VILNIAUS UNIVERSITETO

FIZIKOS FAKULTETO

TEORINĖS FIZIKOS IR ASTRONOMIJOS INSTITUTAS

Kristina Jakavonytė

LIČIO GAUSA SAULĖS APLINKOS ŽVAIGŽDŽIŲ ATMOSFEROSE

BAKALAURO STUDIJŲ BAIGIAMASIS DARBAS

Kompiuterinės fizikos ir modeliavimo studijų programa

Studentas Kristina Jakavonytė

Darbo vadovas dr. Arnas Drazdauskas

Instituto atstovas prof. dr. Egidijus Anisimovas

Vilnius 2022

TURINYS

ĮVADAS.....3

1. TEORINĖ DALIS.....5

1.1 Litis žvaigždėse.....5

1.2 Ličio evoliucija.....5

1.3 Ličio problematika.....7

1.4 FGK žvaigždės.....8

1.5 Analizės metodai.....9

2. TIRIAMOJI DALIS.....11

REZULTATAI IR IŠVADOS.....17

LITERATŪRA.....20

SUMMARY.....21

ĮVADAS

Po daug diskusijų, tyrimų, bei parašytų mokslinių darbų ličio problematika nesilpsta. Ją gaubia daug klausimų į kuriuos vis dar nėra tikslių atsakymų. Kodėl nesutampa stebima pirminė ličio gausa ir Didžiojo sprogimo teorijos prognozės? Kokios problemos susijusios su ličio dykuma? Kodėl „Spite lygumos“ vertė yra kur kas didesnė už ličio gausą Galaktikos halo žvaigždėse nykštukėse? Ar planetos esančios žvaigždžių aplinkoje daro įtaką ličio išeikvojimui tose žvaigždėse? Kokie yra pagrindiniai ličio gamybos šaltiniai: raudonosios milžinės, asimptotinės sekos žvaigždės (AGB), novos ar II tipo supernovos? Šiuo darbu bandoma prisiliesti prie šių astronomams svarbių problemų.

Šiame darbe tirtos žvaigždės yra šiaurinio dangaus FGK spektrinio tipo žvaigždės kurių ryškis V < 8 mag. Žvaigždės stebėtos šiaurinio dangaus spektroskopinio ir fotometrinio tyrimo (SPFOT) projektui. Šiuo projektu siekiama nustatyti šiauriniame dangaus skliaute esančių žvaigždžių detalią cheminę sudėtį bei pagrindinius žvaigždžių atmosferų fizikinius parametrus tokius kaip: efektinė temperatūra T_{eff}, metalingumas [Fe/H] bei žvaigždės paviršiuje esančio gravitacijos pagreičio vertė (log g). Šie parametrai SPFOT projekte buvo nustatyti iš Molėtų astronominės observatorijos (MAO) aukštos spektrinės skyros Vilniaus universiteto ešele spektrografu (VUES) bei 1.65m teleskopu gautų duomenų.

Šiame darbe nustatinėjau ličio gausas Saulės aplinkos žvaigždžių atmosferose, lyginau jas su žvaigždžių fizikiniais parametrais. Savo rezultatus lyginau su kitų autorių darbais. Pagrindinis šio darbo tikslas yra ištirti ličio gausas Saulės aplinkos žvaigždžių atmosferose.

Darbo tikslas:

- Ištirti ličio gausas Saulės aplinkos žvaigždžių atmosferose

Užduotys:

- Atlikti literatūros apžvalgą apie ličio problematiką bei sintetinių spektrų metodą.
- Nustatyti ličio gausas Saulės aplinkos žvaigždėse.
- Palyginti rezultatus su kituose darbuose nustatytomis gausomis.

1. TEORINĖ DALIS

1.1 Litis žvaigždėse

Litis yra vienas unikaliausių cheminių elementų žvaigždėse, iš visų lengvųjų elementų jis yra jautriausias žvaigždžių evoliucijos rodiklis. Šį elementą supa daug neišspręstų klausimų, ir nors tyrimų ir mokslinių straipsnių apie jį gausu, litis vis dar yra mokslininkų dėmesio centre.

Litis yra trapus elementas, kuris sunaikinamas santykinai žemoje 2,5 × 10^6 K temperatūroje žvaigždžių vidiniuose sluoksniuose, tad jį retai galima aptikti žvaigždžių atmosferose [1]. Didžioji dalis ličio susidaro per novų sprogimus, branduolinių reakcijų metu [2]. Bet ne tik novų metu yra gaminamas litis, bet ir asimptotinėse milžinių sekos (AGB) žvaigždėse, mažos masės milžinėse, II tipo supernovų sprogimo metu bei galaktikos kosminių spindulių susidūrime su tarpžvaigždine medžiaga [3].

Didžiojo sprogimo metu susiformavo penki lengviausi elementai: H, He, Li, Be ir B iš kurių daugiausiai pagal masę ir atomų skaičių buvo H ir He [He/H] = 0,082±0,002), o Li, Be ir B kiekiai buvo mažesni: $[\ ^7Li/H] \sim 10^{-10}, [\ ^9Be/H] \sim 10^{-18}$ [4]. Dėl galaktikos cheminės evoliucijos, bei vidinių procesų vykstančių kiekvienoje žvaigždėje jos evoliucijos metu, dabar stebima gan skirtingos Li, Be ir B gausos. Šios gausos pradėjo keistis susikūrus pirmosioms žvaigždėms (praėjus maždaug 400 mln. metų po Didžiojo sprogimo) prasidėjus sunkesnių elementų sintezei [4].

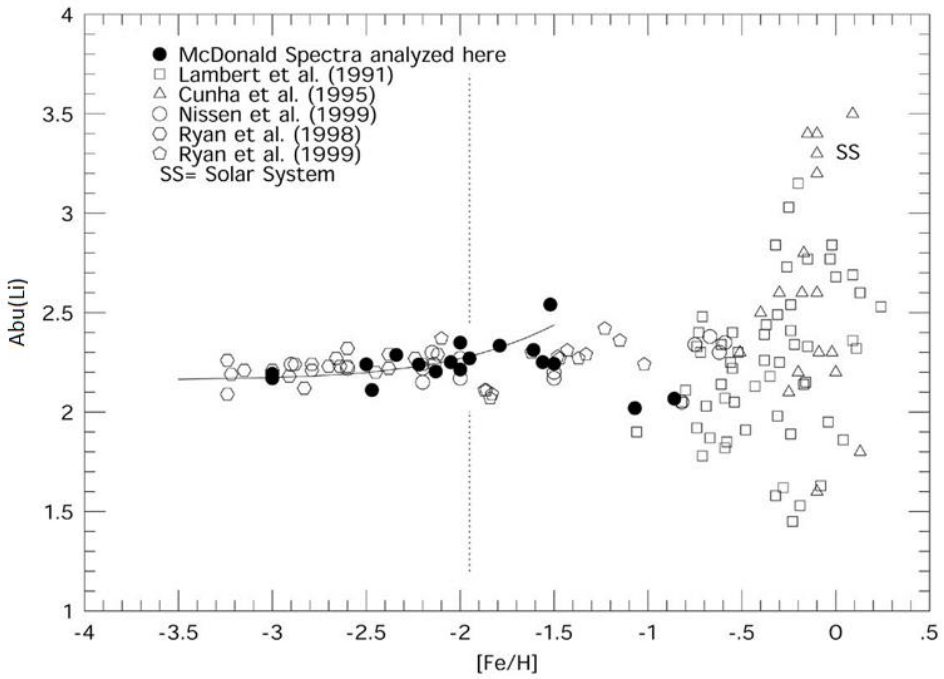
Litis lengvai jonizuojamas – jo jonizacijos potencialas yra 5,39eV, todėl Li I linijos matomos tik palyginti šaltose žvaigždėse, kurių paviršiaus efektyvi temperatūra T_{eff} < 8500 K, tai reiškia kad šios linijos matomos nuo vėlyvųjų A iki M spektrinės klasės žvaigždžių atmosferose. Karštesnėse žvaigždėse visas atmosferoje esantis litis yra visiškai jonizuotas, todėl Li I linijų stebėti neįmanoma. Stipri Li I linija, kurios bangos ilgis 6707,8 Å dažniausiai yra stebima šaltų žvaigždžių spektruose, tad kaip ir šiame darbe, visi duomenys apie ličio gausą ir yra gaunami analizuojant būtent šią liniją. Retesniais atvejais galima matyti silpnesnę antrą Li I 6103,6 Å liniją [4], tačiau ji šiame darbe tyrinėta nebuvo.

1.2 Ličio evoliucija

Ličio (^7Li) evoliucija yra nors ir labai svarbus bet iki galo neišaiškintas klausimas. Daugumos nemetalingų ($2{,}4 \lesssim [Fe/H] \lesssim -1{,}4$), šiltų ($5700K \lesssim T_{eff} \lesssim 6800K$) Galaktikos halo nykštukių ^7Li gausa yra labai panaši. Ši gausos riba vadinama „Spite lyguma“ ir yra lygi A(Li) ≃ 2,05 – 2,20

dex. Kurį laiką buvo manoma, kad ši vertė yra Li gausa, kuri susidarė Didžiojo sprogimo metu. Standartinė Didžiojo sprogimo nukleosintezės teorija (SBBN) numato, kad pirminę Li gausą daugiausia lemia pirminis barionų ir fotonų santykis, kurį galima nustatyti pagal kosminio mikrobangų fono (CMB) akustines osciliacijas. Pagal Planko palydovo duomenis gauto barionų ir fotonų santykio apskaičiuota Ličio gausa A(Li) = 2.66 – 2,73 dex, tai rodo, kad standartinė Didžiojo sprogimo nukleosintezės prognozuojama Li gausa beveik 3 kartus viršija žvaigždžių stebėjimais nustatytą vertę [3].

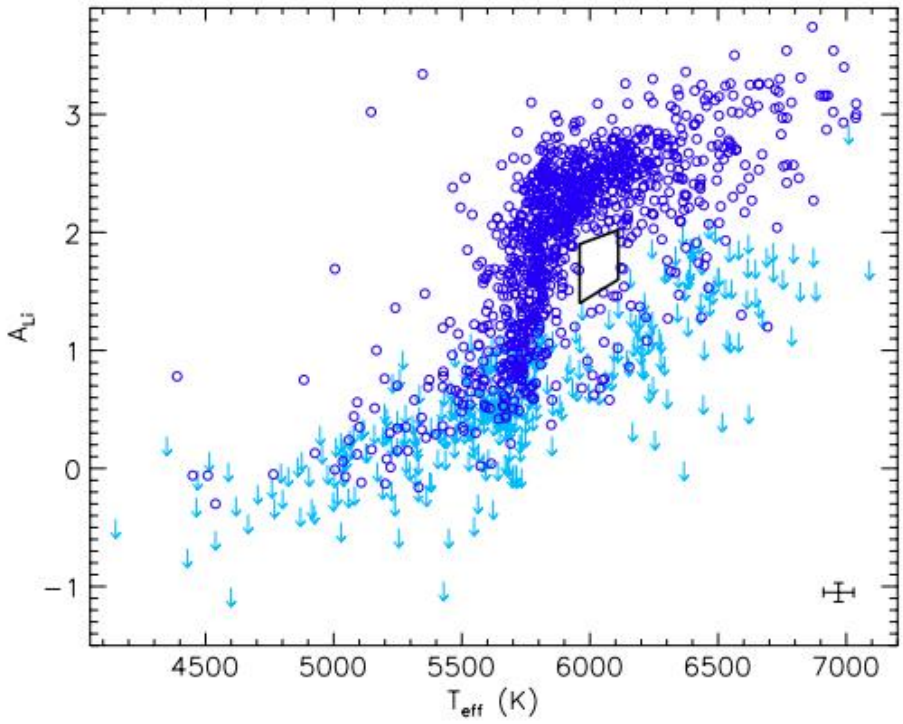
1 paveiksle matome įvairių duomenų surinktų iš skirtingų straipsnių grafiką, kuris rodo ličio priklausomybę nuo metalingumo. Jame puikiai matome „Spite lygumos“ pavyzdį, ties [Fe/H] $\lesssim -2$ [5].



1 pav. Rinkinys iš skirtingų duomenų vaizduojantys Ličio priklausomybę nuo metalingumo, [Fe/H] $\lesssim -2$ matoma „Spite lyguma“.

Vis dar nėra vienareikšmiškų atsakymų į du svarbius klausimus, susijusius su Ličio gausa senose žvaigždėse Galaktikos hale: Kodėl nesutampa stebima pirminė ličio gausa ir Didžiojo sprogimo teorijos prognozės, ir kodėl daugelio Galaktikos halo nykštukių Li gausa yra gerokai mažesnė už „Spite lygumos“ vertę? Kol nebus gauti patikimi atsakymai į šiuos klausimus, vargu ar galima laikyti, kad ličio problema, susijusi su senomis halo žvaigždėmis, yra išspręsta [4]

Dar vienas svarbus ličio gausos aspektas yra „ličio dykuma“ (pav. 2). Tai sritis Ličio gausos ir efektinės temperatūros grafike, kurioje atrodo nėra žvaigždžių. Ji susidaro, kai tarp T_{eff} - 5950 K ir 6100K žvaigždės pasiskirsto į dvi didelio ir mažo ličio kiekio grupes [6].



2 Pav. Ličio gausos priklausomybė nuo efektinės temperatūros su pažymėta ličio dykuma [6]

1.3 Ličio problematika

Sudėtinga ličio A(Li) gausos evoliucija, pastebėta tiriant skirtingų tipų Paukščių Tako žvaigždės, yra nuolatinių diskusijų objektas. Yra trys ^7Li nukleosintezės šaltiniai: galaktikos kosminiai spinduliai, žvaigždės bei pirmykštė nukleosintezė (angl. primordial nucleosynthesis).

Žinoma, kad žvaigždės yra vienas didžiausių ličio (^7Li) šaltinių, jos gamina didžiąją dalį ^7Li galaktikoje. Iš tiesų, vis dar nėra tiksliai išsiaiškinta ar ličio gamybos žvaigždėse pagrindiniai šaltiniai yra raudonosios milžinės, AGB žvaigždės, novos ar II tipo supernovos. Remiantis klasikiniais evoliuciniais modeliais yra manoma, kad Ličio gausa pagrindinės sekos (MS) žvaigždėse turėtų priklausyti nuo pagrindinių žvaigždžių parametrų, tokių kaip efektinė temperatūra, metalingumas, amžius ir chromosferos aktyvumo (angl. chromospheric activity).

Bet tos pačios žvaigždės kurios gamina litį jį taip pat ir naikina. Vienas iš pagrindinių parametrų, kuris atsakingas už ličio išeikvojimą (angl. depletion) saulės tipo žvaigždėse yra efektinė temperatūra (T_{eff}), antrasis, išeikvojimą skatinantis parametras yra žvaigždžių amžius, o metalingumas yra trečiasis [7].

Yra pastebėta, kad planetos esančios prie žvaigždžių, taip pat daro įtaką ličio išeikvojimui tose žvaigždėse. Pirmoji iškelta hipotezė, kad planetos taip pat gali turėti įtaką ličio išeikvojimui buvo

King et al. (1997) [8] darbe, kuriame buvo tyrinėta žvaigždė turinti Jupiterio dydžio planetą savo aplinkoje bei labai panaši palyginamoji žvaigždė be jokių planetų šalia. Buvo pastebėta, kad ličio gausos skiriasi tarp šių dvinarės sistemos (16 Cyg) žvaigždžių [8].

Bet visgi, diskusija tęsiasi, vėlesniuose darbuose, kaip Bensby & Lind (2018) [9] buvo nustatyta, kad nėra jokio smarkiai matomo ličio gausos skirtumo, tarp žvaigždžių kurios yra su planetomis šalia ar be jų. Nors Figueira et. al. (2014) [10] priimta išvada, kad žvaigždės, aplink kurias yra egzoplanetų, ličio išeikvojimas yra didesnis negu žvaigždėse, kurios aplink save planetų neturi.

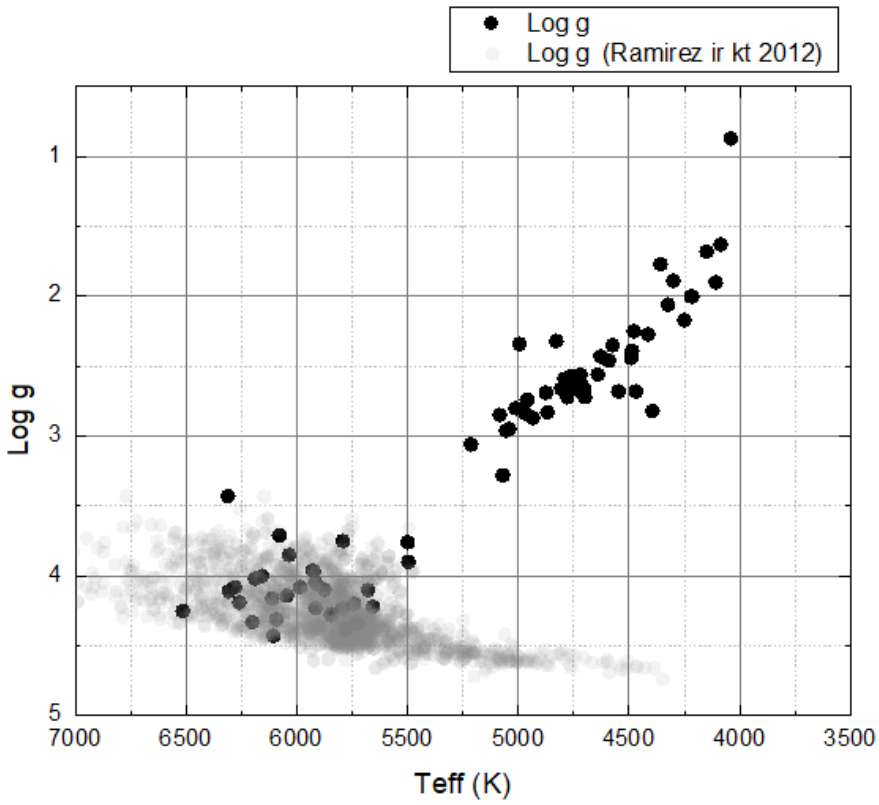
1.4 FGK žvaigždės

Šiame darbe analizuojamos žvaigždės nuo milžinių iki nykštukių, tai yra FGK spektrinio tipo žvaigždės, jų ryškis V<8, tad dauguma šių žvaigždžių yra saulės aplinkoje.

F tipo žvaigždė – priklauso F klasei, ir ji žymi žvaigždes, turinčias neutralaus vandenilio linijas, paviršiaus temperatūrą 6200-7200 K, Šios klasės pagrindinės sekos žvaigždės yra 1,5 Saulės masės. G tipo žvaigždės priklauso spektrinei klasei, kuriai priklauso metalingos žvaigždės silpnomis vandenilio sugerties linijomis, paviršiaus temperatūra 5300-6000 K. Kaip žinoma, Saulė yra šios klasės pagrindinės sekos žvaigždė. Tokios pagrindinės sekos žvaigždės taip pat dar vadinamos geltonosiomis nykštukėmis arba G nykštukėmis. K tipo žvaigždė yra žvaigždės, turinčios neutralaus metalo ir labai silpnas vandenilio sugerties linijas, jos paviršiaus temperatūra yra 3700-5200 K. Šios klasės pagrindinės sekos žvaigždės (kartais vadinamos oranžinėmis nykštukėmis arba K nykštukėmis) yra 3/4 Saulės masės.

FGK milžinių ir supermilžinių evoliuciją lydi gilus konvekcinis maišymasis, dėl kurio kinta lengvųjų elementų gausa žvaigždžių paviršiuje. Konvekcinio maišymosi fazėje stebima azoto gausa padidėja, o anglies – sumažėja, tuo tarpu ličio gausa atmosferoje sumažėja iki neaptinkamo lygio. Iš tiesų, gan didelė dalis FGK milžinių ir supermilžinių neturi aptinkamo ličio savo spektruose. L. S. Lyubimkov straipsnyje „Lithium in stellar atmospheres: observations and theory“ ličio 6707.8 Å linija buvo aptikta tik 10% iš 378 G ir K tipo milžinių, bei tik 3% iš 417 tiriamų raudonųjų milžinių ir supermilžinių. Tad yra prieinama išvada, kad šio tipo žvaigždėse ličio yra nedaug, arba evoliucijos proceso metu jis buvo sunaikintas ir dabar nėra aptinkamas [4].

Trečiame paveiksle matosi šiame darbe tirtų žvaigždžių gravitacijos pagreičio priklausomybė nuo temperatūros, palyginta su Ramirez ir kt. straipsnio tirtomis žvaigždėmis. Matome, kad mūsų tirtoje žvaigždžių imtyje yra tiek žvaigždžių nykštukių tiek milžinių.



3 pav. Gravitacijos pagreičio priklausomybė nuo efektinės temperatūros (T_{eff})

1.5 Analizės metodai

Šiame darbe naudojamas sintetinių spektrų metodas, juo galima analizuoti silpnesnes, blenduotas linijas, kurios labiau paveiktos kitų elementų linijomis. Spektrinis metodas padeda geriau įvertinti sukimosi efektą bei tiksliau įvertinti stebėto ir sintetinio spektrų profilius – taip galima tiksliau įvertinti gausą. Ličio gausa buvo keičiama iki tol kol sintetinis spektras, susilygina su stebėtu spektru ir taip yra gaunami parametrai skirtingoms žvaigždėms. Ne visos žvaigždės yra tinkamos analizei, nes kai kurių žvaigždžių ličio linijos yra per silpnos, dėl didelio triukšmo, bei neaiškių linijų profilių, tad tokios žvaigždės buvo pašalintos iš galutinės analizei atrinktų žvaigždžių imties.

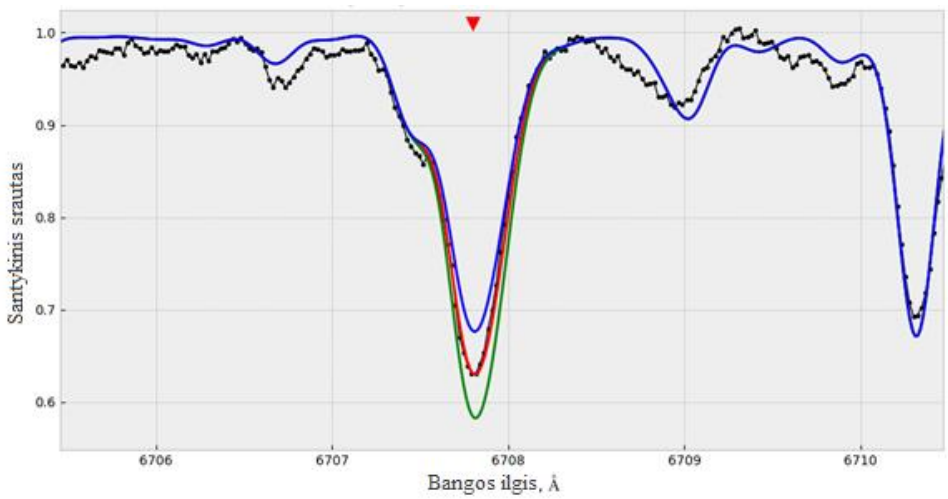
Žvaigždės sintetinio spektro apskaičiavimui reikalingas atominių linijų sąrašas bei atmosferos modelis. Atominių linijų sąrašas programoje paimtas iš Gaia-ESO apžvalgos [11]. Duomenims analizuoti buvo naudojama Turbospectrum programa [12], šioje programoje naudojami MARCS LTE atmosferų modeliai [13]. Šie modeliai pasitelkdami kvantinės mechanikos, hidrostatinės pusiausvyros, termodinaminės statistikos bei energijos pernašos lygtis, aprašo, kaip skirtinguose atmosferos sluoksniuose žvaigždžių atmosferos parametrai veikia linijų formavimąsi [14].

Spektrai buvo nagrinėti naudojant klasikinį diferencialinį analizės metodą. Šio metodo principas yra gaunamas gausas žvaigždėse palyginti su gausomis esančiomis kažkokioje palyginamoje žvaigždėje – šiuo atveju tai buvo Saulė. Tyrinėtoji Li atominė linija ir šalia esančios įtaką tyrimams galinčios daryti linijos buvo sukalibruotos (keičiant atominių linijų osciliatorių stiprumus) pasinaudojant aukšto signalo-triukšmo ir rezoliucijos Saulės spektru, kol Saulėje nustatytos gausos atitiko publikuotas Saulės gausas [15]. Absoliutinė Saulės Ličio gausa naudota šiame darbe lygi A(Li) = 1,05

2. TIRIAMOJI DALIS

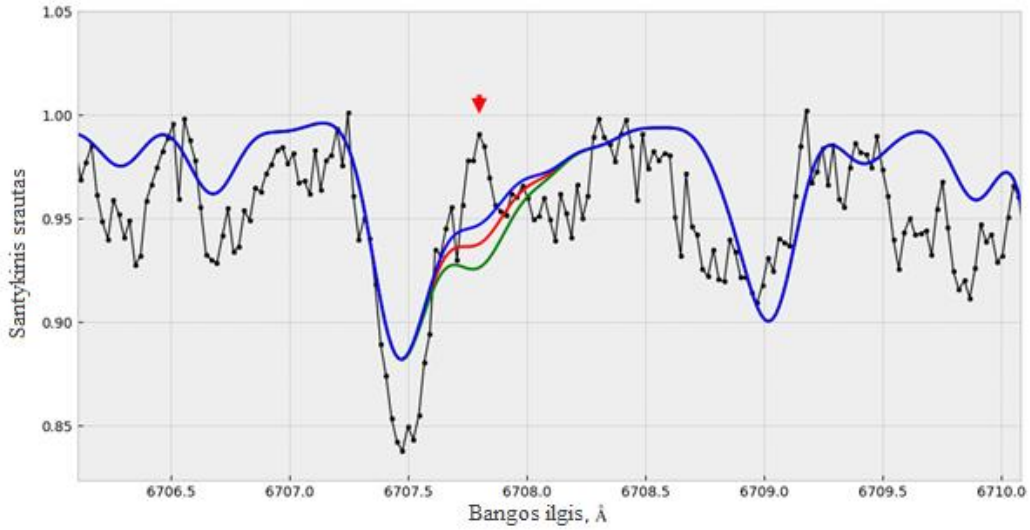
Šiame darbe naudojami duomenys buvo stebėti Molėtų astronomijos observatorijoje (MAO) esančiu 1.65 m teleskopu bei aukštos spektrinės skyros Vilniaus universiteto ešele spektrografu (VUES), kuris apima nuo 4000 iki 9000 Å bangos ilgius [7].

Pradinę tiriamųjų žvaigždžių imtį sudarė 276 objektai. Pasinaudojant sintetinių spektrų metodu žvaigždėms buvo nustatyta: Ličio gausa - [Li/H], sukimosi greitis - v_{rot}. Kaip matome 4 paveiksle, keičiant ličio gausą, keičiamas sintetinis (dirbtinis) spektras, taip jį sulyginame su juodu - stebėtu spektru ir nustatome ieškomus dydžius.



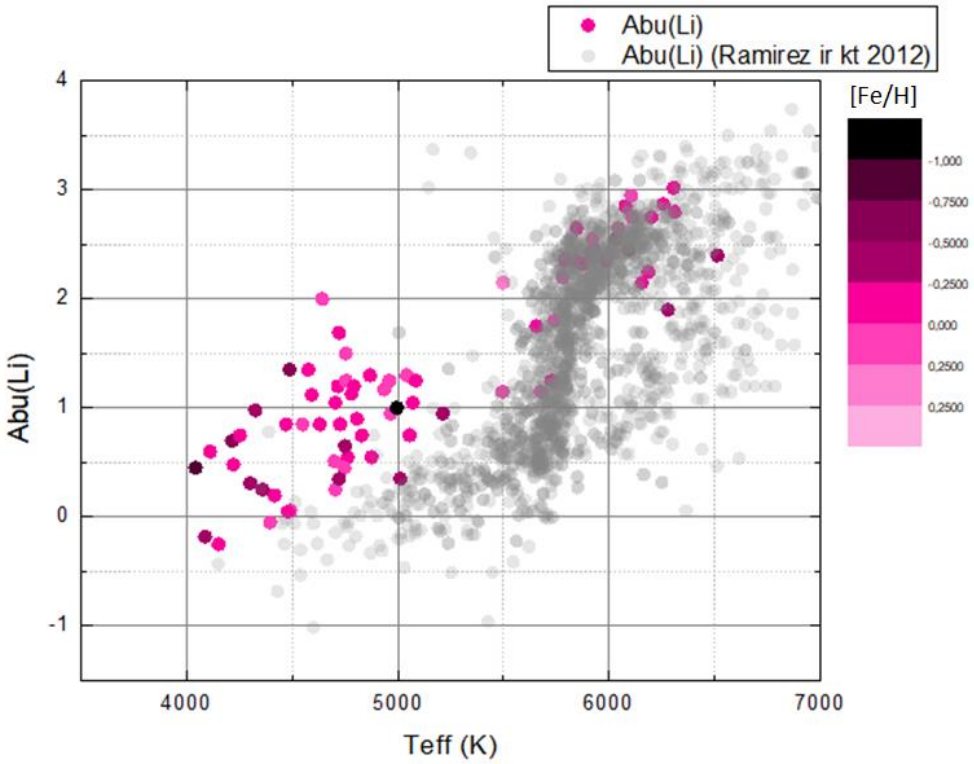
4 pav. darbas su Turbospectrum programa, žvaigždė – TYC3884-792-1, nustatyta absoliutinė ličio gausa – 1,69, mėlyna linija -0,10 dex, žalia linija +0,10 dex ličio gausos pokyčiai

Dėl nekokybiškų, triukšmingų spektrų galutinei analizei atrinkau 80 žvaigždžių spektrų. 5 paveiksle matomas netinkamo spektro pavyzdys. Matoma, kad šios žvaigždės spektro (juodos linijos) neįmanoma sulyginti su sintetiniu spektru (mėlynos linijos), tad nustatyti gausos bei kitų parametrų nepavyksta.



5 pav. Analizei nenaudoto spektro pavyzdys, TYC4207-857-1

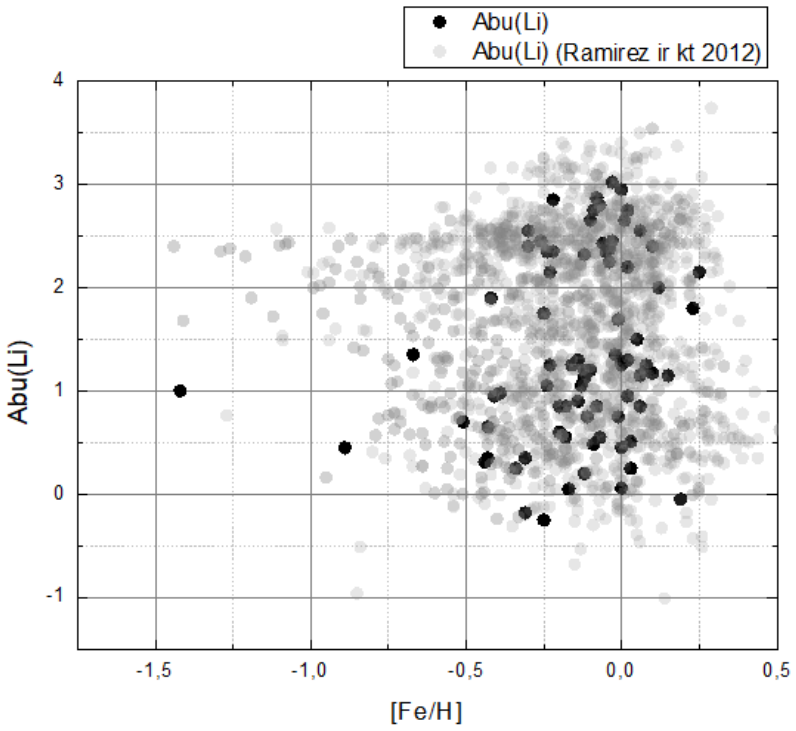
Šeštame paveiksle matome ličio gausos priklausomybę nuo efektinės temperatūros, nustatytų rezultatų taškai nuspalvinti pagal žvaigždžių metalingumus. Pilka spalva yra pažymėtos 2052 Ramirez 2012 metais nustatytos vertės [6]. Šiame grafike matome, kad ličio gausa mažesnė žemesnės temperatūros žaigždėse (žvaigždėse milžinėse), o aukštesnės temperatūros žvaigždėse ličio gausa didesnė. Didesnės temperatūros žvaigždės dar priklauso pagrindinei sekai, tad jose litis nėra sunaikintas. Ličio dykumos mano ištirtuose duomenyse pastebėti nelabai įmanoma, nes žvaigždžių nėra pakankamai, bet kitų autorių nustatyti duomenys pagrindžia ličio dykumos teoriją, nes ties 6000K efektine temperatūra, bei Abu(Li) = 1,5 ličio gausa matome tuščią plotelį, kuris ir indikuoja ličio dykumą.



6 pav. Ličio gausos priklausomybė nuo efektinės temperatūros

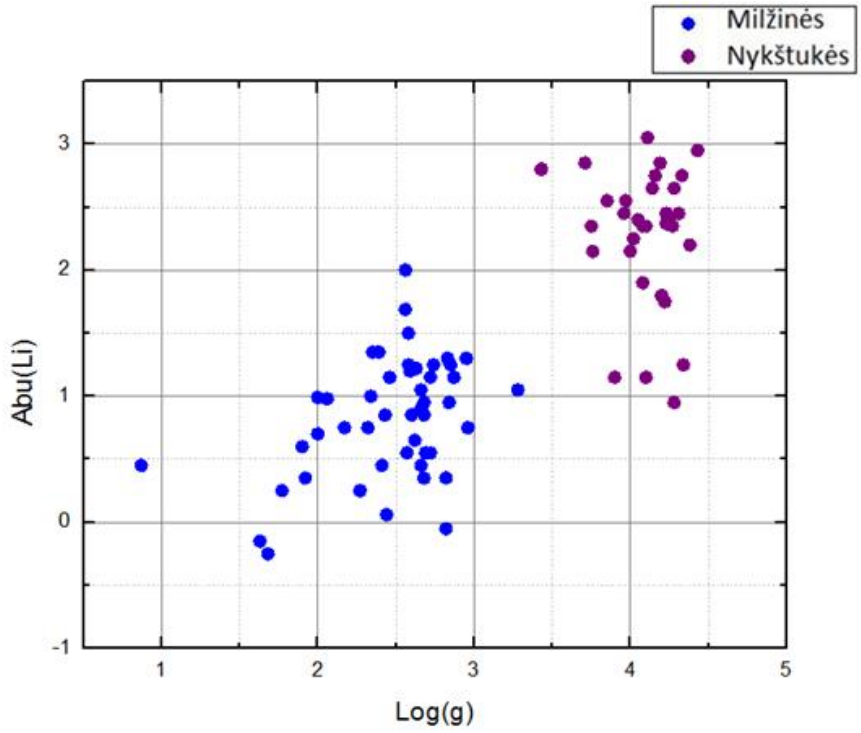
Septintame paveiksle galime matyti nustatytą ličio gausos priklausomybę nuo žvaigždės metalingumo, Pilka spalva yra pažymėtos 2052 Ramirez 2012 metais nustatytos vertės [6]. Daugumos tirtų žvaigždžių metalingumas [Fe/H] yra tarp -0.5 ir 0.5. Šiame metalingumo intervale ličio gausos priklausomybės nuo metalingumo nepastebėta.

Tirtos žvaigždės buvo suskirstytos į milžines ir nykštukes. Milžinės grafikuose pažymėtos mėlyna spalva, o nykštukės violetine. Milžinės ir nykštukės yra suskirstytos pagal paviršiuje esančio gravitacijos pagreičio vertes (log(g)). Kai log(g) < 3.43 tuomet žvaigždės priskirtos milžinėms, kai log(g) >= 3.43 – nykštukėms (žiūrėti 3 pav.).

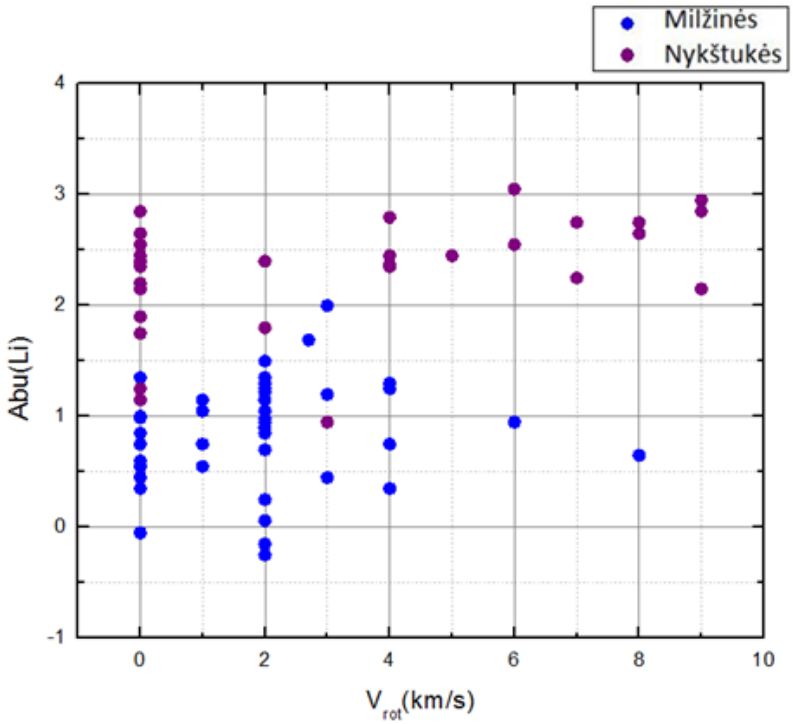


7 pav. Ličio gausos priklausomybė nuo žvaigždės metalingumo

8 paveiksle matoma šiame darbe nustatytos ličio gausos priklausomybė nuo paviršiuje esančio gravitacijos pagreičio vertės. Matome, kad nykštukėse ličio gausa didesnė nei milžinėse. Nykštukių ličio gausos vidurkis <A(Li)> = 2,28 ± 0,54, milžinių ličio gausos vidurkis yra <A(Li)> = 0.83 ± 0,47. 9 paveiksle matome grafiką kuriame atvaizduota ličio gausos priklausomybė nuo sukimosi greičio V_{rot} (km/s). Kaip matome, nykštukės dažniausiai turi didesnį sukimosi greitį, nes žvaigždėms tampant milžinėmis sukimosi greitis sumažėja dėl judesio kiekio tvermės dėsnio. Mažesnis objektas sukasi greičiau nei tos pačios masės išsiplėtęs, didesnio tūrio. Todėl ir matome, kad prie didesnių sukimosi greičių – nykštukių – yra didesnė ličio gausa. 9 paveiksle matome daug nulinių sukimosi greičių, taip yra todėl, nes jų sukimosi greitis buvo per mažas tiksliai įvertinti.



8 pav. ličio gausos priklausomybė nuo paviršiuje esančio gravitacijos pagreičio vertės log (g)



9 pav. ličio gausos priklausomybė nuo sukimosi greičio V_{rot} (km/s)

Kadangi šiame darbe gausoms nustatyti naudota tik viena Ličio linija, įvertintos tik paklaidos galinčios atsirasti dėl galimų žvaigždžių atmosferos parametrų netikslumų. 1 lentelėje pateikta, kiek ličio gausos nustatymą įtakoja minėtieji galimi pokyčiai. Atkreiptinas dėmesys, kad nustatyti

žvaigždžių parametrų netikslumai dažnai yra mažesni nei naudotieji galimos Li paklaidos skaičiavimui. Paklaidų analizei pasirinkta žvaigždė milžinė turinti aukšto singlo-triukšmo santykio spektrą. Kaip matome, didžiausia įtaką daro temperatūros pokytis.

1 lentelė. Nustatytos paklaidos TYC3884-792-1

	ΔT_{eff} $\pm 100K$	$\Delta \log g$ ± 0.3	$\Delta\, v_t$ $\pm\ 0.3\ km\ s^{-1}$	$\Delta[Fe/H]$ ± 0.1
ΔA(Li)	0.155	0.01	0.01	0.01
Viso ΔA(Li)	0.156			

REZULTATAI IR IŠVADOS

2 lentelė. Žvaigždžių nykštukių atmosferos parametrai ir nustatyta Li gausa

Vardas	$T_{eff}\ (K)$	Log(g)	[Fe/H]	V_t	V_{rot}	A(Li)
TYC4201-162	6078	3.71	-0.22	1.65	0	2.85
TYC4432-1604	5792	3.75	-0.24	1.26	4	2.35
TYC4209-1339	5499	3.76	0.25	1.08	0	2.15
TYC4203-1438	6053	3.85	-0.30	1.52	0	2.55
TYC3910-257	5496	3.90	0.15	1.22	0	1.15
TYC4568-226	5928	3.96	-0.03	1.16	4	2.45
TYC4570-17	5923	3.97	0.06	1.14	6	2.55
TYC4426-975	6157	4.00	-0.23	1.63	9	2.15
TYC4433-1326	6187	4.02	-0.04	1.50	7	2.25
TYC4193-706	5915	4.05	0.10	1.44	2	2.40
TYC3895-1483	6280	4.08	-0.42	1.81	0	1.90
TYC3926-153	5986	4.08	-0.22	1.51	0	2.35
TYC4191-871	5679	4.10	0.06	1.31	0	1.15
TYC4200-1335	5875	4.10	-0.12	1.13	4	2.35
TYC4221-314	6307	4.11	-0.03	1.87	6	3.05
TYC4428-1047	6045	4.14	0.01	1.18	0	2.65
TYC4436-1424	6111	4.16	0.02	1.32	7	2.75
TYC4197-2429	6259	4.19	-0.08	1.42	9	2.85
TYC4431-1471	5742	4.20	0.23	1.18	2	1.80
TYC4415-1343	5657	4.22	-0.25	0.81	0	1.75
TYC4199-1513	5794	4.23	-0.04	1.29	4	2.37
TYC4207-1205	5916	4.23	-0.06	1.16	0	2.45
TYC3891-660	6515	4.25	-0.30	1.46	0	2.40
TYC3932-688	5843	4.27	-0.05	1.13	0	2.35
TYC4239-812	5671	4.28	-0.10	0.89	3	0.95
TYC4440-855	5847	4.28	-0.10	1.29	8	2.65
TYC4422-1567	6093	4.31	-0.26	1.60	5	2.45
TYC4421-995	6201	4.33	-0.09	1.39	8	2.75
TYC4227-251	5728	4.34	-0.23	1.15	0	1.25
TYC4227-603	5780	4.38	0.02	1.17	0	2.20
TYC4422-853	6106	4.43	0.00	1.34	9	2.95
TYC4194-1401	6311	3.43	-0.07	1.73	4	2.80

3 lentelė. Žvaigždžių milžinių atmosferos parametrai ir nustatyta Li gausa

Vardas	$T_{eff}\ (K)$	Log(g)	[Fe/H]	V_t	V_{rot}	A(Li)
TYC4422-802	4041	0.87	-0.89	2.08	0	0.45
TYC3917-1076	4086	1.63	-0.31	1.71	2	-0.15
TYC3896-1507	4150	1.68	-0.25	1.65	2	-0.25
TYC4434-2189	4357	1.77	-0.35	1.50	2	0.25
TYC4191-2164	4109	1.90	-0.20	1.48	0	0.60
TYC4193-2534	4569	1.92	-0.21	2.14	4	0.35
TYC4202-382	4220	2.00	-0.09	1.58	0	0.99
TYC4426-1554	4214	2.00	-0.51	2.24	2	0.70
TYC3910-653	4324	2.06	-0.39	2.15	2	0.98
TYC4446-1736	4251	2.17	-0.01	1.66	1	0.75
TYC3924-1604	4415	2.27	-0.12	1.57	2	0.25
TYC4456-2108	4828	2.32	-0.11	1.37	4	0.75
TYC4442-1776	4995	2.34	-1.42	1.84	0	1.00
TYC4587-1772	4575	2.35	0.02	1.50	2	1.35
TYC4428-1923	4486	2.39	-0.67	2.35	0	1.35
TYC4216-1120	4743	2.41	-0.07	1.52	3	0.45
TYC4452-893	4629	2.43	-0.18	1.40	2	0.85
TYC3897-1184	4490	2.44	0.00	1.42	2	0.06
TYC4239-570	4591	2.46	-0.12	1.37	2	1.15
TYC3884-792	4720	2.56	-0.01	1.41	3	1.69
TYC4419-2885	4641	2.56	0.12	1.49	3	2.00
TYC4420-1793	4762	2.57	-0.18	1.33	0	0.55
TYC4224-1276	4754	2.58	0.00	1.36	2	1.25
TYC4423-124	4753	2.58	0.05	1.42	2	1.50
TYC4438-280	4792	2.59	-0.12	1.49	3	1.20
TYC4421-1779	4726	2.60	-0.20	1.24	0	0.85
TYC4424-751	4749	2.62	-0.43	2.04	8	0.65
TYC3912-85	4715	2.63	-0.1	1.22	2	1.22
TYC4213-521	4806	2.66	-0.14	1.06	2	0.90
TYC4420-2140	4746	2.66	0.00	1.54	0	0.45
TYC4453-1252	4703	2.66	-0.13	1.29	1	1.05
TYC4196-90	4469	2.68	-0.08	1.54	0	0.85
TYC4210-247	4548	2.68	0.06	1.27	0	0.85
TYC4222-2092	5291	2.68	0.02	1.77	6	0.95
TYC4456-179	4720	2.68	-0.31	1.26	0	0.35
TYC4444-2239	4875	2.69	-0.07	1.41	1	0.55
TYC4217-212	4699	2.72	0.03	1.32	1	0.55
TYC4243-272	4779	2.72	-0.12	1.22	1	1.15
TYC4452-2091	4960	2.74	0.08	1.43	4	1.25
TYC4195-1498	4686	2.82	0.03	1.32	0	0.35
TYC4456-2107	4395	2.82	0.19	1.59	0	-0.05
TYC3917-2375	4868	2.83	-0.14	1.25	2	1.30
TYC3916-1127	4967	2.84	0.02	1.31	2	0.95
TYC4449-2636	5084	2.85	-0.16	1.30	2	1.25

Vardas	$T_{eff}\ (K)$	Log(g)	[Fe/H]	V_t	V_{rot}	A(Li)
TYC4194-2513	4935	2.87	0.10	1.41	0	1.15
TYC4224-2055	5041	2.95	0.02	1.45	4	1.30
TYC4194-1294	5055	2.96	-0.11	1.28	0	0.75
TYC4445-736	5070	3.28	-0.24	1.12	2	1.05

1. Šiame darbe ištyriau ličio gausas Saulės aplinkos žvaigždžių atmosferose. Pasitelkiant sintetinių spektrų metodą, iš visų tiriamų 276 žvaigždžių, dėl nekokybiškų, triukšmingų spektrų, buvo atrinkta 80 žvaigždžių iš jų – 48 milžinės ir 32 nykštukės.

2. Žvaigždėms nustatyta: Ličio gausa – A(Li) ir sukimosi gretis - v_{rot}. Šių analizei parinktų žvaigždžių efektinė temperatūra (T_{eff}) yra tarp ~4000K ir ~6500K, metalingumas ([Fe/H]) yra tarp -1.42 ir 0.25, nustatytas sukimosi greitis (Vrot) 0 iki 9 km/s, bei nustatyta absoliutinė ličio gausa A(Li) nuo -0,25 iki 3,05.

3. Buvo pastebėta, kad:

a) mažėjant temperatūrai ličio gausa mažeja, nykštukėse litis didesnis nei milžinėse, nes milžinėse litis jau būna sunaikintas, o didesnės temperatūros žvaigždės – nykštukės dar priklauso pagrindinei sekai, tad jose litis dar nėra sunaikintas. Nustatytas nykštukių ličio gausos vidurkis <A(Li)> = 2,28 ± 0,54, milžinių ličio gausos vidurkis yra <A(Li)> = 0.83 ± 0,47. Šie pastebėjimai sutampa su Ramirez 2012 straipsnio tirtomis 2052 vertėmis.

b) Priklausomybės nuo metalingumo pastebėta nebuvo.

c) Taip pat pastebėta, kad didėjant nustatytam sukimosi greičiui ličio gausa auga, kas ir buvo tikėtina, nes nykštukės sukasi greičiau negu milžinės.

LITERATŪRA

[1] Randich, S., Pasquini, L., Franciosini, E., Magrini, L. A. U. R. A., Jackson, R. J., Jeffries, R. D., ... & Worley, C. C. (2020). The Gaia-ESO Survey: Galactic evolution of lithium at high metallicity. *Astronomy & Astrophysics*, *640*, L1.

[2] Lithium Comes From Exploding Stars <https://www.nasa.gov/feature/lithium-comes-from-exploding-stars> [Publikuota 2020-05-29, žiūrėta 2022-05-19]

[3] Fu, X., Romano, D., Bragaglia, A., Mucciarelli, A., Lind, K., Mena, E. D., ... & Kordopatis, G. (2018). The Gaia-ESO Survey: Lithium enrichment histories of the Galactic thick and thin disc. *Astronomy & Astrophysics*, *610*, A38.

[4] Lyubimkov, L. S. (2016). Lithium in Stellar atmospheres: observations and theory. *Astrophysics*, *59*(3), 411-437.

[5] Steigman, G. (2003). Big bang nucleosynthesis: Probing the first 20 minutes. *arXiv preprint astro-ph/0307244*.

[6] Ramírez, I., Fish, J. R., Lambert, D. L., & Prieto, C. A. (2012). Lithium abundances in nearby FGK dwarf and subgiant stars: internal destruction, galactic chemical evolution, and exoplanets. *The Astrophysical Journal*, *756*(1), 46.

[7] Stonkutė, E., Chorniy, Y., Tautvaišienė, G., Drazdauskas, A., Minkevičiūtė, R., Mikolaitis, Š., ... & Bagdonas, V. (2020). High-resolution spectroscopic study of dwarf stars in the northern sky: lithium, carbon, and oxygen abundances. *The Astronomical Journal*, *159*(3), 90.

[8] King, J. R., Deliyannis, C. P., Hiltgen, D. D., Stephens, A., Cunha, K., & Boesgaard, A. M. (1997). Lithium abundances in the solar twins 16 CYG A and B and the solar analog alpha CEN A, calibration of the 6707 angstrom Li region linelist, and implications. *The Astronomical Journal*.

[9] Bensby, T., & Lind, K. (2018). Exploring the production and depletion of lithium in the Milky Way stellar disk. *Astronomy & Astrophysics*, *615*, A151.

[10] Figueira, P., Faria, J. P., Delgado-Mena, E., Adibekyan, V. Z., Sousa, S. G., Santos, N. C., & Israelian, G. (2014). Exoplanet hosts reveal lithium depletion-Results from a homogeneous statistical analysis. *Astronomy & Astrophysics*, *570*, A21.

[11] Heiter, U., Lind, K., Bergemann, M., Asplund, M., Mikolaitis, Š., Barklem, P. S., ... & Gilmore, G. F. (2021). Atomic data for the Gaia-ESO Survey. *Astronomy & Astrophysics*, *645*, A106.

[12] Plez, B. (2012). Turbospectrum: Code for spectral synthesis. *Astrophysics Source Code Library*, ascl-1205.

[13] <https://marcs.astro.uu.se> [žiūrėta 2022-05-19]

[14] Drazdauskas, A. (2016). *Evoliuciniai anglies ir azoto gausų pokyčiai mažos masės metalingose žvaigždėse* (Doctoral dissertation, Vilniaus universitetas).

[15] Grevesse, N., Asplund, M., & Sauval, A. J. (2007). The solar chemical composition. *Space Science Reviews*, *130*(1), 105-114.

SUMMARY

Lithium abundance in stars atmospheres in solar neighborhood

Kristina Jakavonytė

In this work, I have examined Lithium abundance in stars‘ atmospheres in solar neighborhood. FKG type spectrum stars of the northern sky with luminosity V<8, were observed during spectroscopic and photometric (SPFOT) project. This project was aimed to examine detailed chemical composition and main atmospheric physical parameters of stars in the Northern sky. Said parameters (effective temperature T_{eff}, metalicity [Fe/H] and gravitational acceleration at the surface log (g)) were taken from the mentioned survey. The observations were carried out in Molėtai astronomical observatory using high spectral resolution spectrograph „Echelle“ and 1.65m telescope.

Out of initial sample of 276 observed stars, due to unmeasurable Li line, discrepancies, low-quality data and noise, the majority of stars were discarded. 80 stars have been selected for further analysis, 48 of which were giants and 32 dwarves. We used the synthetic spectra method to determine Li abundance form 6308 Li line. Results were compared to similar papers of other authors‘.

We compared the determined abundance with the main atmospheric parameters of the stars. We find a clear relation of Li abundance versus temperature, log g and v_{rot}. The average abundance of lithium in dwarf stars is <A(Li)> = 2,28 ± 0,54 compared to <A(Li)> = 0.83 ± 0,47 in giant stars. This is due to the fact that Li is easily destroyed during main sequence phase when stars have higher temperatures. On the other hand, our sample is limited in metallicity, so we observed no correlation in lithium vs [Fe/H] plane.