

VILNIAUS UNIVERSITETAS

ŠARŪNAS MIKOLAITIS

EVOLIUCINIAI CHEMINĖS SUDĖTIES EFEKTAI PADRIKŪJŲ SPIEČIŲ RAUDONOSIOSE
MILŽINĖSE

Daktaro disertacijos santrauka
Fiziniai mokslai, fizika (02 P)

Vilnius, 2012

Daktaro disertacija rengta 2007–2011 metais Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institute

Mokslinis vadovas:

Habil. dr. **Gražina Tautvaišienė** (Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Disertacija bus ginama Vilniaus universiteto Fizikos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas: Habil. dr. **Kazimieras Zdanavičius** (Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Nariai:

Prof. dr. **Paulius Miškinis** (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Doc. dr. **Romualda Lazauskaitė** (Lietuvos edukologijos universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Doc. dr. **Saulius Mickevičius** (Kauno technologijos universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Dr. **Julius Sperauskas** (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Oponentai:

Prof. dr. **Vanessa M. Hill** (Observatoire de la Côte d’Azur, Prancūzija, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Dr. **Stanislava Bartašiūtė** (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02 P)

Disertacija bus ginama viešame Fizikos mokslo krypties tarybos posėdyje 2012 m. rugsėjo mėn. 5 d. 14:00 Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institute.

Adresas: A. Goštauto g. 12, 01108 Vilnius, Lietuva. Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos instituto ir Vilniaus universiteto bibliotekose.

VILNIUS UNIVERSITY

ŠARŪNAS MIKOLAITIS

EVOLUTIONARY EFFECTS OF CHEMICAL COMPOSITION IN RED GIANTS OF OPEN
CLUSTERS

Summary of Doctoral Dissertation
Physical Sciences, Physics (02 P)

Vilnius, 2012

Doctoral Dissertation was completed during 2007–2011 at Vilnius University,
Institute of Theoretical Physics and Astronomy

Scientific supervisor:

Dr. habil. **Gražina Tautvaišienė** (Vilnius University, Institute of Theoretical Physics
and Astronomy, Physical sciences, Physics – 02 P)

Doctoral Dissertation will be defended at the Vilnius University Doctoral Dissertation
Committee in Physical Sciences

Chairman: Dr. habil. **Kazimieras Zdanavičius** (Vilnius University, Institute of The-
oretical Physics and Astronomy, Physical Sciences – 02 P)

Members:

Prof. Dr. **Paulius Miškinis** (Vilnius Gediminas Technical university, Physical Sciences
– 02 P)

Doc. Dr. **Romualda Lazauskaitė** (Lithuanian University of Educational Sciences,
Physical Sciences – 02 P)

Doc. Dr. **Saulius Mickevičius** (Kaunas University of Technology, Physical Sciences –
02 P)

Dr. **Julius Sperauskas** (Vilnius University, Physical Sciences – 02 P)

Opponents:

Prof. Dr. **Vanessa M. Hill** (Observatoire de la Côte d’Azur, Prancūzija, Physical
Sciences – 02 P)

Dr. **Stanislava Bartašiūtė** (Vilnius University, Physical Sciences – 02 P)

Doctoral Dissertation will be defended at the public meeting of the Vilnius Univer-
sity Doctoral Dissertation Committee in Physical Sciences held at Vilnius University
Institute of Theoretical Physics and Astronomy at 2:00 p.m. on 5 September, 2012.

Address: A. Goštauto St. 12, 01108 Vilnius, Lithuania.

The Dissertation is available at the libraries of Vilnius University Institute of Theoretical
Physics and Astronomy and Vilnius University.

Turinys

Įvadas	6
Tyrimo tikslai	8
Uždaviniai	8
Mokslinis naujumas	9
Praktinė svarba	9
Ginamieji rezultatai ir teiginiai	9
Asmeninis indėlis	10
Publikacijos disertacijos tema	10
Pranešimai konferencijose disertacijos tema	11
Disertacijos struktūra	12
1 Duomenys apie spiečius	13
1.1 Padrikųjų spiečių apžvalga	13
1.2 Stebėjimai	16
2 Analizės metodai	17
2.1 Diferencialinė analizė	17
2.2 Pagrindinių atmosferos parametrų nustatymas	18
2.3 Sintetinių spektrų modeliavimas	19
2.4 Paklaidų įvertinimas	20
3 Rezultatai	22
3.1 Pagrindiniai atmosferų parametrai	22
3.2 Evoliuciniai cheminės sudėties efektai	22
3.3 Radialinis elementų pasiskirstymas Galaktikoje	26
4 Pagrindiniai rezultatai ir išvados	31
Literatūra	33
Summary	37
Trumpos žinios apie autorių	39

Įvadas

Padrikieji spiečiai plačiai naudojami astrofizikoje, tiriant Paukščių tako galaktikos (toliau – Galaktika) disko cheminę raidą bei žvaigždžių evoliuciją. Padrikieji spiečiai yra gravitacijos siejamų daugelio kūnų sistemos, o jų fizikinės ir kilmės charakteristikos yra unikalios. Žvaigždės išsidėsčiusios gana glaudžiai. Spiečių skersmenys yra daug mažesni nei atstumai nuo jų iki Saulės, tad atstumas iki atskirų padrikojo spiečiaus žvaigždžių nuo Saules yra laikomas vienodu. Manoma, kad visa spiečiaus žvaigždžių sistema yra kilusi iš to paties tarpžvaigždinės medžiagos (dulkių bei dujų) debesies Paukščių take ar kitoje galaktikoje bei juda Galaktikos disku kaip viena sistema. Daugelyje difuzinių ūkų, žvaigždžių formavimosi procesai vis dar vyksta. Tokiuose ūkuose stebimas jaunų padrikųjų spiečių formavimasis. Pats padrikojo spiečiaus atsiradimo procesas trunka pakankamai trumpai, lyginant su visa spiečiaus gyvavimo trukme, todėl yra laikoma, kad padrikojo spiečiaus žvaigždžių amžius yra labai panašus. Vėlgi, padrikojo spiečiaus žvaigždžių pradinė cheminė sudėtis yra labai panaši, nes jo žvaigždės kilę iš to paties difuzinio dujų ir dulkių debesies. Šios unikalios padrikųjų spiečių charakteristikos yra labai naudingos tyrimuose. Padrikųjų spiečių duomenų bazės WEBDA sudarytojai (Mermilliod & Paunzen 2003) teigia, kad iki šiol yra identifikuota apie 2100 padrikųjų spiečių, tačiau tik pusė iš jų yra stebėti naudojant bent vieną fotometrinę sistemą. Žvaigždžių gausa padrikuosiuose spiečiuose nėra labai vienoda, nuo keleto dešimčių pačiuose skurdžiausiuose iki keleto tūkstančių pačiuose gausiausiuose spiečiuose, tačiau per šimtą žvaigždžių turintys Galaktikos padrikieji spiečiai jau yra laikomi gausiais.

Siekiant tyrinėti bei suprasti, kaip laikui bėgant, kinta radialinis metalingumo pasiskirstymas Galaktikoje, labai pravartu naudoti Galaktikos padrikuosius žvaigždžių spiečius, nes sistemos, sudarytos iš daugelio objektų, statistika yra gerokai patikimesnė, taip pat tokios charakteristikos kaip amžius, atstumas, metalingumas nustatomos tiksliau nei Galaktikos lauko žvaigždėms.

Kita vertus, žvaigždės padrikajame spiečiuje gali būti nagrinėjamos atskirai. Teorija teigia, kad žvaigždės evoliucijos eiga yra nulemta jos pradinės masės. Taigi, žinome, kad žvaigždės Galaktikos padrikuosiuose spiečiuose apibūdinamos trimis, visoms spiečiaus žvaigždėm vienodais, parametrais (amžius, atstumas, pradinė cheminė sudėtis) ir



0.1 pav.: Padrikojo spiečiaus NGC 2506 nuotrauka. Šis padrikasis spiečius sudarytas iš keleto šimtų 11–20 ryškio žvaigždžių, susispietusių apie 8 armin dangaus skliauto lauke (Nuotrauka daryta Antilhue observatorijoje, Čilėje).

vienu, kuris yra unikalus kiekvienai žvaigždei (masė). Padrikųjų spiečių nariai, nuo pat pradžių, buvo beveik identiškos cheminės sudėties, tad visi evoliucionavusių žvaigždžių atmosferose atsiradę cheminės sudėties pokyčiai yra susiję su vidaus ir išorės procesais evoliucijos eigoje. Evoliucionavusių žvaigždžių atmosferose dažniausiai stebimi anglies ir azoto gausų pakitimai. Taigi, Galaktikos padrikuosius spiečius galima laikyti kosminėmis laboratorijomis tiriant žvaigždžių cheminę evoliuciją.

CN molekulinį juostų sustiprėjimas ir pakitęs anglies izotopų gausų santykis evoliucionavusiose žvaigždėse buvo pastebėtas prieš daugiau nei trisdešimt metų (žr. Pagel 1974; McClure 1974). Išsami padrikųjų spiečių žvaigždžių cheminės sudėties analizė, naudojant didelės skiriamosios gebos spektrus, vis dar labai reikalinga, tiriant pirmosios drumsties bei papildomo maišymosi procesų poveikį cheminei mažos ir vidutinės masės evoliucionavusių žvaigždžių atmosferų sudėčiai.

Anglies ir azoto gausų detalūs tyrimai padrikųjų spiečių žvaigždėse iki šiol yra itin negausūs (Gilroy 1989; Gilroy & Brown 1991; Luck 1994; Gonzalez & Wallerstein 2000; Tautvaišienė et al. 2000, 2005; Origlia et al. 2006; Smiljanic et al. 2009 etc.). Ši disertacija skirta išsamiam cheminės sudėties padrikuose spiečiuose tyrimui. Visų pirma,

mes sutelkėme dėmesį į anglies ir azoto gausų analizę, bet, taip pat, nustatėme dar per 20 kitų cheminių elementų gausas bei įvertinome jų Galaktocentrinį pasiskirstymą.

Tyrimo tikslai

Pagrindinis disertacijos tikslas yra skirtas tirti maišymosi ir galimo papildomo maišymosi procesus evoliucionavusiose žvaigždėse. Standartiniuose žvaigždžių evoliucijos modeliuose atsižvelgiama tik į vieną vidinės medžiagos pernašos mechanizmą – konvekciją. Deja, modeliuose naudojant vien konvekciją, negalima paaiškinti anglies ir azoto gausų pokyčių stebimų padrikųjų spiečių raudonosios sankaupos žvaigždėse. Papildomo maišymosi procesai gali pasireikšti raudonųjų milžinių sekoje, kai žvaigždės pasiekia taip vadinamą raudonosios milžinių sekos šviesio mazgą (angl. *Red Giant Branch luminosity bump* – RGB-bump) ir gali įtakoti žvaigždžių atmosferų cheminę sudėtį. Maišymosi procesai paveikia $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ gausų santykius, o šios įtakos dydis priklauso nuo žvaigždės masės ir metalingumo. Šio darbo tikslas yra patikrinti teorinius maišymosi modelius.

Papildomas šio darbo tikslas skirtas prisidėti prie Galaktikos disko cheminės sudėties, istorijos bei evoliucijos tyrimo, papildant cheminės sudėties Galaktocentrinių gradientų diske analizę naujais padrikųjų spiečių didelės skiriamosios gebos spektroskopiniais duomenimis.

Uždaviniai

- Maišymuisi jautrių cheminių elementų gausų (anglis, azotas) ir C/N, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykių nustatymas padrikųjų spiečių NGC 2506, NGC 6134, NGC 6253, IC 4651 ir Collinder 261 žvaigždėse, rezultatų interpretavimas bei palyginimas su teoriniais maišymosi modeliais.
- Galaktikos radialinio gausų pasiskirstymo tyrimas, papildant kitų studijų duomenis. α , geležies grupės ir sunkiųjų elementų gausų nustatymas padrikųjų spiečių žvaigždėse.

Mokslinis naujumas

- Padrikujų spiečių, kurių žvaigždėms būtų įvertintos anglies, azoto, deguonies gausos bei šių elementų ir jų izotopų tarpusavio gausų santykiai yra labai nedaug. Šiame darbe atliktas CNO, C/N ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ tyrimas papildė negausius duomenis, kurie reikalingi maišymosi ir papildomo maišymosi procesų evoliucionavusiose žvaigždėse teorinei analizei. Tik vieno NGC 6134 spiečiaus trims, šiame darbe netirtoms, žvaigždėms iki šiol buvo nustatyti C/N ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai. Kitiems keturiems spiečiams šie duomenys nustatyti pirmą kartą.
- Padrikajam spiečiui NGC 2506 bei daugeliui žvaigždžių kituose tirtuose spiečiuose detalus cheminės sudėties tyrimas atliktas pirmą kartą.

Praktinė svarba

Maišymosi procesų teorijos ir modeliai gali būti patikrinti tik lyginant su evoliucionavusių žvaigždžių stebėjimų rezultatais. Šioje tyrimų srityje padrikujų spiečių stebėjimų duomenys yra itin naudingi dėl spiečių žvaigždžių vienodų cheminių ir erdvinių savybių.

Didelės skiriamosios gebos spektroskopiniai duomenys padrikujų spiečių su įvairiomis žvaigždžių posūkio iš pagrindinės sekos masėmis, chemine sudėtimi bei atstumais taps standartiniais Galaktikos cheminės evoliucijos tyrimo atskaitos taškais.

Ginamieji rezultatai ir teiginiai

- Penkių padrikujų spiečių evoliucionavusių žvaigždžių atmosferose nustatytos iki 26 cheminių elementų gausos ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ bei $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ santykiai.
- Helį centre deginančiose žvaigždėse kurių žvaigždžių posūkio iš pagrindinės sekos masės yra mažesnės nei $2 M_{\odot}$, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai gerai sutampa su termohalinio (TH) bei šaltojo žemutinių sluoksnių (CBP) papildomo maišymosi modeliais.
- Padrikojo spiečiaus NGC 6134 helį centre deginančių žvaigždžių atmosferose nustatyti $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai patvirtina stebėjimų duomenis, rodančius, jog žvaigždėse, kurių posūkio iš pagrindinės sekos masės yra didesnės nei $2.5 M_{\odot}$, papildomas maišymasis yra didesnis nei numato teoriniai modeliai.

- Padrikuosiuose spiečiuose NGC 2506 ir NGC 6253 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ gausų santykiai heli centre deginančių žvaigždžių atmosferose yra mažesni nei žvaigždėse, perkopusiose šviesio mazgą raudonųjų milžinių sekoje. Tai galėtų būti dėl galimo papildomo medžiagos maišymosi helio žybsnio metu.

Asmeninis indėlis

Autorius apdorojo penkių padrikųjų spiečių stebėjimų duomenis, patobulino analizės programų paketus, nustatė pagrindinius atmosferų parametrus (spiečiams NGC 2506, NGC 6253) ir cheminę padrikųjų spiečių žvaigždžių atmosferų sudėtį. Autorius pristatė gautus stebėjimų rezultatus ir suformulavo išvadas.

Publikacijos disertacijos tema

1. Tautvaišienė G., Mikolaitis Š., Puzeras E., 2009, *E-infrastructure in Baltic States and its application in astrophysics*, Memorie della Società Astronomica Italiana, Vol. 80, 534–539.
2. Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2010, *Chemical composition of evolved stars in the open cluster NGC 6134*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 407, 1866–1874.
3. Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., 2011, *Stellar energy flux modelling under gridified software SYNTSPEC*, EAS Publications Series, Vol. 45, 413–416.
4. Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2011, *Chemical composition of evolved stars in the open cluster IC 4651*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 413, 2199–2206.
5. Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2011, *Chemical composition of evolved stars in the open cluster NGC 2506*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 416, 1092–1098.
6. Tautvaišienė, Mikolaitis Š., 2012, *Carbon and Nitrogen As Tracers of Stellar Evolution in Red Clump Stars of Open Clusters*, Astrophysics and Space Science Proceedings, Part 2, 229–230.

7. Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2012, *C, N, O abundances and carbon isotope ratios in evolved stars of the open clusters Collinder 261 and NGC 6253*, Astronomy & Astrophysics, Vol. 541, 137–144.

Pranešimai konferencijose disertacijos tema

1. Tautvaišienė G., Pałak B., Mikolaitis Š., *The Stellar Spectra Modeling As An Example Of Data- And Compute-Intensive Application Running On The Balticgrid Project Testbed*, "EGEE'07 Conference", Budapeštas (Vengrija), 04 – 06 Balandis, 2007.
2. Mikolaitis Š. & Tautvaišienė G., *The Synthetic spectra modeling under GRID-COM interface*, "European Week of Astronomy and Space Science Science, Royal Astronomical Society National Astronomy Meeting and European Astronomical Society Joint European and National Astronomy Meeting 2009", Hatfieldas, (Jungtinė Karalystė), 20 – 23 Balandis, 2009.
3. Mikolaitis Š. & Tautvaišienė G., *The Synthetic spectra modeling application SYNTSPEC under GRIDCOM interface*, "EGEE'09 Conference", Barselona (Ispanija), 21 – 25 Rugsėjis, 2009.
4. Mikolaitis Š. & Tautvaišienė G., *Stellar energy flux modeling under SYNTSPEC application*, "ELSA conference 2010, Gaia: at the frontiers of astrometry", Sèvrè (Prnacūzija), 7 – 11 liepa, 2010.
5. Tautvaišienė G. & Mikolaitis Š., *CNO Elements as Tracers of Stellar Evolution in Red Clump Stars of Open Clusters*, "JENAM 2010", Lisabona (Portugalija), 6 – 12 Rugsėjis, 2010.
6. Mikolaitis Š. & Tautvaišienė G., *Synthetic stellar energy flux modeling under gridified software SYNTSPEC*, "Seventh International Conference on Atomic and Molecular Data and Their Applications 2010", Vilnius (Lietuva), 21 – 25 Rugsėjis, 2010.
7. Tautvaišienė G. & Mikolaitis Š., *Tracers of Stellar Chemical Evolution in Red Clump Stars of Open Clusters* "Science Innovation and Gender", Vilnius (Lietuva), 24 – 25 Lapkritis, 2011.

Disertacijos struktūra

Disertacija sudaryta iš penkių dalių: įvado, keturių skyrių ir naudotos literatūros sąrašo.

Pirmajame skyriuje aprašomi tirti padrikieji spiečiai ir stebėjimų medžiaga.

Antrajame skyriuje pristatomi diferencialinės analizės metodai, žvaigždžių atmosferų modeliai, programų paketai ir analizės rezultatų neapibrėžties įvertinimas.

Trečiajame skyriuje pateikiami žvaigždžių analizės rezultatai, maišymuisi jautrių elementų gausų santykių palyginimas su teoriniais modeliais ir spiečių žvaigždžių elementų gausų rezultatai bei jų priklausomybė nuo spiečių atstumų iki Galaktikos centro.

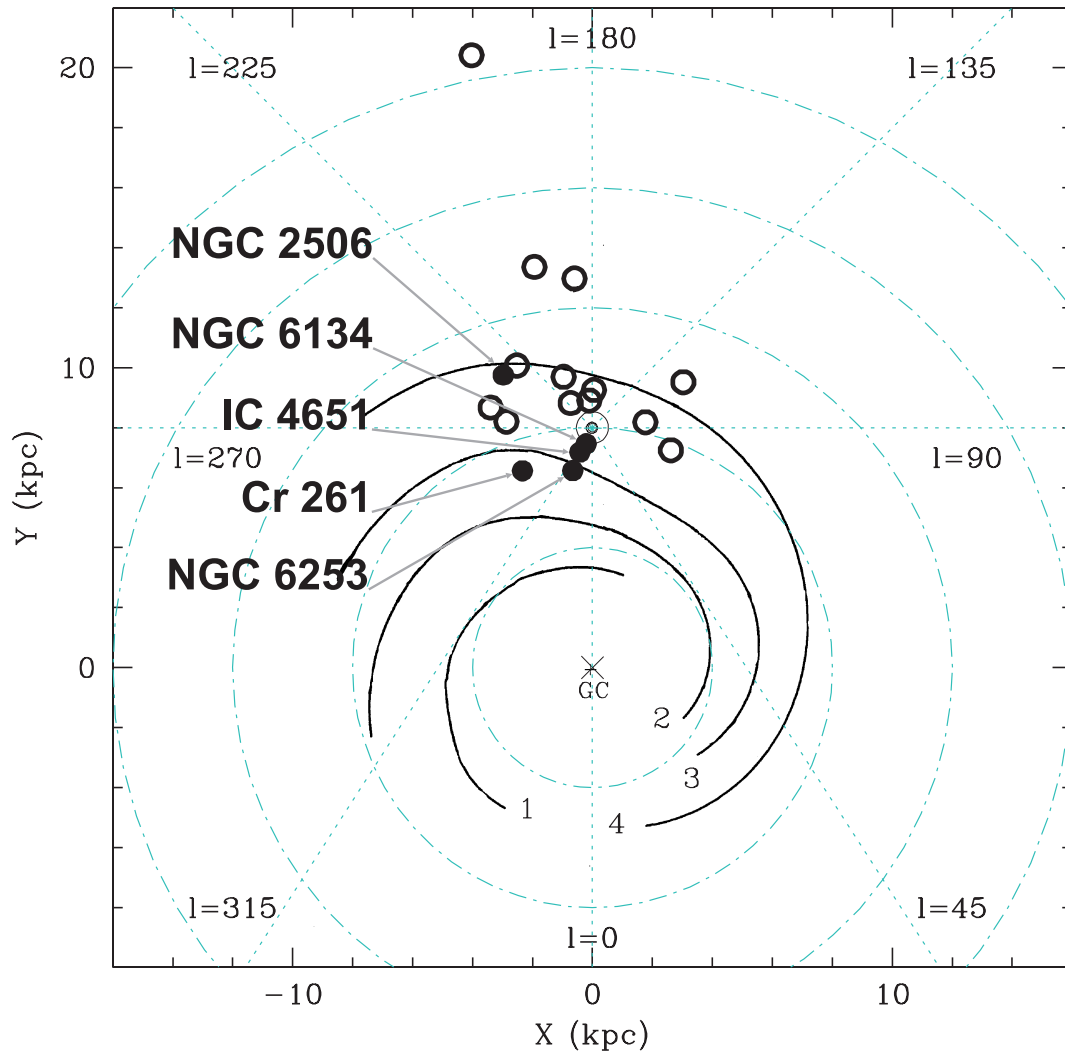
Ketvirtajame skyriuje apibendrinami pagrindiniai rezultatai bei išvados.

Duomenys apie spiečius

Šiame darbe analizuoti padrikieji spiečiai buvo pasirinkti iš Bolonijos padrikųjų spiečių cheminės evoliucijos projekto (angl. *Bologna Open Clusters Chemical Evolution project – BOCCE*) sąrašo. Šis projektas skirtas pagilinti žinias apie maišymosi procesus žvaigždėse ir cheminės sudėties Galaktocentrinius gradientus. Projekto metu sukaupti padrikųjų spiečių duomenys tiriami homogenišku būdu, siekiant išvengti rezultatų nuokrypių dėl nevienodos tyrimo metodikos ar programinės įrangos. BOCCE projekte tirama apie 30 padrikųjų spiečių pasiskirsčiusių plačiuose amžiaus, metalingumo, galaktocentrinio atstumo intervaluose. BOCCE projektas unikalus tuo, kad jis atlieka tiek fotometrinių, tiek didelės skiriamosios gebos spektroskopinių tyrimą, vienodais metodais nustatant amžių, atstumą, tarpžvaigždinį paraudonavimą ir cheminę sudėtį. Amžius, atstumas bei paraudonavimas nustatomas pasitelkiant tikslią fotometriją ir pritaikant sintetinių spalvos-ryškio diagramų metodą, aprašytą Tosi et al. (1991) darbe. Cheminės sudėties analizė atliekama naudojant vienodą metodiką (žr. Bragaglia & Tosi 2006 apžvalgą bei joje cituotus darbus). Pav. 1.1 parodytos BOCCE projekte tiriamų spiečių pozicijos Galaktikos plokštumoje. Stebėtos padrikųjų spiečių žvaigždės buvo pasirinktos atsižvelgiant į jų evoliucinę stadiją, nustatytą iš fotometrinių duomenų. Pagrindiniai stebėjimo objektai buvo raudonosios sankaupos žvaigždės (t.y. helį centre deginančios žvaigždės). Tarp evoliucionavusių žvaigždžių helį centre deginančios žvaigždės sudaro gana homogenišką grupę. Tyrime naudoti tik tie objektai, kurių narystė spiečiuje buvo patvirtinta literatūroje: (Chiu & van Altena 1981; Claria & Mermilliod 1992; Friel & Janes 1993; Mermilliod 1995; Minniti 1995).

1.1 Padrikųjų spiečių apžvalga

Padrikasis žvaigždžių spiečius NGC 2506 ($\alpha_{2000} = 08^h 0.02^m$, $\delta_{2000} = -10^\circ 46.2'$; $l = 230.564^\circ$, $b = +09.935^\circ$) yra pats nemetelingiausias iš visos tirtų spiečių grupės. Literatūroje jo metalingumas nurodomas tarp -0.3 ir -0.2 , kuris yra gautas naudojant



1.1 pav.: Padrikųjų spiečių pozicijos Galaktikos plokštumoje pagal Bragaglia & Tosi (2006). Juodais skrituliais pažymėti, šiame darbe tirti, padrikieji spiečiai. Apskritimais pažymėti kiti BOCCE projekto padrikieji spiečiai. Taip pat yra pažymėtos Saulės ir Galaktikos centro pozicijos. Apytikslės spiralinių vijų pozicijos pavaizduotos ir sunumeruotos: 1 = Norma, 2 = Scutum-Crux, 3 = Sagittarius-Carina, 4 = Perseus.

didelės skiriamosios gebos spektrus. Tirtame spiečių rinkinyje NGC 2506 yra labiausiai nutolęs nuo Galaktikos centro, jo galaktocentrinis atstumas yra apie $R_{gc} = 10.38$ kpc, o atstumas nuo Saulės $d = 3.26$ kpc (Bragaglia & Tosi 2006). Spiečiuje NGC 2506 yra rasta

apie 1090 žvaigždžių (Chen, Chen & Shu 2004), visuotinai pripažintas spiečiaus amžius yra apie $t = 1.7$ mlrd. m. (Marconi et al. 1997), o posūkio iš pagrindinės sekos masė $M = 1.69 M_{\odot}$ (Carretta et al. 2004). Visų tirtų padrikųjų spiečių spalvos-ryškio diagramos ir stebėjimo lauko nuotraukos su pažymėtais objektais yra pateiktos disertacijos tekste.

Padrikasis žvaigždžių spiečius NGC 6134 yra vidutinio amžiaus, vidutinės gausos spiečius esantis beveik Galaktikos plokštumoje ($\alpha_{2000} = 16^h 27.8^m$, $\delta_{2000} = -49^{\circ} 09.4'.9$; $l = 324.91^{\circ}$, $b = -0.20^{\circ}$). Didelės skiriamosios gebos spektrai nurodo, kad jo metalingumas yra apie $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.15 \pm 0.03$ (Carretta et al. 2004). Atstumas nuo Galaktikos centro yra apie 7.6 kpc, o atstumas nuo Saulės – apie 700 pc. Padrikasis žvaigždžių spiečius NGC 6134 yra gana jaunas, jo amžius yra apie 0.9 mlrd. m., o posūkio iš pagrindinės sekos masė apie $2.34 M_{\odot}$ (Bragaglia & Tosi 2006).

Padrikasis žvaigždžių spiečius NGC 6253 yra ganėtinai senas objektas, literatūroje nurodomas amžius yra 3–5 mlrd. m. (Piatti et al. 1998; Bragaglia & Tosi 2006; Montalto et al. 2009). Spiečius yra vidinėje Galaktikos dalyje ($l = 335^{\circ}.45$, $b = -6^{\circ}.26$), nuo Saulės nutolęs per 1.58 kpc, o nuo Galaktikos centro apie 6.6 kpc. Jis yra arčiausiai Galaktikos centro esantis šiame darbe tirtas objektas. Padrikasis spiečius NGC 6253 pasižymi dideliu savo metalingumu, jis yra vienas metalingiausių spiečių Galaktikoje. Jo metalingumas siekia 0.36–0.46 (Carretta, Bragaglia & Gratton 2007; Sestito, Randich & Bragaglia 2007; Anthony-Twarog et al. 2010). Spiečiaus NGC 6253 amžius yra apie 3 mlrd. m., o posūkio iš pagrindinės sekos masė – apie $1.4 M_{\odot}$.

Padrikasis žvaigždžių spiečius IC 4651 yra vidutinio amžiaus (1.7 mlrd. m.) objektas ($\alpha_{2000} = 17^h 24.8^m$, $\delta_{2000} = -49^{\circ} 56.0'$; $l = 340.088^{\circ}$, $b = -07.907^{\circ}$), nuo Galaktikos plokštumos nutolęs apie 140 pc, nuo Galaktikos centro nutolęs apie 7.1 kpc ir per 1.01 ± 0.05 kpc nutolęs nuo Saulės (Pasquini et al. 2004). Carretta et al. (2004) nustatė padrikojo spiečiaus IC 4651 metalingumą apie $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.11 \pm 0.01$ ir posūkio iš pagrindinės sekos masę apie $1.69 M_{\odot}$.

Padrikasis žvaigždžių spiečius Collinder 261 yra vienas seniausių padrikųjų spiečių mūsų Galaktikoje, literatūroje nurodomas jo amžius yra apie 5–10 mlrd. m., priklausomai nuo pritaikytų žvaigždžių evoliucijos modelių (Janes & Phelps 1994; Mazur, Krzeminski & Kaluzny 1995; Gozzoli et al. 1996; Carraro, Ng & Portinari 1998). Bra-

gaglia & Tosi (2006) nustatė tikėtiniausiai 6 mlrd. m. amžių. Dauguma senų padrikųjų spiečių yra išsidėstę išorinėje Galaktikos disko dalyje, tačiau šis spiečius yra vidinėje disko dalyje ($l = 301^\circ.68, b = -5^\circ.53$), jo atstumas nuo Galaktikos centro yra apie 7.5 kpc, o atstumas nuo Saulės yra apie 2.74 kpc (Bragaglia & Tosi 2006). Nepaisant didelio Collinder 261 amžiaus, jo metalingumas yra artimas Saulės metalingumui $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.03$ (Carretta et al. 2005), o posūkio iš pagrindinės sekos masė yra apie $1.1 M_\odot$ (Bragaglia & Tosi 2006).

1.2 Stebėjimai

Žvaigždžių spektrai buvo gauti pasitelkiant du Europos pietinės observatorijos (angl. *European Southern Observatory* – ESO) teleskopus ir spektrografus.

FEROS spektrografas. Dauguma nagrinėtų spektrų buvo gauti FEROS spektrografu (angl. *Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph*), įrengtu 1.5 m teleskope La Silijoje (isp. *La Silla*), Čilėje. Šio prietaiso skiriamoji geba yra $R = 48\,000$, o spektrinis bangų ilgių diapazonas $\lambda = 3700\text{--}8600 \text{ \AA}$. Pirminis spektrų apdorojimas buvo atliktas redukavimo paketu MIDAS dar pačioje observatorijoje. Kai kurios žvaigždės buvo stebėtos keletą kartų, o gauti spektrai susumuoti, siekiant gauti geresnį signalo-triukšmo santykį. Spektrų pavyzdžiai pateikiami paveikslėlyje, o stebėjimų dokumentacija lentelėje disertacijos tekste.

UVES spektrografas. Dalis spektrų buvo gauti naudojant UVES spektrografą (angl. *UV-Visual Echelle Spectrograph* – UVES). UVES spektrografas yra įrengtas ESO Labai dideliame teleskope (angl. *Very Large Telescope* – VLT), esančiame ant Paranal kalno Čilėje. Šiuo prietaisu gauti spektriniai bangų ilgių diapazonai $\lambda = 3560\text{--}4840 \text{ \AA}$ ir $5550\text{--}9460 \text{ \AA}$, skiriamoji geba $R = 43\,000$. UVES spektrografu gauti spektrai buvo apdoroti naudojant standartinį redukavimo paketą dar pačioje observatorijoje. Spektrų pavyzdžiai pateikiami paveikslėlyje, o stebėjimų dokumentacija lentelėje disertacijos tekste.

Analizės metodai

2.1 Diferencialinė analizė

Šiame darbe buvo naudotas diferencialinės analizės metodas. Tokiu būdu yra išvengiama sistematiškų paklaidų, galinčių atsirasti dėl skaičiavimui naudojamų fizikinių duomenų netikslumo, modeliuose priimtų prielaidų ar skaičiavimo programos ypatybių. Paprastai Saulė yra naudojama kaip standartinė žvaigždė diferencialinėje analizėje. Siekiant iširti žvaigždžių cheminę sudėtį, reikia visos eilės duomenų: pagrindinių atmosferos parametrų (efektinės temperatūros, laisvo kritimo pagreičio žvaigždės paviršiuje, mikro-turbulencijos greičio, ir bendro žvaigždės atmosferos metalingumo), taip pat, atmosferų modelių ir fizikinių atominių bei molekulinų duomenų.

Žvaigždžių atmosferų modeliai. Žvaigždės atmosferą sudaro karšta plazma, per kurią iš žvaigždės giluminių sluoksnių praėjęs spinduliuotės srautas patiria absorbciją, reemisją, sklaidą. Per žvaigždės atmosferą perėjęs spinduliuotės srautas įgauna unikalų, nuo atmosferos cheminės sudėties priklausantį pavidalą. Žvaigždžių atmosferų modeliai aprašo pagrindines fizikines atmosferų savybes. Šiame darbe buvo naudojamas ATLAS atmosferų modelių tinklas (Kurucz 1993; Sbordone et al. 2004).

Programinė įranga. Darbas buvo atliktas su BOCCE projekte naudojamais trimis pagrindiniais programų paketais: ROSA, WIDTH ir SYNTH.

ROSA skirta spektrų apdorojimui: ištinio spektro nustatymui ir normalizavimui, linijų ekvivalentinių pločių matavimui pritaikant gausines funkcijas (Gratton 1988). Šiuo programų paketu galima matuoti ekvivalentinius linijų pločius automatiškai. WIDTH programa skaičiuoja elementų gausą, pasitelkiant išmatuotus ekvivalentinius pločius, atmosferų modelius bei atominius duomenis. Sintetinių spektrų modeliavimo programą SYNTH naudojome molekulinų spektrų, silpnų atominių linijų, hipersmulkiosios struktūros paveiktų ir padidinto blendavimo rizikos kategorijai priklausančių linijų tyrimams. SYNTH modeliuoja sintetinį spektrą pasitelkiant atmosferų modelius, atominius ar

molekulinius parametrus bei numatomas tiriamų elementų gausas. Visi šie paketai doktorantūros studijų metu buvo adaptuoti UNIX/LINUX aplinkai bei daugiaprocesoriniams skaičiavimui GRID aplinkoje (Tautvaišienė, Mikolaitis & Puzeras 2009; Mikolaitis & Tautvaišienė 2011).

Pagrindiniai atominių duomenų šaltiniai buvo Vienos atominių duomenų bazė (VALD) Kupka et al. (2000) bei Gurtovenko & Kostyk (1989).

Linijų pasirinkimas ir matavimas. Ekvivalentiniai pločiai buvo matuojami paketu ROSA, pritaikant gausines funkcijas prie linijų profiliu. Visos spektrinės linijos yra susiliejusios iš keleto linijų (blenduotos). Priklausomai nuo žvaigždės atmosferos fizikinių charakteristikų, kai kurios blenduojančios linijos gali būti itin silpnos. Tik tokios linijos, kurios yra pakankamai stiprios ir švarios nuo blenduojančiųjų gali būti naudojamos ekvivalentinių pločių analizėje. Linijų atrankai buvo naudotas Kurucz et al. (1984) standartinis Saulės spektras, Saulės identifikacinis atlasas (Moore, Minnaert & Houtgast 1966) bei neblenduotų linijų Saulės atmosferoje atlasas parengtas Gurtovenko & Kostyk (1989). Tokios linijos, kurios dėl žvaigždės radialinio greičio sutapo su žemės atmosferos absorbcinėmis linijomis, buvo nenaudojamos.

Nukrypimai nuo lokaliai termodinaminės pusiausvyros. Žvaigždžių atmosferų modeliai yra parengti naudojant lokaliai termodinaminės pusiausvyros aproksimaciją. Tačiau toks supaprastinimas tinka ne visoms linijoms. Natrio ir magnio gausos buvo nustatomos įvertinant nukrypimus nuo lokaliai termodinaminės pusiausvyros Gratton et al. (1999) aprašytu metodu.

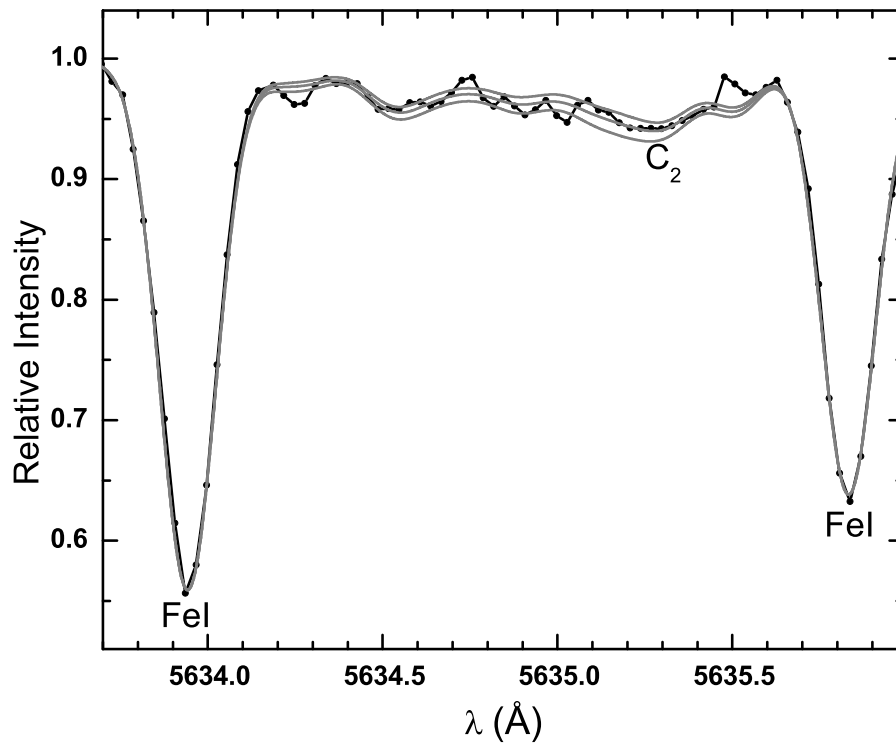
2.2 Pagrindinių atmosferos parametrų nustatymas

Žvaigždžių atmosferų parametrai buvo nustatomi naudojant klasikinę spektroskopinę metodiką, pasitelkiant nejonizuotas ir vieną kartą jonizuotas geležies linijas. Šioje metodikoje pagrindinis reikalavimas yra surasti tokių pagrindinių parametrų rinkinį, kad konkretaus cheminio elemento gausa apskaičiuota pagal skirtingas elemento linijas būtų identiška. Efektinė temperatūra laikoma teisinga kai linijų rodoma gausa nepriklauso nuo apatinio lygmens sužadavimo potencialo. Laisvo kritimo pagreitis žvaigždės atmosferoje nustatomas reikalaujant, kad sutaptų elemento gausos, nustatytos pagal neutralaus ir jonizuoto elemento linijas. Mikroturbulencijos greitis yra teisingas, kai gausa

gaunama pagal stiprias ir silpnas linijas sutampa, t.y. nepriklauso nuo linijos ekvivalentinio pločio, o bendras rezultatas turi mažiausią išsibarstymą. Šios metodikos taikymo pavyzdžiai ir iliustracijos pateikiami disertacijos tekste.

2.3 Sintetinių spektrų modeliavimas

Sintetinių spektrų metodu buvo analizuotos C_2 molekulinės juostos ties 5632 – 5636 Å (FEROS spektrografu gautuose spektruose) bei 4732.8 Å ir 4735.3 Å (UVES spektruose).

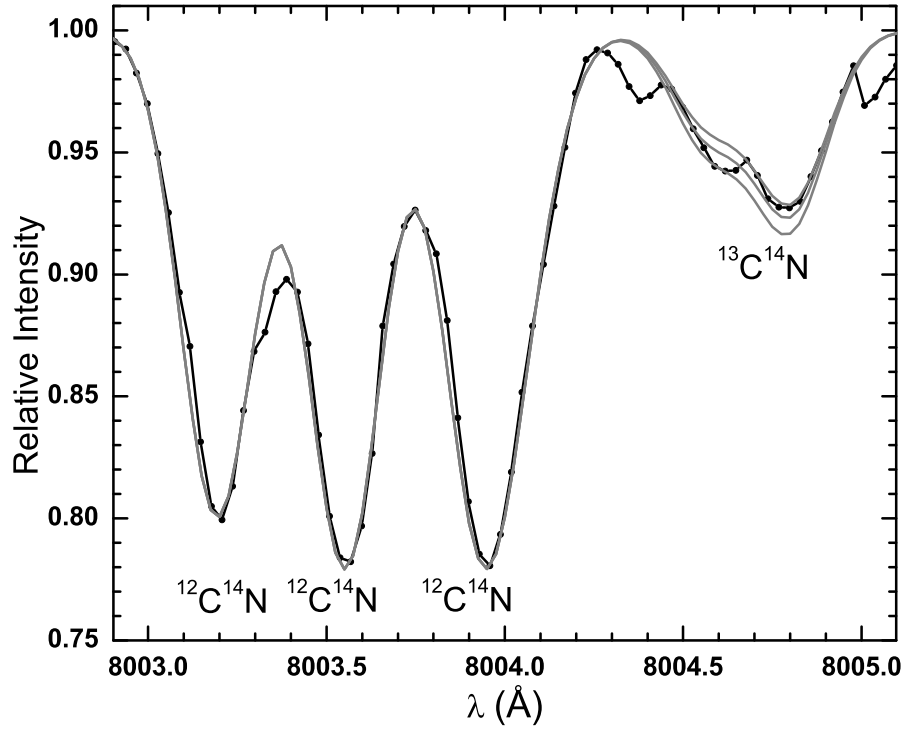


2.1 pav.: Sintetinio spektro pavyzdys ties C_2 Swan (0,1) molekulinės juostos viršūne 5635.5 Å. Sintetinius spektrus su $[C/Fe]$ vertėmis -0.19 ± 0.05 žymi pilkos linijos, o žvaigždės NGC 2506 459 spektrą žymi juoda taškuota linija.

Molekuliniai duomenys buvo paimti iš Gonzalez et al. (1998) ir Kurucz & Bell (1995). Paveiksle 2.1 parodytas 5632 – 5636 Å molekulinės juostos tyrimo pavyzdys. $^{12}C^{14}N$ tyrimui buvo naudojamos 7940 – 8130 Å intervale esančios molekuliųjų linijų juostos, molekuliniai duomenys gauti iš Bertrand Plez (Montpeljè II universitetas). Deguonies gausa buvo nustatoma pasitelkiant draustinę $[O I]$ liniją ties 6300.3 Å. Ši linija yra

susilieję su ^{58}Ni and ^{60}Ni izotopų linijomis. Nikelio izotopų atominiai parametrai buvo paimti iš Johansson et al. (2003) tyrimo.

$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykis nustatytas naudojant stipriausią $^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ liniją ties 8004.7 Å (žr. pav. 2.2). Spiečiuje NGC 2506 ši linija sutapo su atmosferos linija, tad šiuo atveju buvo pasitelkta $^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ linija ties 7940.4 Å.

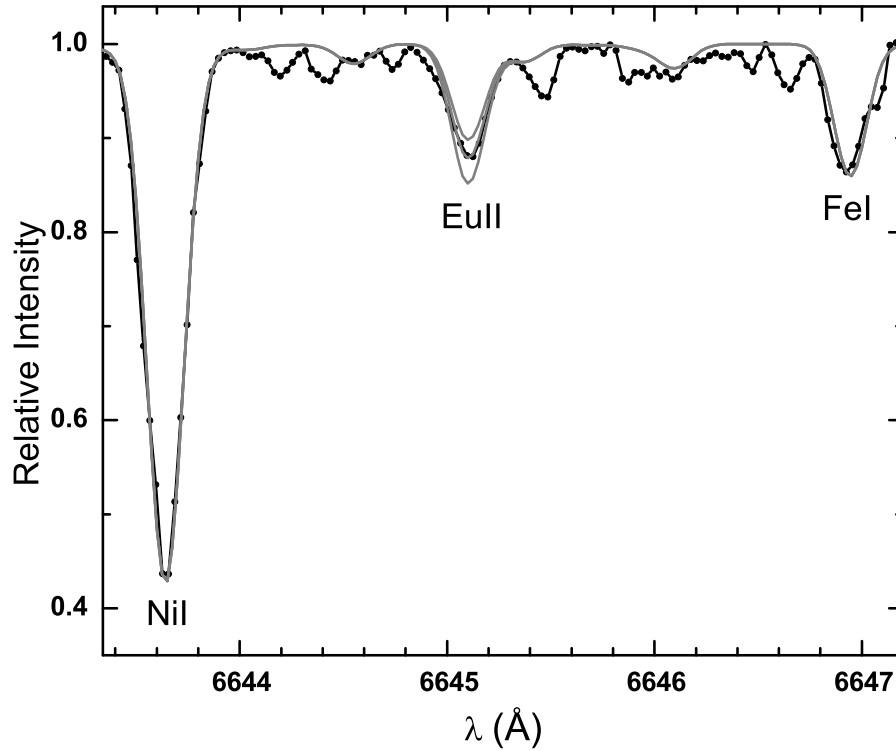


2.2 pav.: Sintetinio spektro pavyzdys ties $^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ linija. Pilkos linijos vaizduoja sintetinius spektrus su $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykių vertėmis 13 (apatinė), 15 (vidurinė) ir 17 (viršutinė), o juoda taškuota linija rodo IC 4651 72 žvaigždės spektrą.

Sintetinių spektrų metodu buvo nustatytos ir sunkiųjų elementų gausos: vario, cirkonio, itrio, lantano, cerio, neodimio, prazeodimio bei europio. Pav. 2.3 parodytas europio gausos įvertinimo sintetinių spektrų metodu pagal liniją ties 6645.1 Å pavyzdys.

2.4 Paklaidų įvertinimas

Paklaidas galima suskirstyti į dvi kategorijas. Pirmojoje kategorijoje atsiduria paklaidos veikiančios pavienės linijas, t.y. ekvivalentinio pločio matavimo netikslumas, atominių



2.3 pav.: Sintetinio spektro ties Eu II 6645.1 Å linija pavyzdys. Sintetiniai spektrai pavaizduoti pilkomis linijomis vertėms $[Eu/Fe] = 0.17 \pm 0.10$. Juoda taškuota linija žymi žvaigždės NGC 2506 438 spektrą.

parametrų paklaidos ar ištisinio spektro netikslus įvertinimas ties tiriama linija. Šių matavimų ir parametrų paklaidos sukelia rezultatų iš atskirų linijų išsibarstymą, kurių vertės pateiktos lentelėse. Šių išsibarstymų vidutinę vertę galima laikyti tipine atsitiktinių paklaidų verte. Šiame darbe tipinė atsitiktinių paklaidų verte yra 0.06.

Antroji kategorija apima paklaidas, veikiančias visas linijas, pvz. netikslus pagrindinių atmosferos parametrų įvertinimas. Elementų gausos jautrumas pagrindinių atmosferos parametrų pokyčiams ($\Delta T_{\text{eff}} = 100 \text{ K}$; $\Delta \log g = 0.2$; $\Delta v_t = 0.3 \text{ km s}^{-1}$) pateikiamas lentelėse kiekvienam spiečiui.

Rezultatai

3.1 Pagrindiniai atmosferų parametrai

Pagrindinių atmosferos parametrų reikšmės padrikųjų spiečių NGC 6134 ir IC 4651 žvaigždėms buvo paimtos iš Carretta et al. (2004), o spiečiui Collinder 261 iš Carretta et al. (2005). Spiečių NGC 2506 ir NGC 6253 žvaigždėms atmosferos parametrai buvo nustatyti šiame darbe. NGC 2506 žvaigždžių signalo ir triukšmo santykis yra mažiausias iš visų tirtų spiečių, todėl šiame darbe atmosferos parametrai buvo nustatyti iš naujo, kruopščiai atrenkant ir sumažinant geležies linijų skaičių. Padrikojo spiečiaus NGC 6253 žvaigždėms pagrindiniai atmosferos parametrai buvo nustatyti Carretta, Bragaglia & Gratton (2007) fotometriniu metodu. Siekiant kuo homogeniškesnio tyrimo, atmosferos parametrai buvo nustatyti spektroskopiniu metodu. Skirtumai tarp fotometrinio ir spektroskopinio metodų rezultatų yra nedideli, neapibrėžties ribose. Visų tirtų spiečių pagrindiniai atmosferos parametrai yra pateikti lentelėje disertacijos tekste.

3.2 Evoliuciniai cheminės sudėties efektai

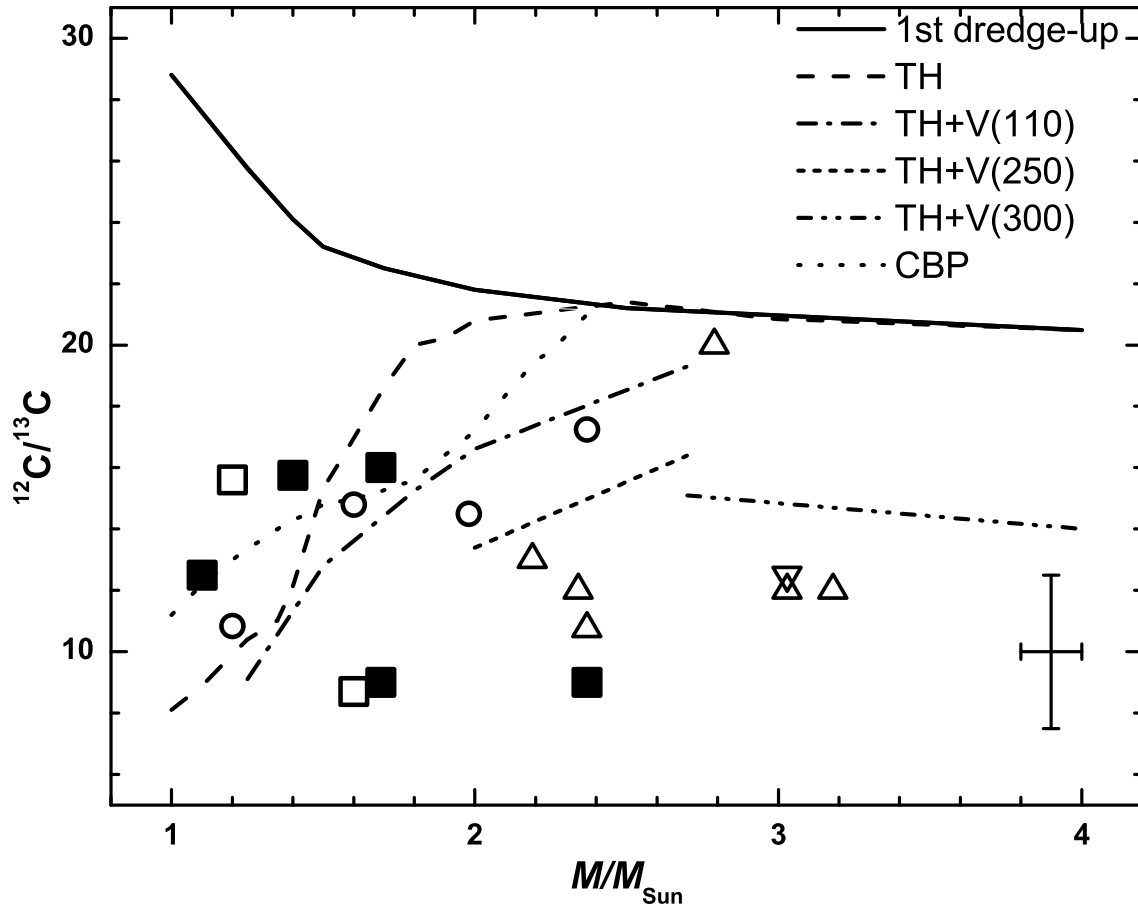
Termobranduolinės sintezės reakcijos yra pagrindiniai žvaigždžių evoliucijos varikliai. Sintezės metu pagamintų elementų perneša link išorinių žvaigždės sluoksnių nėra aktyvi, tačiau tam tikrose evoliucijos stadijose vidinė žvaigždės struktūra pasikeičia, tokiu būdu, jog prasideda materijos transportas tarp vidinių ir išorinių sluoksnių ir atmosferos cheminė sudėtis pasikeičia. Standartinė žvaigždžių evoliucijos teorija numato tik vieną tokį galimą įvykį mažos ir vidutinės masės žvaigždei evoliucionuojant raudonųjų milžinių sekoje. Tai yra, taip vadinama, pirmoji drumstis (Iben 1967), įvykstanti raudonųjų milžinių sekos pradžioje. Drumsties metu žvaigždės konvekciniis sluoksnis pasiekia termobranduolinių reakcijų pakeistus vidinius žvaigždės sluoksnius ir sumaišo žvaigždės medžiagą. Daugiausiai pakeičiamos CN-ciklo elementų gausos bei $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ gausų santykius žvaigždės atmosferoje. Taigi, anglis ir azotas yra jautrūs maišymosi

procesams elementai. Anglies, azoto bei $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ gausų santykiai yra, tarsi, maišymosi procesų indikatoriai mažos ir vidutinės masės milžinėse. Todėl daugelis maišymosi modelių pateikia šių elementų gausų ir jų santykių vertes, kaip pagrindinį įrankį, susiejantį teorinį modeliavimą ir stebėjimų rezultatus.

Anglies ir azoto gausos bei C/N, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai. Anglies ir azoto gausų pokyčiai gali būti stebimi lyginant evoliucionavusių žvaigždžių gausas su nykštukių gausomis. Gustafsson et al. (1999) ir Shi, Zhao & Chen (2002) atliko apie 90 F ir G spektrinės klasės pagrindinės sekos disko žvaigždžių analizę. [C/Fe] ir [N/Fe] vertės barstosi apie vidutinę vertę, kuri yra apytiksliai lygi Saulės vertėms. Visų, šiame darbe tirtų, žvaigždžių [C/Fe] vertės yra sumažėjusios per 0.1 – 0.3, o [N/Fe] yra išaugusios per 0.2 – 0.3. Šiame darbe naudojamos Saulės standartinės gausos yra $\log A_{\text{C}} = 8.52$ ir $\log A_{\text{N}} = 7.92$ (Grevesse & Sauval 2000), taigi C/N = 3.98. $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykis Saulės fotosferoje lygus 89 (Coplen & Mermilliod (2002)). Detalios tirtų žvaigždžių anglies, azoto bei C/N ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ vertės yra pateikiamos lentelėse disertacijos tekste.

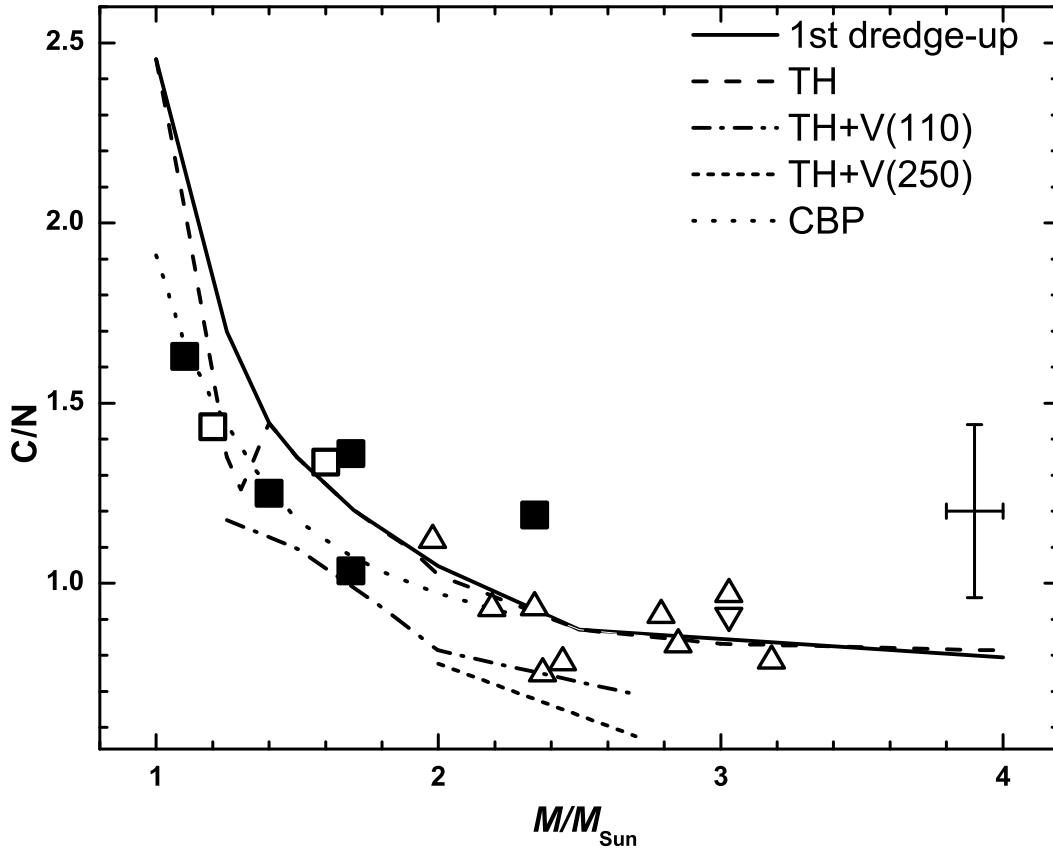
$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir C/N verčių palyginimas su teoriniais maišymosi modeliais. Padrikųjų spiečių helių centre deginančių žvaigždžių $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir C/N duomenys literatūroje yra labai negausūs. Disertacijoje yra pateikta $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir C/N santykių kompiliacija iš disertacijos tema publikuotų autoriaus straipsnių (Mikolaitis et al. 2010, 2011a,b, 2012) ir kitų darbų (Smiljanic et al. 2009; Tautvaišienė et al. 2000, 2005; Luck 1994 and Gilroy (1989)).

Grafikuose (pav 3.1 ir 3.2) pateikta sankaupos žvaigždžių anglies izotopų ir C/N santykių vidutinių verčių spiečiuose priklausomybė nuo posūkio iš pagrindinės sekos masės kartu su teorinių modelių vertėmis. Šaltojo žemutinių sluoksnių maišymosi modelį yra pasiūlę Boothroyd & Sackmann (1999), o pirmosios drumsties ir termohalinio maišymosi bei termohalinio maišymosi kartu su sukimosi pagrindinėje sekoje sukulto maišymosi komponentėmis (110 km s^{-1} , 250 km s^{-1} ir 300 km s^{-1}) – Charbonnel & Lagarde (2010). Helių centre deginančių žvaigždžių atmosferose nustatyti $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai patvirtina stebėjimų duomenis, rodančius, jog žvaigždėse kurių posūkio iš pagrindinės sekos masės yra didesnės nei $2.5 M_{\odot}$ yra didesnis nei numato teoriniai papildomo maišymosi modeliai. Tai matyti iš šiame darbe tirtos spiečiaus NGC 6134 ir kitų autorių tirtų spiečių: NGC 3532, NGC 5822, NGC 6134, NGC 6281 ir IC 4756 (Smiljanic et al. 2009) bei NGC 3532 (Luck 1994). Padrikųjų spiečių, kurių posūkio iš pagrindinės sekos masės yra mažesnės, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir C/N rezultatai sutampa su papildomo maišymosi modeliais.



3.1 pav.: Anglies izotopų santykių vidutinių reikšmių sancaupos žvaigždėse padrikuosiuose spiečiuose priklausomybė nuo posūkio iš pagrindinės sekos masių. Pirmosios drumsties, termohalinio maišymosi (TH) ir sukimosi sukkelto maišymosi (V) modeliai paimti iš Charbonnel & Lagarde (2010). Šaltojo žemutinių sluoksnių maišymosi modelis pagal Boothroyd & Sackmann (1999). Šio darbo stebėjimų rezultatai yra pažymėti pilnaviduriais kvadratais iš Mikolaitis et al. (2010, 2011a,b, 2012); iš Tautvaišienė et al. (2000, 2005) – tuščiaviduriais kvadratais; iš Smiljanic et al. (2009) – tuščiaviduriais trikampaiais; iš Luck (1994) – apverstais tuščiaviduriais trikampaiais; iš Gilroy (1989) – apskritimais. Tipinių paklaidų ribos yra pažymėtos.

Helio žybsnio įtaka maišymuisi. Keliuose spiečiuose buvo tirtos raudonosios milžinės, jau perkopusios šviesio mazgo stadiją, ir helį centre deginančios žvaigždės. Toks objektų pasirinkimas leidžia palyginti anglies izotopų santykius tarp šiose evoliucijos stadijose esančių žvaigždžių. Dvi spiečiaus Collinder 261 žvaigždės yra raudonosios sancaupos stadijoje, o likusios keturios yra milžinės, jau perkopusios šviesio mazgo stadiją. Anglies izotopų santykis helį centre deginančiose žvaigždėse yra sumažėjęs labiau nei raudonosios milžinėse. Vidutinė $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykio reikšmė sancaupos žvaigždėse šame spiečiuje yra 12 ± 1 , o virš šviesio mazgo esančiose milžinėse – 18 ± 2 . Spiečiuje NGC 2506 vidutinė C/N santykio reikšmė helį centre deginančiose žvaigždėse yra mažesnė (1.04 ± 0.11) nei



3.2 pav.: Anglies ir azoto gausių santykių vidutinių reikšmių sankaupos žvaigždėse padrikuosiuose spiečiuose priklausomybė nuo posūkio iš pagrindinės sekos masių. Simboliai yra tokie patys kaip ir pav. 3.1.

raudonosiose milžinėse (1.47 ± 0.08). Dviejose, šio spiečiaus, raudonosios sankaupos žvaigždėse $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykis taip pat sumažėjęs labiau (8 ir 10) nei raudonųjų milžinių viršūnės žvaigždėje (14).

Kituose darbuose autoriai taip pat pastebi $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ santykių skirtumų. Padrikajame spiečiuje NGC 7789 $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ santykis milžinėse yra 1.9 ± 0.5 , o raudonosios sankaupos žvaigždėse – 1.3 ± 0.2 (Tautvaišienė et al. 2005); bet $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykis yra panašus visose spiečiaus evoliucionavusiose žvaigždėse (9 ± 1). Smiljanic et al. (2009) padrikajame spiečiuje NGC 3532 rado skirtumų tarp $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykio verčių vienoje raudonosios sekos viršūnės žvaigždėje (20) ir helį centre deginančiose žvaigždėse (11 ± 1).

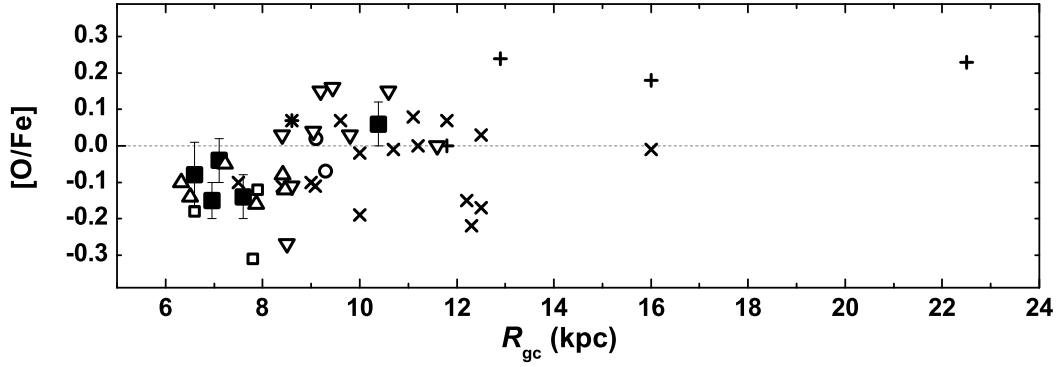
Helio žybsnio įtaka papildomam maišymuisi menkai tyrinėta. Negausūs teoriniai modeliai teigia, kad termobranduolinė sintezė ir maišymasis priklauso nuo helio šerdies degeneracijos laipsnio (žybsnio intensyvumo). Despain (1982), Deupree (1986) ir Deupree & Wallace (1987) skaičiavimai rodo, kad tarpiniai helio žybsniai sukelia intensyviausią maišimąsi. Vis dar bandoma teoriškai modeliuoti šį reiškinį (žr. Schlattl et al. 2001;

Cassisi et al. 2003; Dearborn, Lattanzio & Eggleton 2006; Mocák et al. 2010), bet dar trūksta tikslių raudonosios sekos viršūnės ir helį centre deginančių žvaigždžių tyrimų didelės skiriamosios gebos prietaisais.

3.3 Radialinis elementų pasiskirstymas Galaktikoje

Radialiniai padrikųjų spiečių cheminių elementų gausų gradientai jau buvo analizuoti per pastaruosius dešimtmečius eilėje darbų (žr. Friel 1995; Twarog, Ashman & Anthony-Twarog 1997; Bragaglia et al. 2001, 2008; Friel et al. 2002; Friel, Jacobson & Pilachowski 2005; Carretta et al. 2004, 2005; Carretta, Bragaglia & Gratton 2007; Yong, Carney & Teixeira de Almeida 2005; Sestito et al. 2006; Sestito, Randich & Bragaglia 2007; Sestito et al. 2008; Jacobson, Friel & Pilachowski 2008, 2009; Smiljanic et al. 2009; Pancino et al. 2010 ir kt.). Twarog, Ashman & Anthony-Twarog (1997) pirmieji numatė, kad padrikųjų spiečių elementų gausų radialinis pasiskirstymas Galaktikoje nėra tiesinis, bet pradeda keistis ties $R_{gc} = 10$ kpc. Vidinėje Galaktikos dalyje ($R_{gc} < R_{\odot}$) esančių spiečių metalingumas panašus į Saulės, o išorinėje ($R_{gc} > R_{\odot}$) yra apie -0.3 . Naujais tyrimais rodo, kad radialinis metalingumo gradientas yra statesnis disko dalyje ties $R_{gc} < 12 - 14$ kpc (c.f., Carraro et al. 2004, 2007; Yong, Carney & Teixeira de Almeida 2005; Sestito et al. 2006; Sestito, Randich & Bragaglia 2007; Sestito et al. 2008; Jacobson, Friel & Pilachowski 2009; Jacobson, Pilachowski & Friel 2011). Iki šiol nebuvo homogeniškų padrikųjų spiečių tyrimų, kuriuose vienu metodu ir programine įranga būtų nustatyti padrikųjų spiečių fotometriniai ir spektroskopiniai parametrai. BOCCE projekto tikslas yra vienodais metodais atlikti homogenišką plataus amžiaus ir atstumo intervalo padrikųjų spiečių tyrimą. Paveiksluose 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 ir 3.7 pateikiami radialiniai elementų gausų pasiskirstymai BOCCE projekte tirtuose spiečiuose ir, palyginimui, kitų darbų rezultatai. Rezultatų išsibarstymas yra ganėtinai didelis, bet mūsų rezultatai sutampa su kitų spiečių rezultatais ties panašiais R_{gc} . Visų šiame darbe tirtų spiečių žvaigždžių gausų rezultatai ir vidutinės reikšmės kiekvienam spiečiui pateikiami lentelėse disertacijos tekste.

Deguonis. Deguonies gausų rezultatai sutampa su metalingų nykštukių tyrimais (Bensby, Feltzing & Lundström 2004) bei su padrikųjų spiečių rezultatai iš Carretta et al. (2005) ir Carretta, Bragaglia & Gratton (2007). $[O/Fe]$ gausų (Fig. 3.3) padidėjimas tolstant nuo Galaktikos centro iki $R_{gc} = 12$ kpc ribos laikomas veidrodiniu $[Fe/H]$ ra-

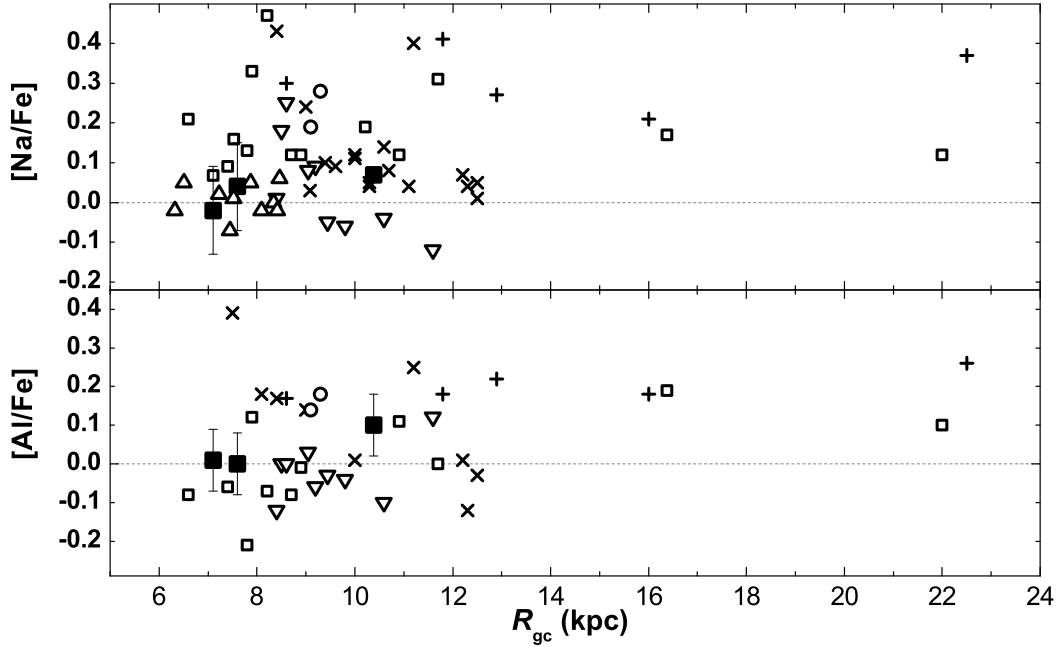


3.3 pav.: Radialinis deguonies gausų padrikuosiuose spiečiuose pasiskirstymas Galaktikoje. Tuščiaviduriai kvadratai žymi rezultatus iš Carretta et al. (2005); Carretta, Bragaglia & Gratton (2007). Disertacijoje pateikiami rezultatai pažymėti pilnaviduriais kvadratais. Kryželiai rodo rezultatus paimtus iš Friel, Jacobson & Pilachowski (2005) ir Jacobson, Friel & Pilachowski (2008, 2009); Jacobson, Pilachowski & Friel (2011), apskritimai – Tautvaišienė et al. (2000, 2005), pliusai – Yong, Carney & Teixeira de Almeida (2005), trikampiai – Smiljanic et al. (2009), ir apversti trikampiai – Pancino et al. (2010) ir Carrera & Pancino (2011).

dialinio pasiskirstymo atvaizdu (Friel, Jacobson & Pilachowski 2005; Jacobson, Friel & Pilachowski 2008, 2009; Jacobson, Pilachowski & Friel 2011). Manoma, kad šitoks [O/Fe] ir [Fe/H] ryšys, aptiktas ir daugelyje lauko žvaigždžių tyrimų (pvz. Bensby et al. 2005; Jacobson, Pilachowski & Friel 2011), yra kilęs iš didesnio Ia tipo supernovų indėlio į Galaktikos disko cheminę raidą.

Natris ir aliuminis. Natrio ir aliuminio gausos visuose trijuose tirtose padrikuosiuose spiečiuose yra artimos Saulės gausoms (žr. pav. 3.4). Vienas iš tirtų spiečių (IC 4651) buvo analizuotas kitose dvejose darbuose (Pasquini et al. 2004 ir Pace, Pasquini & François 2008). Pasquini et al. (2004) tyrė milžines ir pagrindinės sekos žvaigždės spiečiuje IC 4651, o Pace, Pasquini & François (2008) tik pagrindinės sekos žvaigžde. Autoriai teigia, kad [Na/Fe] yra didesnis milžinėse nei pagrindinės sekos žvaigždėse dėl vidinės termobranduolinės sintezės ir maišymosi. Tačiau, nei Pace, Pasquini & François (2008) nei šioje disertacijoje aprašytas tyrimas negali patvirtinti šio teiginio. Pasquini et al. (2004) ir Pace, Pasquini & François (2008) rezultatų palyginimas su disertacijos rezultatais pateiktas lentelėje disertacijos tekste. [Na/Fe] ir [Al/Fe] gausų pasiskirstymas Galaktikoje yra iš esmės plokščias.

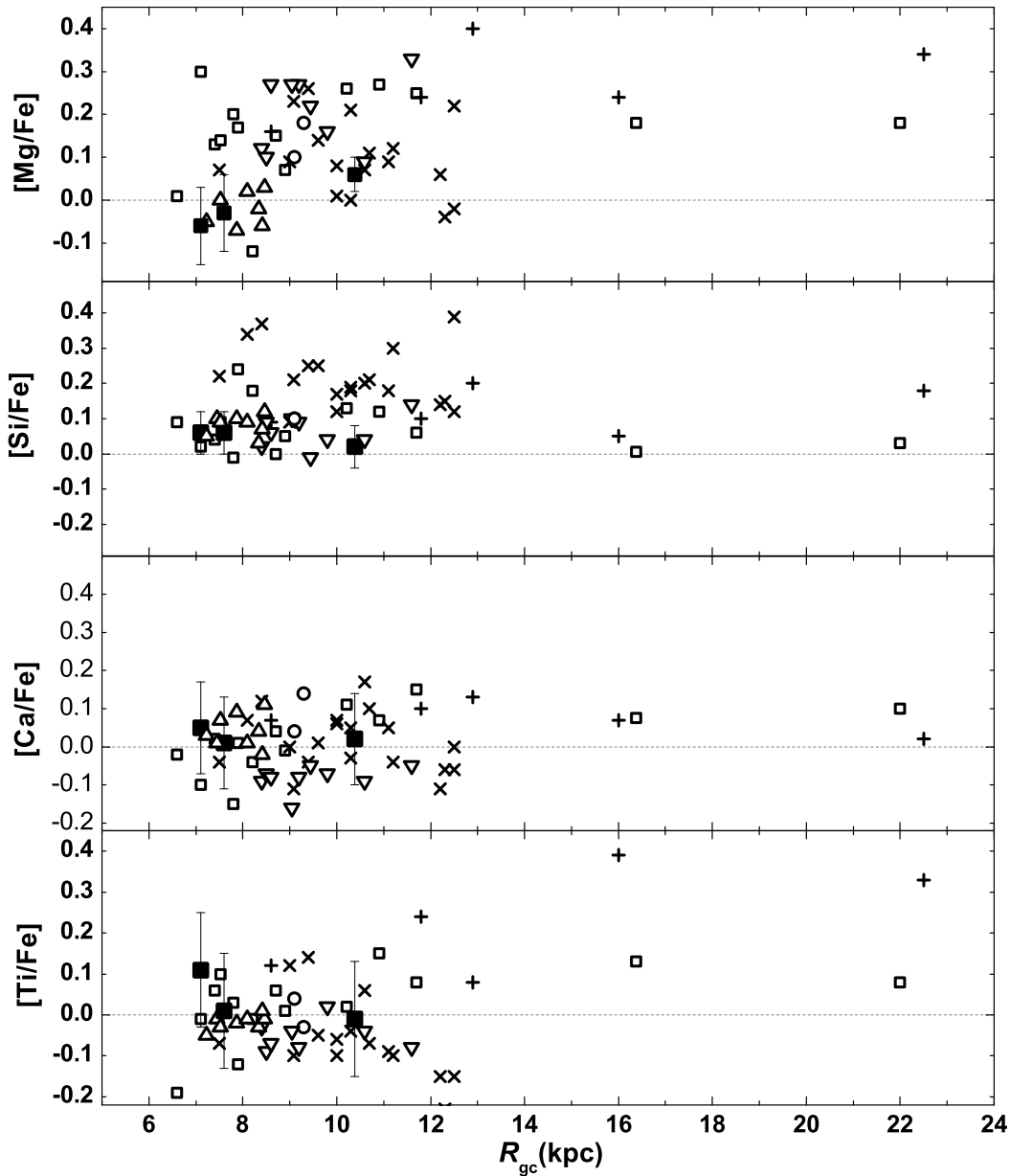
α -elementai. Nustatytos α -elementų gausos trijuose tirtuose spiečiuose yra panašios į Saulės. Vidutinė keturių α -elementų gausa spiečiuje NGC 2506 yra $[\alpha/Fe] \equiv \frac{1}{4}([\text{Mg}/\text{Fe}] +$



3.4 pav.: Radialiniai natrio ir aliuminio gausų padrikuose spiečiuose pasiskirstymai Galaktikoje. Tuščiaviduriai kvadratai žymi rezultatus iš Bragaglia et al. (2001, 2008), Carretta et al. (2004, 2005), Carretta, Bragaglia & Gratton (2007), Sestito et al. (2006), Sestito, Randich & Bragaglia (2007) ir Sestito et al. (2008). Kitų simbolių reikšmės kaip ir pav. 3.3.

$[\text{Si}/\text{Fe}] + [\text{Ca}/\text{Fe}] + [\text{Ti}/\text{Fe}] = 0.0 \pm 0.06$, spiečiuje NGC 6134 – $[\alpha/\text{Fe}] = 0.02 \pm 0.03$ ir IC 4651 – $[\alpha/\text{Fe}] = 0.06 \pm 0.07$. Pasquini et al. (2004) darbe α -elementų gausos spiečiuje IC 4651 taip pat artimos Saulės gausoms: $[\alpha/\text{Fe}]$ reikšmė milžinėms yra lygi 0.07 ± 0.05 ir pagrindinės sekos žvaigždėms – 0.08 ± 0.04 . Radialinis α -elementų gausų pasiskirstymas parodytas pav. 3.5. Kaip matyti iš paveikslėlio, $[\text{Si}/\text{Fe}]$, $[\text{Ca}/\text{Fe}]$ ir $[\text{Ti}/\text{Fe}]$ patvirtina kitų autorių stebėjimų rezultatus, kad radialinis gausų pasiskirstymas iš esmės yra plokščias, o $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ vertės, kaip ir deguonies atveju, turi tendenciją augti didėjant Galaktocentriniams atstumams iki $R_{\text{gc}} = 12$ kpc.

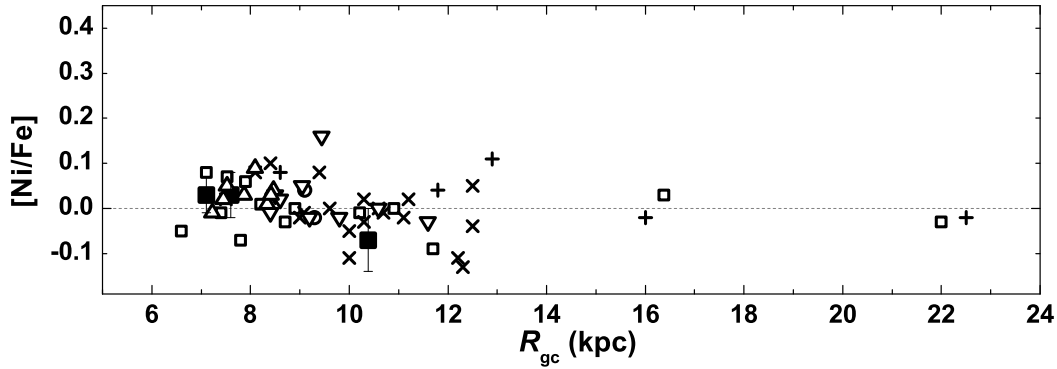
Geležies grupės elementai. Šiame darbe buvo tirti ir geležies grupės elementai: skandis, vanadis, chromas, manganas, kobaltas ir nikelis. Kaip ir tikėtasi, geležies grupės elementų santykiai geležies atžvilgiu yra panašūs į santykius Saulėje. Radialinis nikelio gausų pasiskirstymas padrikuosiuose spiečiuose parodytas pav. 3.6. Pasquini et al. (2004) ir Pace, Pasquini & François (2008) savo tyrimuose nustatė nikelio gausas spiečiui IC 4651. Mūsų gauta vertė yra artima Pasquini et al. (2004) milžinių $[\text{Ni}/\text{Fe}]$ vidutinei vertei. $[\text{Ni}/\text{Fe}]$ vertės yra siaurai išsibarsčiusios apie nulį visame Galaktikos diske (žr. pav. 3.6). Nustatytos vidutinės $[\text{Ni}/\text{Fe}]$ gausos palaiko kitų autorių stebėjimų rezul-



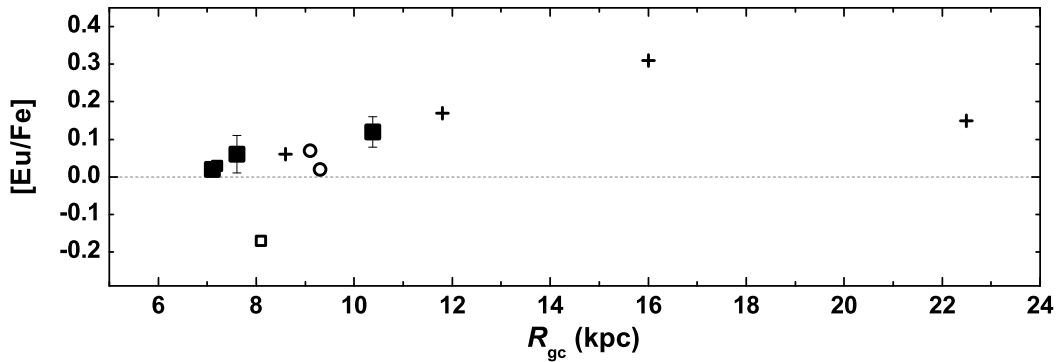
3.5 pav.: Radialiniai magnio, silicio, kalcio ir titano gausų padiriuose spiečiuose pasiskirstymai Galaktikoje. Simbolių reikšmės kaip ir pav. 3.4.

tatus, teigiančius, kad šių elementų radialinis pasiskirstymas Galaktikoje yra iš esmės vienodas.

***s*- ir *r*-procesų elementai.** *s*- ir *r*-procesų elementų tyrimui tinkamų linijų yra labai nedaug. Šiame darbe nustatytos cinko, itrio, cirkonio, bario, lantano, cerio, prazeodimio, neodimio ir europio gausos trijų spiečių (NGC 2506, NGC 6134 and IC 4651) žvaigždėse. Nustatytos *s*- ir *r*-procesų elementų gausos ($[El/Fe]$) artimos Saulės gausoms, išskyrus



3.6 pav.: Radialinis nikelio gausų padrikuosiuose spiečiuose pasiskirstymas Galaktikoje. Simbolių reikšmės kaip ir pav. 3.4.



3.7 pav.: Radialinis europio gausų padrikuosiuose spiečiuose pasiskirstymas Galaktikoje. Tuščiaviduriai kvadratai žymi rezultatus iš Carretta, Bragaglia & Gratton (2007). Disertacijoje pateikiami rezultatai pažymėti pilnaviduriais kvadratais. Plusai rodo rezultatus paimtus iš Yong, Carney & Teixeira de Almeida (2005) ir apskritimai – Tautvaišienė et al. (2000, 2005).

europio gausą ($[Eu/Fe]$), kuri yra 0.2 padidėjusi labiausiai nuo Galaktikos centro nutolusio padrikojo spiečiaus NGC 2506 žvaigždėse. Padrikasis spiečius IC 4651 vėliau buvo tirtas Maiorca et al. (2011). Šioje analizėje pateikti itrio, cirkonio, lantano ir cerio gausų duomenys patvirtina mūsų rezultatus. *s*- ir *r*-procesų elementų padrikųjų spiečių žvaigždėse tyrimų kol kas yra labai nedaug. Pav. 3.7 pateikiamas europio gausų galaktocentrinio pasiskirstymo grafikas.

Pagrindiniai rezultatai ir išvados

1. Nustatytos iki 26 cheminių elementų gausos trijų padrikųjų spiečių evoliucionavusių žvaigždžių atmosferose. Atmosferos pagrindiniai parametrai nustatyti padrikųjų spiečių NGC 2506 ir NGC 6253 žvaigždėms.
2. $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ir $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ gausų santykiai nustatyti penkių padrikųjų spiečių evoliucionavusių žvaigždžių atmosferose:
 - NGC 2506 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=9 \pm 1$, $\text{C}/\text{N}=1.04 \pm 0.11$ dvejose helį centre deginančiose žvaigždėse ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=14$, $\text{C}/\text{N}=1.55$ raudonųjų milžinių sekos viršūnės žvaigždėje;
 - NGC 6134 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=9 \pm 2.5$ ir $\text{C}/\text{N}=1.2 \pm 0.2$ šešiose helį centre deginančiose žvaigždėse;
 - NGC 6253 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=16 \pm 2.5$ ir $\text{C}/\text{N}=1.37 \pm 0.09$ keturiose helį centre deginančiose žvaigždėse;
 - IC 4651 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=16 \pm 2$, $\text{C}/\text{N}=1.36 \pm 0.14$ trijose helį centre deginančiose žvaigždėse ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=15 \pm 1$, $\text{C}/\text{N}=1.23 \pm 0.15$ dvejose raudonųjų milžinių sekos žvaigždėse;
 - Collinder 261 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=12 \pm 1$, $\text{C}/\text{N}=1.62 \pm 0.06$ dvejose helį centre deginančiose žvaigždėse ir $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=18 \pm 2$, $\text{C}/\text{N}=1.79 \pm 0.18$ keturiose raudonųjų milžinių sekos žvaigždėse.
3. Helį centre deginančiose žvaigždėse kurių žvaigždžių posūkio iš pagrindinės sekos masės yra mažesnės nei $2 M_{\odot}$, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai gerai sutampa su termohalinio (TH) bei šaltojo žemutinių sluoksnių (CBP) papildomo maišymosi modeliais.
4. Padrikojo spiečiaus NGC 6134 helį centre deginančių žvaigždžių atmosferose nustatyti $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ santykiai patvirtina stebėjimų duomenis, rodančius, jog žvaigždėse, kurių posūkio iš pagrindinės sekos masės yra didesnės nei $2.5 M_{\odot}$, papildomas maišymasis yra didesnis nei numato teoriniai modeliai.

5. Padrikuosiuose spiečiuose NGC 2506 ir NGC 6253 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ gausų santykiai helio centre deginančių žvaigždžių atmosferose yra mažesni nei žvaigždėse, perkopusiose šviesio mazgą raudonųjų milžinių sekoje. Tai galėtų būti dėl galimo papildomo medžiagos maišymosi helio žybsnio metu.
6. Nustatytos vidutinės $[\text{Na}/\text{Fe}]$, $[\text{Al}/\text{Fe}]$, $[\text{Si}/\text{Fe}]$, $[\text{Ca}/\text{Fe}]$, $[\text{Ti}/\text{Fe}]$ ir $[\text{Ni}/\text{Fe}]$ gausos palaiko kitų autorių stebėjimų rezultatus, teigiančius, kad šių elementų radialinis pasiskirstymas Galaktikoje yra iš esmės plokščias. $[\text{O}/\text{Fe}]$ ir $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ gausos turi tendenciją augti tolstant nuo Galaktikos centro iki apie $R_{\text{gc}} = 12$ kpc.

Literatūra

- Anthony-Twarog B. J., Deliyannis C. P., Twarog B. A., Cummings J. D., Maderak R. M., 2010, AJ, 139, 2034
- Bensby T., Feltzing S., Lundström I., 2004, A&A, 415, 155
- Bensby T., Feltzing S., Lundström I., Ilyin I., 2005, A&A, 433, 185
- Boothroyd A. I., Sackmann I. J., 1999, ApJ, 510, 232
- Bragaglia A., et al. 2001, AJ, 121, 327
- Bragaglia A., Tosi M. 2006, AJ, 131, 1544
- Bragaglia A., Sestito P., Villanova S., Carretta E., Randich S., Tosi M., 2008, A&A, 480, 79
- Carraro G., Ng Y. K., Portinari L., 1998, MNRAS, 296, 1045
- Carraro G., Bresolin F., Villanova S., Matteucci F., Patat F., Romaniello M., 2004, AJ, 128, 1676
- Carraro G., Geisler D., Villanova S., Frinchaboy P. M., Majewski S. R., 2007, A&A, 476, 217
- Carrera R., Pancino E., 2011, arXiv, arXiv:1107.2242
- Carretta E., Bragaglia A., Gratton R., Tosi M., 2004, A&A, 422, 951
- Carretta E., Bragaglia A., Gratton R., Tosi M., 2005, A&A, 441, 131
- Carretta E., Bragaglia A., Gratton R. 2007, A&A, 473, 129
- Cassisi S., Schlattl H., Salaris M., Weiss A., 2003, ApJ, 582, L43
- Charbonnel C. & Lagarde N., 2010, A&A, 522, 10
- Chen W.P., Chen C.W., Shu C.G., 2004, AJ, 128, 2306
- Chiu L.-T. G., van Altena W. F., 1981, ApJ, 243, 827
- Claria J. J., Mermilliod J. C., 1992, A&AS, 92, 429

Coplen T. et al. 2002, *Pure & Appl. Chem.* 74:1987-2017

Dearborn D. S. P., Lattanzio J. C., Eggleton P. P. 2006, *ApJ*, 639, 405

Denissenkov P. A., Herwig F., 2003, *ApJ*, 590, L99

Denissenkov P. A., 2010, *ApJ*, 723, 563

Despain K. H. 1982, *ApJ*, 253, 811

Deupree R.G., Wallace R. K. 1987, *ApJ*, 317, 724

Deupree R.G. 1986, *ApJ*, 303, 649

Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A., Lépine J. R. D., 2002, *A&A*, 389, 871

Friel E. D., Janes K. A., 1993, *A&A*, 267, 75

Friel E. D., 1995, *ARA&A*, 33, 381

Friel E. D., Janes K. A., Tavaréz M., Scott J., Katsanis R., Lotz J., Hong L., Miller N., 2002, *AJ*, 124, 2693

Friel E. D., Jacobson H. R., Pilachowski C. A., 2005, *AJ*, 129, 2725

Gilroy K. K., 1989, *ApJ*, 347, 835

Gilroy K. K., Brown J. A., 1991, *ApJ*, 371, 578

Gonzalez, G., Lambert, D.L., Wallerstein, G., Rao, N.K., Smith, V.V., McCarthy, J.K., 1998, *ApJS* 114, 133

Gonzalez G., Wallerstein G., 2000, *PASP*, 112, 774

Gozzoli E., Tosi M., Marconi G., Bragaglia A., 1996, *MNRAS*, 283, 66

Gratton R.G., 1988, *Rome Obs. Preprint Ser.*, 29

Gratton R.G., Carretta, E., Eriksson, K., Gustafsson, B., 1999, *A&A*, 350, 955

Grevesse N., Sauval A. J., 2000, "Origin of Elements in the Solar System, Implications of Post-1957 Observations, O. Manuel (ed.), Kluwer, 261

Gurtovenko E. A., Kostyk R. I., 1989, "Fraunhofer's spectrum and a system of solar oscillator strengths", Kiev, Naukova Dumka, 200

Gustafsson B., Karlsson T., Olsson E., Edvardsson B., Ryde N., 1999, *A&A*, 342, 426

Iben I., Jr., 1967, *ApJ*, 147, 624

- Jacobson H. R., Friel E. D., Pilachowski C. A., 2008, AJ, 135, 2341
- Jacobson H. R., Friel E. D., Pilachowski C.A., 2009, AJ, 137, 4753
- Jacobson H. R., Pilachowski C. A., Friel E. D., 2011, AJ, 142, 59
- Janes K. A., Phelps R. L., 1994, AJ, 108, 1773
- Johansson S., Litzén U., Lundberg H., Zhang Z., 2003, ApJ, 584, 107
- Kupka F. G., Ryabchikova T. A., Piskunov N. E., Stempels H. C., Weiss W. W., 2000, BaltA, 9, 590
- Kurucz R. L., Furenlid I., Brault J., Testerman L., 1984, "Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm.", National Solar Observatory, Sunspot, New Mexico
- Kurucz R., 1993, KurCD, 13,
- Kurucz R. L., Bell B., 1995, Atomic Line Data, Kurucz CD-ROM No. 23, Cambridge Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory.
- Luck R. E., 1994, ApJS, 91, 309
- Maiorca E., Randich S., Busso M., Magrini L., Palmerini S., 2011, ApJ, 736, 120
- Marconi G., Hamilton D., Tosi M., Bragaglia A., 1997, MNRAS, 291, 763
- Mazur B., Krzeminski W., Kaluzny J., 1995, MNRAS, 273, 59
- McClure R. D., 1974, ApJ, 194, 355
- Mermilliod J.-C., 1995, ASSL, 203, 127
- Mermilliod J.-C., Paunzen E., 2003, A&A, 410, 511
- Minniti D., 1995, A&AS, 113, 299
- Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2010, MNRAS, 407, 1866
- Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2011a, MNRAS, 413, 2199
- Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2011b, MNRAS, 416, 1092
- Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., Gratton R., Bragaglia A., Carretta E., 2012, A&A, 541, A137

Mikolaitis Š., Tautvaišienė G., 2011, *EAS*, 45, 413

Mocák M., Campbell S. W., Müller E., Kifonidis K. 2010, *A&A*, 520, 114

Montalto M., Piotto G., Desidera S., Platais I., Carraro G., Momany Y., de Marchi F., Recio Blanco A., 2009, *yCat*, 350, 51129

Moore C. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J., 1966, *The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å*, NBS Monogr., No. 61

Origlia L., Valenti E., Rich R. M., Ferraro F. R., 2006, *AJ*, 646, 499

Pace G., Pasquini L., François P., 2008, *A&A*, 489, 403

Pagel B. E. J., 1974, *MNRAS*, 167, 413

Pancino E., Carrera R., Rossetti E., Gallart C., 2010, *A&A*, 511, 56

Pasquini L., Randich S., Zoccali M., Hill V., Charbonnel C., Nordström B., 2004, *A&A*, 424, 951

Piatti A. E., Clariá J. J., Bica E., Geisler D., Minniti D., 1998, *AJ*, 116, 801

Sbordone L., Bonifacio P., Castelli F., Kurucz R. L., 2004, *MSAIS*, 5, 93

Schlattl H., Cassisi S., Salaris M., Weiss A. 2001, *ApJ*, 559, 1082

Sestito P., Bragaglia A., Randich S., Carretta E., Prisinzano L., Tosi M., 2006, *A&A*, 458, 121

Sestito P., Randich S., Bragaglia A., 2007, *A&A*, 465, 185

Sestito P., Bragaglia A., Randich S., Pallavicini R., Andrievsky, S. M., Korotin S. A., 2008, *A&A*, 488, 943

Shi J. R., Zhao G., Chen Y. Q., 2002, *A&A*, 381, 982

Smiljanic R., Gauderon R., North P., Barbuy, B., Charbonnel C., Mowlavi N., 2009, *A&A*, 502, 267

Tautvaišienė G. Edvardsson B., Tuominen I., Ilyin I., 2000, *A&A*, 360, 499

Tautvaišienė G. Edvardsson B., Puzeras E., Ilyin I., 2005, *A&A*, 431, 933

Tautvaišienė G., Mikolaitis Š., Puzeras E., 2009, *MmSAI*, 80, 534

Tosi M., Greggio L., Marconi G., Focardi P., 1991, *AJ*, 102, 951

Twarog B. A., Ashman K. M., Anthony-Twarog B. J., 1997, *AJ*, 114, 2556

Yong D., Carney B. W., Teixeira de Almeida M. L., 2005, *AJ*, 130, 597

Summary

Open clusters are important tools for studying of the Galactic disk as well as for understanding of stellar evolution. Stars of open clusters have three constant basic parameters (age, initial composition and distance) and one that varies from star to star (mass). This makes open clusters to be excellent laboratories for investigations of stellar and Galactic chemical evolution. Since cluster members were initially of approximately identical chemical composition, all changes in stellar atmospheres of evolved stars are related to internal and external processes of stellar evolution. Changes of carbon and nitrogen abundances are most often seen in evolved stars.

Uniform groups of stars are better tools for understanding whether and how a slope of the radial metallicity distribution in a galaxy changes with time, since the statistics of the uniform multi-object system is much better, and their ages, distances and metallicities are more accurately derived than for field stars.

The main aim of the study is dedicated for the analysis of mixing tracers and possible extra mixing evidences in photospheres of evolved stars. Extra-mixing processes may become efficient on the red giant branch when stars reach the so-called red giant branch (RGB) luminosity bump, and may modify the surface abundances. Alterations of $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ and $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ ratios depend on stellar evolutionary stage, mass and metallicity. This study aims to test theoretical models. The secondary goal is a contribution of observational data to the study of present properties of the Galactic disc, its history and evolution. By collecting new spectroscopic data for open clusters, we aim to contribute to the analysis of chemical composition gradients according to Galactocentric distances.

In this thesis work we derived photospheric abundances of up to 26 chemical elements, and $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ and $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ ratios in evolved stars of five open clusters. The $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratios in helium-core-burning clump stars for the clusters with turn-off masses lower than $2 M_{\odot}$ are in agreement with the Cool-bottom processing (CBP) model and the Thermohaline mixing (TH) model. The observed $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratios of the helium-core-burning stars in the open cluster NGC 6134 support the observational evidences of larger than theoretically predicted extra-mixing in stars heavier than $2.5 M_{\odot}$. In the open clusters NGC 2506 and NGC 6253, the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratios in core-helium-burning stars are lower than in the

first ascent giants, located above the RGB luminosity bump. This could be caused by the further material mixing during a very violent helium flash event. Further precise observations of stars during various evolutionary phases in clusters are most important in order to uncover effects of the internal material mixing.

Trumpos žinios apie autorių

Vardas, pavardė: Šarunas Mikolaitis
Gimimo data: 1980 12 16
Gimimo vieta: Šiaulių m.
Elektroninis paštas: Sarunas.Mikolaitis@tfai.vu.lt

Išsilavinimas:

1999 – 2003 Vytauto Didžiojo universitetas, Aplinkotyros fakultetas,
fizikos bakalauro kvalifikacinis laipsnis

2003 – 2005 Vytauto Didžiojo universitetas, Aplinkotyros fakultetas,
fizikos magistro kvalifikacinis laipsnis

2007 – 2011 Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos
institutas, doktorantūros studijos

Profesinė patirtis:

2003 – 2005 Kauno J. Dobkevičiaus vidurinė mokykla,
fizikos ir informatikos dalykų mokytojas

2005 – 2008 Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos
institutas, astronomas tyrėjas

2008 – Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos
institutas, jaunesnysis mokslo darbuotojas