

TARTU ÜLIKOOL
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Füüsika instituut

Kertu Metsoja

Pulsatsioonid sinistes ülihiidudes

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Füüsika, keemia ja materjaliteaduse õppekava, füüsika eriala

Juhendaja:
Anna Aret, Ph.D.

Tartu 2019

Pulsatsioonid sinistes ülihiidudes

Massiivsed ja kuumad tähed määravad galaktikate arengu, paisates ümbruskonda suurel hulgal ainet ja energiat. Massiivsete tähtede evolutsiooniteooria on aga kõige ebatäielikum. Evolutsiooniarvutuste oluliseks parameetriks on massikao määr erinevatel evolutsioonietappidel, kuid ei see ega ka massikao mehhanismid pole teada. Vaatlusandmete põhjal pole võimalik öelda, kas vaadeldava sinise ülihiu korral on tegu tähega enne või pärast punase ülihiu evolutsioonietappi, kuid pulsatsioonide moodide uurimisega saab seda kindlaks teha. Antud töös uuritakse sinise ülihiu ρ Leo muutlikust ning kontrollitakse, kas kasutatav meetod on piisavalt efektiivne andmete töötlemiseks. Selleks viiakse läbi vaatlused Tartu Observatooriumi 1,5-meetrise peegelteleskoobiga ning andmetöötlus tehakse läbi tarkvaras IRAF. Kasutatavaks meetodiks on Gaussi funktsiooni sobitamine täheatmosfääris tekkinud spektrijoone profiili. Tulemustest selgub, et töös kasutatav meetod ei olnud täielikult piisav, kuid selgelt leidub pulsatsioonidele viitavaid nähte. Vaatluste signaal-müra suhe ei võimalda uurida muutlikust ajaskaalaga alla 15 minuti.

Märksõnad: tähed, sinine ülihiid, pulsatsioonid, muutlikkus, ρ Leo, meetod: astrospektroskoopia
CERCS: P520 - Astronoomia, kosmoseuuringud, kosmosekeemia

Pulsations in blue supergiants

Massive and hot stars determine the development of galaxies, ejecting in large quantities matter and energy into the surroundings. However, the evolutionary theories of massive stars are the most incomplete. An important parameter of evolutionary calculations is the mass loss rate at different stages of evolution, but neither this nor the mass loss mechanisms are known. Based on the observation data, it is not possible to tell whether the observable blue supergiant is a star before or after the red supergiant evolutionary stage, but it can be determined by studying the pulsation modes. This work examines the variability of the blue supergiant ρ Leo and examines whether the method used is sufficiently effective for data processing. For this, observations are made with the Tartu Observatory's 1,5 meter telescope and data processing is performed using the IRAF software. The method used is fitting the Gauss function to the spectral line profile generated in the stellar atmosphere. The results show that the method used in the work was not fully sufficient, but there are clear signs of pulsations. The signal-to-noise ratio of the observations does not enable to study the variability with the time scale of less than 15 minutes.

Key words: stars, blue supergiant, pulsations, variability, ρ Leo, method: astrospectroscopy
CERCS:P520 - Astronomy, space research, cosmic chemistry

Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Teoreetiline osa	5
2.1. Sinised ülihiid.....	5
2.1.1 ρ Leo.....	6
2.2. Pulsatsioonid tähtedes - Asteroseismoloogia	7
2.3. Sinise ülihiu evolutsioon.....	9
3. Metoodika	11
3.1 He I (6678,151 Å) neeldumisjoone muutlikkuse uurimine.....	11
3.1.1 Momentide meetod ja sagedusanalüüs	11
3.2 Tartu Observatoorium Tõraveres.....	13
3.2.1 Vaatluse käik.....	13
3.3 IRAF.....	15
4. Andmetöötlus	16
4.1 Eeltöötlus.....	16
4.2 Põhitöötlus.....	17
4.3 He I neeldumisjoone töötlemine	20
5. Analüüs ja tulemused	23
6. Kokkuvõte.....	27
Kasutatud allikad.....	28
Lisa 1 - Mõõtmistulemused.....	30
Lisa 2 – Vaatluste logi.....	34
Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	47

1. Sissejuhatus

Galaktikate arengus on suur roll kuumadel ja massiivsetel tähtedel, millel on tähtis osakaal galaktikate füüsikaliste suuruste muutustel. Mida rohkem selliseid tähti galaktikas leidub, seda sinisem ta meile tundub. Massiivsete tähtede eluiga on aga lühem kui kergematel ja külmematel tähtedel ning nad võivad plahvatada supernoovadena, vabastades tähtedevahelisse ruumi heeliumist raskemaid elemente. Kui tähekiirus ioniseerib ümbritsevat vesinikku, tekitab see jällegi võimalusi uute tähtede tekkeks ning mitmete tähepõlvkondade järel kasvab selle protsessi tõttu ka galaktikate üldine metallisisaldus [1]. Massiivsete ja kuumade tähtede evolutsioonitee pole hästi teada. Evolutsiooniarvutuste täiendamiseks oleks vaja teada detailsemalt tähe sisemiste kihtide pöörlemiste seaduspära ning massikao määra erinevatel evolutsioonietappidel [2]. Antud bakalaureusetöös uuritakse massiivsetest ja kuumadest tähtedest lähemalt siniseid ülihiide ning rohkem keskendutakse Lõvi tähtkujus asuvale tähele ρ Leo.

ρ Leo on B1 spektriklassi kuuluv sinine ülihiid, mille kohta on eelnevalt uuritud tema magnetvälja olemasolu võimalikkust. Magnetvälja uurimisest selgus, et sellel ülihiilul on teiste O ja varajase B tüüpi tähtedega sarnane magnetväli ning jõuti järelduseni, et ρ Leo toimuvad pikaajalised pulsatsioonid [3]. Lisaks on uuritud üldiselt ρ Leo spektrijoonte muutlikkust, millest on järeldatud, et Ha kiirgusjoone tugevus on seotud subfotosfääriliste ja välimiste atmosfäärikihtide protsessidega, kus aine väljaheitmine ja tagasi tõmbumine toimub kiirusel ligi 200 km/s mõne tunni kuni paari päeva vältel [4]. 2016. aastal uuriti kuuemeetrise teleskoobiga ρ Leo pulsatsioonide moode ning 3,54 tunnise ja väga kõrge signaal-müra suhtega vaatluse korral tuvastati tähespektri alusel lühiajalised füüsikalised muutused [5].

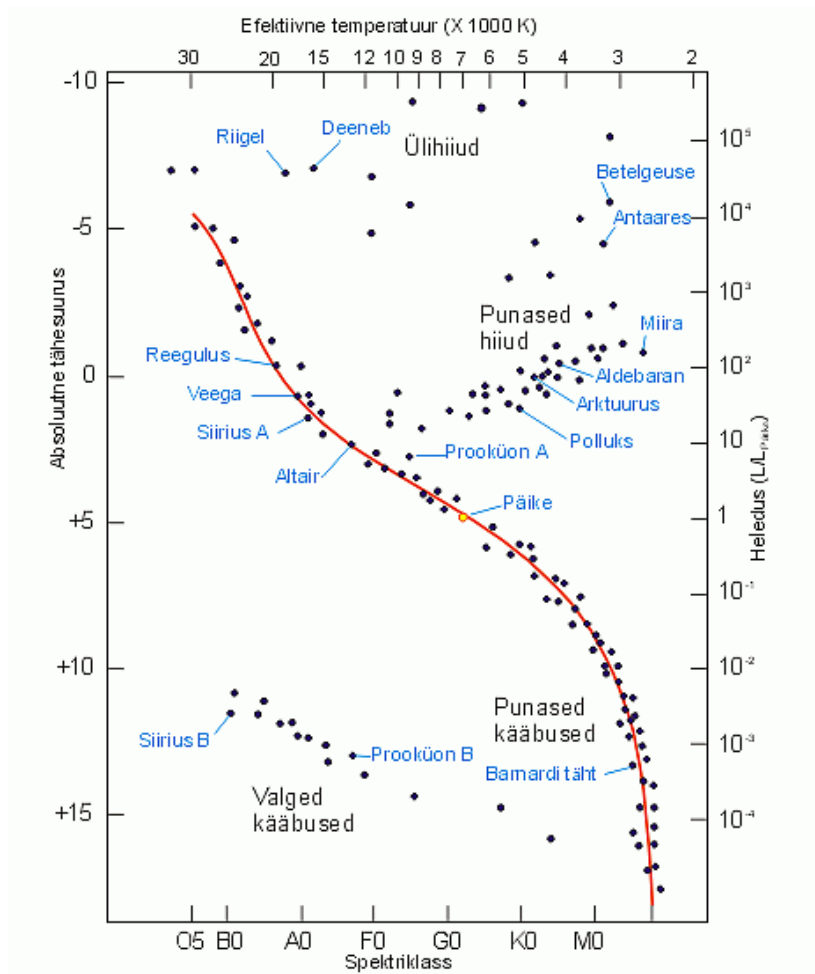
Kuna aga siniste ülihiidude pulsatsioonid avastati alles hiljuti tuleb rohkema info saamiseks teostada uuemaid vaatlusi ning tuvastada ka sobivad meetodid andmete töötlemiseks. Antud uurimistöö eesmärgiks on uurida ρ Leo muutlikkust ning kontrollida kasutatava andmetöötamise meetodi sobilikkust. Vaatlusandmeid on kogutud Tõravere 1,5-meetrise peegelteleskoobiga.

Eesmärgiks on hinnata mõõtmisvigu ning minimaalseid muutlikkuse ajaskaalasid, mida saab uurida Tõraveres asuva Tartu Observatooriumi 1,5-meetrise peegelteleskoobiga.

2. Teoreetiline osa

2.1. Sinised ülihiid

Galaktikate massi, absoluutse heleduse, metallisisalduse muutustes ning üldises arengus on suur osakaal massiivsetel tähtedel, mille üheks tüübiks on sinised ülihiid. Siniste ülihiidude efektiivsed temperatuurid ulatuvad $1 \cdot 10^4$ K kuni $5 \cdot 10^4$ K, tähtede mass on vahemikus $20 M_{\odot}$ kuni paarsada Päikese massi ning absoluutne heledus varieerub $10^4 L_{\odot}$ kuni $10^6 L_{\odot}$. Absoluutsed tähesuurused jäävad vahemikku -3^m kuni -8^m . Morgan-Keenani süsteemi järgi asuvad sinised ülihiid spektriklassis O või B alguses [6]. Kui täht asub O spektriklassis omab ta sinist värvi, kui ta asub B spektriklassis omab ta sinakat-valget värvi. Sellised tähed asuvad Hertzsprung-Russelli (edaspidiselt H-R) diagrammil (Joonis 1) peajadast üleval vasakus nurgas.



Joonis 1. H-R diagramm, kus punase joonega tähistatakse peajada ning sinisega tuntumaid tähti koos nende nimedega [7].

H-R diagrammil asuvad alumisel abstsisssteljel Morgan-Keenani spektriklassid ning ülemisel tähtede efektiivsed temperatuurid, mis on läbi jagatud 10^3 K. Vasakpoolisel ordinaatteljel asub absoluutse tähesuuruse skaala, mis on tähe Veega järgi skaalasse järjestatud. Veegast nõrgemad tähed on positiivse väärtusega ja heledamad on negatiivse väärtusega. Parempoolisel ordinaatteljel asub tähtede heleduste skaala, kus tähe heledused on toodud Päikese absoluutse heleduse ühikutes. Peajadal asuvad tähed on stabiilses olekus, mille kestvus sõltub nende massist ja temperatuurist – mida suurem on tähe mass ja temperatuur, seda lühem on tähe eluiga. Kui tähe tuumas on vesinikkütus läbi põlenud liigub täht peajadalt väljapoole. Massiivsete tähtede sealhulgas ülihiidude arengust tuleb edaspidiselt juttu peatükis “Sinise ülihiidude evolutsioon”.

Siniste ülihiidude värvitoon on tingitud tähekiirguse energijaotusega. Kuumade tähtede energijaotuse maksimum on sinises ja ultravioletti piirkonnas. Kuna sellist tüüpi tähtedel on kõrge heledus ja mass, siis nad põlevad kiiresti läbi ehk nende eluiga on üsna lühikene, ulatudes kuni paari miljoni aastani [8]. Oma lühikese eluea ja kiire läbipõlemise põhjal nimetatakse siniseid ülihiidude ka rock’n’roll tähtedeks.

2.1.1 ρ Leo

Antud uurimistöös uuritakse lähemalt sinist ülihiidu ρ Leo ehk teise nimega HD 91314, mis asub Lõvi tähtkujus (Joonis 2). ρ Leo on kaksiktäht, mis omab absoluutset tähesuurust $-6,8^m$, massi vahemikus $21 M_{\odot}$ kuni $27,1 M_{\odot}$, temperatuuri vahemikus $2 \cdot 10^4$ K kuni $2,4 \cdot 10^4$ K, absoluutset heledust $3 \cdot 10^5 L_{\odot}$ ja kuulub B1 spektriklassi [9,10,11]. Parallaksi kaudu on välja arvatud, et uuritav täht on Maast ligikaudu 5400 valgusaasta kaugusel [12]. Sinise ülihiidu ρ Leo vanuse määramist raskendab teadmatus, millisel evolutsioonietapil täht praegu asub. Arvatakse, et kaksiktähe süsteemist suurem täht ρ Leo A on hiljuti lõpetanud tuumas vesiniku sünteesi ning seega ei lähe enam võrreldavalt kaua aega, kui täht plahvatab supernoovana. ρ Leo B kohta palju infot ei ole, kuid ta on poole tähesuuruse võrra nõrgem võrreldes ρ Leo A-ga. Kuigi tähtede orbiidid on tundmatud, saab siiski nende omavahelisest eraldumisest hinnata, et üksteise ümber pöörlemiseks kulub ligikaudu aasta [13].



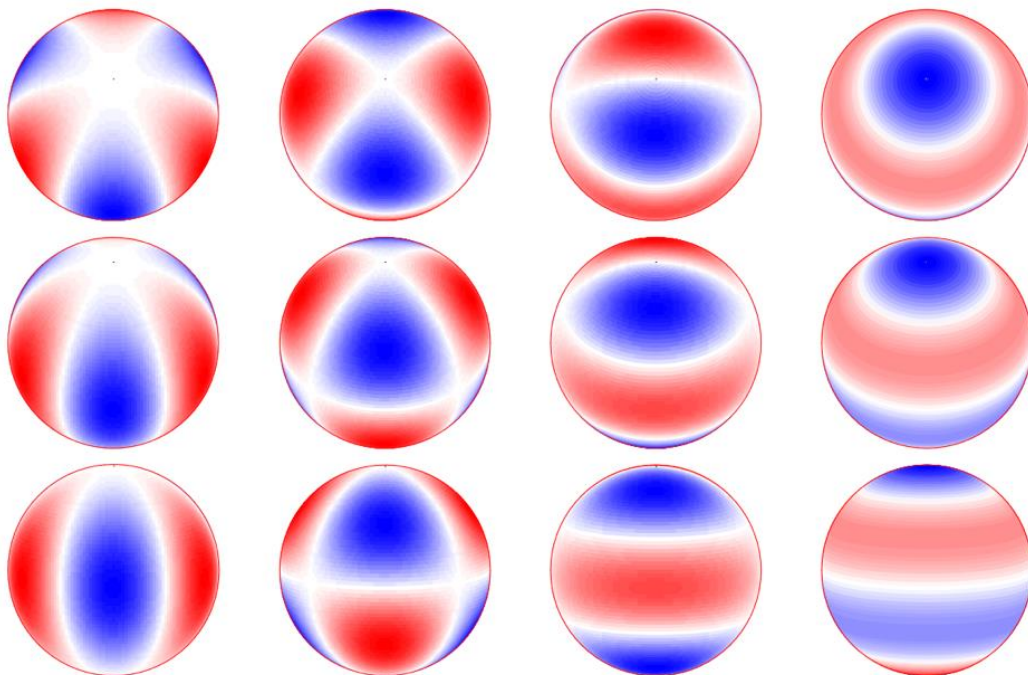
Joonis 2. Kuvatõmmis programmist *Stellarium*, kus on kujutatud Lõvi tähtkuju, väikesete valgete kriipsudega keskosas on ära märgitud ρ Leo asukoht [14].

2.2. Pulsatsioonid tähtedes - Asteroseismoloogia

Tähtede pulsatsioonide uurimisega tegelev teadusharu kannab nime asteroseismoloogia. Asteroseismoloogide eesmärk on pulsatsioonide uurimistulemustest saada infot tähe sisemuses toimuvatest protsessidest nii nagu seismoloogiliste lainete uurimine annab infot geoloogidele Maa sisemuse kohta. Seega on tegu väga hea näitega interdistsiplinaarsest teadusalast, kus on ühendatud mitu erinevat teadusharu. Vaatluste tulemusena leitakse tähe “pinnamuster”, mis on nii-öelda sisekihtide võnkumiste jätkuks. Kogudes vaatluste aegridu on võimalik tuvastada pinna muutlikust. Pulsatsioonide käitumine on määratud tähe struktuuri omadustest, täpsemalt öeldes tungivad erinevad pulsatsioonide moodid ehk lained tähe sisemuses erinevatele sügavustele ja seega on võimalik tähe sisekihtidest saada täpset informatsiooni uurides pulsatsioonimoodi. Tähepulsatsioonidel on kahte tüüpi moodi: rõhu ehk p-mood ja gravitatsiooni ehk g-mood. P-moodi taastavaks jõuks on survejõud ehk tegu on põhimõtteliselt akustilise võnkumisega ning suur amplituud saavutatakse tähe

välimestel kihtidel. G-moodi taastavaks jõuks on ujuvusjõud (ingl. *buoyancy force*) ning suur amplituud saavutatakse tähe sügavamatel kihtidel, mis teeb temast palju rohkem huvipakkuvama mõõteobjekti. Mitmeperioodilisel pulsatsioonil kestab p-moodi periood paarist päevast mõne nädalani, samas g-moodi periood võib olla mõne kuu pikkune [15].

Kõige lihtsam pulsatsiooni liik, mida tähel saab tekkida, on radiaalne. Radiaalse pulsatsiooni korral täht paisub ja tõmbub kokku, kuid tema sfääriline kuju säilib terve pulsatsiooni tsükli käigus. Radiaalset pulsatsiooni kirjeldab radiaalne lainenumber n , mis on tähe tsentri ja pinna vahelise omafunktsiooni (ingl. *eigenfunction*) sõlmede arv. Omafunktsioon on Sturm-Liouville'i osalise diferentsiaalvõrrandi lahend. Radiaalsetele võngetele lisaks võib tähes toimuda ka ristsuunalisi võnkeid, mille korral nimetatakse pulsatsioone mitte-radiaalseteks. Sellised pulsatsioonid suudavad tungida sügavamale tähe sisemusse. Mitte-radiaalset pulsatsiooni kirjeldavad lisaks radiaalsele lainenumbrile n ka mitte-radiaalsed lainenumbrid l ja m . Mitte-radiaalne lainenumber l ehk kraad (ingl. *degree*) vastab pinna sõlmede joonte arvule ning lainenumber m ehk asimuudi number (ingl. *azimuthal number*) tähistab selliste joonte arvu, mis läbivad tähe pöörlemistelge [15].



Joonis 3. Näide erinevatest mitte-radiaalsetest pulsatsioonidest, kus on visualiseeritud lainenumbrid l ja m . Kõikide sfääride korral on $l=3$ ning vastavalt veergudele omab m väärtusi $m=0;1;2;3$. Kaldenurk ülemisel real on 30° , keskmisel real 60° ning alumisel real 90° . Värvid sinine ja punane viitavad Doppleri efektile – punasel alal toimub tähe tsentri poole liikumine ehk vaatlejast eemaldumine (punanihe) ning sinisel alal tähe tsentrist väljapoole liikumine ehk vaatleja poole (sininihe) [15].

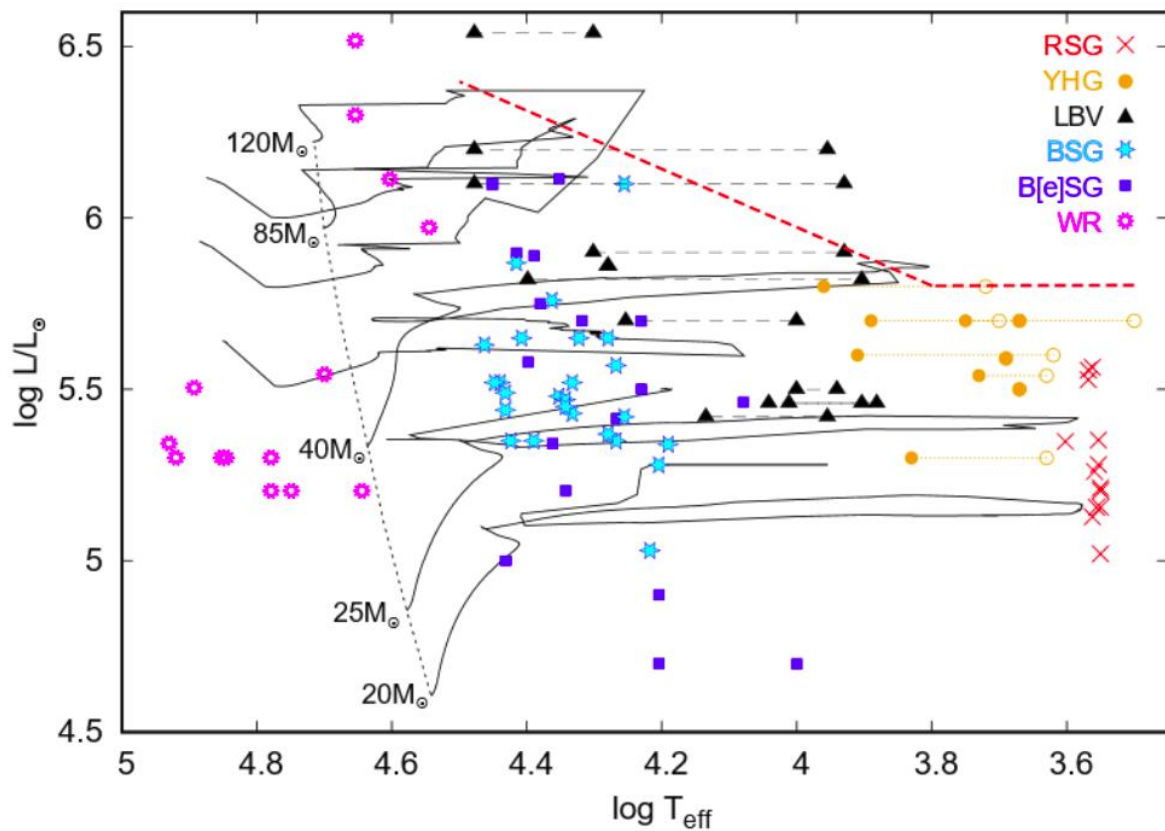
2.3. Sinise ülihiu evolutsioon

Evolutsiooniteooriate kohaselt tekivad tähed hiiglaslikes tolmutpilvedes ning 95% oma elueast põletavad nad tuumas vesinikku heeliumiks. Kui vesinik on ära põletatud, hakkavad selle väliskihid paisuma ja temast areneb edasi punane hiid. Pärast mitmete evolutsioonietappide läbimist plahvatavad massiivsed tähed supernoovana, jättes enda järel musta augu või neutrontähe. See teooria on üldiselt paika pidanud mitmete erinevate massidega ja vanustega tähtede korral, kuid vaadeldud massiivsete tähtede tüüpe ikka veel ei õnnestu omavahel evolutsiooniliselt siduda. Puuduvad piisavad teadmised massiivsete tähtede sügavamates kihtides toimuvate füüsikaliste protsesside ning massikao mehhanismide kohta.

Ülihiid on arenenud suurte massidega tähtedest, mis asetsevad H-R diagrammi peajada ülemises osas. O spektriklassi ja varajasse B spektriklassi kuuluvad tähed, mis on algselt massidega $10 M_{\odot}$ kuni $300 M_{\odot}$, liiguvad H-R diagrammi peajada tähtedest eemale umbes paari miljoni aasta vältel, kui nende vesinik on lõpuni põlenud ja tähe pindmistes kihtides hakkavad esinema raskemad elemendid. Täht muutub ülihiiuks, kui tuumas olev vesinik on ammendunud ja vesinikkest hakkab põlema [16]. Sinine ülihiid on oluline etapp massiivse tähe arengus, mida ta võib läbida mitmekordselt: kõigepealt vahetult pärast H-R diagrammi peajadalt lahkumist ning hiljem pärast punase ülihiu etapi läbimist. Meie teadmised füüsikalistest protsessidest sellel evolutsioonietapil nõuavad olulist täiendamist. Sinistel ülihiidudel on väga suured heledused ja nad on tüüpiliselt ebastabiilsed. Väiksema massiga sinised ülihiidud jätkavad oma paisumist kuni nendest saavad punased ülihiidud. Selle evolutsiooniarengu käigus kaotab täht suure hulga ainet ning areneb edasi taas siniseks ülihiiuks [17]. Pärast punase ülihiu etappi tekkinud sinine ülihiid on tuhmim ja veel ebastabiilsem kui vahetult pärast H-R diagrammi peajadalt lahkumist enne punaseks ülihiiuks muutumist [18]. Sõltuvalt tähe massist ja koostistest on ta võimeline läbima mitmeid siniseid tsükleid (Joonis 4) enne kui ta plahvatab teist tüüpi supernoovana.

Siniste ülihiidude vaatluste alusel ei saa veel kindlalt määrata, kas tegu on tähega enne või pärast punase ülihiu etappi, sest H-R diagrammil asuvad need tähed samas piirkonnas. Juba eelmise sajandi lõpupoole püstitati hüpotees, et mitte-radiaalsete pulsatsioonide g-moodide perioodide järgi on võimalik selgeks teha, kas sinine ülihiid on läbinud punase ülihiu etappi [19]. Teoreetiliste eelduste kohaselt pidi pärast punaseks ülihiiuks muutumist pikenema sinise ülihiu mitte-radiaalse pulsatsiooni g-moodi periood 1,7 korda või isegi rohkem, sõltuvalt kui palju massi ülihiid kaotanud on. Selgus, et ainult 40% uuritavatest ülihiidudest olid kooskõlas püstitatud hüpoteesiga [20]. Seega, et jõuda

selgemate arusaamadeni siniste ülihiidude evolutsioonikäigust, tuleks püstitatud hüpoteesi kontrollida rohkemate ja uuemate andmetega.



Joonis 4. Evolutsioonide rajad pärast H-R diagrammi pejadalt lahkumist. Abstsisteljel on efektiivse temperatuuri logaritmiline skaala ning ordinaatteljel on tähe heleduse suhte logaritmiline skaala.

Lühenditega RSG tähistatakse punaseid ülihiide, YHG - kollased hüperhiid, LBV- heledad sinised muutlikud, BSG - sinised ülihiid, B[e]SG - emmisioonijooontega sinised ülihiid ja WR - Wolf-Rayet tähed. Evolutsioonikõverad on saadud Ekström *et al* 2012 tööst [21].

3. Metoodika

3.1 He I (6678,151 Å) neeldumisjoone muutlikkuse uurimine

Neutraalse heeliumi joon He I 6678,151 Å moodustub täheatmosfääris ja selle muutlikkus kajastab tähepinna liikumisi. Käesolevas bakalaureusetöös kasutatakse radiaalkiiruste leidmiseks Gaussi funktsiooni sobitamist täheatmosfääris tekkinud spektrijoone profiili.

Kuigi tähespektrist on leida ka palju erinevate metallide neeldumisjooni, osutub He I kahel põhjusel paremaks valikuks. Esiteks ta ei ole mõjutatud Maa atmosfääri neeldumisjoonte ehk telluuriliste (ingl. *telluric*) joonte poolt. Nende joonte eemaldamiseks vaadeldava tähespektrist tuleb teha standardtähe vaatlusi. Paraku ei saa kindel olla, et uuritava tähespektri korrektsioon selle spektriga ei moonuta spektrijoonte kuju. Kuna aga He I spektrijoon langeb atmosfääri neeldumisjoonte piirkonnast välja, korrektsiooni pole vaja teha ja säilib tema esialgne spektraalne kuju. Lisaks He I joonele on piisavalt tugev ka C II (6578,6583 Å) neeldumisjoon, et analüüsida teda ilma, et peaks kannatama kontinuumi suure müratase tõttu. Kuna aga see joon paikneb väga lähedal H α neeldumisjoonele võib normaliseerimise käigus C II neeldumisjoone kuju moonuda. Seega jõudsim teise põhjuseni ehk need metalli jooned on ebasoodsad usaldusväärseks jooneprofiilide muutlikkuse analüüsimiseks, kuid neid saab kasutada sekundaarseks kriteeriumiks, et tõestada pulsatsioonide olemasolu [22].

Kasutatava meetodi eelduseks on, et He I neeldumisjoone profiil on sümmeetriline. Juhul kui on tegu asümmeetrilise profiiliga saab joone muutlikkust ja pulsatsioone uurida momentide meetodil.

3.1.1 Momentide meetod ja sagedusanalüüs

Momentide meetod võimaldab kindlaks teha, kas joone profiili muutlikus on tingitud pulsatsioonidest või tähe laikudest. Joone profiil on konvolutsioon ehk integraalteisendus sisemisest profiilist ja vaatleja suunalise kiirusvälja komponendist. Tähistades sisemist profiili $g(v)$ ja kiirusvälja komponendi poolt genereeritud profiili $f(v)$ (kus v tähistab tähepinnaal oleva punkti vaadeldavat kiirust), saame joone profiili $(f * g)(v)$ n -dat momenti leida järgnevalt:

$$\langle v^n \rangle_{f * g} \equiv \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} v^n f(v) * g(v) dv}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(v) * g(v) dv}.$$

Põhimõtteliselt on kõik momendid vajalikud profiili täieliku kirjelduse andmiseks, kuid tehakse eeldus, et esimesed kolm ($n=1;2;3$) momenti sisaldavad piisavalt informatsiooni, et vaadeldavast spektrist anda täpne kirjeldus. Kuna konvolutsiooni integraal on võrdne lahetatavate funktsioonide integraalide tulemusega, saame eelmise valemi uuesti kirjutada kujul:

$$\left. \begin{aligned} \langle v \rangle_{f*g} &= \langle v \rangle_f + \langle v \rangle_g \\ \langle v^2 \rangle_{f*g} &= \langle v^2 \rangle_f + 2 \langle v \rangle_f \langle v \rangle_g + \langle v^2 \rangle_g \\ \langle v^3 \rangle_{f*g} &= 3 \langle v^2 \rangle_f \langle v \rangle_g + 3 \langle v \rangle_f \langle v^2 \rangle_g \\ &\quad + \langle v^3 \rangle_f + \langle v^3 \rangle_g . \end{aligned} \right\}$$

Teise valemi eelis seisneb selles, et momentide arvutamiseks on võimalik kasutada vaatleja poolt nähtavad mitte-konvoleeritud kiirgusvälju. Eeldades, et sisemine profiil ei muutu ajas, saame teha lihtsustuse $\langle v \rangle_g \equiv 0$. Lisaks eeldame, et sisemist profiili saab lähendada Gaussi funktsiooniga, mille tsentriks on 0 ja muutlikkus σ^2 , kus σ sõltub vaadeldavast spektrijoonest. Eeldusel, et sisemine profiil on Gaussi funktsioon, saame momente arvutada analüütiliselt. Gaussi profiilist tulenev viga suureneb suuremate järkude momentide korral. Seega keskendutakse võimalikult madalate järkudega momentidele, eeldusel et Gaussi sisemine profiil on piisavalt täpne. Seega eelneva valemi saame kirjutada kujul:

$$\left. \begin{aligned} \langle v \rangle_{f*g} &= \langle v \rangle_f \\ \langle v^2 \rangle_{f*g} &= \langle v^2 \rangle_f + \sigma^2 \\ \langle v^3 \rangle_{f*g} &= \langle v^3 \rangle_f + 3\sigma^2 \langle v \rangle_f . \end{aligned} \right\}$$

On näha, et esimese valemi jagatis, mida kutsutakse ka nullindat järku momendiks, on spektrijoone ekvivalentlaiuse (ingl. *equivalent width*) analoog ja see esineb kõikides momentides normaliseeriva tegurina. Esimene moment, mis on tähe radiaalse kiiruse (ingl. *radial velocity*) analoogiks, ei sõltu vaadeldavast spektrijoonest erinevalt kõrgemat järku momentidest. Teiseks momendiks on laiuse (ingl. *width*) analoog ja kolmandaks momendiks on kõrvalekalde ehk asümmeetria väärtuse (ingl. *skewness*) analoog [23].

Radiaalkiiruse muutuse edaspidiseks analüüsiks ja perioodilisuse leidmiseks tuleb kasutada sagedusanalüüsi. Selleks tuleb esialgu leida Lomb-Scargle perioodogramm (ingl. *periodogram*) sageduste identifitseerimiseks ja amplituudide hindamiseks, järgmisena tuleb arendada andmehulka kindlaksmääratud sagedustega ning sellele sobitada sinusoidaalne kõver, seejärel puhastada sagedust, amplituudi ja faasi mittelineaarse vähimruutude sobitusega ning lõpuks eemaldada sobitatud sinusoidaalne kõver [24].

3.2 Tartu Observatoorium Tõraveres

Spektroskoopilised vaatlused tehti Tartu Observatooriumis peegelteleskoobiga AZT-12, mille peapeegli läbimõõt on 1,5 meetrit ning abipeegli läbimõõt on 30 cm. Teleskoop valmis 1974. aastal ning tal on ekvatoriaalne monteering. Ekvatoriaalse monteeringuga kompenseeritakse lihtsa pöördega Maa pöörlemine, sest teleskoopi saab pöörata ümber polaartelje ja käändetelje ehk ümber telgede, mis on vastavalt paralleelne ja risti Maa teljega. Teleskoobi Cassegraini fookuses asub pikapilu spektrograaf. Cassegraini fookuse korral peegeldatakse valgus peapeeglit abipeeglile, mis suunab valguse peapeegli keskel olevasse avasse, kus asuvad spektroskoopilised mõõteseadmed. Peegelteleskoobi küljes on ka giidteleskoop, mis on 0,3 m objektiiv ja 1 m fookuskaugusega refraktor ehk läätste teleskoop ning mille fookuses on 765×510 piksliline CCD-kaamera (ingl. *charge-coupled device*). Selle kaamera säri- ehk ekspositsiooniaega on võimalik kiiresti reguleerida sõltuvalt tähe- või ilmastikuolude muutustest. Spektrite salvestamiseks aga kasutati CCD-kaamerat Andor Newton DU970N, mille sensori suuruseks on 1600×200 pikslit ning ühe piksli suuruseks 16×16 µm.

Antud töös kasutatavad vaatlusandmed valmisid perioodil 12.01.2018 kuni 04.04.2019. Autor ise võttis osa neljast vaatlusest, millest kahel 2019. aasta vaatlusel oli võimalik ka uuritavat tähte vaadelda. Vaatluste logi on leitav Lisa 2 juurest. Vaatlustel kasutati peegeldifraktsioonivõret, millel on 1800 joont millimeetri kohta. Kuna huvipakkuvaks neeldumisjooneks oli He I, kasutati vaatlustel 12.01.2018 – 01.03.2019 võrenurka 47°23' ning vaatlustel 25.03.2019 – 04.04.2019 võrenurka 47°28'. Võrenurga muutmine oli tingitud soovist saada lähiiinfrapunases piirkonnas paremaid andmeid. Registreeritud spektrid salvestati FITS (Flexible Image Transport System) failiformaadis. FITS failide päistesse on võimalik kirja panna andmetötluseks vajalik informatsioon nagu näiteks uuritava objekti koordinaadid, säriaeg, võrenurk, õhumass, kuupäev nii maailmaaja järgi kui ka Juliuse (JD) ja heliotsentrilise Juliuse päevades (HJD). Heliotsentrilise Juliuse päeva korral korrigeeritakse Juliuse päeva sõltuvalt Maa asukoha erinevusega Päikese suhtes. Juliuse päeva alguseks on 1. jaanuar 4713 e.m.a. kell 12:00 keskpäeval. Näiteks 1. jaanuar 2019 kell 12:00 on Juliuse päevades 2458485.

3.2.1 Vaatluse käik

Vaatluste tegemine algas teleskoobi CCD-kaamerate jahutamisega termoelektriliselt. Spektrograafi küljes asuva CCD-kaamerat tuli jahutada -80° C ning giidteleskoobi küljes olevat CCD-kaamerat ehk

pilukaamerat tuli jahutada -20° C. Selleks avati programm Andor SOLIS kaks korda, üks spektrograafi kaamera, teine giidteleskoobi kaamera jaoks. CCD-kaamera jahutamise on võimalik vähendada pimevoolust (ingl. *dark current*) tekkivat müra, mis tekib elektroni vabanemisel valentstsoonist ning mis kogutakse lõpuks piksli potentsiaaliauku. Ka kupli aluses ruumis, kus teleskoop asus, tuli temperatuur ühtlustada õues oleva temperatuuriga. Selle lahendamiseks tuli lihtsalt avada kuppel. Erinevate temperatuuride korral võib teleskoobi ava juures tekkida õhuvoolude turbulents, moonutades seega tähe kujutist. Kui peegelteleskoobi CCD-kaamera veel jahtus ja kupli aluse ruumi temperatuur ühtlustus, sai kontrollida, kas pilu asukoht on õige ehk kas pilukaamerast vaadates on pilu vertikaalses asendis. Selleks oli vaja teha paarisekundilise säriajaga test. Kui pärast testi selgus, et pilu on viltu või hoopis horisontaalselt, tuli teda käsitsi muutma minna. Lisaks tuli ettevaatlikult sisestada ka peegeldifraktsioonvõre. Selleks tuli teleskoobi küljes olevad spektroskoopia mõõteriistad keerata enda jaoks piisavalt madalale juhtpuldiga. Pärast võre sisestamist tuli teha kuni 10 sekundilise säriajaga võrdlusspekter, et kontrollida, kas võre sai õigesti sisestatud. Korrekse sisestuse korral on võrdlusspektri ülemine äär CCD-kaamera tsentris ehk veerul 800 ridadel 140-150. Kui tsentri ülemine piir ei asu nendel ridadel tuleb difraktsioonvõret minna ettevaatlikult kohendama ja teha kordusmõõtmisi ning seda tegevust korrata nii kaua, kui võre on õiges asendis. Enne päris vaatluseni jõudmist tuli veel ka fokuseerida teleskoopi. Selleks valiti välja üks hele täht, mis eeldatavasti asus juba esimese uuritava tähe läheduses. Esialgu muudeti tähe fookust hetkeni, mil täht tundus pilukaamerast vaadatuna ilusalt ümmargune, seejärel hakati võimalikul väikeste sammudega fookust vähendama ja testmõõtmisi tegema. Testmõõtmine õnnestus, kui CCD-kaamera tsenter oli fookuses ja veerud 1400-1600 olid fookusest veidi väljas. Kuldreeglina võis mees pidada, et mida väiksem on õuetemperatuur, seda väiksem on ka fookuse väärtus. Vaatlusöö jooksul tuli fookusel silma peal hoida ja vajadusel seda langetada vastavalt temperatuuri muutusele.

Sellela lõppes kogu eeltöö, mis oli vajalik enne päris vaatluste tegemist. Kui uuritav täht on välja valitud, suunatakse teleskoop programmi AstroLab'i kaudu tähele. Kui teleskoop on tähe asukohta kohale jõudnud tuleb kontrollida, kus asub täht tegelikult. Selleks tehakse CCDObs programmi abil suure väljavaatega pilt ning vajadusel sai pilu juhtpuldiga tähe peale viia. Iga tähe jaoks mõõdetakse võrdlusspekter ehk ThAr (toorium-argoon) lambispekter. Kuna spektrograafide mõjuvate mehaaniliste pingete tõttu võib spekter nihkuda teistele CCD-kaamera pikslikele, on vaja korrata lambispektri mõõtmist iga tähe korral vähemalt kaks korda: enne ja pärast tähe enda spektri säritamist. Võrdlusspektrite säriaeg on vastavalt peegeldifraktsioonvõre, millel on 1800 joont millimeetri kohta, ja $47^{\circ}23'$ või $47^{\circ}28'$ nurga korral 300 sekundit. Enne mõõtmise tegemist tuleb lamp sisse lülitada ning liigutada fiiber pilu ette ning pärast ei tohi ära ununeda lambi kustutamine ja fiibri eest ära

lökkamine. Tähespektri säriaja leidmiseks tehakse esialgu 10-30 sekundilise säriajaga test. Testi maksimaalsest signaalist lahutatakse maha nulltaseme signaal, milleks on ligikaudu 1370, ning jagatakse läbi testi säriajaga. Selle tulemusel saadakse, kui palju signaali kogutakse ühe sekundi jooksul. Väärtusest võetakse pöördväärtus ning korrutatakse ideaalse signaali tasemega, milleks on 55000, ning saadaksegi tähespektri jaoks sobilik säriaeg. Tähespektri mõõtmisel tuleb kasutada terve vaatluse jooksul peenreguleerimist, et pilu tähe peal hoida. Vaatlusöö kohta on vaja teha ka tasaväljakaadrid ja eelpeingekaadrid. Tasaväljakaadrite korral pannakse kalibratsioonilambile, milleks on ühtlase valgusega halogeenlamp, ette 10-kordne nõrgendusfilter ning valgus suunatakse peegli abil CCD-kaamerale. Pimevoolukaadreid tehakse kinnise katikuga ja ligikaudu nullise säriajaga.

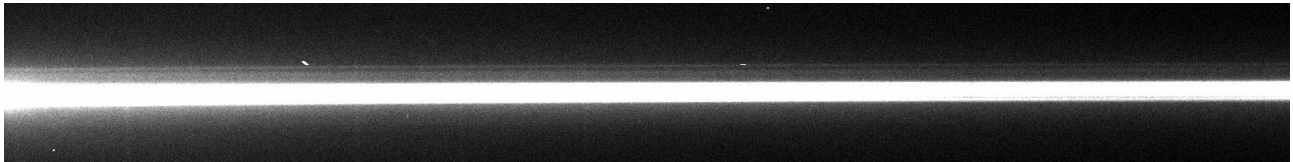
3.3 IRAF

Andmetöötlusel kasutati tarkvara IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) [25], mis töötab Linuxi keskkonnas. IRAFi läbi kuvati spektreid ka rakenduse SAOImageDS9 abil. Antud bakalaureusetöös kasutas autor juhendaja poolt saaduid skripte. Andmetötlusest lähemalt järgmises peatükis “Andmetöötlus”.

4. Andmetöötlus

4.1 Eeltöötlus

Toorkaadritega (Joonis 5) ehk töötlemata spektri kaadritega ei tehtud selles töös läbi kosmilise kiirguse eemaldamist, sest ρ Leo säriajad olid üsna lühikesed – keskmiselt alla 300 s.



Joonis 5. Toorkaadri näide. Tähe spekter on keskmine horisontaalne hele joon. Sellest üleval ja all heledamal alal on taevafoon ning üksikud heledat täpid tekivad kosmiliste kiirte tabamusest CCD sensorile.

Seega eeltöötlemise esimeseks etapiks oli eelpingekaadrite (ingl. *bias frame*) lahutamine. Selleks tuli esialgu kokku pakitud eelpingekaadrite kuubid lahti pakkida käsuga *imslice*, vaadata kõik kaadrid üle rakendusega SAOImageDS9, mitteühtlase müraga kaadrid, näiteks juhul kui üle kaadri jooksevad horisontaalselt tumedamad või heledamad jutid, eemaldada ning alles jäänud kaadritest võtta mediaankeskmistatud kaader (Joonis 6) käsuga *imcombine*. Kõikidest tähe- ning võrdlusspektritest lahutati saadud eelpingekaader käsuga *imarith*.



Joonis 6. Mediaankeskmistatud eelpingekaadri näide.

Järgmiseks etapiks oli tasaväljakaadrite (ingl. *flat frame*) korrektsioon. Ka selles etapis moodustati esialgu mediaankeskmistatud kaader käsuga *imcombine*. Peamise tasaväljakaadri leidmiseks kasutati valgustuse korrigeerimiseks käskude *response* ja *illumination* ning lõpptulemuse (Joonis 7) saamiseks käsku *imarith*. Sama käsuga jagati ka tähe- ja võrdlusspektrid tasaväljakaadriga läbi. Selle sammuga sai tehniline osa läbi.



Joonis 7. Tasväljakaadri näide.

Et suurendada tähespektri signaal-müra suhet, moodustati tähespektrite failidest summeeritavate failide nimekirjad, nii et esimese faili säriaaja algusest viimase faili säriaaja lõpuni oleks alla 900 s. Nagu eelnevalt mainitud, on ühe ρ Leo tähespektri säriaeg alla 300 s, seega sai ühte nimekirja panna keskmiselt 2-3 faili. Tähespektrite liitmine toimus IRAFis käsuga *imcombine*. Kokku liidetud failidele tuli päistesse sisestada summaarne vaatlusaeg ning arvutada uuesti Juliuse päev ja õhumass summeeritud faili kui ühe vaatluse keskel. Summaarsed vaatlusajad ja kokku liidetud failide arv on välja toodud Lisas 1.

4.2 Põhitöötlus

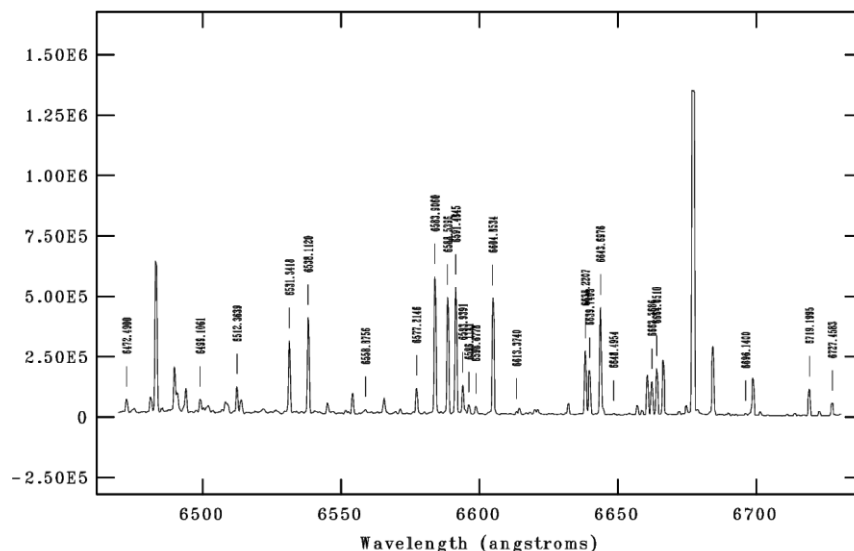
Andmetöötluse järgmiseks sammuks oli kahemõõtmelisest pildist ühemõõtmelise spektri saamine ehk ekstraktimine (ingl. *extract stellar spectra*). Selleks moodustati esialgu nimekiri kõikidest tähefailidest. Käsuga *apall* saadi iga vaatluse korral paika panna tähe signaali apertuuri ja taevatausta piirkond. Selle tegemisel tuli arvestada, et tähe vähima signaali tase isegi nõrkade signaalide korral peab asuma taevatausta müra amplituudist viiekordsel kõrgusel, vastasel korral tuleb tähesignaali liiga palju müra. Seda reeglit võis eirata ainult juhul, kui tegemist oli ekstreemselt nõrkade tähespektritega või väga tugeva signaaliga tähespektrite korral, kus oli isegi soovitatav võtta kõrgemalt kui viis taustamüra amplituudi. Parima signaal-müra suhte leidmiseks tuli teha mitu ekstraktimist ning see järel võrrelda ühe vaatluse kohta tehtuid erinevaid spektreid omavahel ning valida neist parima suhtega spekter välja. Pärast tähespektri apertuuri määramist tuli määrata taust. Selles etapis tuli arvestada sellega, et paremal pool tähespektrit on tausta ainult jooneni 137, peale seda on jooned kaetud fiibriga, ning seda piirkonda taustaks märkida ei saa. Vasakul pool tähespektrit sai tausta määrata ühtlasemal alal ning piiriks oli hetk, mil spekter hakkas kõverduma. Apertuuri asukoha leidmiseks (ingl. *trace aperture*) kasutati kaheksanda järgu Legendre'i polünoomi sobitamist: tuli eemaldada kõrvalekalduvad punktid ja/või muuta polünoomi järku (ingl. *order*). Lambi spektri ehk võrdlusspektri ekstraktimiseks (ingl. *extract lamp spectra*) oli vajalik, et igal tähespektril oleks üks või kaks võrdlusspektrit. Ekstraktimiseks tuli moodustada fail *list_arc.set*, mille sisu nägi välja selline:

```
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v1 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_a_v1 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_a
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v2 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_a_v2 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_a
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v1 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_b_v1 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_b
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v2 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_b_v2 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_b
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v2 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_c_v2 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_c
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v3 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_c_v3 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_c
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v2 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_d_v2 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_d
apall input=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_v3 output=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_d_v3 referen=fl_HD91316_20190404_v1800_47d28_d
```

Iga käsurida hakkas käsuga *apall*, sellele järgnes tasaväljakaadriga parandatud võrdlusspektri sisend, väljundiks märgiti ekstraktitud võrdlusspekter, see vastab käsurea lõpus viidatud tähespektrile, mis sisaldab endas eelmises etapis määratud apertuuri infot. Kui tähespektri kohta oli kaks erinevat võrdlusspektrit, tuli teha ka käsk teise võrdlusspektri ekstraktimiseks. Enne faili jooksutamist tuli muuta *apall* käsu paari parameetrit ning seejärel võis võrdlusspektrid ekstraktida.

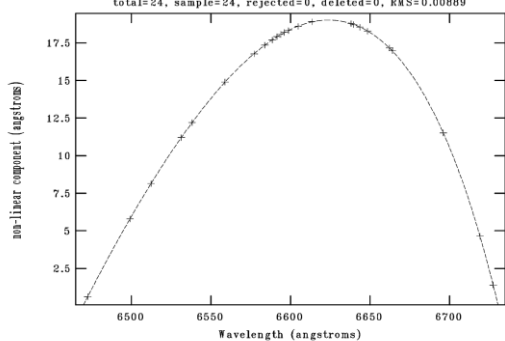
Järgmiseks mahukaks tegevuseks oli võrdlusspektri joonte identifitseerimine (ingl. *line identification*), selleks et leida dispersioonikõver. Eelnevast etapist saadud ekstraktitud võrdlusspektritest moodustati uus faili nimekiri, mille kallale asuti käsuga *identify*. Spektrijoonte identifitseerimiseks tuli esialgu määrata ära 6-7 joone lainepikkus. Seejärel pärast sobitamist sai laadida peale andmebaasis olevad lainepikkused. Antud töös kasutati andmebaasiks juhendaja poolt saadud faili *thar3.dat*. Pärast lainepikkuste pealelaadimist tuli eemaldada väikesed ja ebasümmeetrilised piigid (Joonis 8) ning sobitamise (ingl. *fitting*) sai kontrollida, millised jooned veel väga palju teistest kõrvale kaldusid. Lõppeesmärgiks oli saada sobitamisel $RMS < 0,008$, et kõrvalekalded jääksid 0.015 kuni -0.015 piiridesse ning, et ainepunkte läbival dispersioonikõveral, milleks oli kuuendat järku Chebyshev'i polünoom, oleksid allesjäänud punktid üksteisest ühtlasel kaugusel ehk ei oleks suuri puudulikke alasid (Joonis 9). Viimast eesmärki raskendas asjaolu, et Tartu Observatooriumis kasutatavad võrenurgad ei võimalda lähiinfapunasest piirkonnas sooritada häid vaatlusi ja seega ei leidu seal palju häid kasutatavaid spektrijooni.

NOAO/IRAF V2.16.1 kertu@kertu-HP-Pavilion-Laptop-15-cw0xxx Wed 01:40:07 22-Ma
 identify sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_a_v1 - Ap 1
 HD91316

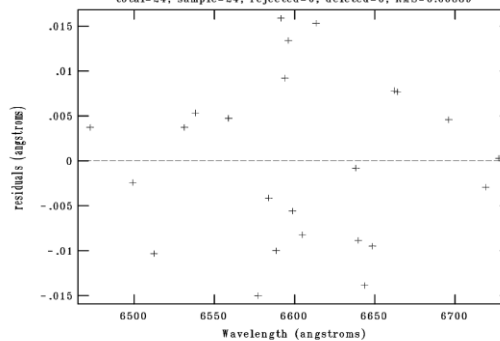


Joonis 8. Näide spektrijoonte identifitseerimisest. Absstissteljel on lainepikkused mõõtühikutes Å.

NOAO/IRAF V2.16.1 kertu@kertu-HP-Pavilion-Laptop-15-cw0xxx Wed 01:40:44 22-Ma
 func=chebyshev, order=5, low_rej=3, high_rej=3, niterate=1000, grow=0
 total=24, sample=24, rejected=0, deleted=0, RMS=0.00889



NOAO/IRAF V2.16.1 kertu@kertu-HP-Pavilion-Laptop-15-cw0xxx Wed 01:40:32 22-Ma
 func=chebyshev, order=5, low_rej=3, high_rej=3, niterate=1000, grow=0
 total=24, sample=24, rejected=0, deleted=0, RMS=0.00889



Joonis 9. Parempoolsel joonisel on kujutatud joonte sobitamine ehk kõrvalekalded ning vasakpoolsel joonisel on kujutatud andmepunkte läbiv dispersioonikõver. Absstisstelgedel on lainepikkused mõõtühikutes Å ja ka ordinaatteljed mõlema joonise korral on mõõtühikutes Å.

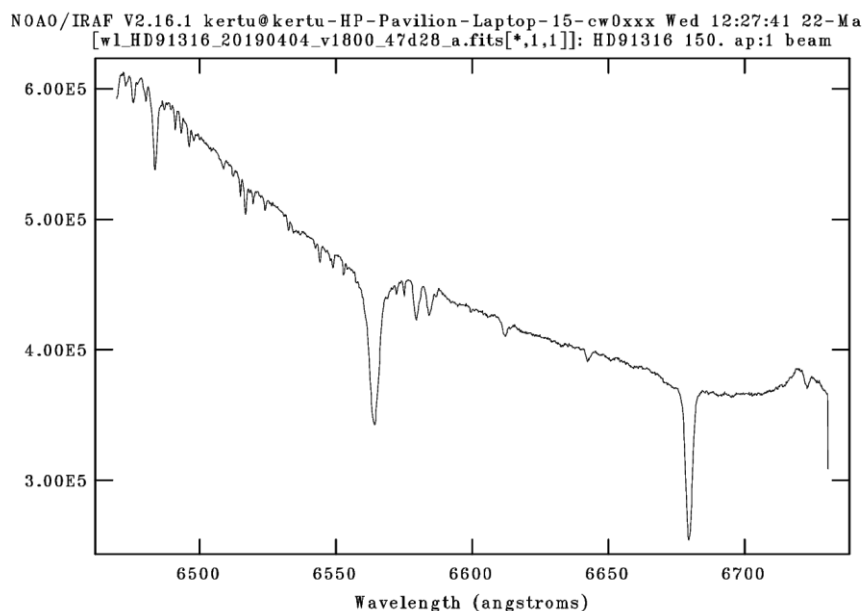
Pärast spektrijoonte identifitseerimist tuli teha lainepikkuste kalibratsioon tähespektritele. Selleks tuli koostada uus fail nimega *list_ref.set*, mille sisu nägi välja järgmine:

```
refspec input=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_a referen=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_a_v1,sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_a_v2
refspec input=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_b referen=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_b_v1,sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_b_v2
refspec input=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_c referen=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_c_v2,sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_c_v3
refspec input=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_d referen=sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_d_v2,sp_HD91316_20190404_v1800_47d28_d_v3
```

Iga rida algas käsuga *refspec*, sisendiks oli tähespekter ning viiteks oli sellele tähespektrile vastavad ekstraktitud võrdluspektrid, mis sisaldasid endas identifitseeritud spektrijooni. Kui tähespektril oli

kaks võrdlusspektrit, siis võrdlusspektrite faile eraldati komaga. Lõplikuks lainepikkuse kalibratsiooniks tuli kasutada käsku *dispcor*:

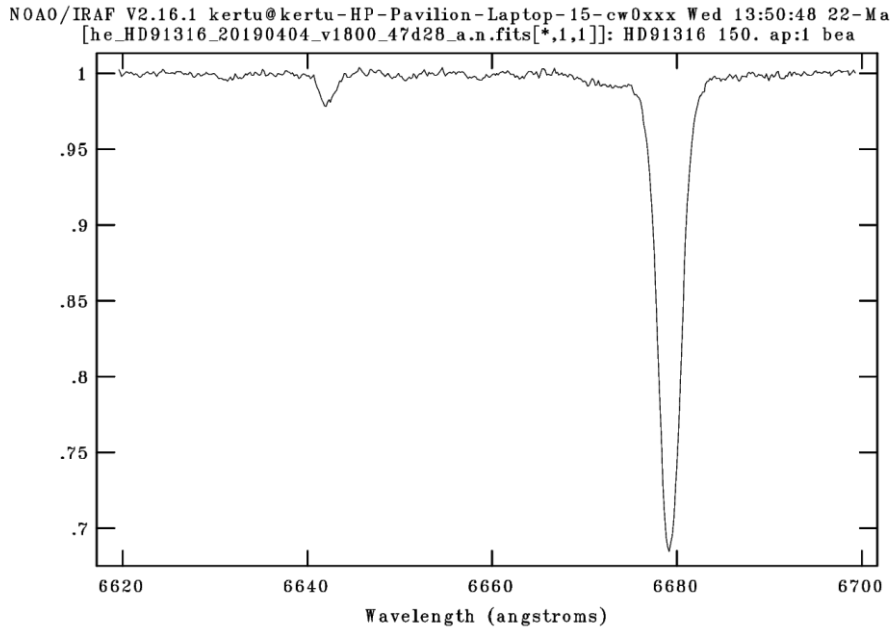
Heliotsentriliste spektrite leidmiseks tuli viia sisse teleskoobi liikumist Päikese suhtes arvestav parand. Kiiruseparand VHELIO arvutati käsuga *rvcorrect* ja kirjutati FITS failide päistesse.



Joonis 10. Näide tähespektrist, millele on rakendatud lainepikkuste kalibratsioon. Absissteljel on lainepikkused mõõtühikutes Å.

4.3 He I neeldumisjoone töötlemine

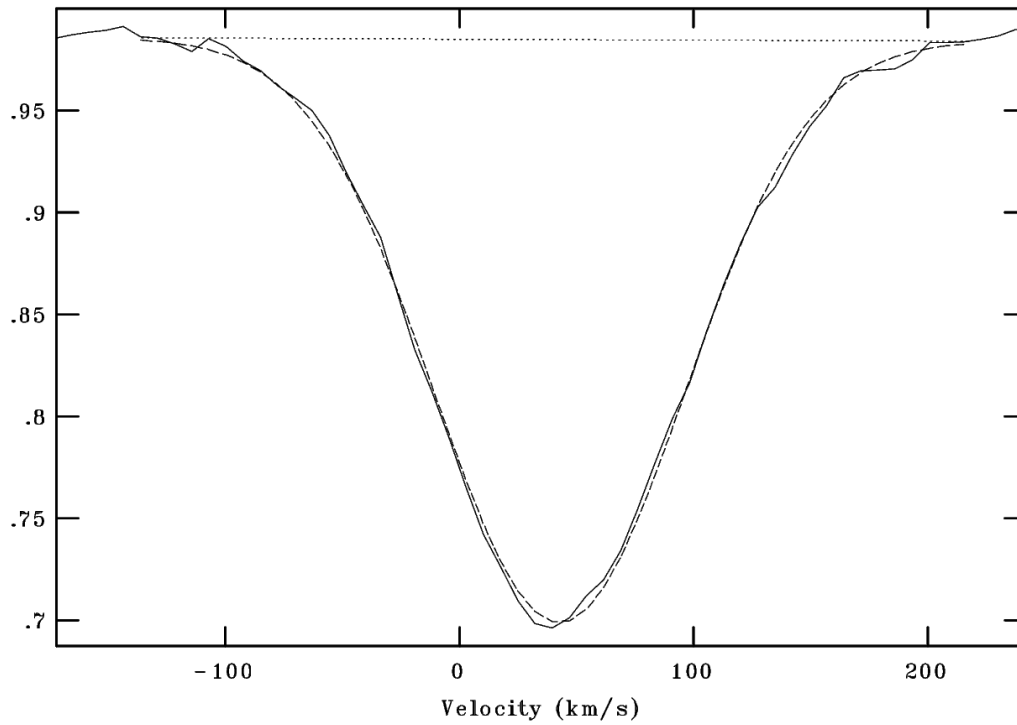
Andmetöötluse viimaseks etapiks on He I neeldumisjoone töötlus. Selleks lõigati spektrist esialgu välja lainepikkuste piirkond 6620 – 6700 Å käsuga *scopy*. Kuupäevadel, kus vaadeldi ka tähte Reegulus ehk α Leo oli võimalik teha parandfail, mille abil sai instrumentaalne profiil maha lahutada. Reeguluse failiga oli läbi tehtud samad etapid kuni heeliumi piirkonna välja lõikamiseni. Saadud fail jagati läbi *espadons.TO* failiga, mis on väga kõrge signaal-müra suhtega. Saadud parandifailiga jagati läbi ρ Leo spektrid. Kui Reeguluse vaatlus puudus asuti kohe järgmise etapi kallale, milleks oli spektri normeerimine. Normeerimine toimus käsuga *conti*. Normeerimise käigus tuli määrata pidevspektri taseme ehk kontinuumi piirkonnad, millest saaks läbi sobitada Legendre'i funktsioon. Samas tuli vaadata, et määratud Legendre'i funktsioon neeldumisjoontest ühtlaselt läbi läheks ja ei muudaks joont vääraks. Viimaseks andmetöötluse etapiks tuli läbi teha normeeritud failidega heliotsentriline parand käsuga *dopcor*.



Joonis 10. Näide normeeritud ja heliotsentrilise parandiga spektrist. Absissteljel on lainepikkused mõõtühikutes Å ning ordinaatteljel on normeeritud ühikud.

Pärast andmetöötse lõppu mõõdeti iga spektri korral tema signaal-müra suhe. Selleks avati spektrid IRAFis käguga *splot* ning kontinumilt mõõdeti suhe kahekordse m-klahvi vajutusega. Kuna signaal-müra suhe varieerus üle spektri, võeti kolmest erinevast pidevspektri piirkonnast kolm mõõtmist ning võeti sellest keskmine väärtus. Spektrite signaal-müra suhted on leitavad Lisas 1.

Järgmisena teisendati heliotsentrilise parandiga failid kiiruste skaalasse. Selleks kasutati käsku *disprans*, millega määrati nullpunktiks neutraalse heeliumi laboratoorselt mõõdetud lainepikkuse väärtus, milleks on 6678,151 Å. Kui kiiruste skaalad sai paika pandud, võeti spektrid ette jälle käsuga *splot*, suurendati sisse He I neeldumisjoon ning kahekordse k-klahvi vajutusega prooviti sellesse Gaussi kõver sobitada. Gaussi kõvera tsepter määras kui palju neeldumisjoon laboratoorsest tulemusest kõrvale kaldus ehk selle kaudu määrati radiaalkiirus. Kuna ka siin leidis varieeruvust sobitati Gaussi kolm korda ning võeti sellest keskmine. Spektrite radiaalkiirused koos kõrvalekalletega on ka leitavad Lisas 1. Selgus, et Gaussi sobitamine ei olnud kõige sobilikum meetod radiaalkiiruste leidmiseks, sest neutraalse heeliumi neeldumisjoone kuju oli tihti selgelt ebasümmeetriline (Joonis 11).

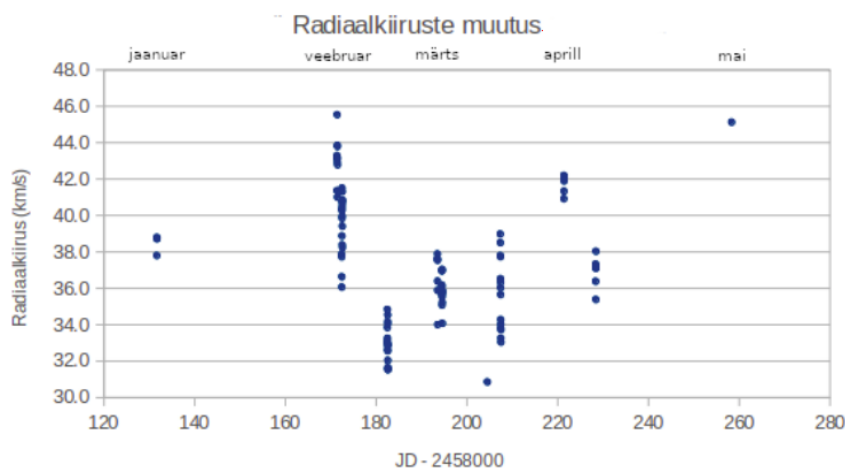


Joonis 11. Näide Gaussi funktsiooni sobitamisest. Pidevjoon tähistab He I neeldumiskõverat ja punktiirjoon on sobitatud Gaussi funktsioon. Abtsissteljel on radiaalkiirused ühikutes km/s, mille nullpunkt on määratud laboratoorse He I väärtusega. Ordinaatteljel on normeeritud ühikud.

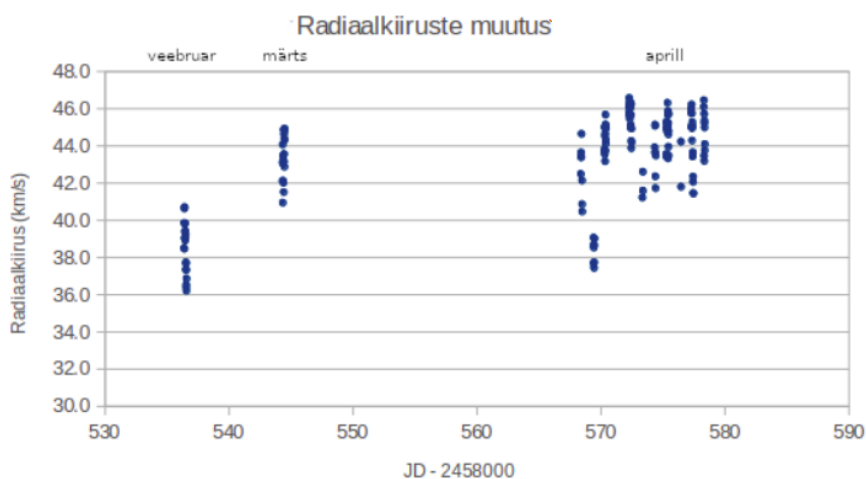
5. Analüüs ja tulemused

Andmetöötlus tehti läbi 859 ρ Leo tähespektriga, millele lisandus 136 võrdlusspektrit. Reeguluse tähespektreid ja võrdlusspektreid oli kokku 111. Ilma tasavälja- ja eelpingekaadriteta töödeldi kokku 1106 FITS faili, kuid koos eelnimetatud failidega töödeldi 2333 FITS faili, millest eelpingekaadreid oli 880.

Graafikutel 1 ja 2 on välja toodud radiaalkiiruste muutused antud töös kasutatud andmete alusel. Andmepunktidest on näha, et radiaalkiirused varieeruvad nii vaatlusöö siseselt kui ka erinevate ööde vahel 2018. aastal rohkem kui 2019. aastal.

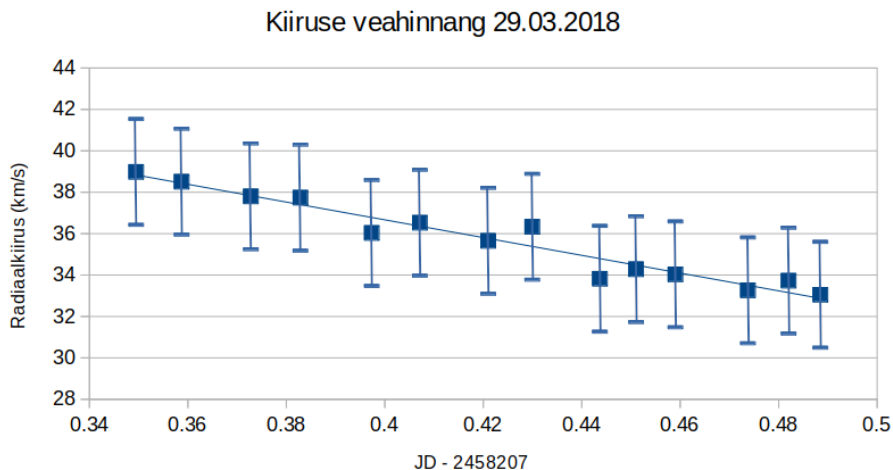


Graafik 1. Radiaalkiiruste muutus 2018. aasta vaatluste põhjal. Abtsissteljel on all Juliuse päevad, millest on arv 2458000 maha lahutatud ning üleval on märgitud kuud. Ordinaatteljel on radiaalkiirused ühikutes km/s.

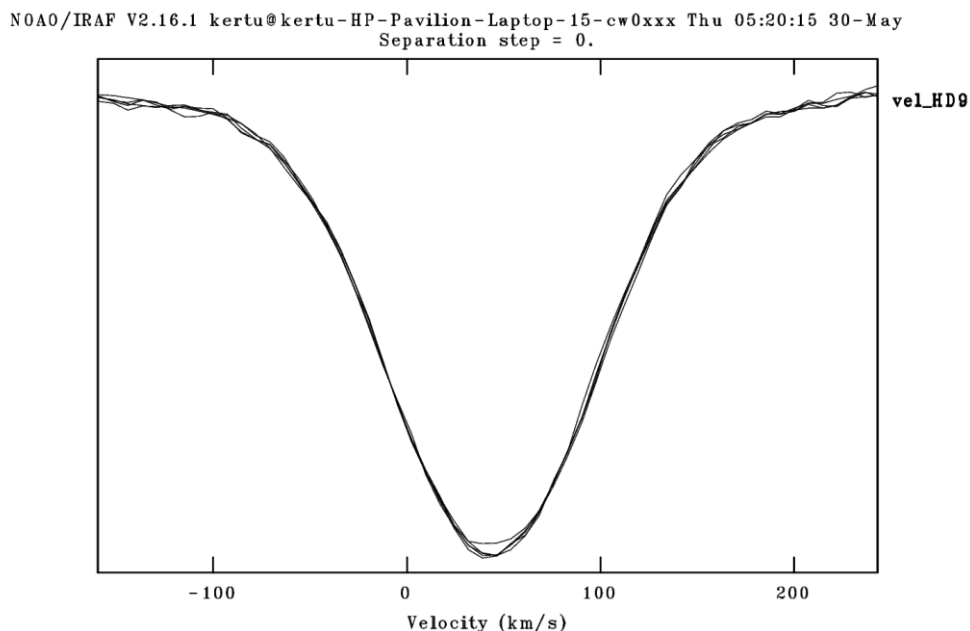


Graafik 2. Radiaalkiiruste muutus 2019. aasta vaatluste põhjal. Abtsissteljel on all Juliuse päevad, millest on arv 2458000 maha lahutatud ning üleval on märgitud kuud. Ordinaatteljel on radiaalkiirused ühikutes km/s.

Täpsema veahinnangu leidmiseks töödeldi paari öö kohta pakkimata üksikud spektrid ning vaadati, kui palju nende vahel radiaalkiirus muutub. Näiteks kuupäeval 29.03.2018 tehtud vaatlusel saadi pakitud spektrite üheks radiaalkiiruseks 38,9808 km/s, kuid üksikute spektrite vahel muutus radiaalkiirus $\pm 2,5$ km/s. Tähe ρ Leo muutlikus ületab veapiiri ja seega saab väita, et andmetöötlus on tehtud korrektselt.



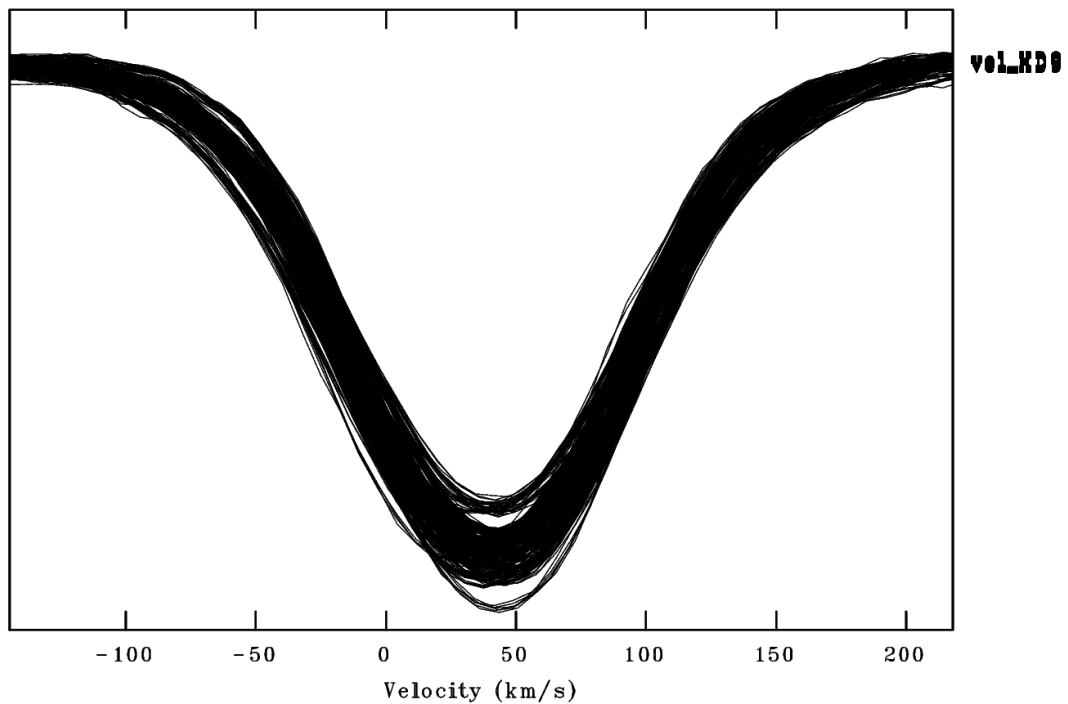
Graafik 3. Radiaalkiiruse veahinnang 29.03.2018 ööl toimunud vaatluse kohta. Näeme, et radiaalkiirus väheneb vaatlusöö jooksul. Absissteljel on Juliuse päevad, millest on arv 2458207 maha lahutatud ning ordinaatteljel on radiaalkiirused ühikustes km/s.



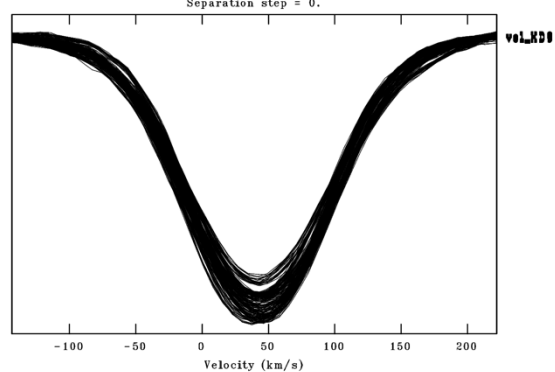
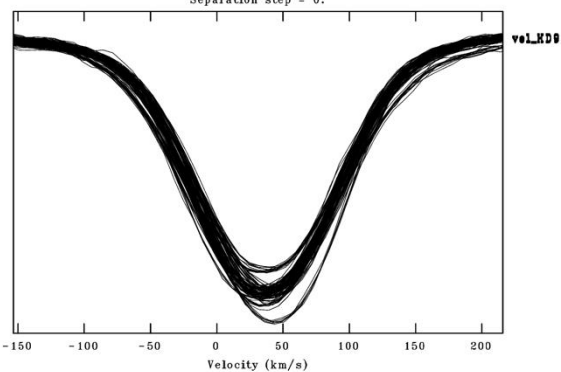
Joonis 12. Lühiajalise muutlikkuse näide ühes vaatlusöös kokku pakitud faili kohta. Ühe spektri säriaeg on 150 sekundit. Absissteljel on radiaalkiirused ühikustes km/s ning ordinaatteljel on normeeritud ühikud.

Joonisel 12 on kujutatud ühe 04.04.2019 vaatlusööli signaal-müra suhte tõstmise jaoks kokku pakitud faili radiaalkiiruste muutlikkus. On näha, et muutlikus on neeldumisjoone tsentris sama suur kui ka taustamüra, mille tõttu ei ole võimalik väita, et vaadeldav muutlikkus on füüsikaline. Seega lühiajalist muutlikust uurida ei saa, sest signaal-müra suhe pole piisavalt hea. Minimaalne signaali kogumisaeg peaks olema 15 min. Mitme spektri liitmine võimaldab tõsta signaal-müra suhet. Nagu eelnevalt mainitud, võis määramatus tuleneda ka sellest, et Gaussi funktsiooni sobitamine ei olnud kõige sobilikum meetod radiaalkiiruste leidmiseks. Ebasümmeetrilise kujuga spektrijoone analüüsiks tuleb vaatlusandmetele rakendada “Meetodid” osas välja toodud momentide meetodit. He I spektrijoone kuju muutlikus võimaldab väita, et ρ Leo spektrites leidub pulsatsioonidele viitavaid nähte (Joonis 13, 14).

NOAO/IRAF V2.16.1 kertu@kertu-HP-Pavilion-Laptop-15-cw0xxx Thu 05:22:45 30-May
Separation step = 0.



Joonis 13. Terve vaatlusperioodi jooksul leitud radiaalkiiruste muutus. Absissteljel on radiaalkiirused ning ordinaatteljel on normeeritud ühikud.



Joonis 14. Vasakul pool on 2018. aasta vaatlusandmete radiaalkiiruste muutused ja parempool on 2019. aasta vaatlusandmete radiaalkiiruste muutused ühikutes km/s. Absissteljel on radiaalkiirused ning ordinaatteljel normeeritud ühikud.

Pulsatsioonidele viitavateks nähtudeks on need, et pikaajalisemas perioodis on He I tsentri muutlikkus suurem kui kontinumil olev muutlikkus ja eriti 2018. aasta andmete järgi näeme, et He I parempoolne tiib on laiem kui vasakpoolne tiib. Pulsatsioonidele viitab ka see, lisaks radiaalkiirusele muutub ka He I neeldumisjoone kuju.

Pulsatsioonide täpsemaks uurimiseks tuleks momentidele teha sagedusanalüüs. Kuna pulsatsioonid jagunevad lühiajalisteks ja pikaajalisteks, tuleks pikendada ka vaatluste aegrida. Selleks on võimalik kasutada Tõraveres asuva Tartu Observatooriumi 1,5-meetrise peegelteleskoobi varasemaid andmeid ning Tšehhis asuvas Ondrejovi Observatooriumi andmeid, kus kasutatakse 2-meetrise peapeegli läbimõõduga peegelteleskoopi, mille kudee fookuses asub pikapilu spektrograaf. Kudee fookuse korral liigub valgus peapeeglilt lisapeeglile, mis omakorda peegeldab valguse teleskoobi kõrval asuvatesse mõõteseadmetesse. Aegrea pikendamisele aitab kaasa ka ρ Leo vaatluste tegemise jätkamine.

6. Kokkuvõte

Galaktikate arengus ehk massi ja heleduse muutuses on suur roll kuumadel ja massiivsetel tähtedel, paraku on nende evolutsiooniteoorias suuri tühimike. Sinise ülihiu faas on massiivsete tähtede arengus olulise tähtsusega. Üldise evolutsiooniteooria [19] kohaselt hakkab ebastabiilne sinine ülihiid paisuma punaseks ülihiuks, et seejärel jälle taas kuumeneda ja muutuda taas siniseks ülihiuks. Oma eluaea jooksul võib täht sellist tsüklit korrata mitmeid kordi. Vaatlusandmetest pole aga võimalik kindlalt öelda, millises tsükli etapis täht vaatluse hetkel on. Pulsatsioonide teooria [20] alusel on pulsatsioonide moodide järgi seda võimalik teha.

Antud bakalaureusetöö on aga väikene osa suurest pildist, ehk lähemat uuritakse ρ Leo pinna liikumisi (radiaalkiirusi) täheatmosfääris tekkinud He I joone muutuste põhjal ning analüüsitakse kasutatava meetodi sobilikkust. Töö käigus õppis autor läbi viima vaatlusi Tõraveres asuva Tartu Observatooriumi 1,5-meetrise peegelteleskoobiga ja töötlemata vaatluste käigus kogutuid FITS faile tarkvaras IRAF.

ρ Leo muutlikkuse uurimisel selgus, et selle tähe muutlikust ei saa uurida ajaskaalal, mis on lühem kui 15 minutit. Lühemaajalist muutlikust ei saa uurida, sest spektrite signaal-müra suhe pole piisavalt suur. Vaatlusandmetest leidub pulsatsioonidele viitavaid nähte.

Mõõtmistulemuste parandamiseks ja pulsatsioonide edasipidiseks uurimiseks tuleb rakendada momentide meetodit, läbi teha sagedusanalüüs ning pikendada aegrida, kasutades Tartu Observatooriumi vanemaid andmeid ning ka Tšehhi Ondrejovi Observatooriumi andmeid.

Kasutatud allikad

1. M. Giavalisco, "Galaxy evolution," in *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, P. Murdin ed. (Institute of Physics Publishing, Philadelphia, 2006).
2. A. Maeder, G. Meynet, "The evolution of rotating stars," in *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, volume 38 (2000), pp. 119-148.
3. A. F. Kholtygin, G. A. Chountonov, S. N. Fabrika, *et al.*, "Line profile variability and the possible magnetic field in the spectra of supergiant ρ Leo," in *Physics of Magnetic Stars* (2007), pp. 262-270.
4. M. A. Smith and D. Ebbets, "Spectral variations in rho Leonis (B1 Iab) from subphotosphere to outer atmosphere," in *The Astrophysical Journal*, volume 247 (1981), pp. 158-172.
5. A. F. Kholtygin and N. P. Sudnik, "Smoothed Temporal Variance Spectrum: weak line profile variations and NRP diagnostics," in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, volume 458, issue 2 (2016), pp. 1604-1617.
6. W. W. Morgan and P. C. Keenan, "Spectral classification," in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, volume 11, L. Goldberg ed. (Madison, Wisconsin, 1973), pp. 29-50.
7. Kosmoloogia – interaktiivne astronoomiaõpik (1998), <http://opik.obs.ee/osa3/ptk05/tekst.html>
8. D. A. Goldsmith and T. Owen, *The Search for Life in The Universe* (University Science Books, 2001), p. 96.
9. P. A. Crowther, D. J. Lennon and N. R. Walborn, "Physical parameters and wind properties of galactic early B supergiants," in *Astronomy and Astrophysics*, 446 (2006), pp. 279-293.
10. D. R. Gies and D. L. Lambert, "Carbon, Nitrogen, and Oxygen Abundances in Early B-Type Stars," in *The Astrophysical Journal*, 387 (1992), pp. 673-700.
11. T. Morel, S. V. Marchenko, *et al.*, "Large-scale wind structures in OB supergiants; a search for rotationally modulated Ha variability," in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, volume 351 (2004), issue 2, pp. 552-568.
12. M. A. C. Perryman, L. Lindegren, J. Kovalevski, *et al.*, "The HIPPARCOS Catalogue," in *Astronomy and Astrophysics*, 323 (1997), pp. L49-L52.
13. J. Kaler, "STAR S," (2007) <http://stars.astro.illinois.edu/sow/rholeo.html>
14. Stellarium Web Online Planetarium <https://stellarium-web.org/p/observations>
15. C. Aerts, J. Christensen-Dalsgaard, D. W. Kurtz, *Asteroseismology* (Springer, Netherlands, 2010).
16. G. Meynet, C. Georgy, R. Hirschi, *et al.*, "Red Supergiants, Luminous Blue Variables and Wolf-Rayet stars: the single massive star perspective," in *Société Royale des Sciences de Li ge*, volume 80 (2011), pp. 266-278.

17. K. F. Neugent, P. Massey, B. Skiff and G. Meynet, “Yellow and Red Supergiants in the Large Magellanic Cloud,” in *The American Astronomical Society*, volume 749:2 (2012).
18. A. Maeder and G. Meynet, “Stellar evolution with rotation. VII. Low metallicity models and the blue to red supergiant ratio in the SMC,” in *Astronomy and Astrophysics*, volume 373 (2001), pp. 555-571.
19. A. N. Cox, S. Vauclair, J. P. Zahn, “Astrophysical process in upper main sequence stars,” in *13th Advanced Course of the Swiss Society of Astronomy and Astrophysics* (1983).
20. D. Lovy, A. Maeder, A. Noels, M. Gabriel, “Supergiant variability – Theoretical pulsation periods and comparison with observations,” in *Astronomy and Astrophysics*, volume 133 (1984), pp. 307-312.
21. Anna Aret, personaalne kogu.
22. M. Kraus, M. Haucke, L. S. Cidale, R. O. J. Venero, *et al*, “Interplay between pulsations and mass loss in the blue supergiant 55 Cygnus = HD 198478,” in *Astronomy and Astrophysics*, volume 581 (2015), A27.
23. C. Aerts, M. De Pauw and C. Waelkens, “ Mode identification of pulsating stars from line profile variations with the moment method. An example: the β Cephei star δ Ceti,” in *Astronomy and Astrophysics*, volume 266 (1992), pp. 294-306.
24. H. Saio, R. Kuschnig, A. Gautschy, *et al*, “MOST Detects g- and p-Modes in the B Supergiant HD 163899 (B2 Ib/II),” in *The Astrophysical Journal*, volume 650 (2006), issue 2, pp. 1111-1118.
25. <http://ast.noao.edu/data/software>

Lisa 1 - Mõõtmistulemused

Esimeses tulbas on faili nimed, teises on kokku pakitud failide arv, kolmandas on säritamiseks kulunud aeg sekundites, neljandas on heliotsentriline Juliuse päev, viiendas on signaal-müra suhe, kuueandas on radiaalkiirused ühikutes km/s ning seitsmendas on radiaalkiiruste spekulaarne viga.

IMAGE	n	EXPTIME	HJD	SNR	VELOCITY	SPEKULAARNE VIGA
HD91316_20180112_v1800_47d23_a.n.fits	2	824	2458131,647	650	37,8002	0,0251
HD91316_20180112_v1800_47d23_b.n.fits	2	832	2458131,657	690	38,7250	0,0100
HD91316_20180112_v1800_47d23_c.n.fits	2	746	2458131,671	530	38,7361	0,0096
HD91316_20180112_v1800_47d23_d.n.fits	2	799	2458131,68	590	38,7948	0,0163
HD91316_20180221_v1800_47d23_a.n.fits	2	780	2458171,373	490	43,2051	0,1048
HD91316_20180221_v1800_47d23_b.n.fits	2	757	2458171,382	600	43,2926	0,0650
HD91316_20180221_v1800_47d23_c.n.fits	1	360	2458171,389	440	45,5361	0,0453
HD91316_20180221_v1800_47d23_d.n.fits	2	707	2458171,4	590	41,3688	0,0626
HD91316_20180221_v1800_47d23_e.n.fits	2	502	2458171,408	520	43,1412	0,0483
HD91316_20180221_v1800_47d23_f.n.fits	2	397	2458171,414	430	43,2031	0,1125
HD91316_20180221_v1800_47d23_g.n.fits	3	712	2458171,426	550	41,3418	0,0855
HD91316_20180221_v1800_47d23_h.n.fits	3	729	2458171,435	510	43,1116	0,0981
HD91316_20180221_v1800_47d23_i.n.fits	2	537	2458171,443	540	43,7885	0,0588
HD91316_20180221_v1800_47d23_j.n.fits	2	598	2458171,454	570	41,0045	0,0558
HD91316_20180221_v1800_47d23_k.n.fits	2	596	2458171,462	560	42,9329	0,0883
HD91316_20180221_v1800_47d23_l.n.fits	1	300	2458171,467	460	43,8521	0,0833
HD91316_20180221_v1800_47d23_m.n.fits	1	330	2458171,476	320	42,7781	0,4324
HD91316_20180222_v1800_47d23_a.n.fits	3	884	2458172,389	530	37,7256	0,0995
HD91316_20180222_v1800_47d23_b.n.fits	3	817	2458172,399	460	37,8792	0,1122
HD91316_20180222_v1800_47d23_c.n.fits	3	707	2458172,414	400	36,0665	0,0896
HD91316_20180222_v1800_47d23_d.n.fits	2	481	2458172,421	440	36,6338	0,0232
HD91316_20180222_v1800_47d23_e.n.fits	2	498	2458172,428	390	40,2791	0,0684
HD91316_20180222_v1800_47d23_f.n.fits	3	764	2458172,441	450	38,8749	0,0933
HD91316_20180222_v1800_47d23_g.n.fits	2	492	2458172,448	450	40,3224	0,0539
HD91316_20180222_v1800_47d23_h.n.fits	2	487	2458172,454	480	40,7789	0,0136
HD91316_20180222_v1800_47d23_i.n.fits	3	725	2458172,466	500	39,8477	0,0333
HD91316_20180222_v1800_47d23_j.n.fits	3	775	2458172,475	480	41,5053	0,0220
HD91316_20180222_v1800_47d23_k.n.fits	2	513	2458172,483	510	40,4780	0,0200
HD91316_20180222_v1800_47d23_l.n.fits	3	762	2458172,496	510	38,3914	0,1020
HD91316_20180222_v1800_47d23_m.n.fits	2	530	2458172,504	480	39,9671	0,1252
HD91316_20180222_v1800_47d23_n.n.fits	2	533	2458172,51	560	41,3142	0,0408
HD91316_20180222_v1800_47d23_o.n.fits	2	534	2458172,521	430	39,4111	0,0044
HD91316_20180222_v1800_47d23_p.n.fits	2	673	2458172,529	440	40,6592	0,0446
HD91316_20180222_v1800_47d23_q.n.fits	2	658	2458172,537	420	40,8180	0,0428
HD91316_20180222_v1800_47d23_r.n.fits	2	593	2458172,55	420	38,2428	0,0353
HD91316_20180222_v1800_47d23_s.n.fits	1	330	2458172,555	340	40,8494	0,0484
HD91316_20180304_v1800_47d23_a.n.fits	2	653	2458182,447	590	33,1248	0,0271
HD91316_20180304_v1800_47d23_b.n.fits	2	544	2458182,455	650	33,8391	0,0824
HD91316_20180304_v1800_47d23_c.n.fits	2	814	2458182,463	650	34,8390	0,0707
HD91316_20180304_v1800_47d23_d.n.fits	2	554	2458182,48	590	33,0025	0,0351
HD91316_20180304_v1800_47d23_e.n.fits	2	649	2458182,488	600	32,9718	0,0248
HD91316_20180304_v1800_47d23_f.n.fits	1	270	2458182,494	430	33,2577	0,0470
HD91316_20180304_v1800_47d23_g.n.fits	3	824	2458182,507	710	32,8282	0,0297
HD91316_20180304_v1800_47d23_h.n.fits	2	498	2458182,514	560	32,6157	0,0276
HD91316_20180304_v1800_47d23_i.n.fits	2	579	2458182,521	580	32,5637	0,0405
HD91316_20180304_v1800_47d23_j.n.fits	3	844	2458182,534	680	34,5416	0,0231
HD91316_20180304_v1800_47d23_k.n.fits	2	523	2458182,542	570	34,0539	0,0239
HD91316_20180304_v1800_47d23_l.n.fits	2	533	2458182,548	530	34,1648	0,4808
HD91316_20180304_v1800_47d23_m.n.fits	2	591	2458182,56	550	31,5412	0,0231
HD91316_20180304_v1800_47d23_n.n.fits	2	9	2458182,567	530	31,6336	0,0465
HD91316_20180304_v1800_47d23_o.n.fits	2	605	2458182,574	550	32,0438	0,0396
HD91316_20180304_v1800_47d23_p.n.fits	2	716	2458182,59	490	31,5327	0,0619
HD91316_20180304_v1800_47d23_q.n.fits	2	713	2458182,599	470	31,6356	0,0587
HD91316_20180304_v1800_47d23_r.n.fits	1	300	2458182,609	310	32,8907	0,0747
HD91316_20180304_v1800_47d23_s.n.fits	1	600	2458182,616	290	32,8907	0,0747
HD91316_20180315_v1800_47d23_a.n.fits	2	630	2458193,486	380	37,6359	0,0493
HD91316_20180315_v1800_47d23_b.n.fits	2	628	2458193,494	400	37,8872	0,0661
HD91316_20180315_v1800_47d23_c.n.fits	2	631	2458193,502	460	37,5882	0,0829
HD91316_20180315_v1800_47d23_d.n.fits	3	802	2458193,511	480	37,5361	0,0359
HD91316_20180315_v1800_47d23_e.n.fits	3	842	2458193,525	540	35,8843	0,0568

HD91316_20180315_v1800_47d23_f.n.fits	3	745	2458193,535	500	36,3928	0,0874
HD91316_20180315_v1800_47d23_g.n.fits	3	744	2458193,544	640	34,0021	0,0200
HD91316_20180316_v1800_47d23_a.n.fits	2	659	2458194,459	530	35,7081	0,0142
HD91316_20180316_v1800_47d23_b.n.fits	2	594	2458194,466	480	36,9548	0,0586
HD91316_20180316_v1800_47d23_c.n.fits	1	300	2458194,472	440	36,1816	0,0630
HD91316_20180316_v1800_47d23_d.n.fits	2	537	2458194,481	460	36,1830	0,0240
HD91316_20180316_v1800_47d23_e.n.fits	2	612	2458194,488	530	36,9715	0,0341
HD91316_20180316_v1800_47d23_f.n.fits	2	638	2458194,496	500	36,1059	0,0613
HD91316_20180316_v1800_47d23_g.n.fits	2	611	2458194,508	470	35,0778	0,1519
HD91316_20180316_v1800_47d23_h.n.fits	3	859	2458194,517	440	35,5281	0,0175
HD91316_20180316_v1800_47d23_i.n.fits	2	417	2458194,525	380	35,6596	0,1153
HD91316_20180316_v1800_47d23_j.n.fits	3	758	2458194,536	460	35,7652	0,0418
HD91316_20180316_v1800_47d23_k.n.fits	2	537	2458194,544	420	35,8725	0,0225
HD91316_20180316_v1800_47d23_l.n.fits	2	591	2458194,555	410	37,0351	0,0843
HD91316_20180316_v1800_47d23_m.n.fits	2	657	2458194,563	430	35,2270	0,4106
HD91316_20180316_v1800_47d23_n.n.fits	1	320	2458194,569	360	35,8775	0,0366
HD91316_20180316_v1800_47d23_o.n.fits	2	631	2458194,58	380	35,7726	0,0577
HD91316_20180316_v1800_47d23_p.n.fits	2	765	2458194,588	480	34,0760	0,0437
HD91316_20180326_v1800_47d23_a.n.fits	3	735	2458204,459	490	28,4461	0,5287
HD91316_20180326_v1800_47d23_b.n.fits	3	770	2458204,468	660	29,3444	0,1466
HD91316_20180326_v1800_47d23_c.n.fits	2	515	2458204,475	460	29,7868	0,0942
HD91316_20180326_v1800_47d23_d.n.fits	2	504	2458204,482	450	30,8576	0,0441
HD91316_20180329_v1800_47d23_a.n.fits	5	806	2458207,35	740	38,9808	0,0267
HD91316_20180329_v1800_47d23_b.n.fits	5	752	2458207,359	650	38,5056	0,3549
HD91316_20180329_v1800_47d23_c.n.fits	5	858	2458207,373	660	37,7971	0,0401
HD91316_20180329_v1800_47d23_d.n.fits	5	852	2458207,383	660	37,7349	0,0583
HD91316_20180329_v1800_47d23_e.n.fits	5	814	2458207,397	710	36,0295	0,0428
HD91316_20180329_v1800_47d23_f.n.fits	5	839	2458207,407	830	36,5257	0,0867
HD91316_20180329_v1800_47d23_g.n.fits	5	765	2458207,421	750	35,6519	0,0520
HD91316_20180329_v1800_47d23_h.n.fits	5	755	2458207,43	760	36,3308	0,0392
HD91316_20180329_v1800_47d23_i.n.fits	5	759	2458207,444	780	33,8195	0,0466
HD91316_20180329_v1800_47d23_j.n.fits	3	491	2458207,451	690	34,2802	0,0494
HD91316_20180329_v1800_47d23_k.n.fits	3	863	2458207,459	650	34,0311	0,1360
HD91316_20180329_v1800_47d23_l.n.fits	4	741	2458207,474	730	33,2611	0,0830
HD91316_20180329_v1800_47d23_m.n.fits	3	650	2458207,482	630	33,7276	0,0352
HD91316_20180329_v1800_47d23_n.n.fits	2	436	2458207,488	690	33,0477	0,0716
HD91316_20180412_v1800_47d23_a.n.fits	5	854	2458221,363	510	40,9149	0,3382
HD91316_20180412_v1800_47d23_b.n.fits	5	802	2458221,373	470	42,1979	0,0926
HD91316_20180412_v1800_47d23_c.n.fits	5	842	2458221,391	530	41,8905	0,1794
HD91316_20180412_v1800_47d23_d.n.fits	5	835	2458221,401	500	41,3337	0,4456
HD91316_20180412_v1800_47d23_e.n.fits	5	849	2458221,415	510	42,0288	0,0890
HD91316_20180412_v1800_47d23_f.n.fits	4	700	2458221,424	530	42,1504	0,0435
HD91316_20180419_v1800_47d23_a.n.fits	4	805	2458228,372	400	37,3337	0,0270
HD91316_20180419_v1800_47d23_b.n.fits	4	836	2458228,381	420	36,3823	0,3994
HD91316_20180419_v1800_47d23_c.n.fits	5	897	2458228,396	430	37,0982	0,0150
HD91316_20180419_v1800_47d23_d.n.fits	4	860	2458228,406	500	37,1539	0,0354
HD91316_20180419_v1800_47d23_e.n.fits	3	691	2458228,42	460	35,3846	0,0174
HD91316_20180419_v1800_47d23_f.n.fits	2	415	2458228,427	390	37,1573	0,0400
HD91316_20180419_v1800_47d23_g.n.fits	3	619	2458228,433	400	38,0309	0,0676
HD91316_20180519_v1800_47d23_a.n.fits	3	521	2458258,335	520	45,1253	0,0217
HD91316_20190221_v1800_47d23_a.n.fits	3	779	2458536,371	710	38,4878	0,0458
HD91316_20190221_v1800_47d23_b.n.fits	2	513	2458536,379	610	39,8557	0,0658
HD91316_20190221_v1800_47d23_c.n.fits	2	512	2458536,385	600	40,6417	0,0409
HD91316_20190221_v1800_47d23_d.n.fits	2	688	2458536,396	610	38,4842	0,4507
HD91316_20190221_v1800_47d23_e.n.fits	3	771	2458536,405	600	39,0289	0,0693
HD91316_20190221_v1800_47d23_f.n.fits	3	787	2458536,414	660	40,7070	0,1196
HD91316_20190221_v1800_47d23_g.n.fits	3	773	2458536,427	530	39,3908	0,0764
HD91316_20190221_v1800_47d23_h.n.fits	3	774	2458536,436	580	39,8283	0,0610
HD91316_20190221_v1800_47d23_i.n.fits	2	515	2458536,444	560	39,8554	0,0294
HD91316_20190221_v1800_47d23_j.n.fits	3	777	2458536,456	560	39,0092	0,0220
HD91316_20190221_v1800_47d23_k.n.fits	3	772	2458536,465	540	38,9246	0,3485
HD91316_20190221_v1800_47d23_l.n.fits	2	512	2458536,473	500	39,1655	0,0656
HD91316_20190221_v1800_47d23_m.n.fits	3	774	2458536,485	560	39,4301	0,0129
HD91316_20190221_v1800_47d23_n.n.fits	3	770	2458536,494	600	39,1103	0,0104
HD91316_20190221_v1800_47d23_o.n.fits	2	513	2458536,501	560	39,2680	0,4008
HD91316_20190221_v1800_47d23_p.n.fits	3	776	2458536,513	530	37,3382	0,0896
HD91316_20190221_v1800_47d23_q.n.fits	3	850	2458536,523	570	37,6699	0,0506
HD91316_20190221_v1800_47d23_r.n.fits	2	558	2458536,531	520	37,7437	0,0203
HD91316_20190221_v1800_47d23_s.n.fits	2	601	2458536,542	530	36,3984	0,0527
HD91316_20190221_v1800_47d23_t.n.fits	2	614	2458536,55	630	36,5290	0,1441
HD91316_20190221_v1800_47d23_u.n.fits	2	615	2458536,557	620	37,3436	0,0179
HD91316_20190221_v1800_47d23_v.n.fits	1	280	2458536,562	480	36,2195	0,0132

HD91316_20190221_v1800_47d23_w.n.fits	2	567	2458536,572	550	36,8669	0,0318
HD91316_20190301_v1800_47d23_a.n.fits	3	746	2458544,311	670	42,1043	0,0733
HD91316_20190301_v1800_47d23_b.n.fits	2	502	2458544,318	560	43,1034	0,2366
HD91316_20190301_v1800_47d23_c.n.fits	2	494	2458544,324	510	44,0762	0,0436
HD91316_20190301_v1800_47d23_d.n.fits	3	788	2458544,336	610	40,9506	0,0576
HD91316_20190301_v1800_47d23_e.n.fits	2	533	2458544,344	560	43,4656	0,0509
HD91316_20190301_v1800_47d23_f.n.fits	2	538	2458544,35	650	43,0446	0,0071
HD91316_20190301_v1800_47d23_g.n.fits	3	804	2458544,362	610	42,1356	0,0438
HD91316_20190301_v1800_47d23_h.n.fits	3	811	2458544,372	680	43,1928	0,0145
HD91316_20190301_v1800_47d23_i.n.fits	3	782	2458544,389	560	42,0219	0,0161
HD91316_20190301_v1800_47d23_j.n.fits	2	514	2458544,396	580	43,2056	0,0399
HD91316_20190301_v1800_47d23_k.n.fits	2	583	2458544,403	570	44,8671	0,0300
HD91316_20190301_v1800_47d23_l.n.fits	2	623	2458544,414	550	41,5221	0,0168
HD91316_20190301_v1800_47d23_m.n.fits	2	613	2458544,422	570	43,1565	0,3155
HD91316_20190301_v1800_47d23_n.n.fits	2	646	2458544,429	610	44,6201	0,3155
HD91316_20190301_v1800_47d23_o.n.fits	3	776	2458544,442	600	43,5692	0,2645
HD91316_20190301_v1800_47d23_p.n.fits	2	511	2458544,45	530	44,3899	0,0976
HD91316_20190301_v1800_47d23_q.n.fits	2	514	2458544,456	530	44,8003	0,0924
HD91316_20190301_v1800_47d23_r.n.fits	3	779	2458544,468	600	42,8800	0,1012
HD91316_20190301_v1800_47d23_s.n.fits	2	516	2458544,476	600	44,3264	0,0539
HD91316_20190301_v1800_47d23_t.n.fits	2	474	2458544,482	620	44,9323	0,0617
HD91316_20190325_v1800_47d28_a.n.fits	4	845	2458568,372	630	42,4949	0,0638
HD91316_20190325_v1800_47d28_b.n.fits	4	843	2458568,382	680	43,3979	0,0321
HD91316_20190325_v1800_47d28_c.n.fits	4	831	2458568,397	620	43,4137	0,0063
HD91316_20190325_v1800_47d28_d.n.fits	4	760	2458568,406	690	43,6467	0,0679
HD91316_20190325_v1800_47d28_e.n.fits	4	811	2458568,421	590	43,4134	0,0118
HD91316_20190325_v1800_47d28_f.n.fits	4	721	2458568,43	580	44,6482	0,0128
HD91316_20190325_v1800_47d28_g.n.fits	4	762	2458568,473	580	42,1494	0,0416
HD91316_20190325_v1800_47d28_h.n.fits	3	353	2458568,481	580	40,8676	0,0394
HD91316_20190325_v1800_47d28_i.n.fits	3	531	2458568,487	510	40,4705	0,0492
HD91316_20190326_v1800_47d28_a.n.fits	4	840	2458569,397	750	37,6832	0,0027
HD91316_20190326_v1800_47d28_b.n.fits	3	630	2458569,406	630	39,0627	0,0109
HD91316_20190326_v1800_47d28_c.n.fits	4	870	2458569,419	740	38,5341	0,0662
HD91316_20190326_v1800_47d28_d.n.fits	3	594	2458569,428	700	38,6928	0,0212
HD91316_20190326_v1800_47d28_e.n.fits	2	392	2458569,434	580	38,7056	0,0365
HD91316_20190326_v1800_47d28_f.n.fits	4	809	2458569,446	790	37,4411	0,4073
HD91316_20190326_v1800_47d28_g.n.fits	4	805	2458569,455	740	38,6669	0,0171
HD91316_20190326_v1800_47d28_h.n.fits	2	397	2458569,462	520	37,7489	0,0006
HD91316_20190326_v1800_47d28_i.n.fits	4	858	2458569,475	710	39,0305	0,0768
HD91316_20190326_v1800_47d28_j.n.fits	3	598	2458569,483	600	39,0369	0,0528
HD91316_20190327_v1800_47d28_a.n.fits	4	869	2458570,268	640	43,6877	0,0198
HD91316_20190327_v1800_47d28_b.n.fits	4	740	2458570,278	610	45,0064	0,3406
HD91316_20190327_v1800_47d28_c.n.fits	5	845	2458570,291	630	43,8391	0,0399
HD91316_20190327_v1800_47d28_d.n.fits	3	510	2458570,299	600	43,5563	0,0342
HD91316_20190327_v1800_47d28_e.n.fits	4	730	2458570,311	640	43,5456	0,0317
HD91316_20190327_v1800_47d28_f.n.fits	3	573	2458570,319	650	44,5270	0,0599
HD91316_20190327_v1800_47d28_g.n.fits	4	682	2458570,331	650	43,1772	0,0158
HD91316_20190327_v1800_47d28_h.n.fits	5	874	2458570,341	660	44,6703	0,0911
HD91316_20190327_v1800_47d28_i.n.fits	4	650	2458570,355	530	43,7425	0,0193
HD91316_20190327_v1800_47d28_j.n.fits	4	617	2458570,362	650	45,6820	0,0090
HD91316_20190327_v1800_47d28_k.n.fits	5	815	2458570,375	570	44,3458	0,1102
HD91316_20190327_v1800_47d28_l.n.fits	3	539	2458570,383	540	45,1557	0,1086
HD91316_20190327_v1800_47d28_m.n.fits	4	755	2458570,395	590	44,1252	0,0240
HD91316_20190327_v1800_47d28_n.n.fits	4	725	2458570,404	560	44,9509	0,0257
HD91316_20190329_v1800_47d28_a.n.fits	4	658	2458572,252	710	45,6958	0,0984
HD91316_20190329_v1800_47d28_b.n.fits	3	623	2458572,263	600	46,1517	0,0386
HD91316_20190329_v1800_47d28_c.n.fits	4	832	2458572,276	710	45,7803	0,0064
HD91316_20190329_v1800_47d28_d.n.fits	3	573	2458572,284	560	46,5807	0,0735
HD91316_20190329_v1800_47d28_e.n.fits	4	753	2458572,296	630	46,0649	0,0302
HD91316_20190329_v1800_47d28_f.n.fits	4	744	2458572,305	640	46,3166	0,0044
HD91316_20190329_v1800_47d28_g.n.fits	5	869	2458572,319	790	45,4559	0,0457
HD91316_20190329_v1800_47d28_h.n.fits	3	489	2458572,327	530	45,9871	0,0578
HD91316_20190329_v1800_47d28_i.n.fits	4	707	2458572,338	640	46,3805	0,0096
HD91316_20190329_v1800_47d28_j.n.fits	4	697	2458572,346	650	46,0623	0,0069
HD91316_20190329_v1800_47d28_k.n.fits	4	724	2458572,359	600	46,0638	0,0802
HD91316_20190329_v1800_47d28_l.n.fits	4	741	2458572,367	640	46,2245	0,0214
HD91316_20190329_v1800_47d28_m.n.fits	4	761	2458572,381	640	44,9954	0,0081
HD91316_20190329_v1800_47d28_n.n.fits	3	562	2458572,388	660	45,0064	0,0036
HD91316_20190329_v1800_47d28_o.n.fits	4	768	2458572,4	590	45,1358	0,0168
HD91316_20190329_v1800_47d28_p.n.fits	4	755	2458572,409	640	46,2924	0,0009
HD91316_20190329_v1800_47d28_q.n.fits	4	757	2458572,423	560	45,6715	0,0212
HD91316_20190329_v1800_47d28_r.n.fits	3	565	2458572,43	500	46,2607	0,0045

HD91316_20190329_v1800_47d28_s.n.fits	4	895	2458572,443	530	43,8789	0,0169
HD91316_20190329_v1800_47d28_t.n.fits	3	587	2458572,452	480	44,2718	0,0310
HD91316_20190329_v1800_47d28_u.n.fits	4	780	2458572,464	520	44,9360	0,0641
HD91316_20190329_v1800_47d28_v.n.fits	3	568	2458572,472	490	44,1858	0,0505
HD91316_20190330_v1800_47d28_a.n.fits	2	382	2458573,336	430	41,2275	0,0353
HD91316_20190330_v1800_47d28_b.n.fits	4	721	2458573,372	520	42,6141	0,0396
HD91316_20190330_v1800_47d28_c.n.fits	2	366	2458573,379	360	41,5976	0,0301
HD91316_20190331_v1800_47d28_a.n.fits	5	851	2458574,333	640	43,9245	0,0044
HD91316_20190331_v1800_47d28_b.n.fits	4	717	2458574,342	670	43,6400	0,0295
HD91316_20190331_v1800_47d28_c.n.fits	5	857	2458574,356	830	45,0816	0,0049
HD91316_20190331_v1800_47d28_d.n.fits	4	683	2458574,365	650	45,1411	0,0271
HD91316_20190331_v1800_47d28_e.n.fits	4	716	2458574,379	640	42,3654	0,0415
HD91316_20190331_v1800_47d28_f.n.fits	5	883	2458574,388	730	43,6502	0,0586
HD91316_20190331_v1800_47d28_g.n.fits	3	527	2458574,401	540	41,7294	0,0452
HD91316_20190331_v1800_47d28_h.n.fits	1	165	2458574,412	430	43,4815	0,0096
HD91316_20190401_v1800_47d28_a.n.fits	4	711	2458575,253	790	43,5594	0,0160
HD91316_20190401_v1800_47d28_b.n.fits	5	874	2458575,262	790	43,4307	0,0199
HD91316_20190401_v1800_47d28_c.n.fits	5	875	2458575,277	860	44,9441	0,0197
HD91316_20190401_v1800_47d28_d.n.fits	3	508	2458575,285	770	45,2998	0,0008
HD91316_20190401_v1800_47d28_e.n.fits	5	866	2458575,298	970	45,2338	0,0220
HD91316_20190401_v1800_47d28_f.n.fits	3	470	2458575,306	740	44,9796	0,0120
HD91316_20190401_v1800_47d28_g.n.fits	5	774	2458575,317	780	44,9613	0,0256
HD91316_20190401_v1800_47d28_h.n.fits	5	782	2458575,326	840	44,7746	0,0256
HD91316_20190401_v1800_47d28_i.n.fits	6	868	2458575,34	850	45,2346	0,0047
HD91316_20190401_v1800_47d28_j.n.fits	4	553	2458575,348	710	45,0909	0,0500
HD91316_20190401_v1800_47d28_k.n.fits	6	841	2458575,361	810	44,9490	0,0208
HD91316_20190401_v1800_47d28_l.n.fits	4	555	2458575,369	730	46,3166	0,0064
HD91316_20190401_v1800_47d28_m.n.fits	7	898	2458575,381	720	45,1430	0,0298
HD91316_20190401_v1800_47d28_n.n.fits	4	496	2458575,39	590	45,6771	0,0331
HD91316_20190401_v1800_47d28_o.n.fits	6	836	2458575,401	740	43,3352	0,0281
HD91316_20190401_v1800_47d28_p.n.fits	5	700	2458575,411	680	45,8764	0,0139
HD91316_20190401_v1800_47d28_q.n.fits	6	833	2458575,424	690	45,2412	0,0203
HD91316_20190401_v1800_47d28_r.n.fits	3	413	2458575,431	640	44,6201	0,0174
HD91316_20190401_v1800_47d28_s.n.fits	5	750	2458575,442	650	43,9583	0,0318
HD91316_20190401_v1800_47d28_t.n.fits	4	600	2458575,45	550	44,8051	0,0649
HD91316_20190401_v1800_47d28_u.n.fits	4	582	2458575,462	610	43,4874	0,0419
HD91316_20190401_v1800_47d28_v.n.fits	2	314	2458575,469	530	45,7245	0,0649
HD91316_20190402_v1800_47d28_a.n.fits	3	569	2458576,454	570	44,2315	0,0060
HD91316_20190402_v1800_47d28_b.n.fits	2	414	2458576,461	380	41,8014	0,0582
HD91316_20190403_v1800_47d28_a.n.fits	4	738	2458577,257	640	45,8826	0,0212
HD91316_20190403_v1800_47d28_b.n.fits	3	548	2458577,264	610	45,8703	0,0235
HD91316_20190403_v1800_47d28_c.n.fits	2	362	2458577,27	560	46,0020	0,0360
HD91316_20190403_v1800_47d28_d.n.fits	4	774	2458577,281	730	45,7563	0,0344
HD91316_20190403_v1800_47d28_e.n.fits	3	587	2458577,289	580	45,0508	0,0171
HD91316_20190403_v1800_47d28_f.n.fits	4	779	2458577,301	660	45,0212	0,0704
HD91316_20190403_v1800_47d28_g.n.fits	4	814	2458577,31	680	46,2266	0,0149
HD91316_20190403_v1800_47d28_h.n.fits	4	797	2458577,324	730	44,9661	0,0149
HD91316_20190403_v1800_47d28_i.n.fits	3	592	2458577,332	620	45,7661	0,0733
HD91316_20190403_v1800_47d28_j.n.fits	4	777	2458577,344	640	44,2888	0,0647
HD91316_20190403_v1800_47d28_k.n.fits	4	820	2458577,354	680	44,9691	0,0136
HD91316_20190403_v1800_47d28_l.n.fits	4	815	2458577,367	660	45,2850	0,0174
HD91316_20190403_v1800_47d28_m.n.fits	2	402	2458577,374	630	45,0936	0,0105
HD91316_20190403_v1800_47d28_n.n.fits	4	796	2458577,386	550	43,4343	0,0278
HD91316_20190403_v1800_47d28_o.n.fits	3	559	2458577,394	590	43,5378	0,0102
HD91316_20190403_v1800_47d28_p.n.fits	4	734	2458577,405	550	43,6095	0,0087
HD91316_20190403_v1800_47d28_q.n.fits	4	734	2458577,414	550	43,6561	0,0197
HD91316_20190403_v1800_47d28_r.n.fits	4	733	2458577,427	640	42,0703	0,0486
HD91316_20190403_v1800_47d28_s.n.fits	4	741	2458577,436	500	42,3546	0,0018
HD91316_20190403_v1800_47d28_t.n.fits	4	785	2458577,449	520	41,4635	0,0153
HD91316_20190403_v1800_47d28_u.n.fits	3	625	2458577,457	580	41,4441	0,0351
HD91316_20190404_v1800_47d28_a.n.fits	5	795	2458578,293	710	46,1003	0,0142
HD91316_20190404_v1800_47d28_b.n.fits	5	791	2458578,303	770	46,4603	0,0294
HD91316_20190404_v1800_47d28_c.n.fits	5	884	2458578,317	730	43,4716	0,0665
HD91316_20190404_v1800_47d28_d.n.fits	3	532	2458578,325	580	45,7191	0,0784
HD91316_20190404_v1800_47d28_e.n.fits	2	384	2458578,33	560	43,1934	0,0239
HD91316_20190404_v1800_47d28_f.n.fits	4	837	2458578,343	610	45,2322	0,0526
HD91316_20190404_v1800_47d28_g.n.fits	3	502	2458578,35	660	45,3583	0,0126
HD91316_20190404_v1800_47d28_h.n.fits	3	512	2458578,356	700	44,9961	0,0206
HD91316_20190404_v1800_47d28_i.n.fits	5	808	2458578,368	800	43,7653	0,0171
HD91316_20190404_v1800_47d28_j.n.fits	5	806	2458578,378	700	44,1019	0,0106

Lisa 2 – Vaatluste logi

Esimeses tulbas on faili nimi, teises on vaatlusaeg UT aja järgi, kolmandas on säritamisele kulunud aeg sekundites ning neljandas on vaateleja nimi.

IMAGE	DATE-OBS	EXPTIME	OBSERVER
HD91316_20180112_v1800_47d23_1.fits	13.01.2018 3:19	360	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_2.fits	13.01.2018 3:26	400	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_3.fits	13.01.2018 3:33	400	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_4.fits	13.01.2018 3:40	400	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_5.fits	13.01.2018 3:53	360	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_6.fits	13.01.2018 4:00	360	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_7.fits	13.01.2018 4:06	360	Anna Aret
HD91316_20180112_v1800_47d23_8.fits	13.01.2018 4:13	400	Anna Aret
HD91316_20180221_v1800_47d23_1.fits	21.02.2018 20:41	360	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_2.fits	21.02.2018 20:49	330	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_3.fits	21.02.2018 20:56	360	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_4.fits	21.02.2018 21:02	360	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_5.fits	21.02.2018 21:09	360	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_6.fits	21.02.2018 21:22	360	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_7.fits	21.02.2018 21:29	300	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_8.fits	21.02.2018 21:35	270	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_9.fits	21.02.2018 21:40	180	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_10.fits	21.02.2018 21:44	150	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_11.fits	21.02.2018 21:48	180	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_12.fits	21.02.2018 21:59	150	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_13.fits	21.02.2018 22:04	200	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_14.fits	21.02.2018 22:08	200	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_15.fits	21.02.2018 22:12	230	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_16.fits	21.02.2018 22:17	230	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_17.fits	21.02.2018 22:21	230	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_18.fits	21.02.2018 22:25	230	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_19.fits	21.02.2018 22:30	240	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_20.fits	21.02.2018 22:41	240	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_21.fits	21.02.2018 22:46	300	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_22.fits	21.02.2018 22:51	300	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_23.fits	21.02.2018 22:57	270	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_24.fits	21.02.2018 23:02	300	Ullar Kivila
HD91316_20180221_v1800_47d23_25.fits	21.02.2018 23:13	330	Ullar Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_1.fits	22.02.2018 21:04	200	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_2.fits	22.02.2018 21:10	240	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_3.fits	22.02.2018 21:14	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_4.fits	22.02.2018 21:19	260	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_5.fits	22.02.2018 21:24	260	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_6.fits	22.02.2018 21:29	220	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_7.fits	22.02.2018 21:42	220	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_8.fits	22.02.2018 21:46	220	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_9.fits	22.02.2018 21:50	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_10.fits	22.02.2018 21:54	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_11.fits	22.02.2018 21:58	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_12.fits	22.02.2018 22:03	215	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_13.fits	22.02.2018 22:07	220	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_14.fits	22.02.2018 22:19	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_15.fits	22.02.2018 22:23	240	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_16.fits	22.02.2018 22:28	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_17.fits	22.02.2018 22:32	240	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_18.fits	22.02.2018 22:37	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_19.fits	22.02.2018 22:41	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_20.fits	22.02.2018 22:45	225	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_21.fits	22.02.2018 22:57	220	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_22.fits	22.02.2018 23:01	230	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_23.fits	22.02.2018 23:05	240	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_24.fits	22.02.2018 23:09	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_25.fits	22.02.2018 23:14	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_26.fits	22.02.2018 23:18	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_27.fits	22.02.2018 23:23	250	U. Kivila

HD91316_20180222_v1800_47d23_28.fits	22.02.2018 23:27	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_29.fits	22.02.2018 23:39	240	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_30.fits	22.02.2018 23:43	240	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_31.fits	22.02.2018 23:48	245	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_32.fits	22.02.2018 23:52	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_33.fits	22.02.2018 23:57	260	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_34.fits	23.02.2018 0:01	260	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_35.fits	23.02.2018 0:06	260	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_36.fits	23.02.2018 0:17	250	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_37.fits	23.02.2018 0:22	260	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_38.fits	23.02.2018 0:27	330	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_39.fits	23.02.2018 0:33	330	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_40.fits	23.02.2018 0:38	315	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_41.fits	23.02.2018 0:44	315	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_42.fits	23.02.2018 0:58	270	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_43.fits	23.02.2018 1:03	300	U. Kivila
HD91316_20180222_v1800_47d23_44.fits	23.02.2018 1:08	330	U. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_1.fits	04.03.2018 22:30	300	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_2.fits	04.03.2018 22:36	250	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_3.fits	04.03.2018 22:42	220	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_4.fits	04.03.2018 22:46	280	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_5.fits	04.03.2018 22:52	360	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_6.fits	04.03.2018 22:59	400	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_8.fits	04.03.2018 23:18	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_9.fits	04.03.2018 23:23	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_10.fits	04.03.2018 23:29	300	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_11.fits	04.03.2018 23:36	240	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_12.fits	04.03.2018 23:40	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_13.fits	04.03.2018 23:54	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_14.fits	04.03.2018 23:59	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_15.fits	05.03.2018 0:03	250	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_16.fits	05.03.2018 0:08	220	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_17.fits	05.03.2018 0:12	250	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_18.fits	05.03.2018 0:17	280	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_19.fits	05.03.2018 0:22	280	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_20.fits	05.03.2018 0:33	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_21.fits	05.03.2018 0:38	230	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_22.fits	05.03.2018 0:44	230	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_23.fits	05.03.2018 0:48	240	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_24.fits	05.03.2018 0:52	260	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_25.fits	05.03.2018 0:57	260	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_26.fits	05.03.2018 1:01	260	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_27.fits	05.03.2018 1:12	270	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_28.fits	05.03.2018 1:17	290	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_29.fits	05.03.2018 1:23	260	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_30.fits	05.03.2018 1:27	260	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_31.fits	05.03.2018 1:32	280	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_32.fits	05.03.2018 1:37	300	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_34.fits	05.03.2018 1:55	330	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_35.fits	05.03.2018 2:01	360	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_36.fits	05.03.2018 2:08	350	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_37.fits	05.03.2018 2:14	340	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_38.fits	05.03.2018 2:26	300	Ullar. Kivila
HD91316_20180304_v1800_47d23_39.fits	05.03.2018 2:33	600	Ullar. Kivila
HD91316_20180315_v1800_47d23_01.fits	15.03.2018 23:27	300	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_02.fits	15.03.2018 23:32	300	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_03.fits	15.03.2018 23:38	300	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_04.fits	15.03.2018 23:43	300	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_05.fits	15.03.2018 23:49	300	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_06.fits	15.03.2018 23:54	300	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_07.fits	16.03.2018 0:00	250	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_08.fits	16.03.2018 0:05	250	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_09.fits	16.03.2018 0:10	250	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_10.fits	16.03.2018 0:21	250	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_11.fits	16.03.2018 0:26	250	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_12.fits	16.03.2018 0:31	250	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_13.fits	16.03.2018 0:35	230	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_14.fits	16.03.2018 0:40	230	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_15.fits	16.03.2018 0:44	230	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_16.fits	16.03.2018 0:48	230	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_17.fits	16.03.2018 0:53	230	T. Eenmae
HD91316_20180315_v1800_47d23_18.fits	16.03.2018 0:57	230	T. Eenmae

HD91316_20190404_v1800_47d28_34.fits	04.04.2019 20:45	150	Anna Aret
HD91316_20190404_v1800_47d28_35.fits	04.04.2019 20:47	150	Anna Aret
HD91316_20190404_v1800_47d28_36.fits	04.04.2019 20:50	150	Anna Aret
HD91316_20190404_v1800_47d28_37.fits	04.04.2019 20:53	150	Anna Aret
HD91316_20190404_v1800_47d28_38.fits	04.04.2019 20:56	150	Anna Aret
HD91316_20190404_v1800_47d28_39.fits	04.04.2019 20:58	150	Anna Aret
HD91316_20190404_v1800_47d28_40.fits	04.04.2019 21:01	150	Anna Aret

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kertu Metsoja,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose *Pulsatsioonid sinistes ülihiidudes*, mille juhendaja on Anna Aret, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Kertu Metsoja

31.05.2019