

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS FAKULTĀTE

FIZIKAS NODAĻA

**JAUNU OGLEKĻA ZVAIGŽŅU MONITORINGS PIENA CEĻA  
GALAKTIKĀ**

BAKALaura DARBS

Autore: **Anna Bule**

Studenta apliecības Nr.: ab10220

Darba vadītājs: Dr.Phys. Ilgmārs Eglītis

RĪGA 2019

## **Anotācija**

Tika pētītas jaunatklātās oglekļa zvaigznes. Zvaigžņu spektrālie uzņēmumi tika iegūti Latvijas Universitātes Astronomijas Institūta Baldones Astrofizikas observatorijā ar Šmita teleskopa (80/120/240) divām CCD matricām. Pētījumā izmantotie attēli tika iegūti 2018. gada maijā no Cefeja zvaigznāja ar 320 sekunžu ekspozīciju. Tika noteiktas jaunatklāto C zvaigžņu koordinātas un krāsu indeksi J-K, balstoties uz 2MASS katalogu. Tika apskatīti 74 uzņēmumi ar vidēji 100 zvaigžņu spektriem katrā, no tiem izdalītas un analizēta 81 oglekļa zvaigzne, no kurām 10 var uzskatīt par jaunatklātām. Tika veikts attāluma salīdzinājums pētītajā debess apgabalā ar GAIA satelīta mērījuma datiem spožākajām C zvaigznēm.

Atslēgvārdi: oglekļa zvaigznes, Šmita teleskops, tuvais infrasarkanais diapazons, zemas izšķirtspējas spektrofotometrija.

## **Abstract**

Newly discovered carbon stars were investigated. Images of stellar spectrums were obtained with two Schmidt telescope (80/120/240) CCD cameras at Baldone Astrophysical observatory of the Astronomy Institute of the University of Latvia. The images used in research was obtained in May of 2018 from Cepheus constellation with 320 second exposure. Coordinates and J-K color indices of carbon stars were found using the 2MASS catalog. 74 images were examined each containing on average 100 stellar spectra. 81 carbon stars were isolated from the images from which 10 stars can be considered as newly discovered. The distances were compared with data from GAIA catalogue.

Keywords: carbon stars, Schmidt telescope, near infrared, low resolution spectrophotometry.

# SATURS

APZĪMĒJUMI .....	5
IEVADS .....	6
1. ZVAIGŽŅU RAKSTURLIELUMI .....	8
1.1 Redzamais zvaigžņu lielums .....	8
1.2 Absolūtais zvaigžņu lielums .....	8
1.3. Fotometriskās sistēmas.....	9
1.4. Krāsu indeksi.....	10
1.5. Efektīvā temperatūra .....	11
1.6. Attāluma noteikšana.....	11
1.6.1. Trigonometriskā paralakse .....	11
1.6.2. Cefeīdu metode .....	12
1.7. Nosarkums .....	12
2. ZVAIGŽŅU EVOLŪCIJA .....	13
2.1. Zvaigžņu klasifikācija .....	13
2.2. Hertšprunga-Rasela diagramma .....	13
2.3. Planetārie miglāji un protozvaigžņu veidošanās .....	16
2.4. Galvenās secības stadija.....	16
2.4.1 Augšējās galvenās secības zvaigznes .....	16
2.4.2 Apakšējās galvenās secības zvaigznes .....	17
2.4.3. Milžu stadija.....	18
2.4.4 Asimptotiskais milzu zars .....	19
2.4.5 Oglekļa zvaigznes .....	20
3. NOVĒROJUMU VEIKŠANA .....	21
3.1. Šmita teleskops un CCD kameru optiskā sistēma.....	21
3.2. Debess apgabalu izvēle un uzņēmumu iegūšana.....	21
4. NOVĒROJUMU DATU APSTRĀDE.....	22
4.3. Koordinātu noteikšana .....	24
4.2. Spektru apstrāde .....	26
4.4. Galaktiskā putekļu nosarkuma un starpzvaigžņu ekstinkcijas noteikšana .....	26
4.5. Absolūtā zvaigžņu lieluma $M_K$ noteikšana .....	26
4.6. Efektīvās temperatūras noteikšana.....	27

4.7. Attāluma noteikšana.....	28
5. REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	29
SECINĀJUMI.....	31
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	32
PATEICĪBAS.....	34
PIELIKUMI .....	35
1. Pielikums. Jaunatklāto zvaigžņu spektri .....	35
2. Pielikums. Datu apstrādes starprezultāti un kļūdas .....	40
3. Pielikums. Konferenču tēzes .....	41

## APZĪMĒJUMI

$M_{\odot}$  - Saules masa

pc - parseks

$m$  - zvaigžņu lielums

AMZ – asimptotiskais milzu zars

E- apgaismojums [lx]

$m$  – redzamais zvaigžņu lielums [ $m$ ]

$M$  – absolūtais zvaigžņu lielums [ $m$ ]

CGCS - Catalogue of Galactic Carbon stars

L- zvaigznes starjauka [ $W/m^2$ ]

ly - gaismas gads

f- zvaigznes plūsma [ $W/m^2$ ]

IRAS – Infrared Astronomy Satellite

GAIA – ES kosmiskā observatorija

$r$  – attālums līdz zvaigžnei

$T_{\text{eff}}$  – efektīvā temperatūra [K]

## IEVADS

Līdz ar tehnoloģiju attīstību astronomiskajos pētījumos pasaulē arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta infrasarkanā diapazona objektiem, jo to izpēte var sniegt atbildes uz daudziem līdz šim neatbildētiem jautājumiem. Starpzvaigžņu putekļi, tumšie miglāji bieži vien aizsedz ceļu redzēt Visuma objektus redzamajā elektromagnētiskā starojuma diapazonā, tāpēc citu diapazonu elektromagnētiskie starojumi sniedz informāciju par objektu, ko redzamais diapazons nespēj.

Oglekļa (C) zvaigznes ir neparastas, vēla tipa sarkanas milzu zvaigznes- mainzvaigznes. Tās ir vienas no sarkanākajām zvaigznēm debesīs, un jau kopš piecdesmitajiem gadiem ir pievērsušas astronomu uzmanību. Atšķirībā no skābekļa secības sarkanajām M spektra klases zvaigznēm, to atmosfērās ir lielāks oglekļa saturs nekā skābekļa, un viss skābeklis tajās ir saistīts oglekļa savienojuma CO veidā. C zvaigžņu spektros novēro stipras oglekļa savienojumu molekulu absorbcijas joslas – C2, CO, CN. Diezgan liela daļa oglekļa zvaigžņu ir ļoti vājas vai nav novērojamas redzamajā gaismā, un ir infrasarkanā diapazona objekti.

Tiek uzskatīts, ka oglekļa zvaigžņu izvietojums ir saistīts ar Piena Ceļa galaktikas zaru struktūru. Ir arī izvirzīta hipotēze, ka Piena Ceļa galaktikai ir vēl viens zars, jo novēro tālākas M tipa un oglekļa zvaigznes nekā ārējais galaktikas zars. Matērijas noplūde no oglekļa zvaigznēm veido apzvaigžņu putekļu oglekli bagātu apvalku - kosmosa apgabalus ar svarīgā dzīvībai ķīmiskā elementa lielu koncentrāciju.

Latvijas universitātes Astronomijas Institūts uztur Piena Ceļa oglekļa zvaigžņu katalogu (CGCS-Catalogue of Galactic Carbon stars), ņemot datus no Baldones observatorijas Šmita teleskopa iegūtajiem zemas izšķirtspējas multispektru attēliem. Līdz šim ir zināmas aptuveni 7000 oglekļa zvaigznes, no kurām ap 400 atklātas Baldones Observatorijā. Jaunu oglekļa zvaigžņu atklāšana var dot mums labāku ieskatu Piena Ceļa struktūrā, jaunu informāciju par zvaigžņu evolūcijas beigu stadijām. Darba mērķis ir dot ieguldījumu augstākminēto hipotēžu pārbaudīšanā, atklājot jaunas oglekļa zvaigznes un uzlabojot datu apstrādes procesu.

Darba izstrādes galvenie uzdevumi bija

- jaunu, neregistrētu oglekļa zvaigžņu meklēšana Šmidta teleskopa CCD kameru uzņemtajos FITS formāta attēlos, izmantojot Maxim DL programmu;
- to koordinātu noteikšana, un tās automatizēšana izmantojot fotogrāfiju piesaistes koordinātēm (*plate solving*) rīku [astrometry.net](http://astrometry.net), kas izmanto attēlu astrometriskos metadatus, un to precizēšana, izmantojot Aladin programmu un 2 MASS katalogu;
- zvaigžņu infrasarkanā krāsu indeksu noteikšana;

- zvaigžņu efektīvās temperatūras noteikšana;
- attāluma noteikšana un tā noteikšanas metožu salīdzinājums, izmantojot zvaigžņu paralakses no GAIA kataloga un no N. Maurona iegūto Lielā Magelāna Mākoņa sakarību [11] metodi;
- spektru apgriešana, normēšana, kalibrēšana Wolfram Mathematica ar turpmāko plānu vēlāk to pašu algoritmu citā programmēšanas valodā padarīt par programmu ar lietotāju interfeisu.

# 1. ZVAIGŽŅU RAKSTURLIELUMI

## 1.1 Redzamais zvaigžņu lielums

Optiskā astronomija tika praktizēta vēl ilgi pirms bija izveidotas un pieejamas kvantitatīvu mērījumu metodes. Zvaigžņu lielumi tika fiksēti katalogos jau vairāk nekā 2000 gadus atpakaļ. Zvaigznes tika klasificētas zvaigžņu lielumos, piešķirot 1. zvaigžņu lielumu spožākajām zvaigznēm un 6. zvaigžņu lielumu vājākajām ar aci redzamajām zvaigznēm, ko ieviesa sengrieķu astronoms Hiparhs [2]. Hiparha skalu uzlaboja angļu astronoms N. R. Pogsons, un mūsdienās šī skala ir paplašināta uz abām pusēm. Šī skala ir piemērota redzes psihofizioloģiskajām īpašībām, jo gaismas sajūtas maiņa iet proporcionāli radiācijas plūsmas intensitātes logaritmam nevis lineāri. Zinot apgaismojumu, ir iespējams aprēķināt zvaigžņu lielumu, izmantojot Pogsona formulu

$$m_2 - m_1 = -2.5 \lg \left( \frac{E_1}{E_2} \right),$$

kur  $E_1$  un  $E_2$  ir divu zvaigžņu radītais apgaismojums  $I_x$  un  $m_1$  un  $m_2$  – zvaigžņu redzamais spožums zvaigžņu lielumos  $m$  [1]. Lai atrastu kādu konkrētu zvaigžņu lielumu, kā nulles atskaites punkts šai sistēmai tika izvēlēts A0 zvaigznes Vegas spožums, kas ir pieņemts kā  $0.00^m$ . Pēc tam jebkuras citas zvaigznes redzamais zvaigžņu spožums ir atkarīgs no Vegas un konkrētās zvaigznes apgaismojuma attiecības

$$m_1 = -2.5 \lg \frac{E_1}{E_{Vega}} \quad [3].$$

## 1.2 Absolūtais zvaigžņu lielums

Absolūtais zvaigžņu lielums no redzamā zvaigžņu lieluma atšķiras ar to, ka redzamais lielums parāda, cik spoža ir zvaigzne, skatoties uz to no Zemes, bet absolūtais zvaigžņu lielums dod iespēju salīdzināt zvaigžņu lielumus savā starpā, jo tas ir lielums, kāds būtu zvaigznei, ja tā būtu 10 pc attālumā. Lai izvestu objekta patieso lielumu, ir jāizmēra redzamais zvaigžņu lielums, jāzin attālums līdz objektam un kosmisko putekļu ietekme [3]. To var izteikt no Pogsona formulas

$$M = m + 5 - 5 \lg r \quad [1].$$

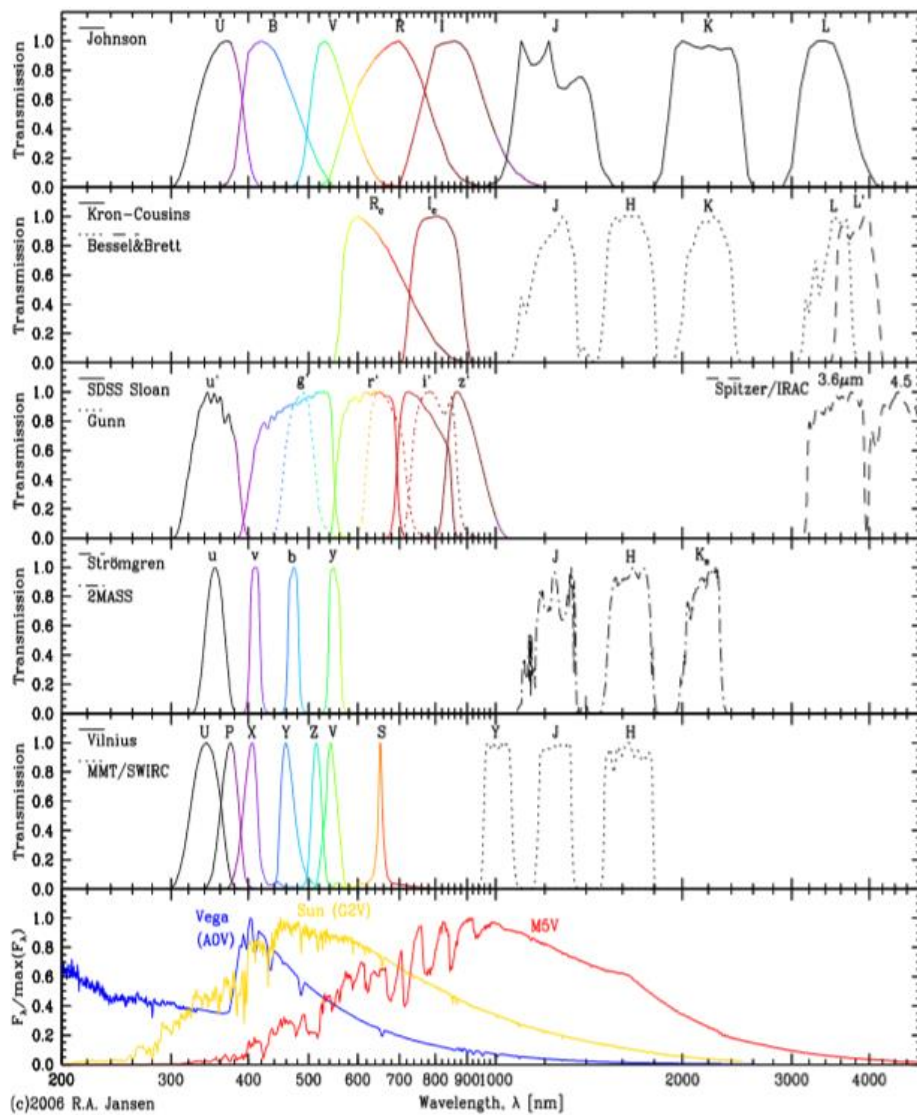
Šī formula ir ļoti noderīga, jo, zinot absolūto  $M$  un redzamo  $m$  zvaigžņu lielumu, ir iespējams noteikt attālumu līdz zvaigznei  $r$ .

### 1.3. Fotometriskās sistēmas

Par fotometrisko sistēmu sauc caurlaidības joslu jeb filtru sistēmas, kas ir jutīgas pret kādu konkrētu radiācijas daudzumu. Mūsdienās pastāv ap 200 dažādām fotometriskajām sistēmām [14]. Tās var būt platjoslu, vidēju joslu vai šauru joslu sistēmas. Viena no visplašāk izmantotajām daudzkrāsu zvaigžņlielumu sistēmām, kas tiek izmantota šajā darbā, ir UBV platjoslu sistēma, kuru agrīnajos 1950ajos gados izveidoja Harolds L. Džonsons un Viljams V. Morgans. Zvaigžņu lielumus mēra caur trim filtriem U(ultraviolet), B( blue), V (visual), kuru joslas centrētas uz 365, 440 un 550 nm. Zvaigžņu lielumus, novērotus caur konkrētajiem filtriem attiecīgi sauc par U, B vai V zvaigžņu lielumiem. Vēlāk UVB sistēma tika paplašināta ar sarkano R un infrasarkanā I joslu, jo tika radīti jauni, jutīgi uz šiem reģioniem, detektoru, kā, piemēram, CCD, veidojot UBVR sistēmu, kas ir diapazonā no 310 nm līdz 900nm. Šie paplašinājumi nav tik labi standartizēti, kā UVB, taču tie iekļauj R un I tālajā sarkanajā un J, H, K, L un M infrasarkanajā [4, 13].

Johnson	U	B	V	R	I	J	H	K	L	M
$\lambda_{\text{eff}}$ (nm)	367	436	545	638	797	1220	1630	2190	3450	4750
$\Delta\lambda$ (nm)	66	94	85	160	149	213	307	39	472	460

1.1.att. Džonsona paplašinātās sistēmas viļņu garumi un filtru platumi [2]



1.2.att. Dažādu fotometrisko filtru pārskats salīdzinājumā ar A0 zvaigzni (Vegu), G2V(Sauli) un M5V zvaigzni[5]

### 1.4. Krāsu indeksi

Krāsu indekss ir zvaigznes krāsas kvantitatīvs mērījums, kas ir definēts kā zvaigžņu lielums starp diviem atšķirīgiem efektīvajiem viļņu garumiem. Krāsu indekss nav atkarīgs no zvaigznes attāluma. Temperatūru atšķirību dēļ spektrālās enerģijas (Planka) līkņu maksimumi ir dažādi, tāpēc karstas zvaigznes ir zilgas un aukstas zvaigznes ir sarkanīgas [13].

Izmantojot platjoslu filtru, mēs varam definēt krāsu indeksu starp diviem fotometriskās sistēmas zvaigžņu lielumiem jeb

$$B - V = m_b - m_v$$

definē  $B - V$  krāsu indeksu. No zvaigžņulielumu vienādojuma var teikt, ka zvaigžņu lielumu starpība atbilst plūsmas attiecībai

$$B - V = m_b - m_v = -2.5 \log\left(\frac{f_b}{f_v}\right) + const.$$

Konstante vienādojumā parādās atkarībā no tā, kā tiek definēts nulles atskaites punkts krāsu sistēmā. Vēsturiski tās ir A klases zvaigznes, kā jau iepriekš minēts, ieskaitot arī Vega jeb to krāsa  $B - V = 0$  [3].

## 1.5. Efektīvā temperatūra

Zvaigznes var modelēt kā gravitējošas gāzu sfēras, kas atrodas hidrostatiskā līdzsvarā un kuras darbina kodolreakcijas un gravitācijas enerģijas atbrīvošana [8]. Viegļāki elementi tiek pārveidoti smagākos termokodolprocesos, kā rezultātā rodas enerģija. Ārējais zvaigžņu veidols pārsvarā tiek raksturots ar tā rādiusa  $R$  un temperatūras  $T$  parametriem. Zvaigznes parametri lielākoties ir atkarīgi no tās masas  $M$ . Pirmajā tuvinājumā zvaigznes emisijas spektrālais enerģijas sadalījums var tikt raksturots ar melna ķermeņa spektru. Zvaigznes starjanda  $L$  ir enerģijas daudzums, izstarots laika vienībā. Ja zvaigznes spektrs tiek aprakstīts ar Planka spektru, starjanda būs atkarīga no temperatūras un rādiusa, balstoties uz

$$L = 4\pi R^2 \sigma_{SB} T^4,$$

kur  $\sigma_{SB}$  Stefana-Bolcmaņa konstante  $5.67 \cdot 10^{-5} \text{erg cm}^{-2} \text{K}^{-4} \text{S}^{-1}$ .

Zvaigznes temperatūru var noteikt no tās krāsas. No plūsmas attiecības starp diviem atšķirīgiem viļņu garumiem, vai, ekvivalenti, no krāsu indeksa

$$X - Y \equiv m_x - m_y$$

divos filtros  $X$  un  $Y$  temperatūru  $T_c$  nosaka tā, it kā  $T_c$  un melnam ķermenim būtu tas pats krāsu indekss.  $T_c$  tiek saukta par zvaigznes krāsas temperatūru (*color temperature*). Ja zvaigznes spektrs ir Planka spektrs, tad var pieņemt, ka  $T_c = T_{\text{eff}}$  [2].

## 1.6. Attāluma noteikšana

### 1.6.1. Trigonometriskā paralakse

Trigonometriskās paralakses metode ir balstīta uz zvaigžņu šķietamo gada kustību, ko izraisa Zemes orbitālā kustība. Tuvākās zvaigznes šķietami kustās attiecībā pret tālākām zvaigznēm. Paralakse ir puse no leņķa starp iedomātām līnijām, kas novilkta no abiem novērojuma punktiem uz novērojamajām zvaigznēm (kas paralakses efekta dēļ krustojas). Izmantojot trigonometriju, no tā ir iegūta vienkārša sakarība attāluma iegūšanai  $d = \frac{1}{p}$ . Paralaksi mēra parsekos un leņķi mēra arksekundēs.

Attālumi ir nosakāmi līdz 100 pc, taču Hipparcos un GAIA satelītiem iegūtie dati pakāpeniski pārkāpj šo limitu. Tālākajā darbā tiks salīdzinātas attālumu noteikšanas metodes, izmantojot iegūtās paralakses no GAIA pret Lielā Magelāna Mākoņa Mauron iegūto sakarību [4].

### **1.6.2. Cefeīdu metode**

Cefeīdas ir spožas, pulsējošas mainzvaigznes, kuru spožuma maiņas periods cieši korelē ar viņu absolūto lielumu. Tuvākajām cefeīdām izdodas veikt spožuma maiņas perioda sakarības ar absolūto lielumu kalibrāciju piesaistot paralakses mērījumus. Attāluma skalu palīdz pagarināt tas apstākļi, ka cefeīdas ir novērojamas gan Mazajā, gan Lielajā Magelāna Mākoņos.

### **1.7. Nosarkums**

Starpzvaigžņu vide ir pilna ar kosmiskajiem putekļiem, kas absorbē un izkļiedē gaismu, kas novērojamo gaismu padara sarkanāku nekā tā bija tikko emitēta. Šis starpzvaigžņu nosarkums ir atkarīgs no viļņa garumiem, tāpēc ietekmē krāsu indeksus. Par krāsu pārpalikumu sauc starpību novēroto un sākotnējo krāsu indeksu.

## 2. ZVAIGŽŅU EVOLŪCIJA

### 2.1. Zvaigžņu klasifikācija

Zvaigžņu spektrus klasificē, balstoties uz klātesošām atomu (aukstākās zvaigznēs arī molekulārajām) absorbcijas spektrālīnijām. Balstoties uz līniju intensitātēm un attiecībām, tika

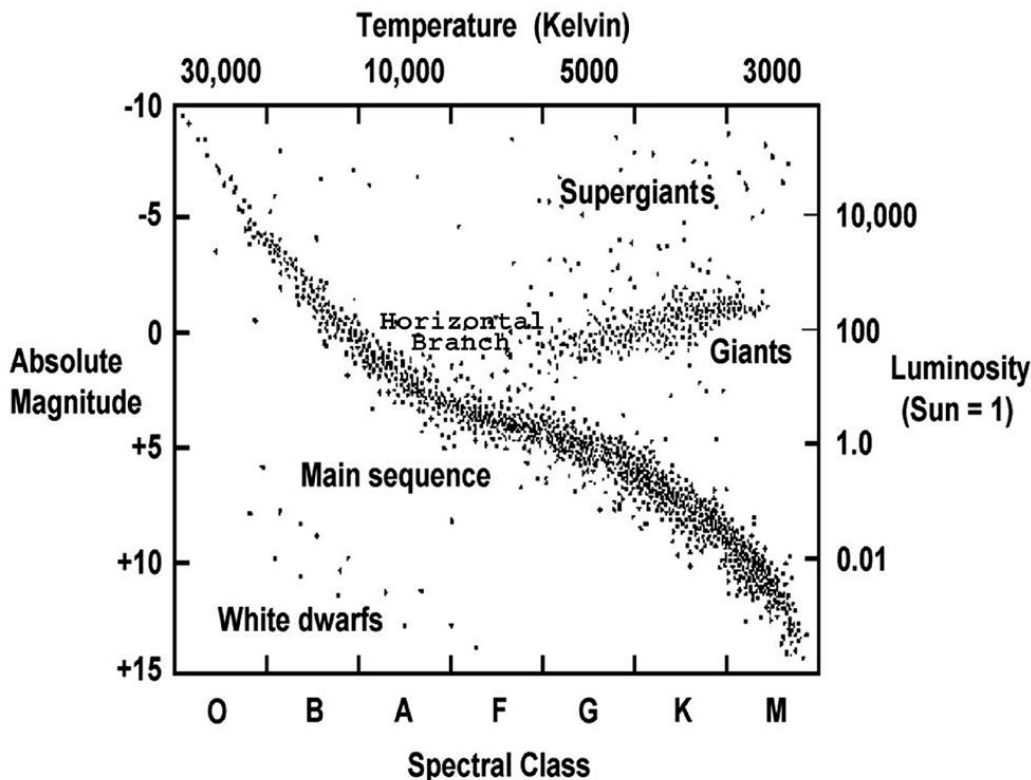
O - B - A - F - G - K - M  
                  / S  
                  \ R - N

2.1. att. Harvardas klasifikācija zvaigžņu spektriem

ieviesta Harvardas spektrālā klasifikācija. Spektrālās klases secīgi apzīmē ar burtiem – O, B, A, F, G, K, M (kas sadalās vēl R, N un S), kur O zvaigznes ir karstas zvaigznes ap 50 000 K temperatūru, bet K un M zvaigznes ir daudz aukstākas - ap 3500 K. Katra spektrālā klase ir sadalīta vēl smalkākās 10 apakšklasēs numurējot tās no 0 līdz 9 [2]. Spektrālās klases R un N mūsdienās parasti tiek apvienotas C klasē. [2, 12].

### 2.2. Hertšprunga-Rasela diagramma

Herčprunga-Rasela diagramma ir viens no lielākajiem sasniegumiem zvaigžņu evolūcijas pētniecībā, kas ir svarīgs zvaigžņu populāciju un zvaigžņu evolūcijas izpētē. Ap 1910. gadu



2.2. att. Hertšprunga-Rasela diagramma [17]

Ejnars Hertšprungs un Henrijs Noriss Rasels pētīja saistību starp zvaigžņu starjaudu un temperatūru.

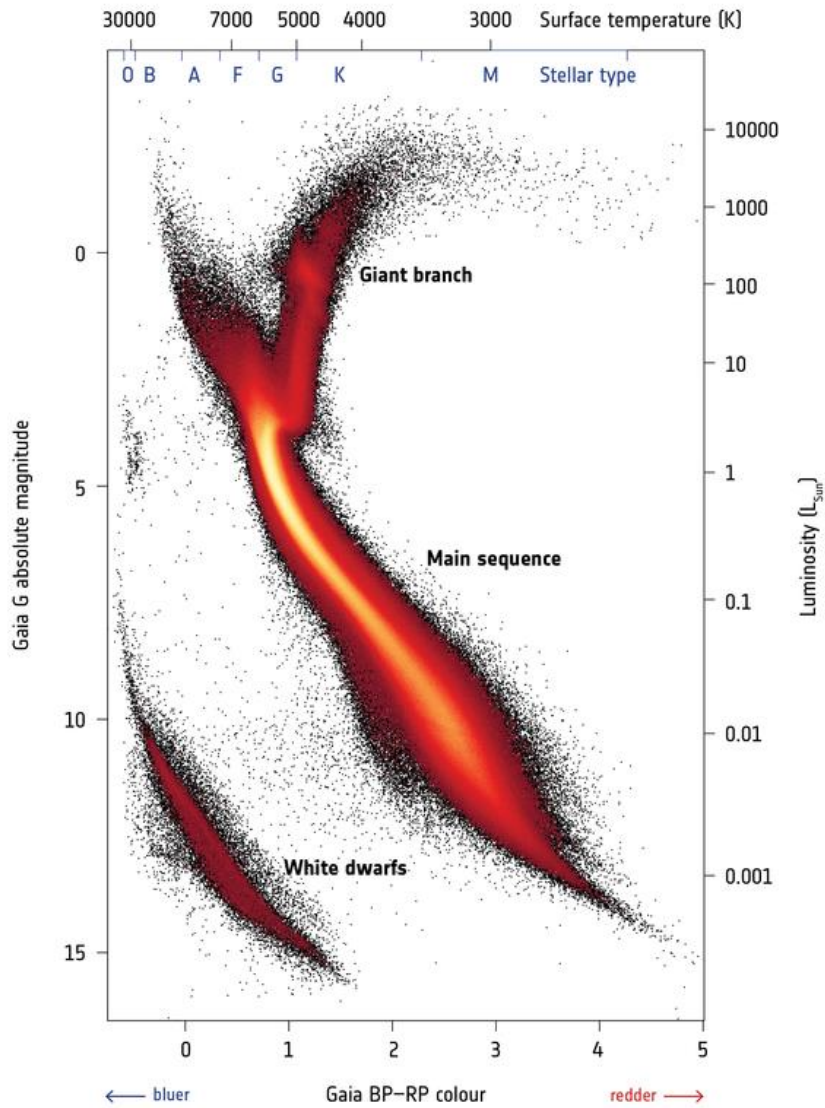
Šie abi zinātnieki darbojās individuāli – Hertšprings uzzīmēja diagrammu zvaigžņu kopām un Rasels tuvākajām zvaigznēm, kas bija pietiekami tuvu precīziem paralakses mērījumiem. Tika atklāts, ka zvaigznes to starjaudas atkarībā no temperatūras diagrammā sarindojas noteiktā kārtībā, nevis haotiski.

Tika izveidota diagramma, kas klasificē zvaigznes pēc to starjaudas, spektrālā tipa, krāsas, temperatūras un evolūcijas stadijas.

Zvaigznes, kuras atrodas stabilā ūdeņraža degšanas stadijā atrodas galvenajā secībā. Kad zvaigznes kodolā beidzas ūdeņradis, tā pamet galvenās secības stadiju un pārvietojas uz sarkano milžu zaru, kas ir lielas un spožas zvaigznes.

Masīvākās zvaigznes var kļūt arī par sarkanajiem supermilžiem, kas ir vēl spožāki un aukstāki un atrodas diagrammas augšējā labajā stūrī. Apakšējā kreisajā stūrī atrodas baltie punduri, kas ir karsti, bet blāvi [12].

## → GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



2.3.att. Uz GAIA satelīta reāliem datiem balstīta Hertšprunga-Rasela diagramma, veidota no gandrīz 4 miljoniem zvaigžņu 500 gaismas gadu attāluma diapazonā [15]

### 2.3. Planetārie miglāji un protozvaigžņu veidošanās

Milzu molekulārie mākoņi ir vieni no masīvākajiem objektiem Piena Ceļa galaktikā. To temperatūra ir 10-20 K, masa var būt līdz pat 3 miljoniem  $M_{\odot}$  un sastāvs, galvenokārt, ir molekulāra gāze. Tiem ir sarežģīta šķiedrveidīga struktūra. Mākoņos ir auksti, blīvi pikveidīgi reģioni, kuru iekšā ir vēl blīvāki un mazāki kodoli, kuri ir zvaigžņu pirmavoti. Rodas protozvaigzne, kura gravitācijas rezultātā akumulē ap sevi papildus vielu no apkārt esošā molekulārā mākoņa. Pagaidām redzamā gaisma nespēj iziet cauri šim tumšajam miglājam tās priekšā, un to var novērot tikai ar infrasarkanajiem vai radio teleskopiem. Tad sāk izlauzties zvaigsnēs vējš, kurš pagaidām ir piesaistīts diskam un iziet cauri tikai poliem. Pakāpeniski vējš aiznes mākoņa vielu prom un aptur jaunas vielas akumulāciju, kā rezultātā jaunā zvaigzne kļūst novērojama [2].

### 2.4. Galvenās secības stadija

Galvenās secības fāze ir evolūcijas stadija, kurā kodolā degošā ūdeņraža izlaistā enerģija ir galvenais zvaigžņu enerģijas avots. Šajā stadijā zvaigzne atrodas līdzsvarā, un tās struktūra mainās tikai kodolprocesu pakāpeniski izmainītā ķīmiskā sastāva dēļ. Galvenās secības fāze ir ilgākā fāze zvaigznes evolūcijā. HR diagrammā redzams, ka šīs fāzes apgabals ir blīvi piepildīts ar zvaigznēm, jo īpaši tām, kas ir vieglākas masas [4].

Ūdeņraža degšanas mehānisms ir kodolsintēze, kur 4 protoni pārvēršas vienā He-4 kodolā. Enerģija, kas rodas šajā procesā (26.731 MeV) ir gandrīz 10 reizi lielāks par pārējo zvaigžņu kodolprocesu enerģiju, tādējādi ūdeņraža sintēze hēlijā ir ļoti efektīvs enerģijas iegūšanas process, skatoties no zvaigžņu enerģijas "budžeta". Zvaigžņu "degviela" - ūdeņradis tiek iztērēts lēnāk, nekā citās evolucionārās fāzēs. Centrālā ūdeņraža degšanas fāze var notikt caur diviem reakciju procesiem- pp (protona-protona) ķēdi un CNO (carbon-nitrogen-oxigen) ciklu. Parasti abi šie procesi norit vienā laikā, tikai ar dažādu efektivitāti, atkarībā no zvaigznes masas [8].

#### 2.4.1 Augšējās galvenās secības zvaigznes

Masīvās augšējās galvenās secības zvaigznes ir retāk izplatītas to īsāku galvenās secības mūžu dēļ. Ja galvenās secības zvaigznes masa kļūst pārāk liela, tad gravitācijas spēks vairs nespēj pretoties starojuma spiedienam. Zvaigznes, masīvākas par augšējo limitu, nespēj formēties, kontrakciju dēļ tās vairs nespēj pievienot sev papildus masu. Teorētiski aprēķinātā limita masa ir aptuveni  $120 M_{\odot}$ , bet tiek apgalvots, ka vismasīvākās novērotās zvaigznes ir ap  $150 M_{\odot}$ . Šīs zvaigznes ir tik milzīgas un karstas, ka spēj iniciēt CNO cikla procesus. [4]. Tiek uzskatīts, ka zvaigznēs ar centrālo temperatūru virs 15 miljoniem Kelvinu, oglekļa cikls pārņem

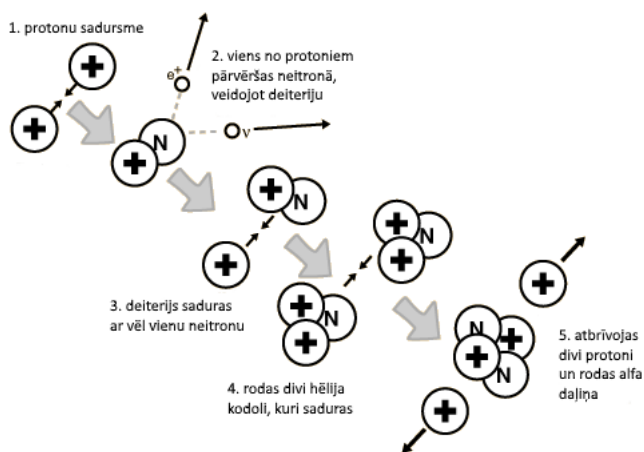
dominējošo lomu pār ūdeņraža ciklu. Galvenā oglekļa cikla būtība ir protonu pievienošana, taču, kad ogleklis-12 sintēzē ar protonu, lai veidotu slāpekli-13, viens no protoniem sabrūk, emitējot pozitronu un neitrino, veidojot oglekli-13. Divas turpmākās protonu satveršanas veido slāpekli-14 un skābekli-15. Vēl viens sabrucis neitrons pamet slāpekli-15, un vēl viena protona satveršana rada skābekli-16, kas emitē alfa daļiņu, lai atgrieztos pie oglekļa-12 un atkārtotu ciklu. Šī noslēguma reakcija ir galvenais zvaigznes enerģijas avots. Kamēr Saulē šis cikls ir diezgan maznozīmīgs, Sīriusā, kas ir uz pusi smagāks par Sauli, šis process ir galvenais enerģijas avots [6].



2.4.att. CNO sintēzes cikls[6]

#### 2.4.2 Apakšējās galvenās secības zvaigznes.

Pastāv arī apakšējā limita galvenās secības zvaigznes. Zvaigznes ar  $0.08 M_{\odot}$  nekad nekļūst pietiekami karstas, lai sāktos ūdeņraža degšana. Šie brūnie punduri, kuru temperatūra ir 1000-2000 K, spēj ģenerēt zināmu starjaudu no deuterija degšanas, bet šis enerģijas avots strauji tiek izsmelts. Tajās notiek protonu-protonu ķēdes procesi. Šis process ir Saules un visu pārējo zvaigžņu, aukstāku par 15 miljoniem Kelvīnu, galvenais enerģijas avots. P-p ķēde nav tik stipri atkarīga no temperatūras, kā CNO cikls, tāpēc enerģija rodas lielākos apgabalos. Rezultātā kodols nekļūst konvektīvi nestabils, bet paliek izstarojošs. [4].



2.5. att. p-p process [7]

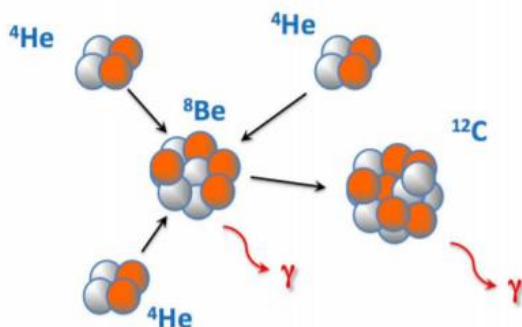
Zemās temperatūras dēļ, apakšējo galvenās secības zvaigžņu ārējie slāņi ir necaurredzami. Radiācija nespēj vadīt enerģiju, un iestājas konvekcija. Pretēji augšējām galvenās secības zvaigznēm, zemākajām ir pretēja struktūra - centrs izstarojošs, bet ārējais apvalks- konvektīvs [4].

### 2.4.3. Milžu stadija

Galvenās secības noslēgums ir līdz ar ūdeņraža izdegšanu zvaigznes kodolā. Zvaigzne ieiet stadijā, kur ūdeņradis deg apvalkā ap hēlija kodolu, kā rezultātā palielinās hēlija kodola masa. Tas noved pie zvaigznes apvalka izplešanās un H-R diagrammā zvaigzne pārvietojas horizontāli uz labo pusi. Līdz ar konvektīvā apvalka palielināšanos, zvaigzne pietuvojas Hajaši trekam. Tā vairs nevar turpināt pārvietoties uz labo pusi, un kopš tās rādiuss sācis palielināties, zvaigzne pārvietojas uz augšu pa Hajaši treku uz lielāku starjaudu. Degošā ūdeņraža apvalks uzkarst, kodolreakcijas rada arvien vairāk enerģijas. Tādejādi tā kļūst par sarkano milzi, kas veido asimptotisko milzu zaru [4]. H-R diagrammā tā pārvietojas uz zemākas temperatūras un augstākas starjaudas reģionu. 500 miljonu gadu laikā Saules masas zvaigzne iegūst 1000 reizes lielāku starjaudu nekā Saule, virsmas temperatūru aptuveni 3000 K un rādiusu 100 reizes lielāku par Saules rādiusu.

Sarkanajam milzim ir stipri atšķirīgāka struktūra nekā galvenās secības zvaigznei. Lielākā daļa tās masas ir koncentrēta 500 miljonu K karstā, blīvā kodolā, kas ir vien dažus Zemes rādiusus liels. Sarkanā milža kodols ir tik blīvs, ka tas vairs neuzvedas kā parasta gāze. Elektroni kodolā kļūst par deģenerētu gāzi, kas šajā stadijā rada deģenerētas gāzes spiedienu, kas atkarīgs tikai no blīvuma, nevis temperatūras. Tas atļauj kodolam iegūt spiedienu, kas ir spējīgs turēt līdzsvarā tā gravitācijas spēku bez kodolsintēzes reakciju norises tajā. Kodola kontrakciju rezultātā tā temperatūra pieaug un sasniedz minimumu, lai iedarbinātu trīskāršo alfa procesu.

Hēlija kodols ir deģenerēts. Sākoties trīskāršajam alfa procesam, kodolprocesu rezultātā ģenerētais siltums kondukcijas veidā strauji izplatās pa visu kodolu. Deģenerētam kodolam



2.6.att. Trīskāršais alfa process [17]

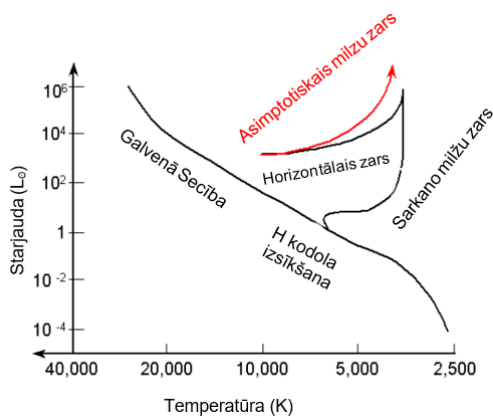
temperatūras pieaugums spiediena pieaugumu deģenerētā gāzē neizraisa, tāpēc kodols neizplešas. Tā vietā temperatūras pieaugums palielina trīskāršā alfa procesa norisi, ģenerējot arvien vairāk enerģijas un paaugstinot temperatūru. Sasniedzot 350 miljonus K, elektroni vairs nav deģenerēti un kodols izplešas un atdziest. Zvaigznes starjauņa un rādiuss nedaudz samazinās un

zvaigzne pavisam nedaudz H-R diagrammā pārvietojas uz leju un pa kreisi. Trīskāršais alfa process pakāpeniski pārvērš kodola saturu ogleklī. Kodolā reakcijas izbeidzas, bet turpinās apkārt tam, kas liek zvaigznei izplesties un atkal kļūt par sarkano milzi.

Trīskāršā alfa procesa norise ir ļoti atkaraīga no temperatūras izmaiņām – degošais hēlija apvalks padara zvaigzni nestabilu. Zvaigznei notiek nelielas kontrakcijas. Temperatūras un enerģijas ražošana, kā arī spiediens konkrētajā slāni palielinās. Spiediena pieaugums kompensē gravitāciju un zvaigznes ārējie slāņi izplešas, kas noved pie temperatūras, spiediena un enerģijas ražošanas samazināšanās. Zvaigzne saraujas, enerģijas ražošana palielinās, zvaigzne izplešas un cikls atkārtojas. Zvaigzne pulsē lēni – reizi desmitos tūkstošu gados. Pulsēšana pakāpeniski kļūst biežāka un nestabilāka [13].

#### 2.4.4 Asimptotiskais milzu zars

Asimptotiskais milzu zars ir pēdējā evolūcijas stadija mazas un vidējas masas ( $0.8-8 M_{\odot}$ ) zvaigznēm, kuras darbina degšanas kodolprocesi. Tām raksturīga intensīva masas zaudēšana,



2.7. att. Milzu zvaigžņu atzari Hertšprunga Rasela diagrammā

kas apkārt būvē putekļu un gāzu apvalku, dodot ieguldījumu galaktiku evolūcijā [10]. Šai evolūcijas fāzei raksturīgi ūdeņraža un hēlija degšanas kodolprocesu plānos apvalkos virs oglekļa un skābekļa elektronu deģenerētā kodola, bet masīvākām AMZ zvaigznēm virs oglekļa, neona un magnija kodola. Tie ir rekurenti kodoltermiski uzplaisnījumi, kas ierosina konvektīvu sajaukšanās procesu kompleksas sērijas, kas rada bagātīgu vidi

jauniem kodolprocesiem un to produktiem. AMZ kodolsintēzes procesiem ir nozīmīga loma, pētot ķīmisko elementu pašus pirmssākumus [9].

AMZ zvaigznes iedala 3 lielās grupās – M, S un C zvaigznēs, atkarībā no to spektra klases. M zvaigznes uzrāda TiO un VO molekulārās joslas, S zvaigznes – ZrO un LaO joslas, un C zvaigznes – CN un C<sub>2</sub> joslas [20].

#### 2.4.5 Oglekļa zvaigznes

Hēlija apvalka uzplaiksnījumu laikā pulsējošā asimptotiskā milzu zara evolūcijas periodā konvektīvajam apvalkam notiek kontrakcija, kā rezultātā tas izsviež ārā bagātīgo ar trīskāršo alfa procesu svaigi sintezēto oglekļa matēriju. Tas piešķir tām unikālu atmosfēras ķīmisko sastāvu, kur C/O attiecība pārsniedz 1 un atklāj stipras C<sub>2</sub>, CO, CN absorbcijas joslas. Oglekļa izsviešana virspusē stipri atkarīga no kopējās zvaigznes masas un starjaudas un apvalka sastāva.

Dažām oglekļa zvaigžņu grupām starjauda ir stipri zemāka par vēlinā AMZ zemāko starjaudas limitu, un pirms AMZ stadijas oglekļa sintēze nenotiek. Šīm zvaigznēm, acīmredzami, ka šis scenārijs nestrādā. Tiek uzskatīts, ka šīs zemās starjaudas oglekļa zvaigznes ir ieguvušas savu oglekli un smagos s-procesa elementus no masas pārnesei tuvās binārajās sistēmās no post AMZ komponentes, kurai bija lielāka masa un kura sasniedza vēlīno stadiju.

Oglekļa savienojumu līnijas padara nesaprotamas daudzas spektra īpašības šajās zvaigznēs, tāpēc tās ir grūti iedalīt tādā pašā veidā kā iedala pārējās jeb ar skābekli bagātās zvaigznes. Vēsturiski ir bijuši daudz un dažādi mēģinājumi tās iedalīt, kas iekļauj R, N, CH, HdC un J oglekļa zvaigžņu tipus. Visvairāk izmantojamās ir Henrija Drapera kataloga (Henry Draper) un Morgana-Kīnana (Morgan-Keenan) klasifikācijas.

Vēsās R un N zvaigznes tiek uzskatītas klasiskām oglekļa zvaigznēm. N zvaigznēm violetā spektra daļa ir grūti saskatāma, bet R zvaigznēm ir siltāka temperatūra un zilā ar violeto daļu ir labāk saskatāma. CH zvaigznes ir maz metālu saturošas, liela ātruma zvaigznes ar paaugstinātu s-procesa elementu saturu. Tās atrodas galaktiskajā halo, un daudzas no tām ir bināru sistēmu locekļi. HdC (hydrogen deficient) zvaigznes ir ar ūdeņraža trūkumu, un tām ir ļoti vājas Balmera un CH līnijas. Vairums šo zvaigžņu zināmas kā R Coronae Borealis maiņzvaigznes jeb RCB, kuru īpatnējā pazušana (spožuma stipra samazināšanās) ir iemesls lielākai daļai to atklāšanu. HdC zvaigznes, kas nav maiņzvaigznes, atklājamās tikai pēc to spektra [19, 20, 21].

### **3. NOVĒROJUMU VEIKŠANA**

#### **3.1. Šmita teleskops un CCD kameru optiskā sistēma**

Baldones Observatorijas Šmidta teleskops (80\120\240) atrodas Baldones Riekstukalnā ar koordinātēm 24,4041 E 56.7734 N. Tas ir viens no 12 lielākajiem Šmita teleskopiem pasaulē.

Pēdējos gados Latvijas Universitātes Astronomijas institūta komanda ir veikuši uzlabojumus teleskopa optiskajā sistēmā. Tiek izmantotas divas STX-16803 CCD matricas, pirms kurām ir ievietota nelielu lēcu kombinācija, kas veido plakānu teleskopa fokālo virsmu un sakrīt ar uztvērēju. SBIG STX-16803 CCD kamerai ir KAF-16803 4096 x 4096 pikseļu monohromais sensors izmērā 36 x 36 mm. Viena pikseļa izmērs ir 9 x 9 mikroni.

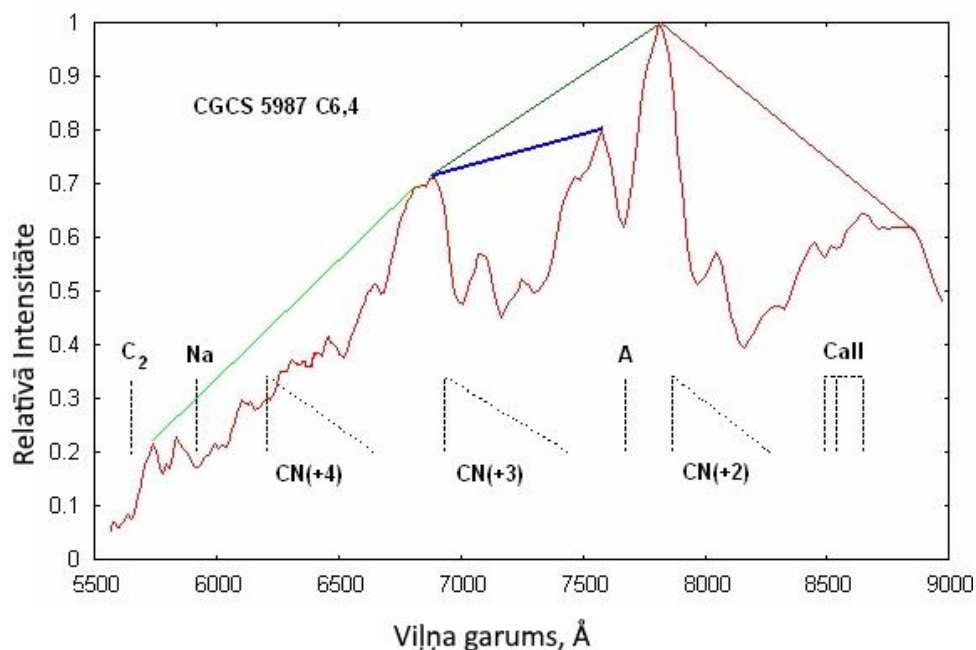
Šmita teleskopa uzbūve ir piemērota plašu debess apgabalu apskatei.

#### **3.2. Debess apgabalu izvēle un uzņēmumu iegūšana**

Parasti debess apgabalus izvēlas, pārskatot katalogā koordinātes, kur ir maz atklātu oglekļa zvaigžņu. Tiek izmantots speciāli izveidots potenciālo oglekļa zvaigžņu saraksts, pētot uz 2 MASS kataloga balstītos apkopotos infrasarkanos krāsu indeksus.

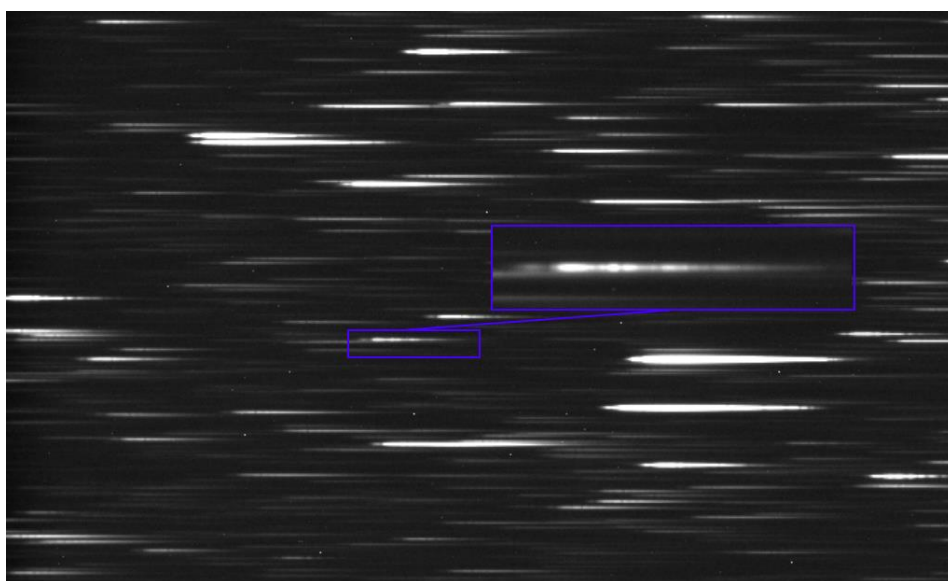
## 4. NOVĒROJUMU DATU APSTRĀDE

Tiek izmantoti CCD kameru uzņemtie FITS formāta (*flexible image transport system* - astronomijā plaši lietots attēlu formāts, kurš uzglabā informāciju n-dimensionālos datu masīvos) attēli, katrā no kuriem saskatāmi aptuveni 100 dažādu zvaigžņu spektri. Oglekļa



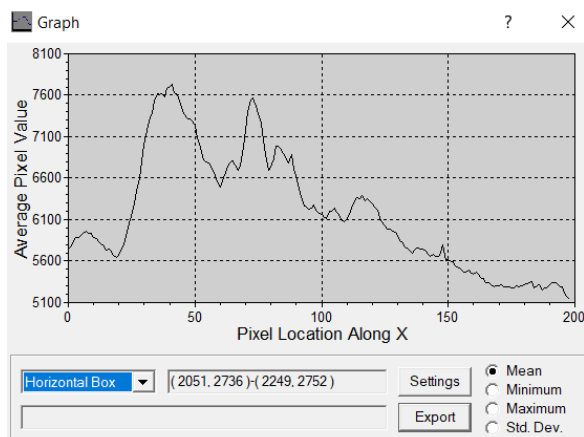
4.1.att Oglekļa zvaigznes spektrs ar raksturīgajām absorbcijas līnijām. Normēts pret maksimālo intensitāti.

zvaigznēm ir īpatnējs oglekļa molekulu absorbcijas spektrs, kas attēlos izskatās pēc “lapsenes



4.2.att. Oglekļa zvaigznes, kura vēlāk identificēta kā CGCS 5306, atrastais spektrs, izmantojot MaxIm DL programmu. Blakus pievienots spektra palielinājums, lai spektra detaļas būtu labāk saskatāmas.

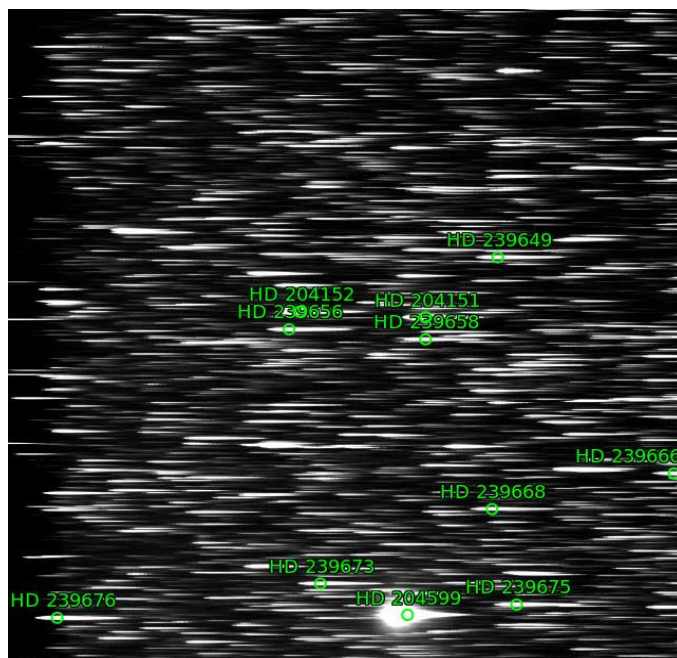
ķermeņa”, tāpēc pie pietiekamas ekspozīcijas, to spektrus atrast nav grūti. Pēc zvaigznes atrašanās, tās spektrs tiek saglabāts gan attēla, gan .csv formātā, kā arī tiek saglabāts fona .csv, ko vēlāk atņem no spektra, kad tas tiek apstrādāts. Šī darba ietvaros spektru apstrāde tika veikta Wolfram Mathematica, kas tiks aprastīts tālāk darbā.



4.3.att. 4.1. attēlā redzamā spektra attēlojums, izmantojot “graph” opciju MaxIm DL programmā

#### 4.1. Koordinātu noteikšana

Manuālai meklēšanai attēlus pagriež 90 °pret pulksteņrādītāja virzienā A matricai un pulksteņrādītāja virzienā B matricai un tad pagriež spoguļattēlā. Apgabala aptuvenās



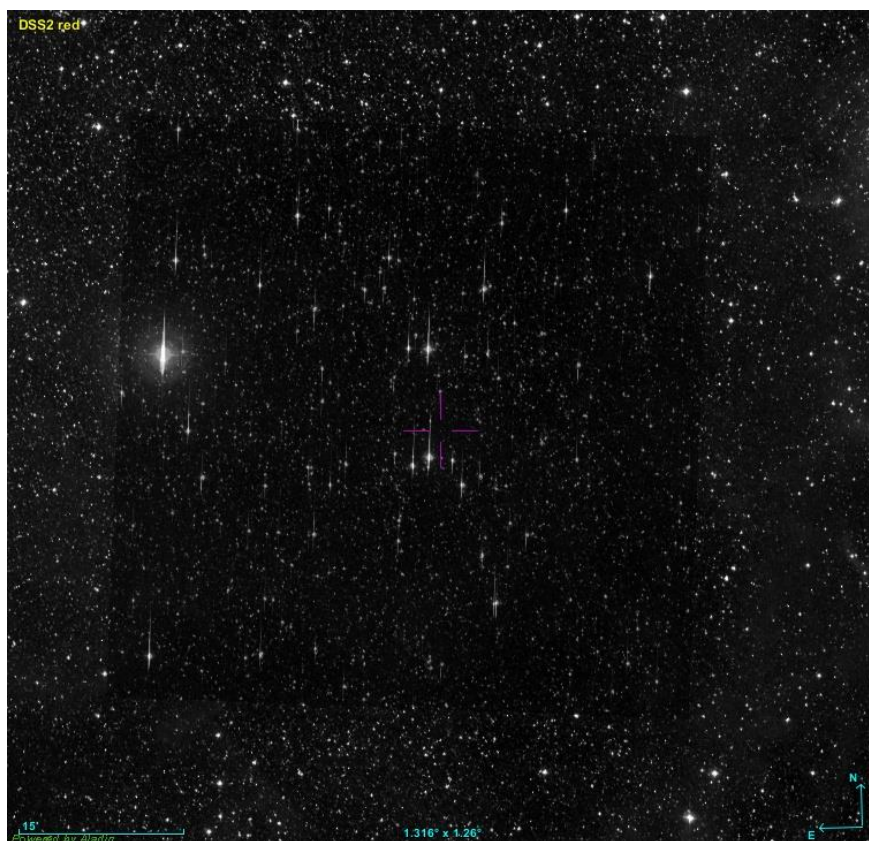
4.3.att. ar astrometry.net rīku apstrādātais attēls un tā atpazītie objekti

koordinātas iespējams iegūt, izmantojot teleskopa lietotās koordinātes. Tā kā A un B matricas izvietotas pa rektascencijas asi, apmēram 12 laika minūtes abās pusēs no teleskopa centra, tad attēla  $\alpha$  koordināti jāmeklē A matricai  $\alpha(\text{teleskopa centram}) - (12 \text{ min})/(\cos(\delta))$  un B matricai  $\alpha(\text{teleskopa centram}) + (12 \text{ min})/(\cos(\delta))$ . Iegūtās koordinātas meklē interaktīvajā Aladin programmas zvaigžņu kartē 1° rāmī, kas ir ar teleskopu uzņemta attēla izmērs. Šis process tika saīsināts, izmantojot Astrometry.net rīku (kurš ir pieejams gan

tiešsaistē, gan ielādēts un lietots bez interneta). Šis rīks izmanto astronomisko fotogrāfiju metadatus un atrod zvaigžņu apgalus un raksturīgākās zvaigznes. konkrētais attēls.

Calibration	
Center (RA, Dec):	(317.244, 56.730)
Center (RA, hms):	21 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup> 58.602 <sup>s</sup>
Center (Dec, dms):	+56° 43' 48.543"
Size:	52.7 x 52.7 arcmin
Radius:	0.622 deg
Pixel scale:	0.773 arcsec/pixel
Orientation:	Up is 88.5 degrees E of N
WCS file:	<a href="#">wcs.fits</a>
New FITS image:	<a href="#">new-image.fits</a>
Reference stars nearby (RA,Dec table):	<a href="#">rdls.fits</a>
Stars detected in your images (x,y table):	<a href="#">axy.fits</a>
Correspondences between image and reference stars (table):	<a href="#">corr.fits</a>
KMZ (Google Sky):	<a href="#">image.kmz</a>
World Wide Telescope:	<a href="#">view in WorldWideTelescope</a>

4.4.att. Astrometry. net rīka izdotie dati



4.5. att. Pēc apstrādes ar astrometry.net, Aladin atpazīst attēla apgalu

Pēc apgabala atrašanas ir iespējams saglabāt FITS attēlu ar jaunajiem metadatiem, kuri, ielādējot Aladin programmā, tiek atpazīti, un jaunais apgabals tiek atrasts automātiski, un arī pats attēls tiek automātiski apgriezts vajadzīgajos virzienos, kas nav jādara manuāli. Šis rīks arī piedāvā interaktīvi apskatīt apgabalu, kur atrodas dotais attēls, aplikācijās Google Sky un World Wide Telescope. Astrometry. net rīks nav vienīgais attēlu piesaistes koordinātēm jeb “plate solving” rīks, tāpēc es plānoju turpmāk veikt uzlabojumus šajā procesā un apgūt citus rīkus, jo šādu projektu ir daudz, un arvien izplatītāk ir pielietot mašīnmācīšanos jeb machine learning šādu programmu radīšanā, kas vēl vairāk atvieglotu procesu [23].

Nākamais solis ir iegūtā attēla ielāde Aladin programmā. Tas tiek ielādēts kā atsevišķs slānis, kuram pamainot caurspīdīgumu, var viegli atrast vajadzīgo zvaigzni (skat. Att). Izmantojot Aladin iebūvēto pieeju 2MASS katalogam, tiek noteiktas vajadzīgās zvaigznes koordinātas. Izmantojot Strasbūras Vizier katalogu, tiek atvērts tas pats 2 MASS katalogs un tiek precizētas koordinātas, zvaigžņu krāsu indeksi, un galaktiskās koordinātas.

#### **4.2. Spektru apstrāde**

Iegūtie spektra dati CSV formātā tālāk tika apstrādāti Wolfram Mathematica. Pēc ielādes Mathematica, spektrs tiek normēts pret maksimālo intensitāti, horizontāli apgriezts un, apksimējot raksturīgās emisijas līnijas polinomā, pikseļu skaits tiek piesaistīts viļņa garumiem. Pēc šīs procedūras zvaigžņu spektriem turpat tiek zīmēti grafiki. No grafikiem var noteikt fotometrisko gradientu.

#### **4.3. Galaktiskā putekļu nosarkuma un starpzvaigžņu ekstinkcijas noteikšana**

Lai noteikti krāsu pārpalikumu, tiek izmantota kosmisko putekļu IS emisijas karte, balstoties uz Deivida Šlegela (David J. Schlegel et al.), kuru vēlāk uzlabojis S & F - Šalfli un Finkbeiners (Salfly & Finkbeiner) [22, 25]. Šī karte ir radīta, balstoties uz COBE/DIRBE (Cosmic Background Explorer/Diffuse Infrared Background Experiment) un ISSA (IRAS Sky Survey Atlas) kartēm 100 mikronu visas debess diapazonā. Karte ir pieejama tiešsaitē un, ievadot oglekļa zvaigznes galaktiskās koordinātes un attēla izmēru grādos, automātiski tiek izrēķināts nosarkums  $E(B-V)$ . [25, 26] Pēc tam  $K$  joslai var noteikt ekstinkciju pēc formulas :

$$A_{K_S} = 0.367 \cdot E(B - V) [22].$$

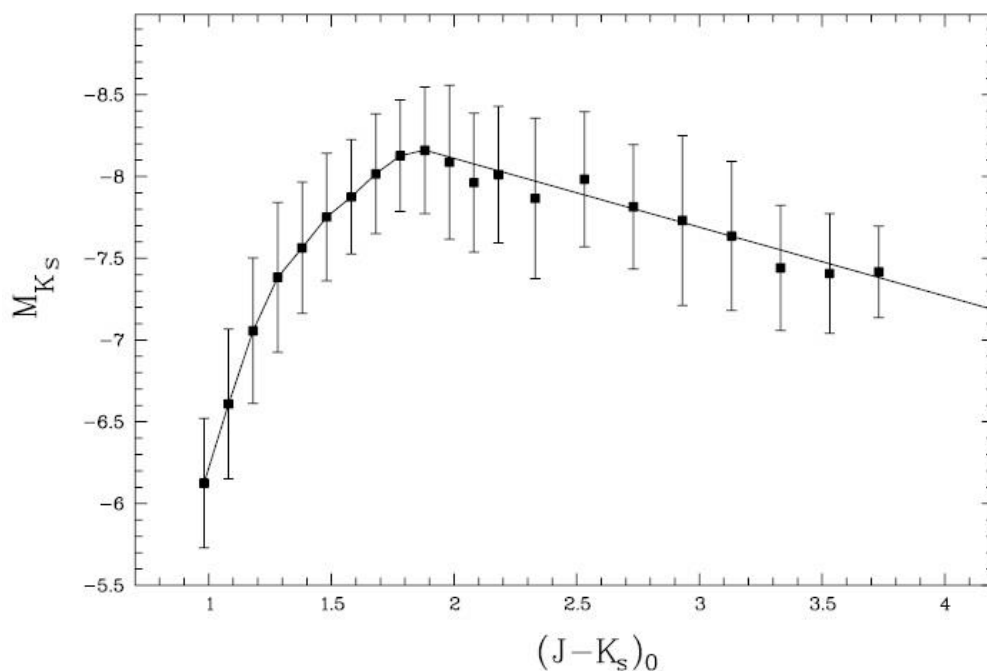
#### **4.4. Absolūtā zvaigžņu lieluma $M_K$ noteikšana**

$M_K$  zvaigžņu lielums, kurš tiks izmantots attāluma noteikšanai, tika novērtēts, izmantojot Nikolasa Maurona metodi.  $M_K$  atkarība no patiesās krāsas  $(J-K_S)_0$  tika iegūta, veicot ap 7500

zvaigžņu analīzi Lielajā Magelāna Mākonī. Tieši K josla ir izvēlēta tāpēc, ka oglekļa zvaigžņu starojuma maksimums ir tieši šajā joslā.

Patieso krāsu indeksu  $(J-K)_0$ , caur kuru pēc tam var nolasīt  $M_K$ , ir iespējams noteikt pēc sakarības

$(J - K)_0 = (J - K) - E(J - K)$ , kur  $E(J - K) = 0.537 \cdot E(B - V)$ , kur  $E(B - V)$  mums jau ir zināms no augstāk aprakstītās kosmisko putekļu IS emisijas kartes tiešsaistē [24].



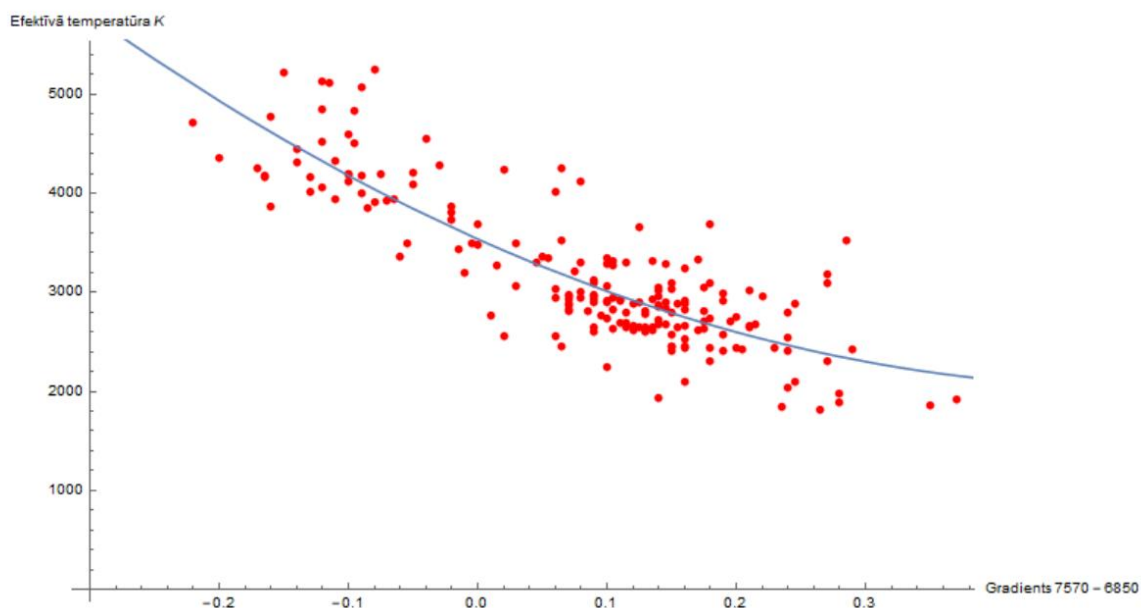
4.6.att. Absolūto zvaigžņu lielumu  $M_K$  atkarība no  $(J-K_s)_0$  Lielajā Magelāna Mākonī [11]

#### 4.5. Efektīvās temperatūras noteikšana

Pētot spektrofotometriskos gradientus, starp visiem tika noteikts, ka gradients [7570-6850] Å visvairāk korelē ar efektīvo temperatūru [26]. Sakarība

$$T_{\text{eff}} = 3537.68 - 5839.46G + 5716.56G^2$$

tika iegūta, ar otrās pakāpes polinomu aproksimējot gradientu dotos datus no CGCS kataloga datiem. Ņemot vērā, ka spektru detaļas ir ļoti blendētas, šo metodi nevar uzskatīt par precīzu.



4.7.att.  $T$  atkarība no  $[7570-6850]_{\text{Å}}$  spektrofotometriskā gradienta

Metode ir balstīta uz Bergeat J., Knapik A. darbu, kura ietvaros tika izmērītas 390 oglekļa zvaigžņu efektīvās temperatūras un veikta to analīze, balstoties uz zvaigžņu spektriem [27].

#### 4.6. Attāluma noteikšana

Attāluma noteikšanai tika salīdzinātas 2 metodes. Iepriekš tika izmantota metode, nosakot  $M_K$  no N. Mauron darba, līdz ar to attāluma noteikšanai varēja atkal tikt izmantota Pogsona formula

$$M_K - m = -5lgr - A_K - 10, \text{ kur } A_K = 0.367E(B - V) \text{ [11]}$$

jeb

$$r = 10^{\frac{K - M_K - A_K - 10}{5}}.$$

Bet pēdējā laikā GAIA katalogā tiek uzrādītas zvaigžņu paralaksēs, un attālumu var iegūt, vienkārši izmantojot trigonometriskās paralaksēs formulu  $d = \frac{1}{p}$ . GAIA kļūdas jau ir

dotas katalogā, bet rēķinot ar Mauron metodi, kļūda tiek noteikta parciāli.

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta r_K^2 + \Delta r_{M_K}^2 + \Delta r_{A_K}^2)}.$$

## 5. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Tika apskatīti 74 uzņēmumi, kuros atrasta 81 oglekļa zvaigzne, no kurām 13 nebija koordinātu CGCS katalogā, bet pēc spektru rūpīgākas izpētes, konkrēti oglekļa zvaigžņu bija 10, un tās uzskatāmas par jaunatklātām. Iegūto zvaigžņu lielumi ir no  $-7.19$  līdz  $-8.97^m$ .

2 MASS Koordinātes	$J(^m)$	$K(^m)$	$\Delta J(^m)$	$\Delta K(^m)$	$M_K(^m) \pm 0.4(^m)$
21:24:11.80 + 59:27:48.34	10.048	7.648	0.023	0.021	-8.97
22:05:34.76 + 59:02:36.14	9.686	7.402	0.023	0.020	-7.45
21:50:40.55 + 56:37:54.73	9.682	7.381	0.024	0.024	-7.72
22:06:09.66 + 57:33:06.50	10	8.295	0.026	0.021	-8.10
21 57 26.14 + 58 55 28.59	10.27	7.976	0.019	0.020	-7.62
22:26:08.66 + 57:15:47.65	9.049	5.442	0.03	0.023	-7.42
22:25:08.77 + 60:09:43.11	10.427	8.002	0.027	0.029	-7.83
22:35:10.19 + 59:31:54.49	9.949	7.341	0.02	0.021	-7.65
21:18:42.63 + 55:33:15.72	10.308	8.116	0.021	0.015	-7.19
21:08:34.61 + 56:45:55.31	9.616	7.548	0.025	0.017	-7.88

5.1. tabula. Jaunatrasto oglekļa zvaigžņu 2 MASS koordinātes un krāsu indeksi. Iekrāsotās ailes atbilst zvaigznēm ar nepietiekamu ekspozīciju.

2 MASS Koordinātes	$r_K(\text{kpc})$	$\Delta r_K(\text{kpc})$	$\rho_{\text{GAIA}}(\text{mas})$	$\Delta \rho_{\text{GAIA}}(\text{mas})$	$r_{\text{GAIA}}(\text{kpc})$	$\Delta r_{\text{GAIA}}(\text{kpc})$
21:24:11.80 + 59:27:48.34	20.6338	16.81817	0.0114	0.0471	87.719298	362.419206
22:05:34.76 + 59:02:36.14	6.945686	5.660889	0.0165	0.0986	60.606061	362.167126
21:50:40.55 + 56:37:54.73	8.305448	6.771144	0.0945	0.0815	10.582011	9.12628426
22:06:09.66 + 57:33:06.50	15.05238	12.26888	0.0693	0.0638	14.430014	13.2847752
21 57 26.14 + 58 55 28.59	9.949389	8.108974	0.0602	0.784	16.611296	216.333153
22:26:08.66 + 57:15:47.65	3.702876	3.018586	0.3641	0.3868	2.7464982	2.91773005
22:25:08.77 + 60:09:43.11	11.0851	9.04135	0.0453	0.075	22.075055	36.5481046
22:35:10.19 + 59:31:54.49	6.865096	5.595595	0.1764	0.1138	5.6689342	3.65716959
21:18:42.63 + 55:33:15.72	8.80633	7.175227	0.0998	0.0896	10.02004	8.99594781
21:08:34.61 + 56:45:55.31	10.46161	8.524845	0.1554	0.0492	6.4350064	2.03733794

5.2. Tabula. Attālumi līdz zvaigznēm, izmantojot GAIA paralakses un Mauron metodes, un to kļūdu aprēķins

No aprēķiniem var pateikt, ka abas metodes savā starpā korelē, bet jo lielāks attālums, jo lielāka kļūda attāluma noteikšanai, izmantojot GAIA datus un paralakses metodi, kas ir vairāk noderīga tuvākiem objektiem.

2 MASS Koordinātes	Grad	T <sub>eff</sub>
21:24:11.80 + 59:27:48.34	0.15	2532.54
22:05:34.76 +59:02:36.14	-	-
21:50:40.55 +56:37:54.73	-	-
22:06:09.66 +57:33:06.50	-	-
21 57 26.14 +58 55 28.59	-	-
22:26:08.66 +57:15:47.65	0.264	1597.122
22:25:08.77 +60:09:43.11	0.251	1711.297
22:35:10.19 +59:31:54.49	0.214	2025.684
21:18:42.63 +55:33:15.72	0.168	2394.72
21:08:34.61 +56:45:55.31	0.226	1925.436

5.3. Tabula. Zvaigznes temperatūra balstoties uz [7570-6850]Å spektrofotometriskā gradienta sakarību (4.7. att)

Efektīvās temperatūras aprēķins tika veikts zvaigznēm ar pietiekamu ekspozīciju, un šajā gadījumā to temperatūras variē no 1597 K -2532 K, kas liecina, ka jaunatklātās zvaigznes ir aukstas, vēlas zvaigznes.

## SECINĀJUMI

Savā starpā tika salīdzinātas attāluma un temperatūras noteikšanas metodes – izmantojot Maunon  $M_K$  indeksa metodi un GAIA katalogā atrastās paralaksēs. Maunon metode ir laikietilpīgāka, un, cenšoties nolasīt  $M_K$  no efektīvo temperatūru sakarības grafika, gandrīz vienmēr būs kaut kāda cilvēciskā faktora kļūda, pieskaitāma jau tās pašas metodes salīdzinoši lielai kļūdai. Tomēr metode dod iespēju novērtēt attālumu daudz vājākām oglekļa zvaigznēm.

Šīm zvaigznēm tika aprēķināta efektīvā temperatūra un attālums līdz tām. Visām jaunatklātajām zvaigznēm temperatūra ir zem 3000 K.

Izmantojot Wolfram Mathematica tika izveidota neliela programma zvaigžņu spektra apgriešanai, normēšanai, pikseļu piesaistīšanai viļņa garumiem, spektra attēlošanai un fotometriskā gradienta noteikšanai.

Lai veiktu attēlu piesaisti koordinātēm, kas iepriekš tika veikts manuāli, tika apgūts un izmantots rīks astrometry.net. Tika apgūti un izmantoti 2MASS, GAIA un Vizier zvaigžņu katalogi.

LU AI uzturētais oglekļa zvaigžņu katalogs tiks papildināts ar jaunatklātām zvaigznēm, savukārt, jaunieviestās metodes atvieglos un paātrinās turpmāko izpētes procesu. Uzlabojumi varētu ļaut atrast arvien vairāk un ātrāk infrasarkanos objektus, ātrāk un precīzāk apstrādāt to datus, kā rezultātā sniegt vairāk informācijas par Piena Ceļa un arī pārējā Visuma struktūru. Turklāt pasaulē attīstoties infrasarkanā diapazona pētniecībai, nākotnē būs jauna informācija no kosmiskajām observatorijām, piemēram SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*), kreogēniski atdzesēta kosmosa stacija, Eiropas-Japānas sadarbības projekts, kas spēs gūt datus no vidējā un tālā infrasarkanā diapazona, kas varētu novest līdz grandioziem atklājumiem, jo mēs ieraudzītu to, ko no mums slēpj starpzvaigžņu putekļi.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. **J. Žagars J., I. Vilks**, “*Astronomija Augstskolām*”, Latvijas Universitātes akadēmiskais apgāds, 2007
2. **P. Schneider**, “*Extragalactic astronomy*”, Springer, 2006
3. **V. Romanishin**, *An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs*, 2006
4. **H. Karttunen**, „*Fundamental Astronomy*”, Springer, 2007
5. **R. A Jansen**, “*Astronomy with charged couple devices*”, Arizona State University, 2013
6. **R. Nave**, *Carbon fusion cycle*. <http://230nsc1.phy-astr.gsu.edu/hbase/Astro/carbcyc.html>
7. **R. Nave**, *Proton-proton fusion*, <http://230nsc1.phy-astr.gsu.edu/hbase/Astro/procyc.html#c1>
8. **M. Salaris**, *Evolution of stars and stellar populations*, John Wiley&Sons LTD, 2005
9. **F. Hervig**, *Evolution of asymptotic giant branch stars*, Astronomy and Astrophysics, vol 43, lpp. 425-479
10. **M. Maercker** ,”*Asymptotic Giant Branch stars viewed up-close and far-off, The physics, chemistry, and evolution of their circumstellar envelopes*”, Department of Astronomy, Stockholm University, 2009
11. **N. Mauron**, “*New observations of cool carbon stars in the halo*“, Astronomy & Astrophysics, vol 482, 2008, lpp. 151-163
12. **A. Unsold , B. Baschek**, ” *The New Cosmos*”,Springer, 2002
13. **M. Zeilik**, ”*Introductory astronomy and astrophysics*”, Harcourt School, 1992
14. *The Asiago Database on Photometric systems*  
<http://ulisse.pd.astro.it/Astro/ADPS/Systems/index.html>
15. ”*GAIAS Hertzsprung Russel diagram*” <http://sci.esa.int/gaia/60198-gaia-hertzsprung-russell-diagram/>
16. **C. A. Bertulani, et al.**, ” *Frontiers in Nuclear Astrophysics* ”, Prog.Part.Nucl.Phys. lpp. 56-100, 2016
17. *Pulsating variable stars and the Hertzsprung Russel diagram*.  
[http://chandra.harvard.edu/edu/formal/variable\\_stars/bg\\_info.html](http://chandra.harvard.edu/edu/formal/variable_stars/bg_info.html)
18. **I. Vilks**, *Astronomijas Vārdnīca*, Latvijas Universitātes akadēmiskais apgāds, 2014
19. **T. LLOYD EVANS**, „*Carbon Stars*”, Journal of Astrophysics and Astronomy, vol. 31, 2010, lpp. 177-211

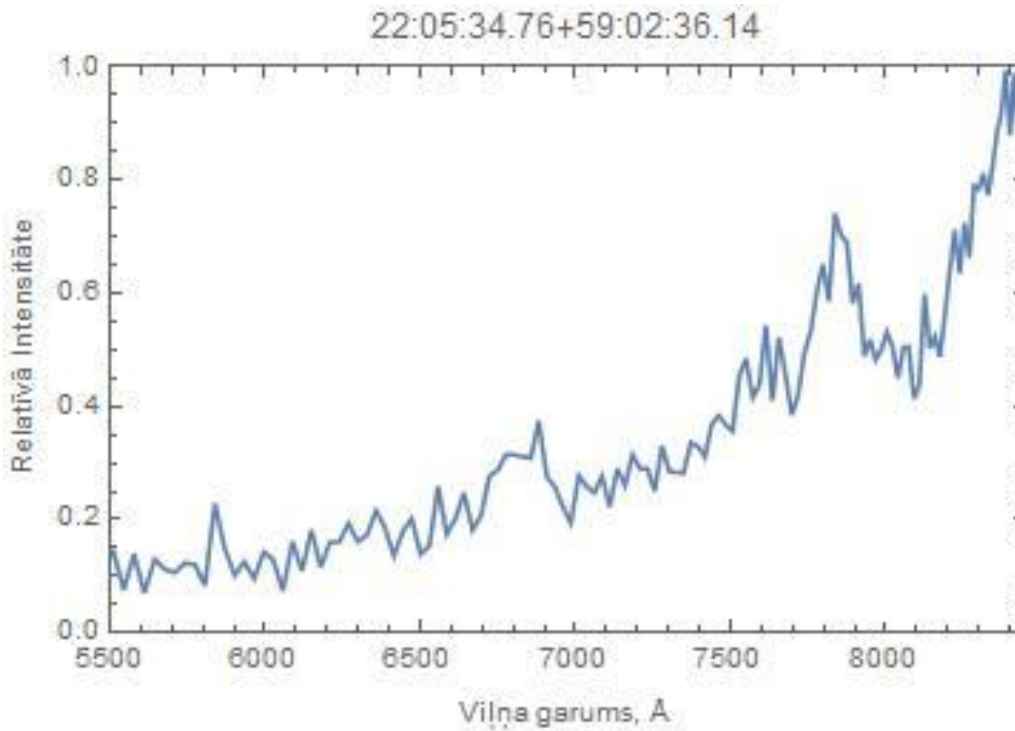
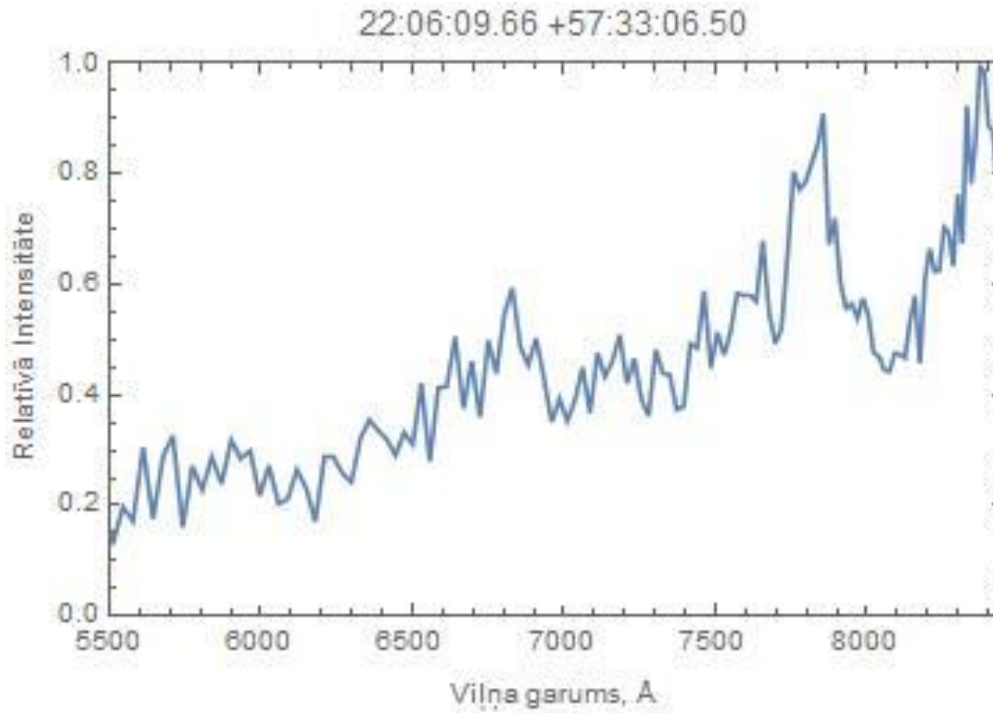
20. **P.C.Keenan**, “*Revised MK Spectral Classification of the Red Carbon Stars*”, Publications of Astronomical Society of Pacific, vol 105, 1993, lpp. 905-910
21. **T. Tsuji**, „*Intrinsic properties of Carbon stars. II. Spectra, Colours, and HR diagram of Cool Carbon Stars*”, Journal of Astrophysics and Astronomy, vol. 2, 1981, lpp. 256-267
22. **D. J. Schlegel**, „*Maps of dust infrared emission for use in estimation of reddening and cosmic microwave background radiation foregrounds*”, The Astrophysical Journal, vol. 500, 1998, lpp. 525-533
23. **Lang, D., et al.**, *Astrometry.net: Blind Astrometric Calibration of Arbitrary Astronomical Images*. The Astronomical Journal, vol 139, 2010, lpp. 1782-1800.
24. <https://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>
25. **E.F.Schlafly, D.P. Finkbeiner**, The Astrophysical Journal, vol. 737, 2011, lpp. 103-114
26. **Eglitis, I., Eglite, M**, “*Effective Temperature of Carbon Stars*”, 2011, vol 445, lpp.
27. **Bergeat, J. , Knapik, A, Rutily, B. ,** “*The effective temperatures of carbon-rich stars*”, Astronomy&Astrophysics, vol 369, 2001, lpp. 178-209.

## **PATEICĪBAS**

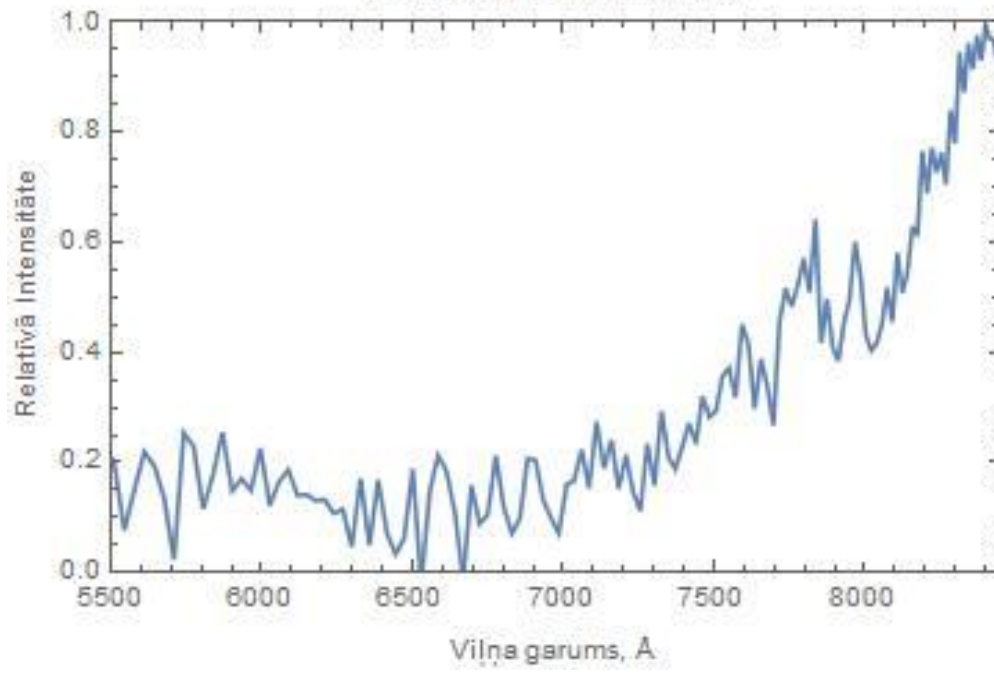
Vēlos izteikt pateicību darba vadītājam, vadošajam LU AI pētniekam, Dr phys Ilgmāram Eglītim, kas apmācīja un konsultēja, kā arī deva iespēju kļūt par LU AI darbinieku, kas ļauj arī turpmāk veikt iesākto izpēti un Interreg SPACE TEM projekta vadītājiem un organizatoriem, kas projekta ietvaros palīdzēja organizēt prakses iespējas LU Astronomijas institūtā.

# PIELIKUMI

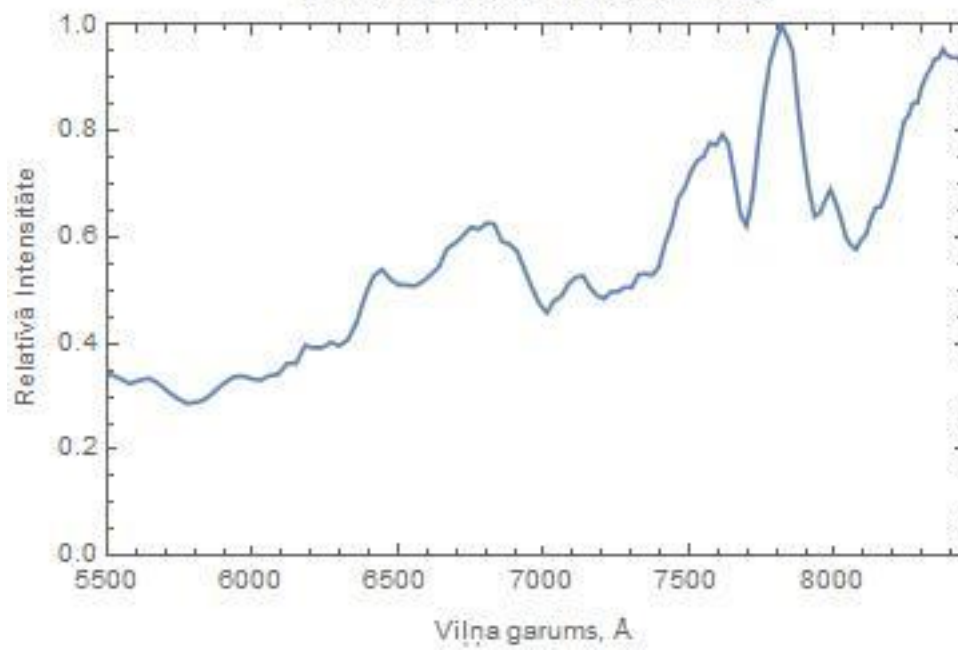
## 1. Pielikums. Jaunatklāto zvaigžņu spektri



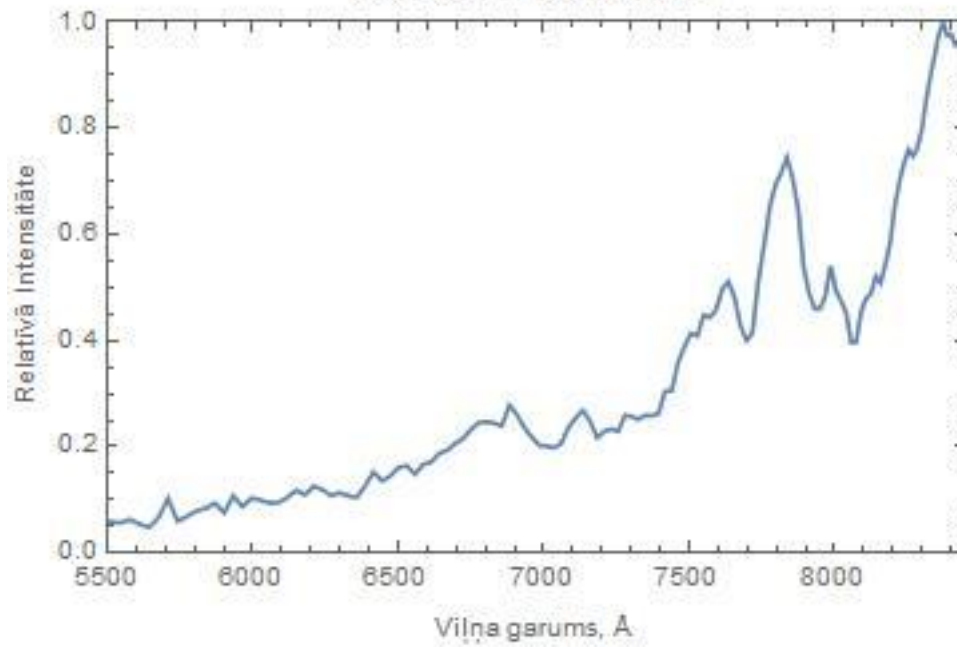
21:57:26.14+58:55:28.59



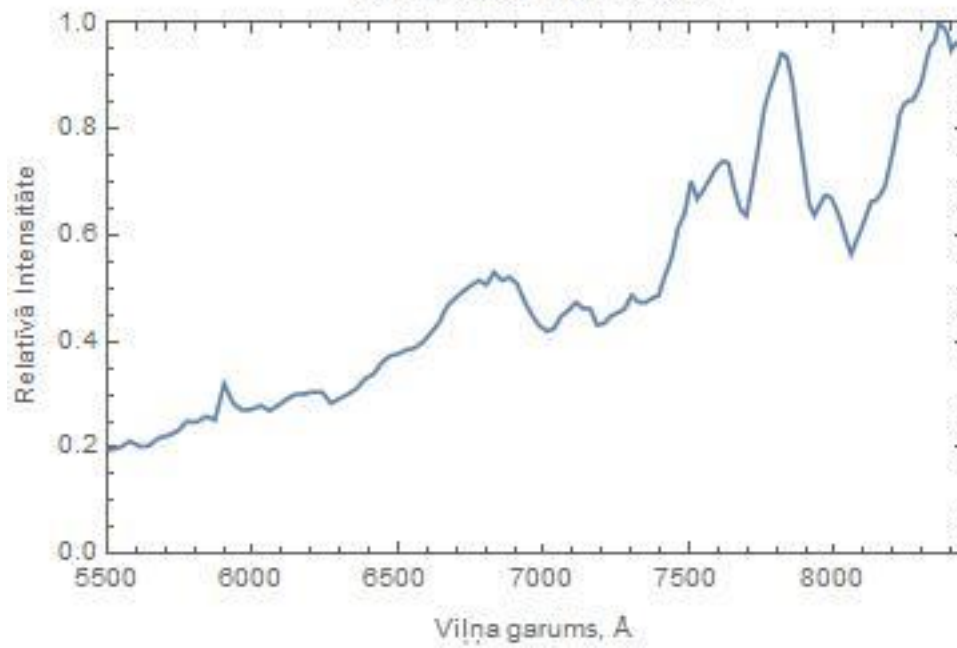
21:24:11.80296 +59:27:48.3408



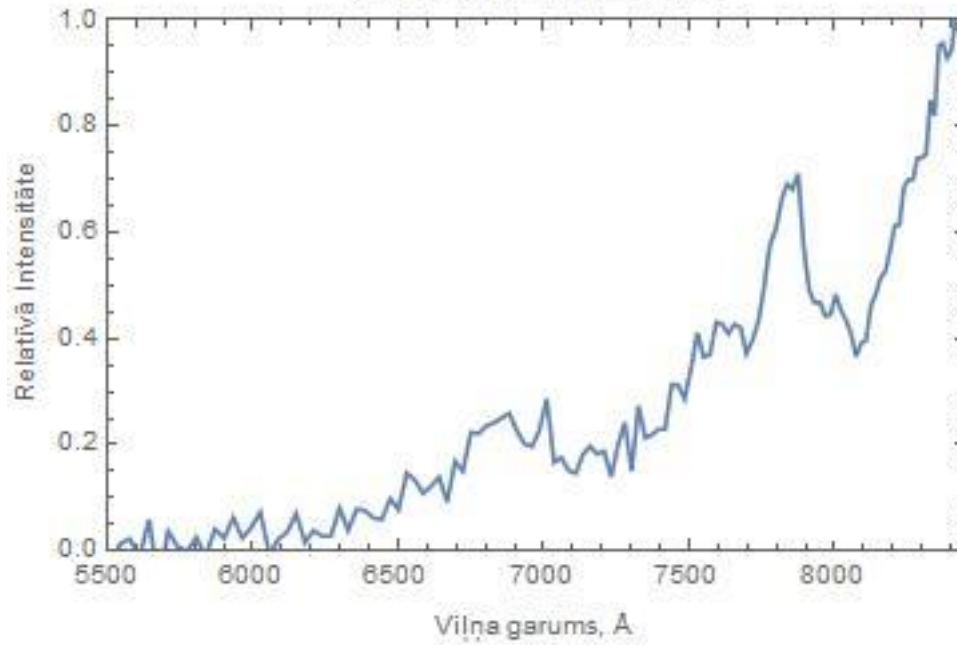
22:25:08.77+60:09:43.11



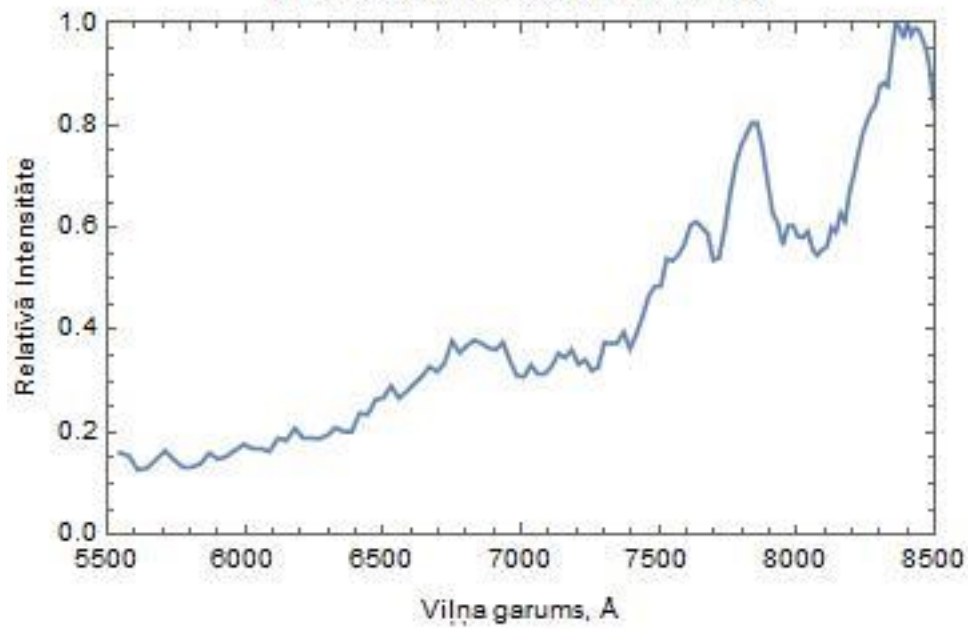
22:35:10.19+59:31:54.49



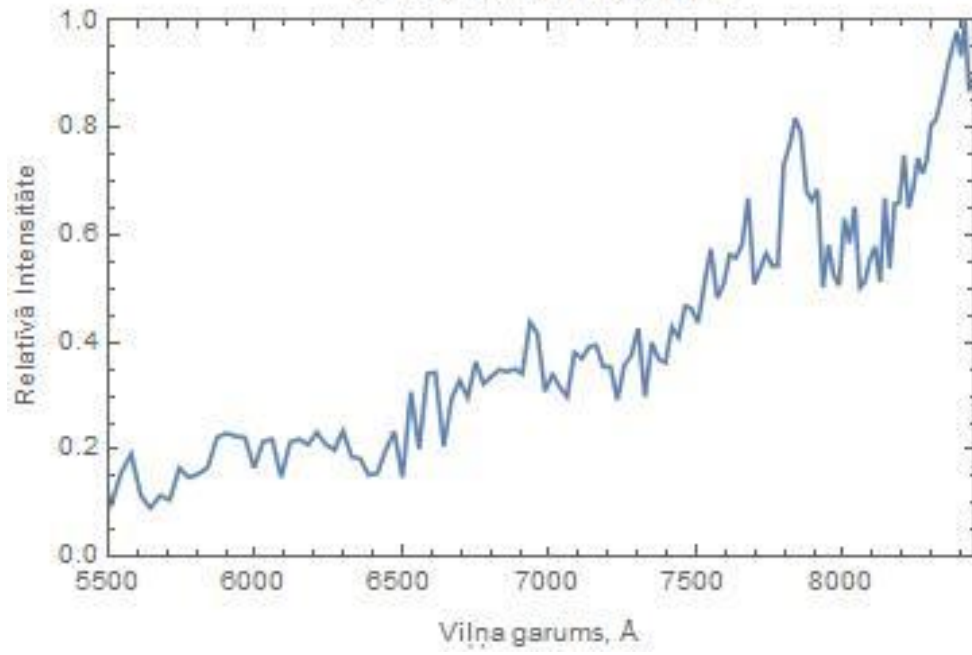
21:18:42.63+55:33:15.72



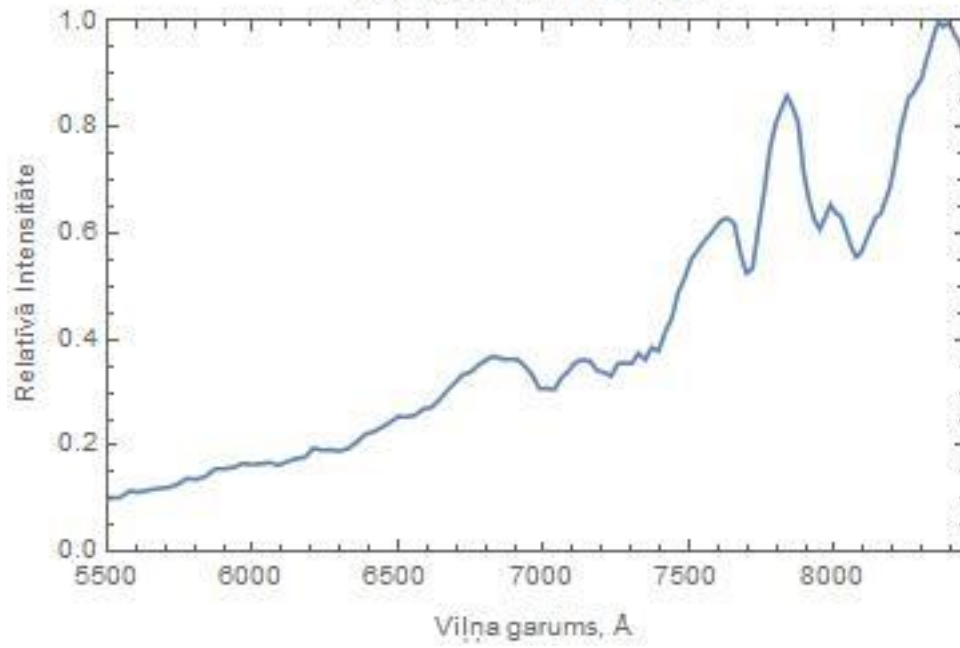
21:08:34.6106+56:45:55.3176



22:05:34.76+59:02:36.14



22:26:08.66+57:15:47.65



## 2. Pielikums. Datu apstrādes starprezultāti un kļūdas

2 MASS Koordinātes	_Glon	_Glat
21:24:11.80 + 59:27:48.34	099.23346709	+06.49781998
22:05:34.76 +59:02:36.14	102.99415541	+02.74969660
21:50:40.55 +56:37:54.73	099.94866230	+02.05364233
22:06:09.66 +57:33:06.50	102.17697395	+01.49919142
21 57 26.14 +58 55 28.59	102.08368996	+03.28626979
22:26:08.66 +57:15:47.65	104.24906325	-00.24122428
22:25:08.77 +60:09:43.11	105.67246264	+02.28748320
22:35:10.19 +59:31:54.49	106.42758118	+01.09938502
21:18:42.63 +55:33:15.72	095.92729075	+04.26431794
21:08:34.61 +56:45:55.31	095.83880940	+06.12129112

E(B-V)	±(B-V)	M <sub>K</sub>	J-K	E(J-K <sub>s</sub> )	A <sub>K</sub>	(J-K <sub>s</sub> ) <sub>0</sub>
0.1229	0.0054	-8.97	2.4	0.065752	0.045104	2.334249
1.7532	0.1012	-7.45	2.284	0.937962	0.643424	1.346038
1.374	0.068	-7.72	2.301	0.734983	0.504185	1.566017
1.381	0.022	-8.10	1.705	0.739049	0.506974	0.965951
1.654	0.049	-7.62	2.294	0.88489	0.607018	1.40911
0.053	0.001	-7.42	3.607	0.028141	0.019304	3.578859
1.658	0.034	-7.83	2.425	0.886763	0.608303	1.538238
2.2010	0.1203	-7.65	2.608	1.177535	0.807767	1.430465
1.5859	0.0918	-7.19	2.192	0.848457	0.582025	1.343544
0.8992	0.0118	-7.88	2.068	0.481072	0.330006	1.586928

### **3. Pielikums. Konferenču tēzes**

SpaceTEM Student Conference, Riga 2018, Latvijas Universitāte, August 30-31,  
*“Spectrophotometry of carbon stars - analysis of Schmidt telescope CCD Images Data”*.

Latvijas simtgadei veltītā Latvijas Universitātes 77. zinātniskā konference, Rīga, 2019., 22.  
februāris, *“Jaunu oglekļa zvaigžņu monitorings Piena Ceļa galaktikā”*