnovna ideja ovog rada je da se daju dokazi u prilog hipoteze o postojanju pulsacija kod superdžinova spektralne klase B. Posmatrali smo uzorak zvezda ovog tipa. Analizom uzorka smo želeli da izvedemo zaključke o promenljivosti posmatranih zvezda na kraćoj i dužoj vremenskoj skali. Za pronalaženje kratkoperiodične promenljivosti izučavali smo spektre koji su snimani kratkim ekspozicijama jedan za drugim (vremenske serije spektara), dok smo za dugoperiodičnu promenljivost izučavali spektre dobijene pojedinačnih noći tokom dužeg vremenskog perioda.

Na pojedinačne spektralne linije koje smo analizirali primenili smo metod momenata profila linije. Momenti nam daju veliki broj informacija: ekvivalentnu širinu, centralnu talasnu dužinu (radijalnu brzinu), širinu i asimetričnost spektralne linije. Kad izračunamo momente, možemo da vidimo kako se ponašaju i menjaju tokom vremena i na osnovu toga donesemo neke zaključke. Da bi rezultati bili pouzdani potrebno je imati spektre bar srednje spektralne rezolucije i visok odnos signal/šum (SNR (eng. Signal to Noise Ratio)). Posle izračunavanja momenata profila spektralnih linija tražili smo period brzom Furijeovom transformacijom kao i fitovanjem sinusnom krivom i izračunavanjem njenih parametara (nula, amplituda i period).

2 Promenljivost profila linija

2.1 Promenljive zvezde

Postoji mnogo uzroka promenljivosti fizičkih parametara zvezda. Većina njih utiče na oblik profila spektralnih linija. Promenljivost može biti periodična, polu-periodična ili nepravilna. Postoji šest osnovnih grupa promenljivih zvezda ([23]): eruptivne promenljive, pulsirajuće promenljive, rotirajuće promenljive, eklipsno promenljive, kataklizmatične promenljive i promenljivi izvori X zračenja. Eruptivne zvezde menjaju sjaj zbog naglih procesa koji se odigravaju u hromosferi i koroni ovih zvezda. Rotirajuće promenljive zvezde imaju neravnomeran površinski sjaj, elipsoidni oblik ili na nekom delu zvezde postoji višak nekog hemijskog elementa u odnosu na ostatak zvezde. Posmatrana promenljivost je rezultat rotiranja zvezde oko ose. Kataklizmatične promenljive (eksplozivne i slične novama) se menjaju usled termonuklearnih eksplozija u spoljašnjim slojevima (nove) ili duboko u unutrašnjosti (supernove). Eklipsno promenljive su sistemi dve ili više zvezda, one menjaju sjaj u zavisnosti od promene međusobnog položaja objekata u sistemu. Promenljivi izvori X zračenja su tesni dvojni sistemi koji pokazuju jako, promenljivo X zračenje. Pulsirajuće promenljive su promenljive zvezde kod kojih se profil linije menja usled skupljanja i širenja zvezde. One će kasnije u tekstu biti detaljnije opisane, jer izgleda da superdžinovski spektralne klase B koje smo izučavali u ovom radu spadaju u ovu kategoriju. Klasifikacija promenljivih zvezda je prilično komplikovana jer mnoge zvezde doživljavaju više tipova promenljivosti tokom svoje evolucije i nije lako svrstati jedan objekat u samo jednu klasu promenljivosti.

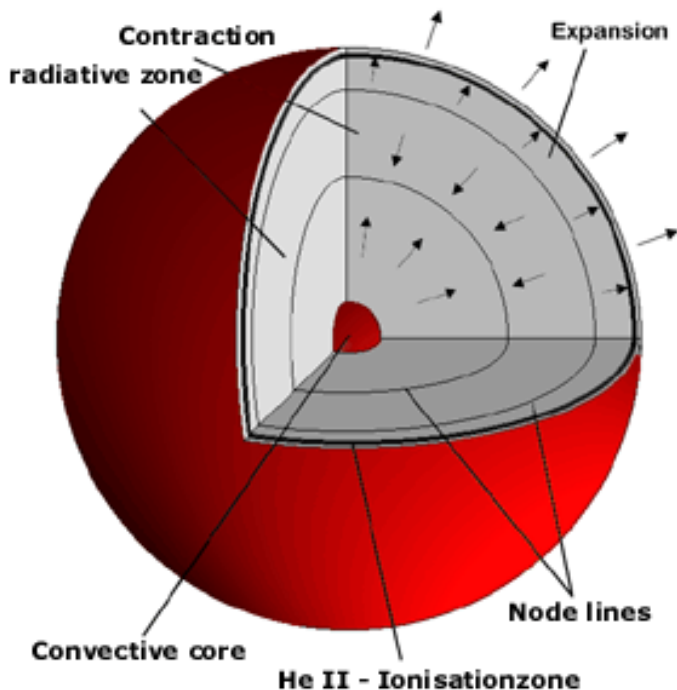
2.2 Zvezdane pulsacije

Pulsacije se javljaju kod mnogih zvezda u različitim fazama zvezdane evolucije. Ovaj fenomen je prolazan i javlja se u raznim periodima života jedne zvezde zavisno od njene početne mase. Pulsacije su prirodni fenomeni zvezda (ne zavise od spoljnih faktora) i govore puno o unutrašnjoj strukturi zvezde. Pulsacije se javljaju u odredjenim oblastima H-R dijagrama. Pulsacije utiču identično na sve profile svih fotosferskih linija. Usled pulsacije profili svih fotosferskih linija se menjaju simultano na isti način sa istim periodom. Mnoge pulsacije su prigušenje ubrzo posle nastanka. Da bi pulsacija bila stabilna duži vremenski period mora da postoji mehanizam koji je održava. Najveći broj pulsacija je prouzrokovan toplotnim mehanizmima. U daljem tekstu opisan je toplotni κ mehanizam.

2.2.1 Kapa mehanizam

Kako se slojevi zvezde sažimaju temperatura i gustina gasa rastu. Neprozračnost zvezde je proporcionalna gustini i obrnuto proporcionalna temperaturi. Kako je neprozračnost osetljivija na temperaturu obično opada usled sažimanja sloja. Medjutim u zoni parcijalne jonizacije porast gustine je dominantan i sa porastom gustine raste i neprozračnost. Ovo dovodi do toga da sloj postane potpuno neprozračan, blokira energiju zračenja i potiskuje spoljne slojeve nagore. Kako se sloj širi oslobadja zarobljenu enrgiju a zatim ponovo pada, skuplja se i započinje novi ciklus. Ovaj mehanizam se naziva κ mehanizam. Da bi ovaj mehanizam radio, temperaturni uslovi, luminoznost i hemijski sastav moraju da budu u određenim opsezima. Zato se pulsirajuće zvezde grupišu na H-R dijagramu.

2.2.2 Radijalne pulsacije



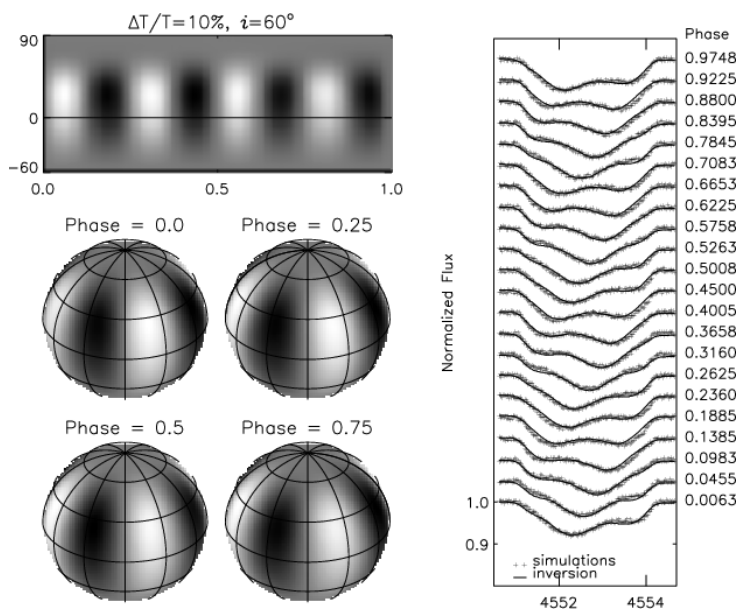
Slika 1: Primer drugog višeg harmonika radijalne pulsacije

Radijalne pulsacije se u literaturi ([5]) opisuju kao disanje zvezde zbog toga što se materijal pomera ravnomerno u svim pravcima ka jezgru zvezde kad se zvezda kontrahuje i ka spolja kad se zvezda širi. Ovaj tip pulsacije se pripisuje stojećim talasima u unutrašnjosti zvezde. Kada se sva materija od koje je zvezda građena pomera ravnomerno i jednako u svakoj tački zvezde radijalnu pulsaciju zovemo osnovna moda (F (eng. Fundamental

mode)). Ako postoji sloj zvezde u kome materija stoji (ovaj sloj sa naziva čvor), a od njega se kreće u suprotnim smerovima, pulsaciju zovemo prvi viši harmonik (FO (eng. First Overtone)). Ako postoje dva čvora u unutrašnjosti zvezde, takva pulsacija se zove drugi viši harmonik, vidi sliku 1. Treći viši harmonik ima tri čvora...

2.2.3 Neradijalne pulsacije

Za razliku od radijalnih pulsacija kod kojih se materija pomera uniformno i jednako u svakom sloju zvezde, kod neradijalnih pulsacija neki delovi se skupljaju, a drugi se šire. Ako bi delove koji se skupljaju/šire osenčili obrazac koji bismo dobili bio bi opisan realnim delom funkcije sfernih harmonika $Y_l^m(\theta, \phi)$, gde je l nenegativni celi broj, a m je celi broj u intervalu $(-l, +l)$. Za $m = l = 0$ pulsacija je radijalna. Postoji l čvornih krugova od kojih $|m|$ prolazi kroz polove zvezde, a $l - |m|$ je paralelno sa ekvatorom. Zavisno od koeficijenata sfernog harmonika koji opisuje pulsaciju neradijalni modovi se dele na teseralne ($0 < |m| < l$), sektoralne ($|m| = l$) i osnosimetrične ($m=0$).



Slika 2: Primer sektoralne neradijalne mode ($l = |m| = 4$) pulsacije i njen uticaj na profil linije; preuzeto iz [3].

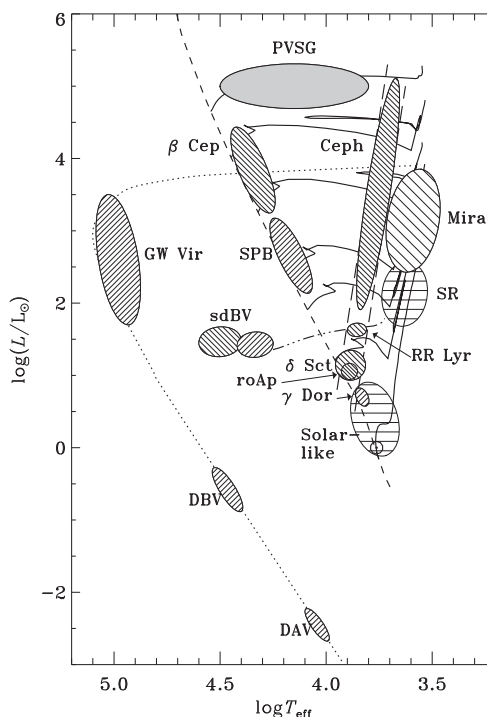
Ovi obrasci predstavljaju akustičke talase koji se kreću kroz zvezdu paralelno sa ekvatorom. Vreme potrebno talasu da obidje zvezdu jednako je $|m|$ puta period pulsacije. Da bi talasi obišli zvezdu rotacija nije potrebna. Ove pulsacije utiču na profile spektralnih linija u vidu dodatnog crvenog/plavog Doplerovog pomaka kao i na širinu linije. One takodje čine profil linije asimetričnim. Na slici 2 pokazan je primer neradijalne pulsacije

i njen uticaj na profil spektralne linije.

Postoje dva osnovna tipa neradijalnih pulsacija, njih razlikujemo prema prirodi restitucione sile. Za razliku od radijalnih pulsacija kod p-tipa (p), gde je pritisak restituciona sila, zvučni talasi se prostiru i horizontalno i vertikalno stvarajući akustičke talase. Ovakve pulsacije se formiraju u konvektivnim zonama zvezda. G-tip (g), gde je gravitacija restituciona sila, nastaje u radijativnoj zoni zvezde. Frekvencija i mod neradijalne pulsacije mnogo govore o unutrašnjoj strukturi zvezde; pomoću njih možemo da izvedemo zaključak o položaju i debljini konvektivne zone. Neki modovi pošto nastanu u jednoj zoni, budu prigušeni tokom prolaska kroz drugu zonu. Pretpostavlja se da je to razlog zbog kog g-tip pulsacije nije otkriven na Suncu.

2.2.4 Oblasti nestabilnosti

Na H-R dijagramu pulsirajuće zvezde su grupisane. Samo gledajući sliku 3 može da se vidi da se one pojavljuju u skoro svim fazama zvezdane evolucije. Svaka od ovih grupa naziva se oblast nestabilnosti. Pojas koji sadrži Cefeide (Ceph), Liride (RR Lyr), zvezde tipa δ Skuti (δ Sct) kao i brzo rotirajuće Ap zvezde (roAp) naziva se klasični pojas nestabilnosti. Pulsacije su u ovom pojasu prouzrokovane toplotnim mehanizmima. Odmah pored klasičnog pojasa nestabilnosti nalaze se Miride (Mira), polupravilne promenljive (SR) i pulsirajuće zvezde slične Suncu (Solar-like), njihove pulsacije su takodje prouzrokovane i održavane toplotnim mehanizmima. Kod najtoplijih pulsirajućih zvezda, zvezda tipa GW Virginis (GW Vir) pulsacije su takodje proizvedene toplotnim mehanizmima. Zvezde tipa γ Dor i DAV takodje su u fazi pulsacije, ali one su prouzrokovane mehanizmima koji su vezani za konvekciju. Pulsacije zvezda tipa β Cep i sporo pulsirajućih zvezda spektralne klase B (SPB) su vodjene osobinama neprozračnosti elemenata sličnih gvoždju. Na gornjem delu H-R dijagrama nalazi se grupa sa periodično pulsirajućim superdžinovima (PVSG). Razumevanje pulsacija ovog tipa zvezda je generalno slabo. Postoji više mehanizama koji mogu da prouzrokuju ove pulsacije. Su-



Slika 3: H-R diagram sa oblastima nestabilnosti, preuzet iz [1]

perdžinovi spektralne klase B pripadaju ovoj grupi. Detaljna sistematizacija pulsirajućih zvezda data je u Dodatku A.

2.3 Zvezdani vetar

Pored promenljivosti zvezda na profil linija utiče i zvezdani vetar. Zvezda putem vetra gubi masu i otpušta čestice u međuzvezdani prostor. Profil koji daje zvezdani vetar može da bude u emisiji, apsorpciji ili kombinacija emisije i apsorpcije - P Cigni profil. Linije vetra mogu lako da se prepoznaju zbog velike širine linije, a često imaju dodatan Doplerov pomak zbog odliva gasa. Razlikujemo 5 mehanizama koji formiraju linije usled vetra ([12]): Rasejanje u liniji, emisija u liniji usled rekombinacije, emisija linije usled sudarne ekscitacije ili foto ekscitacije, čista apsorpcija i pojačanje stimulisanom emisijom. Kada atom absorbuje foton iz fotosfere dolazi do foto-ekscitacije i ubrzo zatim do foto-deekscitacije, ovaj mehanizam naziva se rasejanje u liniji. Ako je linija nastala prelazom iz osnovnog stanja atoma (stanja najniže energije) liniju nazivamo rezonantnom linijom, a ovaj mehanizam nazivamo rezonantnim rasejanjem. Kad se jon sudari sa elektronom može da dodje do rekombinacije. U najvećem broju slučajeva jon se rekombinuje u osnovno stanje. Ipak jon može da se rekombinuje u stanje više energije. Ovaj jon onda može da foto-deekscitacijom predje u neko niže energetsko stanje, što rezultira emisijom fotona. Ekscitacija atoma sa osnovnog stanja na viša stanja sudarom može da dovede do foto-deekscitacije. Posledica sudarne-ekscitacije je formiranje linija u emisiji u vrelim hromosferama i koronama. Ako je u pitanju foto-ekscitacija sa osnovnog nivoa na neki nivo više energije, ona može da dovede do foto-deekscitacije na neko pobudjeno stanje niže energije. Ovo će takodje rezultirati linijom u emisiji. Kada se već pobudjen atom ekscituje na viši nivo energije spontano deekscituje na neki niži nivo, ovo rezultira u čistoj apsorpciji. Ako se foton koji putuje kroz zvezdani vetar sudari sa atomom koji može da emituje potpuno identičan foton, procesom stimulisane emisije udareni atom će da otpusti identičan foton onom koji ga je udario u potpuno istom pravcu u kome se kreće prvobitni foton. Sada će biti dva fotona koja u istom pravcu. Ponavljanjem ovog procesa stvoriće se veliki broj istih fotona koji putuju u istom pravcu. Ovo se naziva maserskim efektom..

Kod masivnih zvezda vetar je uzrokovan jakim pritiskom zračenja. Superdžinovi spektralne klase B koji imaju visoke vrednosti gubitka mase ($\dot{M} > 10^{-6} M_{\odot}/yr$) često imaju liniju H_{α} u emisiji. Brzina gubitka mase ima značajnu ulogu u zvezdanoj evoluciji. Na primer kod superdžinova spektralne klase B vetar može da bude tako jak da razveje ceo spoljašnji sloj otkrivajući topliji deo zvezde, bogatiji helijumom. Ovakve zvezde dalje evoluiraju u Wolf-Rayet zvezde, koje svoj život nekoliko stotina hiljada godina kasnije završe u eksploziji supernove.

3 Metode

3.1 Metod momenata

Ovaj metod se oslanja na statističko svojstvo spektralnih linija, da je profil spektralne linije potpuno opisan njegovim momentima brzine. Važno je napomenuti da se momenti mogu izraziti u jedinicama brzina i talasnih dužina. Nulti momenat je obično prikazan u talasnim dužinama, dok se viši momenti prikazuju u brzinama. Ovim metodom iz vremenskih serija spektara mogu da se izvedu zaključci o periodu i modi pulsacije. Metod je posebno koristan pri identifikaciji nekih moda sporo rotirajućih zvezda ($v \sin i < 50 km/s$). Najčešće se računaju nulti i prva tri momenta zbog toga što u višim momentima šum čini dobijene rezultate manje pouzdanim, a prva tri momenta daju dovoljan broj informacija. U daljem tekstu ću opisati izračunavanje nultog i prva tri momenta samo u brzinama. Postupak je izveden iz [1] i [17]. Momenti su definisani sledećim skupom jednačina:

$$\langle v^j \rangle = \frac{\int v^j p_{theo}(v) dv}{\int p_{theo}(v) dv} = \frac{\int v^j (f * g)(v) dv}{\int (f * g)(v) dv}$$

gde je v komponenta brzine u pravcu vizure, profil linije (pulsacija i rotacija) $p_{theo}(v) = (f * g)(v)$ je konvolucija profila $g(v)$ sa fluksom u pravcu posmatrača $f(v)$ integrisanim po vidljivoj površini zvezde.

Svaki momenat ima neko fizičko značenje: nulti momenat predstavlja ekvivalentnu širinu, prvi momenat predstavlja radijalnu brzinu (centralnu talasnu dužinu kada se računa u talasnim dužinama), drugi momenat predstavlja širinu profila linije, a treći predstavlja asimetričnost profila linije. Rotacioni profili ne utiču na neparne momente jer su simetrični. Na kraju računa normalizujemo prvi, drugi i treći momenat nultim momentom. To radimo da bismo neutralisali druge uticaje na momente. Na primer, kako se zvezda širi i skuplja površinska temperatura se menja i to utiče na oblik profila linije. Normalizacijom eliminišemo ovaj efekat.

3.1.1 Izračunavanje momenata

Naši podaci se sastoje iz dva vektora (λ, F_λ) , prvi predstavlja talasnu dužinu, drugi predstavlja normalizovan fluks posmatranog objekta na odgovarajućoj talasnoj dužini. Možemo da transformišemo talasne dužine u brzine pomoću jednačine: $v_i = (\frac{\lambda_i}{\lambda_0} - 1) * c$, gde je λ_0 laboratorijska talasna dužina posmatrane spektralne linije, i da transformišemo naš vektor u (v, F_v) . Pre računanja treba da iz spektra izdvojimo samo liniju koju analiziramo. Da bismo opisali ponašanje pulsacije oko nule, moramo da uklonimo uticaj radijalne brzine zvezde (ili uticaj drugih perioda) iz naših podataka. Izračunavanje momenata se vrši u naredna tri koraka:

1. U prvom koraku izračunavamo male nenormalizovane momente:

$$m_i = \int_{v_1}^{v_2} v_i(1 - F_v)dv, \quad i = 0, 3$$

Iz prvog momenta možemo da odredimo srednju radijalnu brzinu v_0 .

2. U drugom koraku vršimo korekciju malih nenormalizovanih momenata za radijalnu brzinu v_0 . Izračunavamo velike nenormalizovane momente:

$$M_i = \int_{v_1}^{v_2} (v - v_0)^i(1 - F_v)dv, \quad i = 0, 3$$

3. U trećem koraku izračunavamo momente tako što velike nenormalizovane momente podelimo sa M_0 . Tako normalizujemo momente i dobijamo:

$$\langle v^i \rangle = \frac{M_i}{M_0} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} (v-v_0)^i(1-F_v)dv}{\int_{v_1}^{v_2} (1-F_v)dv}, \quad i = 1, 3$$

Jedinica ovih momenata je: $(\frac{km}{s})^i$, $i = 1, 3$

3.2 FFT metod za izračunavanje brzine rotacije u pravcu vizure

Postoji nekoliko metoda za izračunavanje brzine rotacije u pravcu vizure ($v \sin i$). Metod ukupne širine na polovini maksimuma(FWHM (eng. Full Width Half Maximum)) je brz i lak za korišćenje, ali nije precizan. Poredjenje posmatranog sa računatim spektrom je najpouzdanije ali ovaj metod zahteva jako puno vremena. FFT metod je značajno pouzdaniji od FWHM metoda i potrebno je mnogo manje vremena za izračunavanje Furijeove funkcije, nego za fitovanje računatog spektra sa posmatranim.

FFT funkcija $f(\sigma)$ je data sa:

$$f(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x)e^{2\pi i x \sigma} dx$$

Pretpostavlja se da je funkcija $F(x)$ neprekidana i beskonačna.

Posto astronomski podaci nisu neprekidne i beskonačne funkcije moramo da ih transformišemo da bi mogli da primenimo FFT metod na njih. Naši podaci su par vektora $(\lambda, f(\lambda))$, gde je $f(\lambda)$ izmereni fluks, a razlika $\Delta\lambda$ konstantna. Bez obzira što se pretpostavlja da su naši podaci ekvidistantni, FFT metod daje korektne rezultate i za neekvidistantne podatke. Podatke možemo da posmatramo kao proizvod Shah funkcije $\text{III}(x)$ i neprekidne funkcije koja $F(x)$ koja se poklapa sa našim podacima u svim tačkama.

Izmereni profil linije je $D(\lambda) = III(\lambda)F(\lambda)$.

Za izračunavanje FFT-a profila jedne linije koristili smo Cooley-Tukey algoritam. Možemo da napišemo naše podatke kao: $D(x) = D(j\Delta x) = D(j)$. Za najbolju procenu koristimo formulu $N = 1/\Delta x\Delta\sigma$, gde je N broj tačaka sa podacima, tako da je $d(x)$ Fourije-ova transformacija $D(x)$:

$$\sum_1^N D(j)e^{2\pi i jk/N} \Delta x$$

Furijeova funkcija $f(\sigma)$ je vezana za brzinu rotacije u pravcu vizure zvezda $v \sin i$ ([20]). Furijeova funkcija profila linije je direktno vezana za širinu linije. Ovo koristimo jer očekujemo da jedino rotaciona funkcija daje nule Furijeovoj funkciji profila linije. Da bi izračunali $v \sin i$ zvezde potrebno je da nadjemo prvu nultu tačku Furijeove funkcije (σ_1). Pozicija prve nule povezana je sa $v \sin i$ pomoću jednačine:

$$\frac{\lambda}{c} v \sin i \sigma_1 = 0.660,$$

gde je λ centralna talasna dužina analizirane linije, a c brzina svetlosti. Formulu smo koristili u obliku:

$$v \sin i = \frac{0.66c}{\sigma_1 \lambda}$$

Da bismo dobili najbolje moguće rezultate kada iz naših podataka izolujemo liniju koju želimo da analiziramo, oduzmemo jedinicu od normalizovanog fluksa. Zatim smo sa leve i desne strane dodamo jednak broj tačaka sa fluksom nula i odgovarajućim talasnim dužinama tako da ukupan broj tačaka bude neki veliki stepen dvojke. Konkretno podaci koje smo na kraju analizirali imali su 2^{16} tačaka.

4 Posmatranja i redukcija spektara

Rezultate smo dobili is spektroskopskih posmatranja. Mi smo izučavali spektre snimljene pomoću Coudé spektrografa montiranog na dvometarski teleskop opservatorije u Ondřejevu. Koristili smo rešetku sa 830.77 linija/mm sa SITe 2030 × 800 CCD čipom koji u H_α oblasti spektra daje spektralnu rezoluciju $R \approx 13000$ i pokriva opseg talasnih dužina od 6253Å do 6764Å. Za kalibraciju talasnih dužina koristili smo spektar torijum-argonske lampe snimljen odmah posle snimanja spektra zvezde. Svake noći, na početku i kraju posmatranja, snimili smo seriju slika sa nultom ekspozicijom i seriju flet-fildova. Svake posmatračke noći smo posmatrali neku brzo-rotirajuću zvezdu da bismo mogli kasnije da otklonimo atmosferske linije vode iz spektara. Posmatračke beležnice su date u dodatku B.

4.1 Redukcija spektara

Redukcija spektara je uradjena korišćenjem programa IRAF¹. Svaka posmatračka noć redukovana je posebno. Redukcija počinje sačinjavanjem liste svih CCD slika koje smo snimili. Dimenzije CCD slika su u pikselima. Do kraja će ostati samo normalizovani spektri iz kojih su otklonjene atmosferske linije vode.

U prvom koraku redukcije otklanjamo over-scan, bias-a i flet-fild-a. Over-scan je deo CCD čipa koji nije osvetljen. Da bi uklonili ove delove sa slika koristili smo proceduru *fit1d*. Svaka ćelija CCD kamere je različito osetljiva, da bi otklonili uticaj nehomogenosti CCD kamere snimamo 5-10 CCD slika sa najkraćom mogućom ekspozicijom ("nula" sekundi ekspozicija), ove slike se zovu bias. Da bi otklonili bias moramo da iskombinujemo sve slike sa nultom ekspozicijom u jednu koju zovemo master-bias. Ovo u IRAF-u radimo tako što koristimo proceduru *imcombine* koja seriju slika kombinuje u jednu koja je srednja vrednost svih slika. Kada napravimo master-bias onda ga oduzmemo od svih ostalih slika (tj. flet-fildova, spektara lampe, spektara posmatranih objekata) koristeći proceduru *imarith*. Slika na CCD čipu nije ravnomerna kad je svaka ćelija jednako osvetljena. Flet-fild snimamo tako što jednako osvetlimo ceo čip. Takodje je potrebno da snimimo 5-10 slika. Pre nego što podelimo slike sa flat-field-om moramo da izolujemo deo slike na kom je signal. Da bi to uradili moramo ručno da očitamo granice signala. Granice kolona koje sadrže signal su uvek 10-2010, dok su granice redova različite za svaku noć. Koristeći funkciju *imcopy* kopiramo samo delove slika u okviru očitanih granica. I u ovom slučaju snimke flet-filda koje imamo kombinujemo u master-flet pomoću procedure *imcombine*. Zatim sve preostale spektre (lampe i posmatranih objekata) delimo sa master-fletom pomoću funkcije *imarith*. Na našoj listi su sad ostali samo spektri zvezde i spektri lampe.

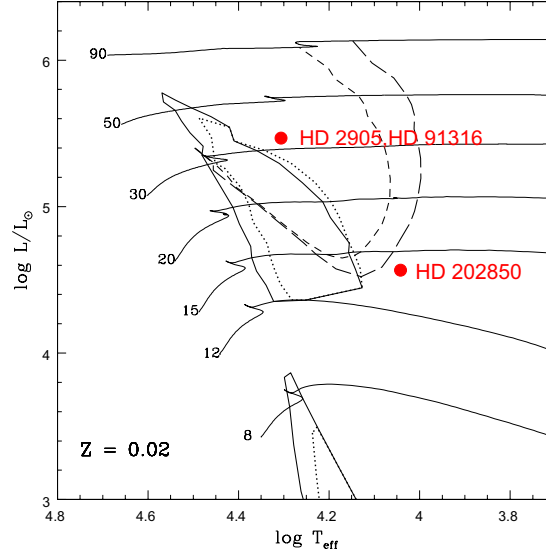
¹Korišćenje IRAF-a omogućava NAO (eng. National Optical Astronomy Observatories) koju vodi Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. pod korporativnim ugovorom sa National Science Foundation-om

U drugom koraku redukcije kalibrišemo talasne dužine i ekstrahujemo spektre. Za ovo su nam potrebni IRAF paketi *twod*, pa zatim paket *apex*. Kada ih učitamo koristimo proceduru *apall* da prvo uklonimo pozadinsko zračenje, odredimo otvore, pa zatim ekstrahujemo spektre. Onda ekstrahujemo spektre lampi takodje pomoću procedure *apall*. Kad smo ekstrahovali spektre lampi potrebno je da svakom od tih spektara dodelimo tačne talasne dužine. To radimo tako što znamo tačne talasne dužine svake linije spektra lampe. Pomoću procedure *identify* svakoj spektralnoj liniji lampe dodelimo talasnu dužinu. Koristeći proceduru *refspec* svakom spektru zvezde dodelimo odgovarajući spektar lampe. Na kraju pomoću funkcije *dispcor* promenimo dimenzije spektra u talasne dužine i fluks. Sada su nam ostali samo spektri uključujući spektar zvezde koju koristimo za otklanjanje atmosferskih linija vode.

U poslednjem koraku uklanjamo atmosferske linije vode iz spektara. Radi toga smo snimili zvezdu koja brzo rotira, jer ona ima jasne široke linije koje je lako modelirati. Prvo moramo da normalizujemo fluks spektra zvezde koju koristimo za pravljenje "telurskog obrazca" pomoću kojeg vršimo korekciju spektara. Ovo radimo pomoću procedure *conti*. Kad smo normalizovali spektar ove zvezde očitamo fitujemo njene pojedinačne linije i pravimo listu linija pomoću koje se u sledećem koraku pravi računati spektar ove zvezde. Zatim učitavamo paket *artdata* u kome se nalazi procedura *mk1dspec* pomoću koje modeliramo spektar ove zvezde uz pomoć liste koju smo napravili. Ovaj računati spektar ne sadrži atmosferske linije vode. Ovaj postupak moramo da ponovimo nekoliko puta dok ne napravimo računati spektar koji je dovoljno sličan spektru zvezde. Kada smo zadovoljni sintetičkim spektrom koji smo napravili podelićemo spektar sa računatim, pomoću procedure *sarith*, i dobiti "telurski obrazac". Sada pomoću procedure *telluric* možemo da uklonimo linije vode iz naših spektara. Da bi koristili ovu funkciju važno je da znamo debljinu Zemljine atmosfere za svaki snimljeni spektar. Ove vrednosti smo dobili za svaki spektar pomoću programa SkyCalc. Kada smo obavili korekciju spektara za linije vode, da bismo mogli da normalizujemo spektre, moramo još da korigujemo spektre za Dople-rov pomak prouzrokovan revolucijom Zemlje. To smo uradili pomoću programa koji smo napisali u C-u. Nakon toga normalizujemo fluks spektara na jedinicu, i spektri su spremni za analizu.

5 Rezultati

Cilj našeg rada je bio da ispitamo promenljivost profila linija Galaktičkih superdžinova spektralne klase B. Tokom tri godine posmatrana su 3 B superdžina. Spektre je snimila dr. M.Kraus. Njihovi fizički parametri dati su u tablici 1. Zvezda HD 202850 je van svake do sada poznate oblasti nestabilnosti, dok HD 2905 i HD 91316 pripadaju već poznatoj oblasti nestabilnosti β Cep, vidi sliku 4. Spektralne linije zvezda smo identifikovali koristeći NIST² internet bazu kao i već postojeće atlase sa linijama ([14],[25]). Zvezda HD 2905 i zvezda HD 91316 su bliski objekti na H-R dijagramu, ali su zapravo veoma različiti jer je kod zvezde HD 2905 linija H_α u emisiji, dok je kod zvezde HD 91316 ova linija u apsorpciji. Ovo govori u prilog tome je vrednost brzine gubitka mase zvezde HD 2905 veća nego kod zvezda HD 91316. Zvezda HD 202850 je mnogo hladnija zvezda koja sporije rotira. Svi objekti pokazuju varijacije radijalne brzine na skali od nekoliko sati do nekoliko dana, meseci ili godina, kao i varijacije spektralne linije H_α na dužoj vremenskoj skali. Izračunali smo nulti i prva tri momenta svih spektralnih linija koje su dovoljno jake da srednja spektralna rezolucija spektrografa pomoću kojeg smo snimili spektre, kao i srednji nivo šuma ne utiču dramatično na tačnost rezultata. Nismo računali momente za spektralnu liniju H_α jer se nalazi u delu spektra gde ima mnogo atmosferskih linija vode, kao i zbog toga što je veoma osetljiva i na druge uticaje. Pored toga smo izračunali $v \sin i$ svake zvezde koristeći FFT metod. Linije na koje smo primenili FFT metod izabrali smo pomoću sintetičkih spektara koje je izradila dr. A.Aret.



Slika 4: Objekti koje smo izučavali ucrtani na H-R dijagramu sa oblastima nestabilnosti preuzetom iz [19]

je vrednost brzine gubitka mase zvezde HD 2905 veća nego kod zvezda HD 91316. Zvezda HD 202850 je mnogo hladnija zvezda koja sporije rotira. Svi objekti pokazuju varijacije radijalne brzine na skali od nekoliko sati do nekoliko dana, meseci ili godina, kao i varijacije spektralne linije H_α na dužoj vremenskoj skali. Izračunali smo nulti i prva tri momenta svih spektralnih linija koje su dovoljno jake da srednja spektralna rezolucija spektrografa pomoću kojeg smo snimili spektre, kao i srednji nivo šuma ne utiču dramatično na tačnost rezultata. Nismo računali momente za spektralnu liniju H_α jer se nalazi u delu spektra gde ima mnogo atmosferskih linija vode, kao i zbog toga što je veoma osetljiva i na druge uticaje. Pored toga smo izračunali $v \sin i$ svake zvezde koristeći FFT metod. Linije na koje smo primenili FFT metod izabrali smo pomoću sintetičkih spektara koje je izradila dr. A.Aret.

Tablica 1: Fizički parametri izučavanih objekata 1)-[15] 2)-[6] 3)-[4] 4)-[21] 5)-[10] 6)-[18]

zvezda	T_{eff} [K]	$\log L/L_\odot$	$\log g$	R_* [R_\odot]	M [M_\odot]	$v \sin i$ [km/s]	v_{macro} [km/s]
HD 2905	21500 ²⁾	5.52 ²⁾	2.45 ²⁾	41.4 ²⁾	30 ³⁾	91 ²⁾	56 – 71 ⁶⁾
HD 91316	22000 ²⁾	5.47 ²⁾	2.4 ²⁾	37.4 ²⁾	22 ⁵⁾	75 ²⁾	60 ⁴⁾
HD 202850	11000 ¹⁾	4.59 ¹⁾	1.87 ¹⁾	54 ¹⁾	8 ₋₃ ⁺⁴¹⁾	33 ± 2 ¹⁾	33 ± 2 ¹⁾

²National Institute of Standards and Technology, Physical Measurements Laboratory

5.1 Zvezda HD 2905

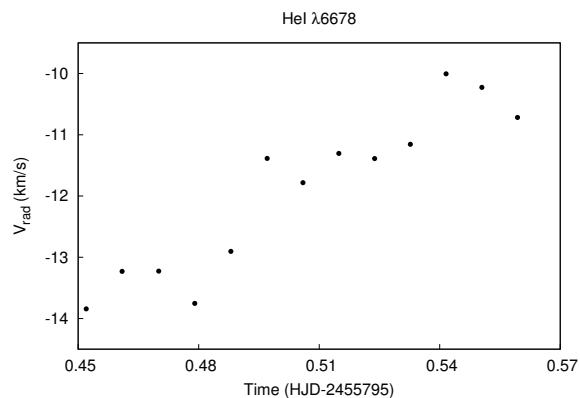
Zvezda HD 2905 ($= \kappa Cas$) je Galaktički superdžin spektralne klase BC0.7 Ia ([6]), sa linijom H_α u emisiji. Udaljen je od Zemlje 0.96 kpc ([24]). Nalazi se u sazvežđu Kasiopeja, vidi sliku 5. Njegovi osnovni fizički parametri su dati u tablici 1. Iz ranijih istraživanja postoje indicacije da je to Be zvezda koju vidimo u pravcu pola ([9]). Nalazi se unutar β Cep oblasti nestabilnosti. Posmatrali smo ovu zvezdu u H_α oblasti i FeII oblasti. Posmatračke beleznice date su u tablicama 9 i 10 dodatka B. U ovoj oblasti se nalaze spektralne linije H_α $\lambda 6562$ i HeI $\lambda 6678$ koje smo izučavali. Tu su takodje dve linije jednom jonizovanog azota NII $\lambda\lambda$ 6347,6613, dve linije jednom jonizovanog ugljenika CII $\lambda\lambda$ 6578,6582 i jedna linija jednom jonizovanog kiseonika OII λ 6721, ali nisu dovoljno jake da bismo mogli da ih proučavamo.



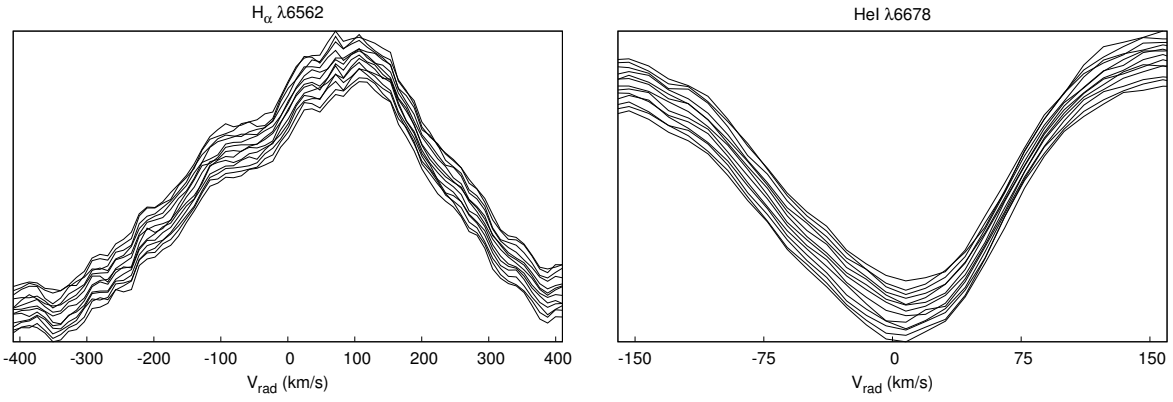
Slika 5: Položaj κCas na nebu
 $\alpha = 00^h 32^m 59.987^s$ $\delta = +62^\circ 55' 54.40''$

5.1.1 Kratkoperiodične promene

Tokom jedne noći snimili smo vremensku seriju spektara zvezde HD 2905 koja pokriva 2 sata i 50 minuta. Sa slike 7 možemo da vidimo kako se profil spektralnih linija menja sa vremenom. Na x-osi date su radijalne brzine (talasne dužine su transformisane u radijalne brzine pomoću obrasca: $v_i = (\frac{\lambda_i}{\lambda_0} - 1) * c$, gde je λ_0 laboratorijska talasna dužina odgovarajuće spektralne linije). Kada smo izračunali momente spektralne linije HeI mogli smo da vidimo da se radijalna brzina menja za 4 km/s (slika 6), međjutim vremenski interval u kome smo posmatrali ne pokriva ceo period promene. Čini se da smo pokrili manje od četvrtine pretpostavljenog perioda. Da bi potvrdili prisistvo pulsacije i isključili mogućnost da je ovo rotirajuća promenljiva treba da pokažemo da se i linija nekog drugog hemijskog elementa ponaša na ovaj način. Ipak zajedno sa prisustvom makroturbulencije (pogledati poglavlje 5.1.3) kod zvezde i očiglednom promenom profila spektralnih linija, promena radijalnih brzina čini pretpostavku o pulsaciji veoma verovatnom. Nadamo se da će posmatranja u budućnosti potvrditi ovaj zaključak.

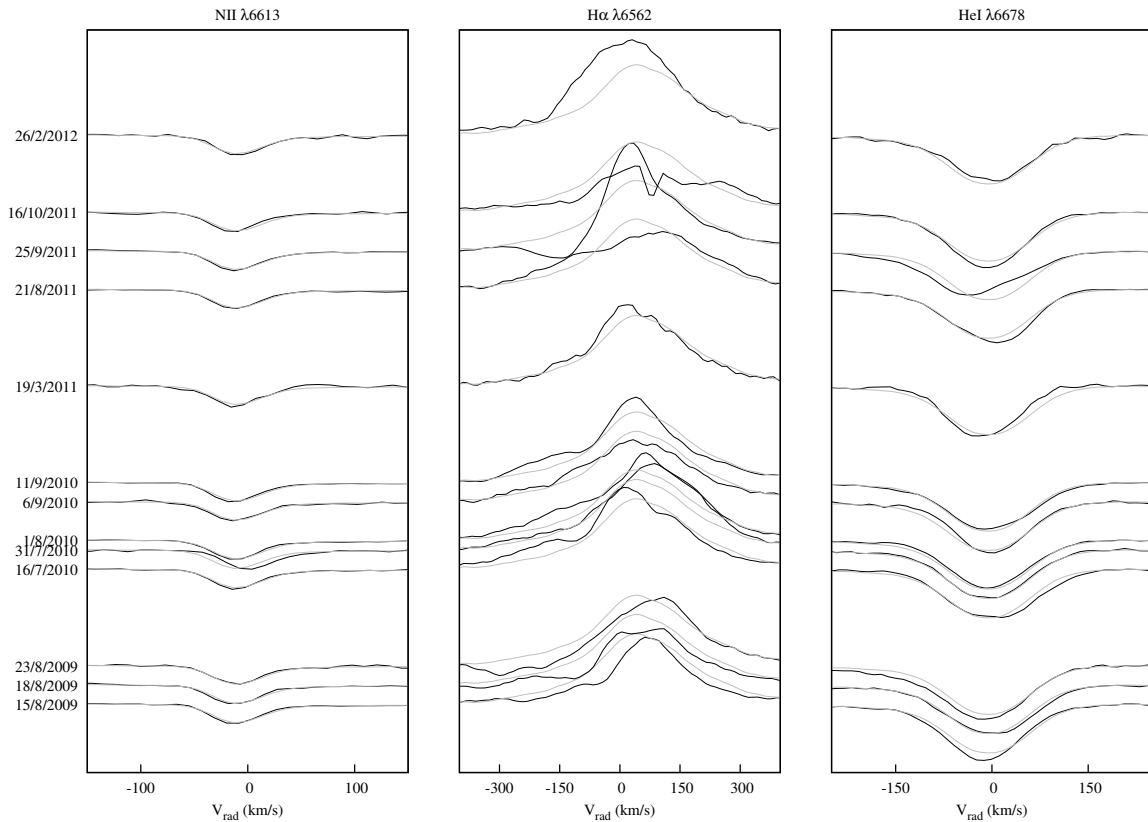


Slika 6: Radijalna brzina HD2905



Slika 7: Vremenska serija zvezde HD 2905, vreme raste od vrha nadole (po y osi)

5.1.2 Dugoperiodične promene



Slika 8: Pojedinačni spektri zvezde HD2905

Ova zvezda pokazuje veliku varijaciju spektralne linije H_α . Promene se dešavaju u toku 1 dana (na slici 8 pogledati spektre 31/7/2010 i 1/8/2010). Pojava spektralne linije H_α u emisiji ukazuje na to da ova zvezda ima jak zvezdani vetar. U odnosu na ostale linije linija H_α više varira u jačini, što govori u prilog promenljivog vetra. Promenljivost vetra uzrokuje promene spektralne linije H_α i po jačini i po obliku. Spektar snimljen 29/5/2011 (slika 8) pokazuje P Cigni profil karakterističan za zvezdane vetrove. Na slici 8 siva linija predstavlja usrednjeni spektar svih spektara koje smo snimili, dok crna linija predstavlja srednji spektar za odgovarajuću noć.

5.1.3 Makroturbulencija

Uz pomoć sintetičkog spektra koji odgovara ovoj zvezdi izabrali smo najpogodnije linije za analizu i na njih primenili FFT metod za izračunavanje $v \sin i$. Sintetički spektar je računat tako da ima približno iste parametre $T_{eff}, \log g$ i $v \sin i$ kao HD 2905. Vrednosti centralne talasne dužine linije korišćene za račun izmerene su u IRAF-u. Vrednosti $v \sin i$ koje smo dobili su u intervalu od 39-58 km/s , sa srednjom vrednošću 48.34 km/s . Razlika od skoro 20 km/s izmedju najmanje i najveće vrednosti ukazuje na prisustvo makroturbulencije kod ove zvezde. Ovo su potvrdili i Ryans i saradnici ([18]) kada su probali da razdvoje uticaje makroturbulencije i rotacije kod ove zvezde modelovanjem pojedinačnih linija. Za brzinu rotacije u pravcu vizure su dobili vrednosti 17-54 km/s , dok su za vrednost makroturbulencije dobili 56-71 km/s . Oni su posmatrali linije SiIII, OII, CII i MgII u HeI i SiIII opsegu spektra.

Tablica 2: Vrednosti $v \sin i$ dobijene primenom FFT metoda

Jon	talasna dužina [Å]	mereno $v \sin i$ [km/s]
MgII	4481.03	52.01
FeII	4552.63	54.72
SiIII	4567.86	58.14
SiII	4574.80	39.41
OII	4591.04	39.63
OII	4596.21	46.12

5.2 Zvezda HD 91316

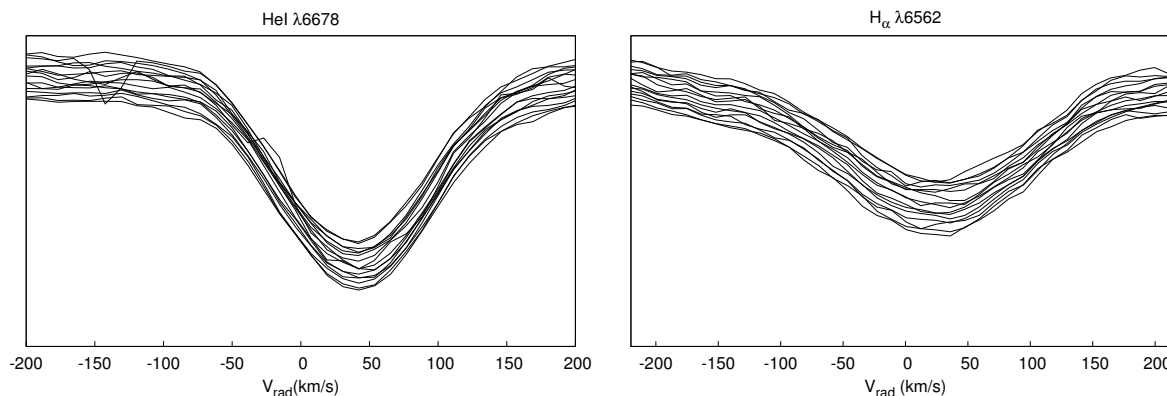
Zvezda HD 91316 (= ρ Leo) je Galaktički superdžin spektralne klase B1 Iab. Udaljen je od Zemlje 0.63 kpc ([24]). Nalazi se u sazveždju Lavo (slika 9). Na H-R dijagramu se nalazi u oblasti nestabilnosti β Cep. Njegovi osnovni fizički parametri su dati u tablici 1. To je veoma dobro istražen objekat. Kholtygin ([10]) je izučavao pulsacije kod ove zvezde. Uspeo je da nadje 10 različitih pulsacija čiji su periodi od nekoliko sati do nekoliko dana. Posmatrao je spektralne linije u opsegu od 5400Å do 5900Å. Mi smo posmatrali u H_α oblasti



Slika 9: Položaj ρ Leo na nebu
 $\alpha = 10^h 32^m 48.667^s$ $\delta = +09^\circ 18' 23.70''$

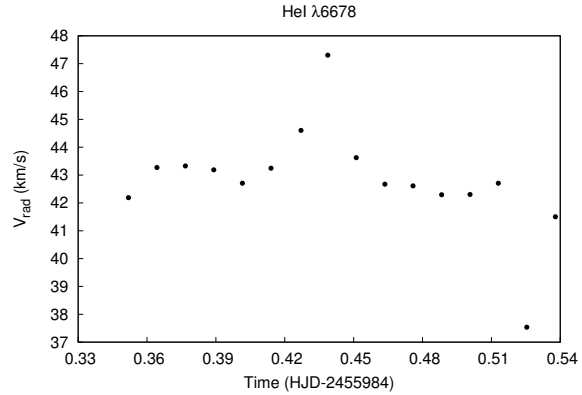
gde se zajedno sa linijom H_α nalaze i linija neutralnog helijuma HeI $\lambda 6678$, linije jednom jonizovanog ugljenika CII $\lambda\lambda 6578, 6582$, linija jednom jonizovanog kiseonika OII $\lambda 6721$ i linija jednom jonizovanog azota NII $\lambda 6482$. Mi smo izučavali samo linije HeI i H_α . Posmatračke beležnice date su u tablici 11 u dodatku B.

5.2.1 Kratkoperiodične promene

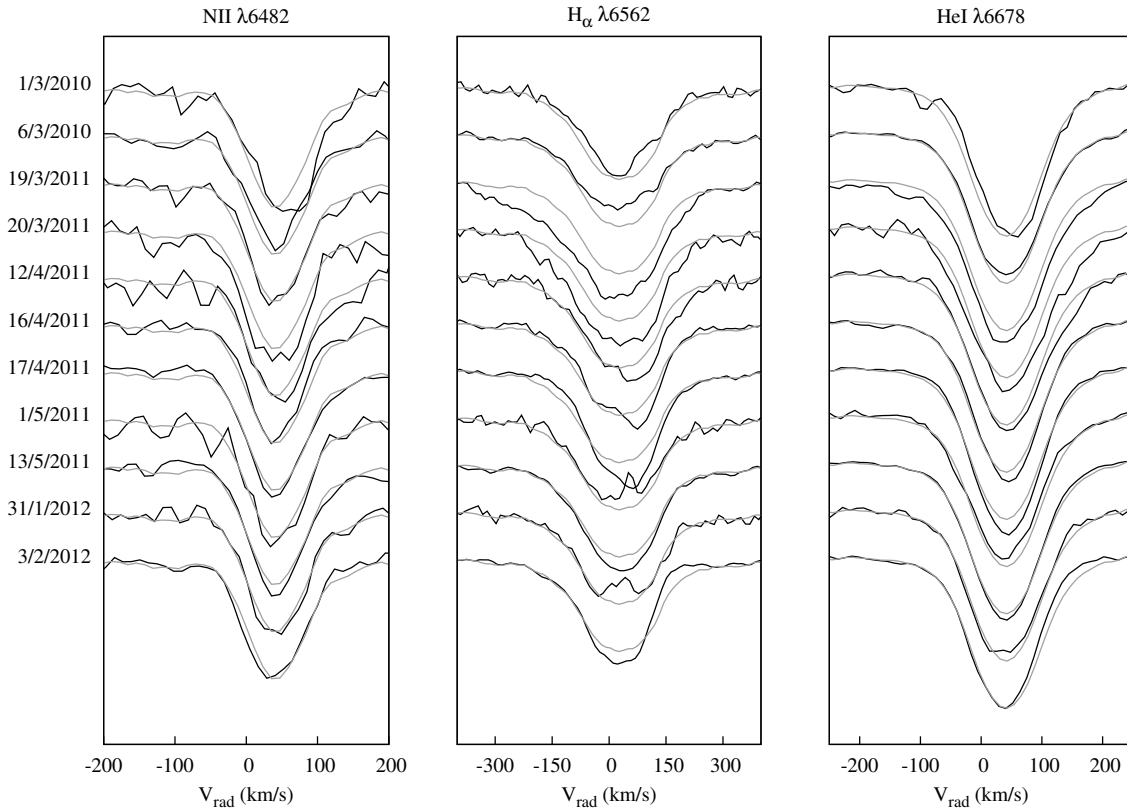


Slika 10: Vremenska serija HD 91316, vreme raste odozdo nagore (po y osi)

Izučavali smo ponašanje fotosferske linije HeI $\lambda 6678$. Tokom jedne noći, u vremenskom intervalu od 4 sata i 45 minuta snimili smo seriju od 16 spektara. Vremenska serija je data na slici 10. Na njoj se vidi zgušnjavanje linija karakteristično za pulsacije. Iz dobijenih podataka nije moguće izdvojiti period zbog visokog nivoa šuma. Osim toga obradili smo samo jednu liniju helijuma (HeI $\lambda 6678$) jer je na liniju H_{α} uticaj vetra preveliki da bi mogli da dobijemo pouzdane rezultate. Razlika između minimalne i maksimalne radijalne brzine iznosi 10 km/s (slika 11). Da bi eliminisali mogućnost da se radi o promenljivosti usled rotacije i zaključili da se radi o pulsaciji, treba nam bar još jedna linija nekog drugog hemiskog elementa. Ipak zajedno sa prisustvom makroturbulencije (pogledati poglavlje 5.2.3) promenljivost profila linija čini pretpostavku o pulsaciji verovatnom. Kada budemo imali kvalitetnije spektre nadamo se da ćemo moći da zaključimo da li se radi o pulsaciji i odredimo tačnu njenu modu.



Slika 11: Radijalne brzine zvezde HD 91316



Slika 12: Pojedinačni spektri zvezde HD 91316 snimljeni u različitim noćima

5.2.2 Dugoperiodične promene

Spektralna linija H_α je u apsorpciji kod ove zvezde, što ukazuje na zvezdani vetar. U poredjenju sa ostalim spektralnim linijama H_α više varira u jačini, što ukazuje na promenljivost vetra. Pored toga uočljiva je periodična H_α emisija superponirana na apsorpcionu liniju (pogledati npr. profile linije snimljene 31/1/2012 i 1/5/2011 u srednjem panelu slike 12). Ovo je i ranije primećeno ([22]), ali priroda ovog fenomena nije poznata, kao ni period. Na slici 12 siva linija predstavlja usrednjeni spektar svih spektara koje smo snimili, dok crna linija predstavlja srednji spektar za odgovarajuću noć.

5.2.3 Makroturbulencija

Primenili smo FFT metod za brzinu rotacije u pravcu vizure na profile linije HeI $\lambda 6678$ snimljene u periodu 1/3/2010 do 4/2/2012. Vrednosti koje smo dobili su u intervalu od $61\text{-}82\text{ km/s}$ (tablica 3), a njihova srednja vrednost je 73.91 km/s . Velika razlika izmedju najmanje i najveće vrednosti ukazuje na postojanje makroturbulencije. U prilog makroturbulenciji govori i to što je izmerena polovina širine na polovini maksimuma (HWHM (eng. Half Width Half Maximum)) veća od one koja je očekivana usled rotacije.

Tablica 3: Poredjenje merene HWHM pomoću IRAF-a i HWHM linije HeI $\lambda 6678$ koji se očekuje kao posledica rotacije (vrednost brzine rotacije koja je korišćena je ona koja je dobijena pomoću FFT metoda)

#	mereno HWHM [Å]	mereno $v \sin i$ [km/s]	HWHM iz $v \sin i$ [Å]
1	1.4665	76.0574	1.321
2	1.5525	75.1530	1.305
3	1.5525	77.2767	1.342
4	1.5680	75.9889	1.319
5	1.5525	76.3919	1.326
6	1.5895	82.3282	1.429
7	1.7370	77.9380	1.353
8	1.7580	74.5822	1.295
9	1.6080	72.0170	1.250
10	1.4960	67.7877	1.177
11	1.4405	76.6741	1.333
12	1.5365	61.2283	1.063
13	1.4690	74.3968	1.292
14	1.4590	69.4948	1.207
15	1.5280	82.2722	1.428
16	1.4155	71.7564	1.246
17	1.4165	73.7652	1.281
18	1.4350	65.2900	1.134

5.3 Zvezda HD 202850

Zvezda HD 202850 (= σ Cyg) je Galaktički superdžin spektralne klase B9 Iab. Nalazi se u OB asocijaciji Cyg OB 4 na udaljenosti od oko $1kpc$ ([8]). Njegova pozicija na nebu je data na slici 13. Njegovi fizički parametri su dati u tablici 1. Markova & Puls ([15]) su takodje otkrili da je ova zvezda bogatija silicijumom nego što je to uobičajeno. Posmatrali smo ovaj objekat u FeII oblasti i u H_α oblasti, posmatračke beleške date su u tablicama 7 i 8 u dodatku B. Identifikovane spektralne linije date su u tablici 4.



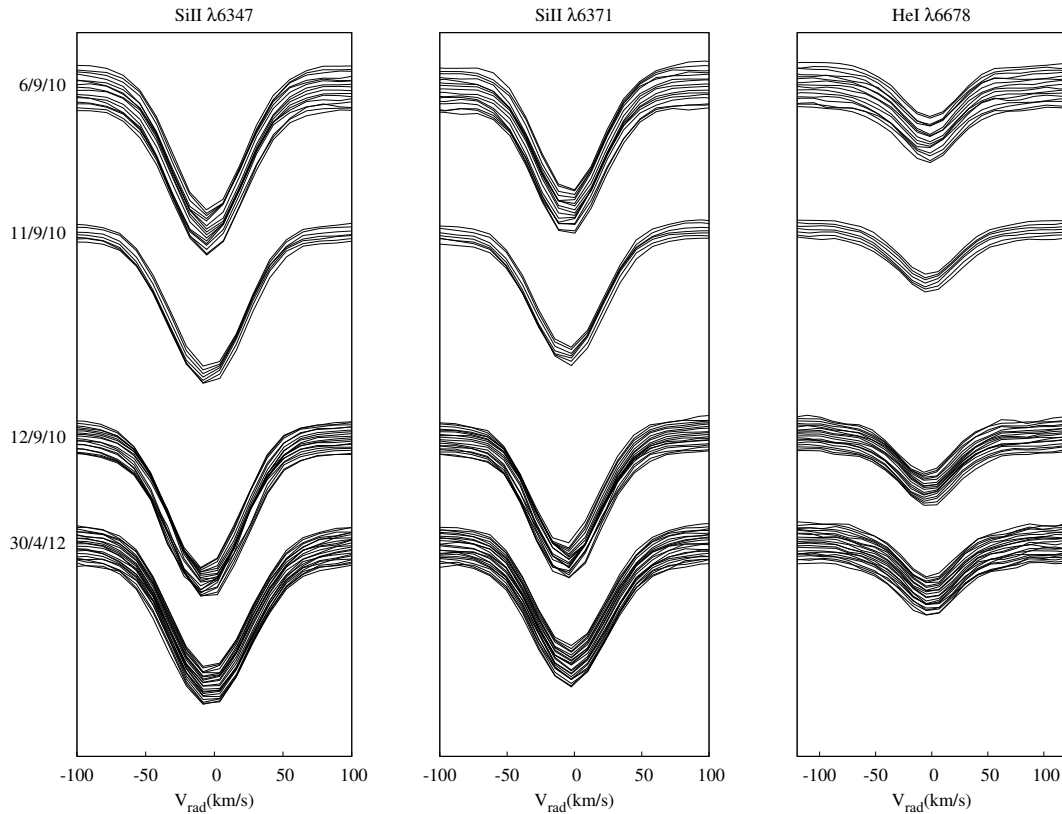
Slika 13: Položaj σ Cyg na nebu
 $\alpha = 21^h 17^m 24.947^s$ $\delta = +39^\circ 23' 40.80''$

Tablica 4: Identifikovane linije HD202850

Jon	λ_{lab}	Jon	λ_{lab}	Jon	λ_{lab}
SiII	6347.100	SiII	6371.360	MgII	6545.973
HI	6562.790	CII	6578.050	CII	6582.880
HeI	6678.151	NeII	4428.520	HeI	4471.480
FeII	4515.339	FeII	4520.224	FeII	4522.634
FeII	4534.168	FeII	4541.524	FeII	4549.842
CrII	4558.650	FeII	4576.340	TiIII	4579.642
FeII	4583.829	NeII	4588.133	FeII	4629.339
NaII	4633.940	NeII	4635.382	SI	4656.777
NeI	4663.092	NeI	4666.654	FeII	4666.758
FeII	4670.182	MgII	4481.130	FeII	4508.288

5.3.1 Kratkoperiodične promene

Analizirali smo četiri vremenske serije snimljene različitih noći. Pored spektralne linije H_α , opseg koji smo posmatrali uključivao je dve linije jednom jonizovanog silicijuma SiII $\lambda\lambda$ 6347,6371 i liniju neutralnog helijuma HeI λ 6678. Ostale linije su slabe i zbog toga su rezultati dobijeni proučavanjem tih linija nepouzdati. Vremenske serije mogu da se vide na slici 14. Periodična promena u obliku linije uočava se na toj slici, i vidi se da su strukture (zgušnjavanja u pojedinim delovima) koje linije prave slične za sve linije, takodje se vidi da period mora da bude kraći od vremenskog intervala u kome smo posmatrali.



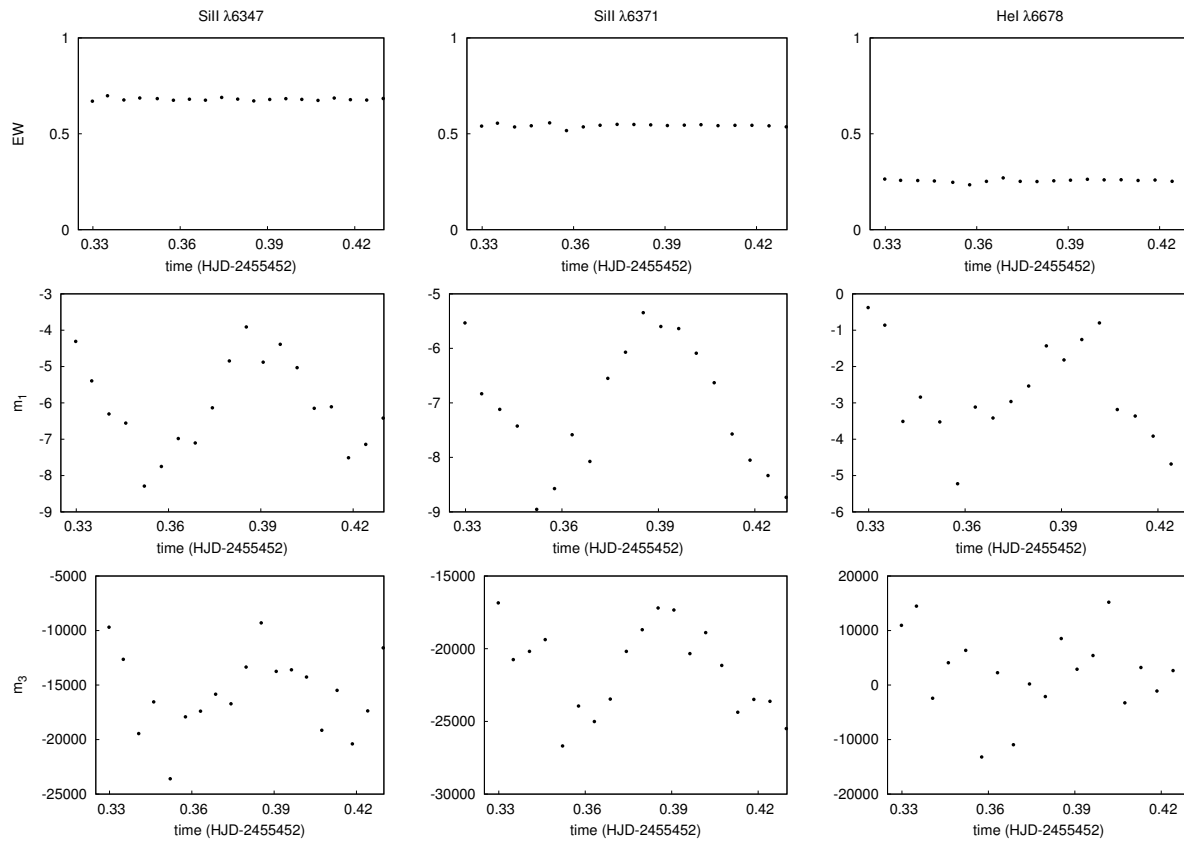
Slika 14: Vremenske serije HD202850. Vreme raste odozdo nagore.

Kao što je već pomenuto promenljivost profila linija kod B superdžinova može da bude posledica pulsacija, ali svi do sad otkriveni periodi su reda nekoliko dana. Da bi proverili da li su kod ove zvezde prisutne pulsacije primenili smo metod momenata da se mali nenormalizovani momenti menjaju periodično (slika 15). Prvi i treći mali nenormalizovani momenti menjaju se sinhronizovano na isti način. Na ovom grafiku se vidi da ekvivalentne širine ne variraju mnogo tokom jedne noći, što govori u prilog neradijalne pulsacije.

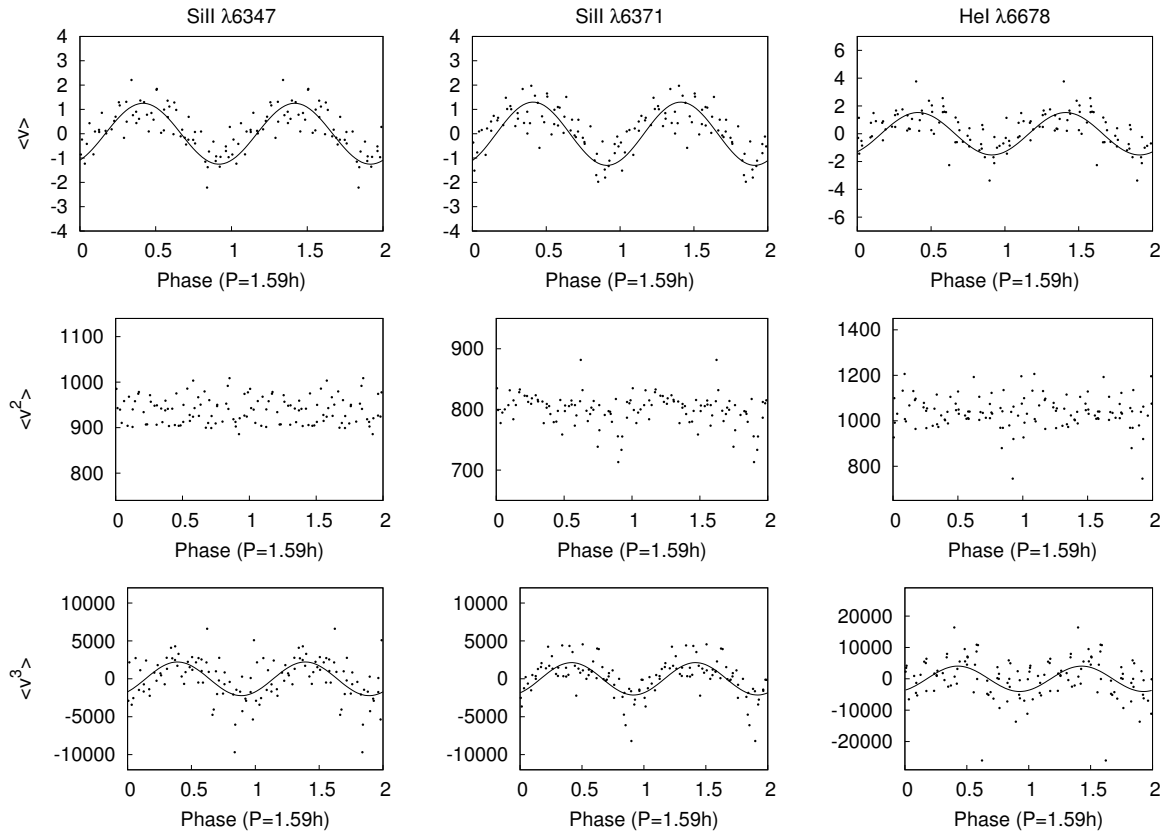
Rezultati dobijeni primenom metoda momenata na linije SiII i HeI za sve četiri vremenske serije dati su na slici 16. Momenti su prikazani u funkciji faze. Period na koji je svedena faza dobijen je primenom dve metode za izdvajanje perioda na podatke iz dve različite noći: (i) jednostavno fitovanje sinusnom funkcijom i (ii) pouzdanija FFT analiza. Period dobijen za sve tri linije je $P = 1.59 \pm 0.01h$; za fazne dijagrame (slika 16) koristili smo srednji period $P = 1.59$. Obe linije SiII i HeI se menjaju na isti način pa može da se isključi promenljivost usled rotacije kao uzrok promenljivosti.

Praćenje ponašanje momenata je značajno jer iz njega može da se zaključi tačno o kojoj modi se radi (mogu da se utvrde tačni koeficijenti sfernih harmonika). Da bi to utvrdili treba nam visok nivo signala, jer je drugi momenat jako osetljiv na šum. Izgleda da je pulsacija koju smo otkrili osnosimetrična, ali da bi smo mogli to da potvrdimo po-

trebni su nam kvalitetniji podaci. Pre svega da bismo mogli da odredimo period drugog momenta koji je ključan u identifikaciji tačne mode.



Slika 15: Promena malih nenormalizovanih momenata zvezde HD202850 u funkciji vremena tokom noći 12/9/2010

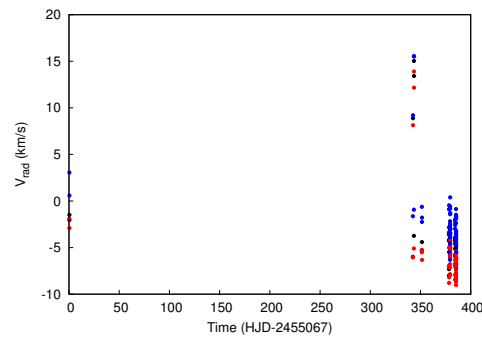


Slika 16: Momenti HD202850 svedeni na fazu, uzeti su podaci za sve noći

5.3.2 Dugoperiodične promene

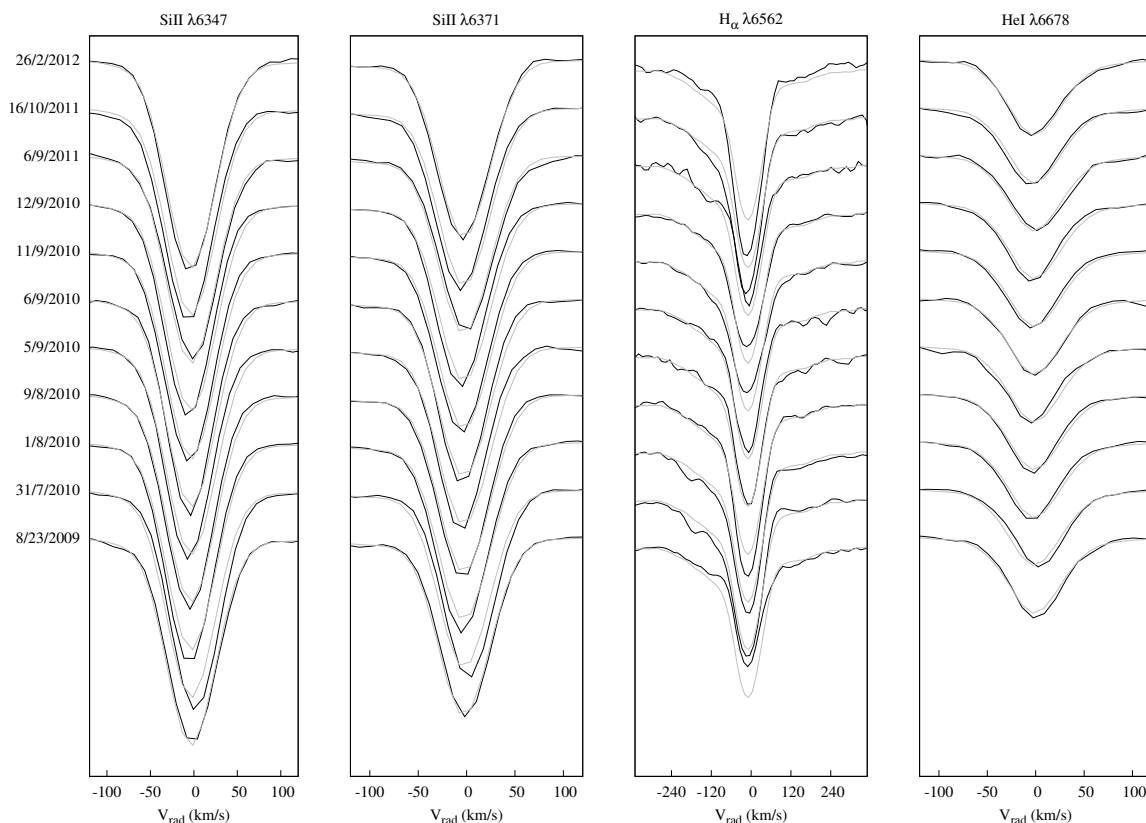
Kad smo izračunali radijalne brzine za sve spektre koje smo snimili (slika 17) primetili smo da radijalna brzina varira na većoj vremenskoj skali. Verujemo da postoji još mnogo pulsirajućih frekvencija sa mnogo većim periodima i mnogo većim amplitudama. Postoje pretpostavke da se kod superdžinova spektralne klase B može javiti i do 100 pulsacionih modova ([19]).

Linija H_{α} u apsorpciji govori u prilog slabom zvezdanom vetru. Jačina linije H_{α} se više menja nego kod ostalih linija (slika 18). Promenljivost jačine linije ukazuje nam na to da je pretpostavljeni vetar promenljiv. Promenljivost vetra može da bude posledica sa više fizičkih faktora, npr. nehomogenosti u



Slika 17: Radijalna brzina HD202850 za sve spektre koje smo snimili

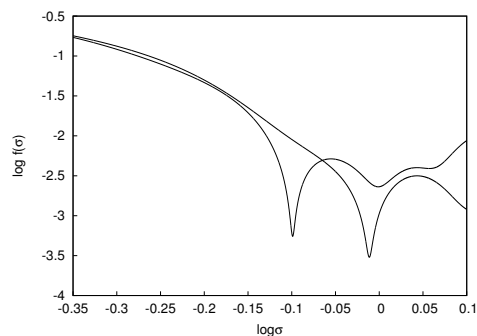
vetru, medzvezdane materije... Na slici 18 siva linija predstavlja usrednjeni spektar svih spektara koje smo snimili, dok crna linija predstavlja srednji spektar za odgovarajuću noć.



Slika 18: Pojedinačni spektri zvezde HD202850

5.3.3 Makroturbulencija

Pomoću FFT metoda za izračunavanje radialne komponente rotacione brzine izračunali smo brzinu rotacije projektovane na pravac vizure (iz linije SiII $\lambda 6347$) za svaki od spektara koji su snimljeni tokom noći 12/9/2010. Dobili smo različiti rezultat za svaki spektar, što znači da se svaka prva nula FFT krive nalazi na drugom mestu (slika 19). Vrednosti su u intervalu 25-40 km/s , a srednja vrednost je 33.11 km/s . Ovo rasejavanje vrednosti $v \sin i$ je neočekivano i mora se bolje pro-



Slika 19: Primer FFT krive za različite spektre iste noći

učiti. Takodje smo izmerili HWHM linije SiII $\lambda 6347$ u IRAF-u za svaki od spektara. Onda smo uporedili HWHM izmeren u IRAF-u sa HWHM sračunatim sa $v \sin i$ svakog pojedinačnog spektra i odgovarajućom centralnom talasnom dužinom dobijenom primenom metoda momenata (tablica 5). Otkrili smo da je izmerena širina u IRAF-u veća od širine koja je posledica rotacije. Višak širenja pripisujemo makroturbulenciji.

Tablica 5: Poredjenje merene HWHM pomoću IRAF-a i HWHM linije SiII $\lambda 6347$ koji se očekuje kao posledica rotacije (vrednost brzine rotacije u pravcu vizure koja je korišćena je ona koje je dobijena pomoću FFT metoda)

#	mereno HWHM [Å]	mereno $v \sin i$ [km/s]	HWHM iz $v \sin i$ [Å]
1	0.685	32.49	0.528
2	0.710	39.15	0.644
3	0.695	35.77	0.578
4	0.700	40.57	0.660
5	0.690	29.12	0.478
6	0.685	36.90	0.594
7	0.685	27.62	0.446
8	0.685	32.69	0.528
9	0.700	34.48	0.561
10	0.685	32.52	0.528
11	0.685	25.71	0.412
12	0.690	34.48	0.561
13	0.690	30.51	0.495
14	0.690	29.15	0.478
15	0.680	34.45	0.561
16	0.690	32.00	0.528
17	0.685	31.18	0.512
18	0.685	36.16	0.594
19	0.690	34.29	0.561

Iz naših podataka smo izračunali brzinu makroturbulencije v_{mac} i dobili 22-24km/s. Ovaj rezultat smo dobili iz jednog spektra, prvog spektra snimljenog u noći 12/9/2010. Fitovali smo liniju SiII $\lambda 6347$ sintetičkim profilom ove linije proširenim termalnim širenjem, rotacionim širenjem, brzinom makroturbulencije i širenjem usled rezolucije spektrografa. Vrednost koju smo dobili je puno manja od vrednosti u literaturi (vidi tablicu 1). U budućem radu planiramo da istražimo neslaganja u vrednosti makroturbulentne brzine v_{mac} i proverimo da li je priroda ovog neslaganja u pulsacijama.

Uz pomoć sintetičkog spektra koji odgovara ovoj zvezdi izabrali smo najpogodnije

linije za analizu FeII opsega i na njih primenili FFT metod za izračunavanje $v \sin i$. Sintetički spektar je računat tako da ima približno iste parametre $T_{eff}, \log g$ i $v \sin i$ kao HD 202850. Vrednosti centralne talasne dužine linije korišćene za račun izmerene su u IRAF-u. Vrednosti $v \sin i$ koje smo dobili su u intervalu od 20-26 km/s , sa srednjom vrednošću 22.85 km/s . Primetno je da je su vrednosti $v \sin i$ date u tablici 6 značajno manje nego vrednosti dobijene analizom linije SiII $\lambda 6347$. To je verovatno zbog toga što je linija SiII jačeg inteziteta. Ryans i saradnici ([18]) su primetili da jače linije pokazuju veći stepen širenja, najverovatnije jer se formiraju u višim slojevima atmosfere.

Tablica 6: Vrednosti $v \sin i$ dobijeni primenom FFT metoda

Jon	talasna dužina [Å]	mereno $v \sin i$ [km/s]
FeII	4489.06	20.11
FeII	4515.28	22.47
FeII	4549.44	26.55
CrII	4558.60	22.28

6 Zaključak

Ispitali smo promjenljivost profila linija nekoliko Galaktičkih superdžinova spektralne klase B. Samo za jedan objekat (zvezda HD 202850) smo uspjeli da nadjemo period pulsacije ($P=1.59\text{h}$) i objavimo rezultat ([11]), ali još uvek ne možemo da identifikujemo koja je moda u pitanju. U budućnosti planiramo da snimimo kvalitetnije spektre. Ipak ovo je važno otkriće jer je ovo tek drugi superdžin klase B sa ovako kratkim periodom. Prvi je opisan u radu [19]. Kad budemo identifikovali modu moći ćemo bolje da razumemo unutrašnju strukturu ove zvezde. Drugo značajna činjenica je da ova zvezda ne spada ni u jednu poznatu oblast nestabilnosti. Nadamo se da ćemo u daljim istraživanjima otkriti zašto se ova zvezda tako ponaša.

Za ostale objekte nismo uspjeli da nadjemo period, ali smo mogli da potvrdimo postojanje promjenljivosti radijalne brzine što bi moglo da dovede do otkrića jedne ili verovatno više pulsacija kod ovih objekata. Otkrivanje pulsacija će nam pomoći da bolje razumemo unutrašnju strukturu ovih objekata. Planiramo da sastavimo širu listu ovih objekata i sistematski pretražimo ovaj deo H-R dijagrama.

Još jedan bitan rezultat našeg rada je otkriće promjenljivosti brzine rotacije u pravcu vizure $v \sin i$ izračunate pomoću FFT metoda. Čini se da pulsacije jako utiču na vrednosti dobijene ovom metodom. Nije jasno da li je to zbog prisustva makroturbulencije, zbog toga što su profili linija modifikovani pulsacijom asimetrični ili nečeg trećeg. Ovo takodje treba istražiti detaljnije. U svakom slučaju za pulsirajuće zvezde FFT metod za određivanje $v \sin i$ nije pouzdan.

7 Zahvalnica

Želim da se zahvalim ljudima i institucijama koji su doprineli izradi ovog rada. Najpre želim da se zahvalim dr. M Kraus, mojoj savetnici na podacima koje mi je stavila na raspolaganje kao i savetovanju tokom rada. Takodje želim da se zahvalim dr. O. Atanacković i dr. J.Kubátu na pomoći i korisnim sugestijama, kao i dr. A.Aret na sintetičkim spektrima koje mi je ustupila. Želim još da zahvalim Astronomskom institutu AV ČR na gostoprimstvu kao i Matematičkom fakultetu u Beogradu i Katedri za astronomiju što su omogućili ovaj rad.

Literatura

- [1] Aerts,C. Christensen-Dalsgaard,J. and Kurtz,D.W., *Astroseismology*.
2010, Springer
- [2] Aerts,C. et al., *Collective pulsational velocity broadening due to gravity modes as a physical explanation for macroturbulence in hot massive stars*.
2009, A&A 508,409-419
- [3] Berdyugina,S.V. et al., *Surface imaging of stellar non-radial pulsations*.
2003, A&A 406,273-280
- [4] Bieging,J.H. et al., *A survey of radio emission from galactic OB stars*.
1989, The Astrophysical Journal,340:518-536
- [5] Carroll,B.W. and Ostley,D.A., *An introduction to modern astrophysics*.
2007, Pearson Education
- [6] Crowther,P.A et al. *Physical parameters and wind properties of galactic early B supergiants*.
2006, A&A 446,279-293
- [7] Gray,D.F., *The observation and analysis of stellar photospheres*.
2005, Cambridge University Press
- [8] Humphreys,R.M., *Studies of luminous stars in nearby galaxies I supergiants and O stars in the Milky way*.
1978, The Astrophysical Journal Supplement Series, 38:309-350
- [9] Hutchings,J.B., *Expanding atmospheres in OB supergiants IV: A mass-loss survey*.
1970, MNRAS 147,161-176
- [10] Kholtygin,A.F. et al., *Microvariability of Line Profiles in the spectra of OB Stars: III. The supergiant ρ LEO*.
2007, ISSN 1063-7729, Astronomy Reports, Vol 51, No 11., pp 920-931
- [11] Kraus,M et al., *Detection of a 1.59 h period in the B supergiant star HD 202850*
2012, A&A 542,L32
- [12] Lamers,H.J.G.L.M. and Cassinelli,J.P., *Introduction to stellar winds*.
Cambridge University Press
- [13] Lefever,K., *Fundamental parameters of B-type stars*, PhD Thesis.
2007, Leuven
- [14] Lennon,D.J. et al. *Galactic B-supergiants. I. An atlas of O9-B9 supergiant spectra from 3950Å to 4950Å*.
1992, A&A, Suppl. Ser, 94, 560-586

- [15] Markova,N. and Puls,J., *IV. Stellar and wind parametars of earlt to late B supergiants.*
2008, A&A 478,823-842
- [16] McEarlen,N.D. et al. *Galactic B-supergiants: A non-LTE model atmosphere analysis to estimate atmospheric parametars and chemical compositions.*
1999,A&A 349,553-572
- [17] North,P. and Palatani,S., *HD37151: A new slowly pulsating B star.*
1994, A&A 288,155-164
- [18] Ryans,R.S.I. et al., *Macroturbulent and rotational broadening in the spectra of B-type supergiants.*
2002, MNRAS 336,577-586
- [19] Saio,H. et al., *MOST detects g- and p- modes in the B supergiant HD 163899 (B2 Ib/II).*
2006,The Astrophysical Journal 650,1111-1118
- [20] Simón-Díaz,S. et al. *Fourier method of determining the rotational velocities in OB stars.*
2007,A&A 468,1063-1073
- [21] Simón-Díaz,S. et al. *Is macroturbulent broadening in OB Supergiants related to pulsations?*
2006, Astron. Nachr.,No. 88, 789-792
- [22] Smith,M.A. and Ebbets,D., *Spectral variations in rho leonis (B1 Iab) from subphotosphere to outer atmosphere.*
1981,The Astrophysical Journal 247:158-172
- [23] Sterken,C. amd Jaschek,C., *Light curves of variable stars, a pictorial atlas.*
1996,Cambridge University Press
- [24] Underhill,A.B., *The effective temperature, radius, rate of mass loss and luminosity of P Cygni, HD 190603,κ Cassiopeiae, and ρ Leonis.*
1971,The Astrophysical Journal 243:528-537
- [25] Walborn,N.R. and Fitzpatrick,E.L., *Contemporary spectral classification of the OB stars: A digital atlas.*
1990, Publication of the Astronomical Society of the Pacific, 102:379-41

A Dodatak: Poznate klase pulsirajuće promenljivih zvezda

Naziv	Tip	Periodi	$\log T_{eff}[K]$ opseg	$[\log L/L_{\odot}]$ opseg
Solar-like	p	3 do 10 min	[3.70,3.82]	[-0.5,1.0]
pulsator	p	nekoliko sati	[3.65,3.70]	[-0.5,2.0]
γDor	g	8h do 5d	[3.83,3.90]	[0.7,1.1]
δSct	p	15 min do 8h	[3.82,3.95]	[0.6,2.0]
roAp	p	5 do 22min	[3.82,3.95]	[0.8,1.5]
SPB	g	12h do 5d	[4.05,4.35]	[2.0,4.0]
βCep	p	1 do 12h	[4.25,4.50]	[3.2,5.0]
	g	nekoliko dana		
pulsating Be	p&g	2.4h do 5d	[4.05,4.50]	[2.0,5.0]
pre-MS pulsator	p	1 do 8h		
	g	8h do 5d		
RR Lyr	F	$\approx 12h$	[3.78,3.88]	[1.4,1.7]
	FO	$\approx 8h$		
	FO+F	8 do 12h		
Type II Cepheid	F	10 do 30d	[3.70,3.90]	[2.0,4.0]
RV Tauri	F?	30 do 150d	[3.60,3.90]	[3.2,4.2]
Type I Cepheid	F	1 do 50d	[3.55,3.85]	[2.0,4.0]
	FO	<20d		
Mira	$l = 0$	> 80d	[3.45,3.75]	[2.5,4.0]
	$l = 0$	<80d		
PVSG (SpT A)	g,S?	10 do 100d	[3.45,4.00]	[2.5,4.5]
PVSG (SpT B)	g	1 do 10d	[4.00,4.50]	[4.3,5.8]
LBV	g,S	2 do 40d	[3.80,4.20]	[5.5,6.5]
WR	g,S	1h do 5d	[4.40,4.70]	[4.5,6.0]
HdC	g?	40 do 100d	[3.50,4.20]	[3.5,4.5]
eHe	S	$\approx 20d$		
	g,S?	$\approx 2.4h$		
	g,S?	12h do 8d		

B Dodatak: Posmatračke beležnice

Tablica 7: Posmatračke beležnice zvezde HD 202850 u H_α opsegu

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2455067.40495	2009-08-23	21:37:58	900	300
2455067.41743	2009-08-23	21:55:56	900	300
2455409.40116	2010-07-31	21:33:12	600	350
2455409.53991	2010-08-01	00:53:00	600	300
2455410.37371	2010-08-01	20:53:38	600	400
2455410.48393	2010-08-01	23:32:21	900	300
2455410.56097	2010-08-02	01:23:17	900	300
2455418.36820	2010-08-09	20:45:23	600	250
2455418.40174	2010-08-09	21:33:41	600	250
2455418.46661	2010-08-09	23:07:06	600	250
2455445.33670	2010-09-05	19:59:38	600	150
2455445.34568	2010-09-05	20:12:34	600	250
2455445.38268	2010-09-05	21:05:51	600	100
2455445.40498	2010-09-05	21:37:58	600	150
2455445.42766	2010-09-05	22:10:37	600	150
2455446.37462	2010-09-06	20:49:16	600	600
2455446.38362	2010-09-06	21:02:14	600	600
2455446.39268	2010-09-06	21:15:16	600	600
2455446.40173	2010-09-06	21:28:18	600	600
2455446.41073	2010-09-06	21:41:16	600	600
2455446.41974	2010-09-06	21:54:14	600	600
2455446.42877	2010-09-06	22:07:15	600	600
2455446.43781	2010-09-06	22:20:16	600	600
2455446.44683	2010-09-06	22:33:15	600	600
2455446.45582	2010-09-06	22:46:12	600	600
2455446.46486	2010-09-06	22:59:13	600	600
2455446.47388	2010-09-06	23:12:12	600	600
2455446.48296	2010-09-06	23:25:17	600	600
2455446.49201	2010-09-06	23:38:19	600	600
2455446.50103	2010-09-06	23:51:18	600	600
2455446.51002	2010-09-07	00:04:15	600	600
2455451.47616	2010-09-11	23:15:32	600	600
2455451.48516	2010-09-11	23:28:30	600	600
2455451.49411	2010-09-11	23:41:23	600	600
2455451.50312	2010-09-11	23:54:22	600	600
2455451.51209	2010-09-12	00:07:17	600	600
2455451.52107	2010-09-12	00:20:13	600	600

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2455451.53004	2010-09-12	00:33:08	600	600
2455452.32982	2010-09-12	19:47:44	250	250
2455452.33502	2010-09-12	19:54:49	300	300
2455452.34064	2010-09-12	20:02:54	300	300
2455452.34610	2010-09-12	20:10:46	300	300
2455452.35213	2010-09-12	20:19:27	300	300
2455452.35767	2010-09-12	20:27:26	300	300
2455452.36317	2010-09-12	20:35:21	300	300
2455452.36868	2010-09-12	20:43:17	300	300
2455452.37426	2010-09-12	20:51:19	300	300
2455452.37977	2010-09-12	20:59:15	300	300
2455452.38528	2010-09-12	21:07:11	300	300
2455452.39076	2010-09-12	21:15:05	300	300
2455452.39631	2010-09-12	21:23:04	300	300
2455452.40179	2010-09-12	21:30:58	300	300
2455452.40736	2010-09-12	21:38:59	300	300
2455452.41293	2010-09-12	21:47:00	300	300
2455452.41850	2010-09-12	21:55:01	300	300
2455452.42410	2010-09-12	22:03:05	300	300
2455452.42976	2010-09-12	22:11:14	300	300
2455811.46787	2011-09-06	23:01:02	900	200
2455811.47909	2011-09-06	23:18:52	1400	200
2455811.50012	2011-09-06	23:44:59	1200	200
2455811.51665	2011-09-07	00:07:57	1300	200
2455811.52925	2011-09-07	00:36:56	1400	150
2455851.41484	2011-10-16	21:38:35	1800	300
2455851.49612	2011-10-16	23:35:38	1800	200
2455984.67663	2012-02-27	04:19:29	1800	250
2456048.49219	2012-04-30	23:48:50	300	300
2456048.49762	2012-04-30	23:56:39	300	300
2456048.50304	2012-05-01	00:04:27	300	300
2456048.50843	2012-05-01	00:12:13	300	300
2456048.51384	2012-05-01	00:20:00	300	300
2456048.51925	2012-05-01	00:27:48	300	300
2456048.52465	2012-05-01	00:35:34	300	300
2456048.53005	2012-05-01	00:43:21	300	300
2456048.53547	2012-05-01	00:51:09	300	300
2456048.54087	2012-05-01	00:58:56	300	300
2456048.54629	2012-05-01	01:06:44	300	300
2456048.55170	2012-05-01	01:14:31	300	300

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2456048.55710	2012-05-01	01:22:18	300	300
2456048.56252	2012-05-01	01:30:06	300	300
2456048.56794	2012-05-01	01:37:54	300	300
2456048.57336	2012-05-01	01:45:43	300	300
2456048.57877	2012-05-01	01:53:30	300	300
2456048.58416	2012-05-01	02:01:16	300	300
2456048.58957	2012-05-01	02:09:03	300	300
2456048.59496	2012-05-01	02:16:49	300	300
2456048.60036	2012-05-01	02:24:35	300	300
2456048.60576	2012-05-01	02:32:22	300	300
2456048.61125	2012-05-01	02:40:16	300	300

Tablica 8: Posmatračke beležnice zvezde HD202850 u FeII opsegu

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2455082.35512	2009-09-07	20:26:11	3600.000	150
2455082.39896	2009-09-07	21:29:19	3600.000	150
2455375.50071	2010-06-27	23:58:44	3600.000	200

Tablica 9: Posmatračke beležnice zvezde HD2905 u H_α opsegu

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2455059.51125	00:12:41	2009-08-16	500	400
2455059.51906	00:23:55	2009-08-16	500	500
2455062.47625	23:18:35	2009-08-18	900	400
2455067.43363	22:15:47	2009-08-23	1000	250
2455394.42395	22:11:14	2010-07-16	366.533	300
2455394.43060	22:20:48	2010-07-16	400	300
2455409.49292	23:44:46	2010-07-31	900	250
2455409.55059	01:07:48	2010-08-01	900	250
2455410.50822	00:09:11	2010-08-02	600	300
2455410.57404	01:43:57	2010-08-02	600	250
2455446.57524	01:38:54	2010-09-07	900	150
2455446.58771	01:56:51	2010-09-07	900	200
2455446.60018	02:14:48	2010-09-07	900	200
2455446.61265	02:32:46	2010-09-07	900	200
2455451.53879	00:48:20	2010-09-12	600	400
2455451.54771	01:01:11	2010-09-12	600	400
2455451.55668	01:14:06	2010-09-12	600	400
2455451.56571	01:27:06	2010-09-12	600	500
2455451.57472	01:40:04	2010-09-12	600	500
2455451.58372	01:53:02	2010-09-12	600	500
2455640.27375	18:22:47	2011-03-19	1800	150
2455795.45201	22:44:31	2011-08-21	600	250
2455795.46093	22:57:21	2011-08-21	600	250
2455795.47005	23:10:29	2011-08-21	600	250
2455795.47902	23:23:24	2011-08-21	600	250
2455795.48801	23:36:21	2011-08-21	600	250
2455795.49704	23:49:21	2011-08-21	600	300
2455795.50596	00:02:12	2011-08-22	600	250
2455795.51489	00:15:03	2011-08-22	600	250
2455795.52380	00:27:53	2011-08-22	600	250
2455795.53269	00:40:41	2011-08-22	600	250
2455795.54158	00:53:29	2011-08-22	600	250
2455795.55050	01:06:20	2011-08-22	600	250
2455795.55937	01:19:06	2011-08-22	600	250
2455830.46350	22:48:28	2011-09-25	1800	300
2455830.48645	23:21:31	2011-09-25	1800	300
2455851.52155	00:10:15	2011-10-17	1800	150
2455984.21901	17:09:00	2012-02-26	900	150

Tablica 10: Posmatračke beležnice zvezde HD2905 u FeII opsegu

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2455027.49433	2009-07-14	23:53:36	1800.000	150
2455027.51735	2009-07-15	00:26:45	1800.000	200
2455378.44951	2010-06-30	22:50:09	3600.00	200

Tablica 11: Posmatračke beležnice zvezde HD91316

Heliocentrični JD	Datum posmatranja	UT	Trajanje ekspozicije	SNR
2455257.49014	2010-03-01	23:27:33	1200	150
2455313.31819	2010-04-26	19:31:38	280.802	200
2455313.31720	2010-04-26	19:37:02	291.51	200
2455627.44578	2011-03-06	22:26:15	900	200
2455627.45813	2011-03-06	22:44:02	900	200
2455627.48644	2011-03-06	23:24:48	900	200
2455627.49880	2011-03-06	23:42:36	900	150
2455627.51117	2011-03-07	00:00:25	900	200
2455640.44410	2011-03-19	22:16:49	1800	300
2455641.48915	2011-03-20	23:21:45	1800	100
2455664.44870	2011-04-12	22:30:04	1262.875	150
2455668.42537	2011-04-16	21:57:08	1200	350
2455669.44036	2011-04-17	22:18:50	1200	350
2455683.44076	2011-05-01	22:27:45	798.518	150
2455695.34058	2011-05-13	20:03:24	600.731	200
2455695.35623	2011-05-13	20:15:56	1800	250
2455958.53299	2012-02-01	00:10:04	3600	150
2455961.50755	2012-02-03	23:48:15	1800	200
2455961.53040	2012-02-04	00:21:09	1800	150
2455961.55319	2012-02-04	00:53:58	1800	150
2455984.35193	2012-02-26	20:11:02	900	250
2455984.36432	2012-02-26	20:28:52	900	200
2455984.37673	2012-02-26	20:46:44	900	200
2455984.38909	2012-02-26	21:04:32	900	300
2455984.40154	2012-02-26	21:22:28	900	300
2455984.41401	2012-02-26	21:40:25	900	300
2455984.42707	2012-02-26	21:58:14	900	300
2455984.43875	2012-02-26	22:16:03	900	150
2455984.45115	2012-02-26	22:33:54	900	250
2455984.46360	2012-02-26	22:51:40	900	250
2455984.47586	2012-02-26	23:09:29	900	250
2455984.48832	2012-02-26	23:27:26	900	250
2455984.50068	2012-02-26	23:45:14	900	250
2455984.51303	2012-02-27	00:03:01	900	250
2455984.52542	2012-02-27	00:20:51	900	250
2455984.53789	2012-02-27	00:38:39	900	250