

VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZINIŲ IR TECHNOLOGIJOS MOKSLŲ CENTRAS

VYTAUTAS ČEPAS

GALAKTIKOS STRUKTŪRA IR ŽVAIGŽDĖDARA
H II SRITIES SH2-205 APLINKOJE

Daktaro disertacijos santrauka
Fiziniai mokslai, fizika (02 P)

Vilnius, 2016

Disertacija rengta 2010-2014 metais Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institute studijuojant doktorantūroje ir ginama eksternu

Mokslinis konsultantas – dr. Justas Zdanavičius (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02P)

Disertacija ginama Vilniaus universiteto Fizikos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkė – habil. dr. Gražina Tautvaišienė (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02P).

Nariai:

prof. dr. Oleg Malkov (Maskvos valstybinis universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02P),

dr. Šarūnas Mikolaitis (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02P),

dr. Donatas Narbutis (Fizinių ir technologijos mokslų centras, fiziniai mokslai, fizika – 02P),

prof. dr. Vladas Vansevičius (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizika – 02P).

Disertacija bus ginama viešame Fizikos mokslo krypties tarybos posėdyje 2016 m.

rugsėjo mėn. 23 d. **14** val. Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto 212 auditorijoje.

Adresas: Saulėtekio al. 9, III rūmai, Vilnius.

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2016 m. rugpjūčio mėn. 23 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto bibliotekoje ir VU interneto svetainėje adresu: www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius

VILNIUS UNIVERSITY

CENTER FOR PHYSICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

VYTAUTAS ČEPAS

GALACTIC STRUCTURE AND STAR FORMATION
IN THE VICINITY OF H II REGION SH2-205

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

Vilnius, 2016

Doctoral dissertation was prepared during doctoral studies at the Vilnius University, Institute of Theoretical Physics and Astronomy in 2010–2014. The dissertation is defended in an extramural way.

Scientific consultant:

Dr. Justas Zdanavičius (Vilnius University, Institute of Theoretical Physics and Astronomy, Physical sciences, Physics – 02P)

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

Chairman: habil. dr. Gražina Tautvaišienė (Vilnius University, Institute of Theoretical Physics and Astronomy, Physical Sciences, Physics – 02P).

Members:

prof. dr. Oleg Malkov (Moscow State University, Physical sciences, Physics – 02P),

dr. Šarūnas Mikolaitis (Vilnius University, Physical sciences, Physics – 02P),

dr. Donatas Narbutis (Center for Physical Sciences and Technology, Physical sciences, Physics – 02P),

prof. dr. Vladas Vansevičius (Vilnius University, Physical sciences, Physics – 02P).

Doctoral Dissertation will be defended at the public meeting of the Vilnius University Doctoral Dissertation Committee in Physical Sciences held at Vilnius University Faculty of Physics at 2:00 p.m. on 23 September, 2016.

Address: Saulėtekio av. 9, Bld. III, LT- 10222 Vilnius, Lithuania.

Summary of the Doctoral Dissertation was mailed on 23 August 2016.

The Thesis is available at the libraries of Vilnius University and Center for Physical Sciences and Technology, and on the web page of Vilnius University:

www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius

IVADAS

Paukščių Takas (mūsų Galaktika) yra milžiniška sistema susidedanti iš 100–400 milijardų žvaigždžių, tarpžvaigždinių dujų ir dulkių, kosminių spindulių, elektromagnetinės spinduliuotės, tarpžvaigždinio magnetinio lauko, gravitacinio lauko, tamsiosios medžiagos. Spiralinėse galaktikose, tokiose kaip Paukščių Takas, didžioji dalis dulkių ir dujų telkiasi pakankamai plonuose (kelių šimtų parsekų storio) diskuose, kurių didesnio tankio tarpžvaigždinės medžiagos telkiniuose (molekuliniuose debesyse) ir vyksta naujų žvaigždžių susidarymas – žvaigždėdara.

Praeidama tarpžvaigždinius debesis už jų esančių žvaigždžių šviesa susilpnėja ir tai vadinama tarpžvaigždine ekstinkcija. Kadangi tarpžvaigždinės dulkės daugiau sugeria ir sklaido trumpesnes bangas, tai tarpžvaigždinės ekstinkcijos paveiktų žvaigždžių ne tik spindesys susilpnėja, bet ir pakinta jų spalva – jos parausvėja.

Tiriant Galaktikos struktūrą labai svarbu nustatyti tarpžvaigždinių dujų tankį ir debesų pasiskirstymą, bei nustatyti nuotolius iki debesų. Deja, iki šiol daugelio debesų nuotoliai nėra žinomi arba nustatyti nepakankamu tikslumu.

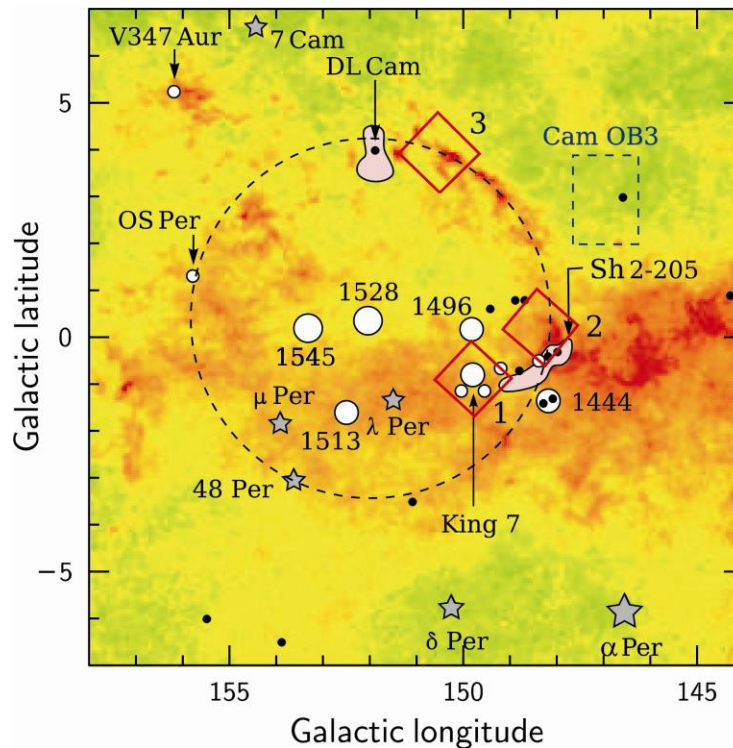
Vilniaus septynspalvė fotometrinių sistema (Straizys 1992) įgalina vien tik remiantis fotometriniais stebėjimais suklasifikuoti beveik bet kokio tipo normalias žvaigždes, t. y. nustatyti jų temperatūrą, šviesį (absoliutinį ryškį), įvertinti tarpžvaigždinės ekstinkcijos dydį ir nuotolį. Atstumas iki tarpžvaigždinių debesų nustatomas pagal tam tikrame nuotolyje esančių žvaigždžių staigų tarpžvaigždinės ekstinkcijos padidėjimą.

Kadangi jaunų žvaigždinių objektų (*angl.* Young Stellar Object, YSO) spinduliuotės maksimumas yra infraraudonoje spektro srityje, nagrinėjant žvaigždėdaros reiškinius kartu su Vilniaus fotometrija naudinga panaudoti ir 2MASS, Spitzer, WISE bei kitų observatorių infraraudonosios fotometrijos duomenis.

TYRIMO MOTYVACIJA IR MOKSLINIS NAUJUMAS

Tarp mažiausiai tyrinėtų Paukščių Tako rajonų yra tamsūs debesys Žirafos žvaigždyne. Tarpžvaigždinė ekstinkcija šiame rajone buvo tirta tikrai keliomis kryptimis (Zdanavičius ir kt. 2001).

Prieš keletą metų Straižys ir Laugalys (2007, 2008) identifikavo $\sim 8^\circ$ skersmens dulkių žiedą (1 pav.), kurio centras beveik sutampa su padrikiojo spiečiaus NGC 1528 centru ir kuris ribojasi su Persėjo, Žirafos ir Vežėjo žvaigždynais. Žiedas puikiai matomas ir Dobashi ir kt. (2005) tamsiųjų debesų atlase.



1 pav. Dulkių žiedas aprašytas Straižys ir Laugalys (2007, 2008). Debesų išsidėstymas pavaizduotas pagal Dobashi ir kt. (2005). Paveiksle raudonais kvadratais pažymėtos šiame darbe tirtos sritys. Pavaizduotų kvadratų dydis apytiksliai atitinka Molėtų astronomijos observatorijos Maksutovo teleskopu gautų CCD nuotraukų dydį.

Siekiant nustatyti šio dulkių žiedo realumą buvo nutarta ištirti tarpžvaigždinę ekstinkciją ir nustatyti nuotolius iki debesų trijose pasirinktose 1,5 kvadratinio laipsnio

srityse, kurių centrai apytikriai sutampa su tamsaus debesies TGU H994 P1, H II srities Sh2-205 ir padrikojo spiečiaus King 7 centrais (1 pav.).

Tamsusis debesis **TGU H994 P1** (LDN 1399, LDN 1400 ir LDN 1402) yra dalis $\sim 5^\circ$ debesų grandinės esančios į vakarus nuo ketunarės žvaigždės DL Cam aprašytos Barnard (1927) kataloge ir tamsiųjų debesų atlase. Nuotolis iki debesies TGU H 994 P1 iki šiol nebuvo žinomas pakankamu tikslumu.

Sh2-205 (Sharpless 1959) yra $\sim 3,5^\circ \times 4,0^\circ$ dydžio H II sritis ties Persėjo ir Žirafos žvaigždynų riba. Laikoma, kad O9 spektrinės klasės žvaigždė HD 24431, esanti netoli srities centro, jonizuoja ūką. Ūko aplinkoje yra keletas tamsiųjų debesų – Dobashi ir kt. (2005) identifikuoja TGU H942 P7 ir TGU H942 P8, o Dobashi (2011) Dobashi 4040, Dobashi 4041, Dobashi 4042, Dobashi 4045, Dobashi 4046, Dobashi 4047 ir Dobashi 4051 debesis.

King 7 yra mažai tyrinėtas padrikasis žvaigždžių spiečius arti Persėjo ir Žirafos žvaigždynų ribos. Į šią sritį patenka keletas tamsiųjų debesų. Dobashi ir kt. (2005) tamsiųjų debesų kataloge jie žymimi kaip debesies TGU H989 sancaupos (clumps) P2 ir P3. Dobashi (2011) King 7 srityje identifikuoja ir debesį Dobashi 4059.

Šiame darbe nustatyti nuotoliai iki tamsiųjų dulkių debesų TGU H994 P1, TGU H989 P2, TGU H989 P3, H II srities Sh2-205 ir ją supančių debesų TGU H942 P7 ir TGU H942 P8. Nustatyta, kad aktyvia žvaigždėdara pasižymi tik King 7 ir Sh2-205 rajonai. H II srities Sh2-205 aplinkoje atrastas naujas infraraudonasis žvaigždžių spiečius SCB 1.

Tyrimo rezultatai remiasi autoriaus atliktais stebėjimais Vilniaus fotometriniėje sistemoje ir dvimate žvaigždžių klasifikacija. Tyrime panaudoti 2MASS ir WISE infraraudonųjų dangaus apžvalgų duomenys.

Tyrimo tikslas

Pagrindinis šio darbo tikslas yra ištirti Galaktikos struktūrą ir įvertinti žvaigždėdaros aktyvumą trijose dulkių žiedo (Straizys ir Laugalys 2008) srityse.

Uždaviniai

1. Atlikti CCD fotometriją 1,5 kvadratinio laipsnio lauke (dulkių debesies TGU 994 aplinkoje) Vilniaus fotometriniėje sistemoje.
2. Atlikti CCD fotometriją 1,5 kvadratinio laipsnio lauke (H II srities Sh2-205 ir dulkių debesies TGU H942 P7, P8 aplinkoje) Vilniaus fotometriniėje sistemoje.
3. Atlikti CCD fotometriją 1,5 kvadratinio laipsnio lauke (padrikojo spiečiaus King 7 ir dulkių debesies TGU H989 aplinkoje) Vilniaus fotometriniėje sistemoje.
4. Remiantis dvimate fotometriniu klasifikacija, nustatyti tarpžvaigždinę ekstinkciją ir nuotolius iki tiriamųjų žvaigždžių.
5. Nustatyti nuotolius iki dulkių debesų.
6. Nustatyti jaunų žvaigždinių objektų (YSO) skaičių tiriamose srityse.

Mokslinis naujumas

1. Daugiau nei 4200 žvaigždžių pirmą kartą išmatuota *Vilniaus* fotometriniėje sistemoje, daugeliui jų atlikta dvimatė spektrinė klasifikacija, nustatyta tarpžvaigždinė ekstinkcija ir nuotolis.
2. Ištirtas tarpžvaigždinių dulkių debesų pasiskirstymas tirtose srityse ir nustatyti jose esančių dulkių debesų nuotoliai.
3. Atrastas infraraudonasis žvaigždžių spiečius SCB 1.
4. Identifikuoti 96 nauji jauni žvaigždiniai objektai (YSO).

Ginamieji rezultatai ir teiginiai

1. Tamsusis debesis TGU H994 yra 140 (+36/-31) pc nuotolyje.
2. Tamsusis debesis TGU H942, esantis H II srities Sh2-205 aplinkoje, yra sudarytas mažiausiai iš dviejų sluoksnių, esančių 130 (+35/-27) pc ir 500–600 pc nuotoliu.
3. Tamsusis debesis TGU H989, esantis padrikojo spiečiaus King 7 aplinkoje, yra sudarytas iš dviejų sluoksnių, esančių 250 (+65/-52) pc ir 1,3–1,5 kpc nuotoliu.
4. 118 (96 naujai atrasti) jaunų žvaigždinių objektų (YSO) rodo aktyvią žvaigždėdarą HII srities Sh2-205 ir žvaigždžių spiečiaus King 7 aplinkose.
5. HII srities Sh2-205 aplinkoje atrastas infraraudonasis spiečius SCB 1.

Asmeninis indėlis

Autorius atliko visų tirtų sričių stebėjimus Molėtų astronomijos observatorijos Maksutovo teleskopu ir Mount Graham (JAV) observatorijos VATT teleskopu (išskyrus TGU H994 P1 srities stebėjimus VATT teleskopu), atliko tarpžvaigždinės ekstinkcijos analizę, identifikavo jaunus žvaigždinius objektus (YSO). Autorius atliko daugumos duomenų redukciją ir dalyvavo rengiant visus straipsnius disertacijos tema.

Publikacijos disertacijos tema

1. Zdanavičius J., Čepas V., Zdanavičius K., Stražys V. 2010, Wide field multicolor CCD photometry in the vicinity of the open cluster King 7, *Baltic Astronomy*, Vol. 19, 197–224.
2. Čepas V., Zdanavičius J., Zdanavičius K., Stražys V., Laugalys V. 2013, Seven-color Photometry and Classification of Stars in the Vicinity of the Emission Nebula Sh2-205, *Baltic Astronomy*, Vol. 22, 223–242.

3. Čepas V., Zdanavičius J., Zdanavičius K., Straižys V., Laugalys V. 2013, Seven-color Photometry and Classification of Stars in the Vicinity of the Dark Cloud TGU H994 (LDN 1399, LDN 1400 and LDN 1402), *Baltic Astronomy*, Vol. 22, 243–258.
4. Straižys V., Čepas V., Kazlauskas A., Zdanavičius K., Boyle R. P., Munari U., Zdanavičius J., Maskoliūnas M. 2016, The dark cloud TGU H994 P1 (LDN 1399, LDN 1400, and LDN 1402): Interstellar extinction and distance, *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 585, A31.
5. Straižys V., Čepas V., Boyle R. P., Zdanavičius J., Maskoliūnas M., Kazlauskas A., Zdanavičius K., Černis K. 2016, Dark clouds in the vicinity of the emission nebula Sh2-205: Interstellar extinction and distances, *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 590, A21.

Pranešimai konferencijose disertacijos tema

1. Čepas V., Zdanavičius J., Zdanavičius K., Straižys V., Galactic structure and star formation in the vicinity of emission nebulae Sh2-205 & DL Cam, tarptautinis seminaras „Current status of stellar photometry in the Vilnius photometric system“, Krokva (Lenkija), 2012 m. rugsėjo 10-14 d. (žodinis pranešimas).
2. Čepas V., VATT Observations in the Vicinity of Dust Ring in Camelopardalis, tarptautinis seminaras ”Interstellar extinction in the selected dust clouds and star forming regions”, Molėtų astronomijos observatorija, 2013 m. rugsėjo 3-7 d. (žodinis pranešimas).
3. Čepas V., Boyle R. P., Zdanavičius J., Zdanavičius K., Straižys V., Laugalys V., Dust ring at the Camelopardalis and Perseus border, Amerikos astronomų sąjungos 224 suvažiavimas, Vašingtonas (JAV), 2014 m. sausio 5-9 d. (stendinis pranešimas).
4. Čepas V., Straižys V., Kazlauskas A., Zdanavičius K., Boyle R. P., Munari, U., Zdanavičius J., Maskoliūnas M., Progress report of investigation of dark clouds and star formation activity in Camelopardalis dust ring: The dark cloud TGU H994 P1, tarptautinis seminaras „Science results from Vilnius calibrated Photometry“, Castel Gandolfo (Vatikanas), 2015 m. rugsėjo 8-10 d. (žodinis pranešimas).

Disertacijos struktūra

Disertacija sudaryta iš įvado, penkių skyrių, išvadų, naudotos literatūros sąrašo ir priedų.

Pirmajame skyriuje aprašoma stebėjimų medžiaga gauta Maksutovo ir VATT teleskopais naudojant Vilniaus fotometrinę sistemą. Skyrius suskirstytas į tris poskyrius pagal atliktus stebėjimus trijose 1,5 kvadratinio laipsnio srityse esančiose tamsaus debesies TGU H994 P1, H II srities Sh2-205 ir padrikojo spiečiaus King 7 aplinkose. Skyriuje pateikta atskirai visose srityse stebėjimuose naudotų filtrų parametrai, ekspozicijų ilgiai ir jų kiekis. Po kiekvienos srities stebėjimo medžiagos paaiškinimo yra pateiktas sudaryto fotometrinio katalogo aprašas. Katalogų lentelės pateiktos disertacijos gale.

Antrajame skyriuje aprašoma žvaigždžių dvimatės fotometrinės klasifikacijos metodika. Skyriuje aprašytos dvi tyrime naudotos klasifikacijos programos COMPAR ir KLASQ.

Trečiajame skyriuje aprašyta atstumo nustatymo iki dulkių debesų metodika. Skyrius suskirstytas į tris poskyrius, kuriose aprašytas atstumo nustatymas iki tamsiojo debesies TGU H 994 P1 bei tamsiųjų debesų, esančių H II srities Sh2-205 ir padrikojo spiečiaus King 7 aplinkose. Atstumai iki dulkių debesų nustatyti remiantis ekstinkcijos priklausomybės nuo nuotolio diagramomis.

Ketvirtajame skyriuje pateikiama informacija apie jaunų žvaigždinių objektų (YSO) identifikavimą tiriamose srityse.

Penktajame skyriuje pateikiami tirtų sričių analizės rezultatai ir jie palyginami su kitų autorių darbais. Šiame skyriuje taip pat aptariama mūsų darbe naudota tyrimų metodika, jos privalumai ir trūkumai palyginus su kitų autorių taikytais tyrimo metodais.

TYRIMO METODAI IR REZULTATAI

Stebėjimai

Tamsaus debesies TGU H 994 P1 aplinkos stebėjimai buvo atlikti 2010 m. spalio mėnesį Maksutovo teleskopu. Kadangi šioje srityje nebuvo Vilniaus sistemos fotoelektrinių standartų, buvo panaudotas „surišimo“ metodas su Sh2-205 srities žvaigždėmis. TGU H 994 P1 sritis taip pat buvo stebėta 2014 m. lapkričio ir gruodžio mėnesiais bei 2015 m. sausio mėnesį VATT teleskopu. Stebėjimus atliko straipsnių bendraautorius R. P. Boyle. Šiems stebėjimams, kaip standartai, buvo panaudotos Maksutovo teleskopu išmatuotos žvaigždės.

Sh2-205 aplinkos stebėjimai buvo atlikti 2010 m. spalio mėnesį Maksutovo teleskopu. Instrumentinių ryškių ir spalvos rodiklių transformacijai į standartinę Vilniaus sistemą, kaip standartai, buvo panaudota 13 į stebimą lauką patekusių žvaigždžių, turinčių fotoelektrinius matavimus, publikuotus Zdanavičius ir kt. (2001) ir Zdanavičius ir Zdanavičius (2002). Sh2-205 sritis taip pat buvo stebėta 2013 m. gruodžio mėnesį JAV esančiu 1,8 m. Vatikano pažangių technologijų teleskopu (VATT). Šiems stebėjimams kaip standartai buvo panaudotos Maksutovo teleskopu išmatuotos žvaigždės.

King 7 aplinkos lauko stebėjimai buvo atlikti 2009 m. rugsėjo mėnesį Molėtų astronomijos observatorijoje esančiu Maksutovo teleskopu. Instrumentinių ryškių ir spalvos rodiklių transformacijai į standartinę Vilniaus sistemą, kaip standartai, buvo panaudotos 36 į stebimą lauką patekusios žvaigždės, turinčios fotoelektrinius matavimus, publikuotus Zdanavičius ir kt. (2001) ir Zdanavičius ir Zdanavičius (2002).

Žvaigždžių fotometrija

Rezultatai gauti remiantis stebėjimais Maksutovo teleskopu:

- TGU H 994 P1 aplinkoje išmatuotos 727 žvaigždės iki $V = 17,0$ ryškio. 584 žvaigždėm nustatytos spektrinės ir šviesio klasės, apskaičiuota tarpžvaigždinė ekstinkcija ir nuotoliai.

- Sh2-205 aplinkoje išmatuotos 922 žvaigždės iki $V = 17,0$ ryškio. 628 žvaigždėms nustatytos spektrinės ir šviesio klasės, apskaičiuota tarpžvaigždinė ekstinkcija ir nuotoliai.
- King 7 aplinkoje išmatuotos 1549 žvaigždės iki $V = 16,0$ ryškio. 982 žvaigždėms nustatytos spektrinės ir šviesio klasės, apskaičiuota tarpžvaigždinė ekstinkcija ir nuotoliai.

Rezultatai gauti remiantis stebėjimais Vatikano teleskopu:

- TGU H 994 P1 aplinkoje išmatuotos 855 žvaigždės iki $V = 20,0$ ryškio. 447 žvaigždėms nustatytos spektrinės ir šviesio klasės, apskaičiuota tarpžvaigždinė ekstinkcija ir nuotoliai.
- Sh2-205 aplinkoje išmatuotos 302 žvaigždės iki $V = 19,5$ ryškio. 238 žvaigždėms nustatytos spektrinės ir šviesio klasės, apskaičiuota tarpžvaigždinė ekstinkcija ir nuotoliai.

Fotometrinių žvaigždžių klasifikacija

Fotometrinių žvaigždžių klasifikacija dažnai atliekama naudojant nepriklausančius nuo tarpžvaigždinio parausvėjimo Q -parametrus:

$$Q_{1234} = (m_1 - m_2) - (E_{12}/E_{34})(m_3 - m_4), \quad (1)$$

kur $m_1 - m_2$ ir $m_3 - m_4$ yra spalvos rodikliai, o E_{12} ir E_{34} yra jų spalvos ekscesai.

Taip pat gali būti taikomi „modeliavimu“ pagrįsti metodai. Panaudojant fotometrinius standartus (t. y. virtualias žvaigždes su žinomais parametrais ir vidutiniais spalvos rodikliais) ir priimant vidutinį tarpžvaigždinės ekstinkcijos dėsnį, klasifikuojamai žvaigždei priskiriami parametrai to standarto, kuriam geriausiai sutampa (mažiausia reikšmių sklaida) iš visų stebėtų spalvos rodiklių nustatyta tarpžvaigždinės medžiagos masė.

Dvimatei žvaigždžių klasifikacijai buvo naudotos šios programos:

1. **COMPAR** programa, remiasi σQ metodu (Straižys ir kt. 1992). Programa suskaičiuoja 14 Q parametrų klasifikuojamoms žvaigždėms ir lygina juos su standartinių

žvaigždžių, esančių įvairių spektrinių ir šviesio klasių, metalingumo ir pekuliarumo, Q parametrais (naudojama nuo 8000 iki 14000 standartinių žvaigždžių).

2. **KLASQ** klasifikacijos programa (Zdanavičius 2005) naudoja 684 įvairių MK spektrinių klasių standartus (virtualias žvaigždes) su normaliaisiais spalvos rodikliais paimtais iš Straižys (1992) monografijos. Programa suranda kuriam standartui, pagal skirtingus spalvos rodiklius nustatyta tarpžvaigždinės medžiagos masė sutampa geriausiai. Šio standarto parametrai ir priskiriami klasifikuojamai žvaigždei. Gautų tarpžvaigždinės medžiagos reikšmių sklaida yra klasifikacijos patikimumo indikatorius. KLASQ dirba pagal tris algoritmus:

1. Suskaičiuojama 14 nuo tarpžvaigždinio parausvėjimo nepriklausomų Q parametru 300 standartų (t. y. įvairių MK spektrinių tipų žvaigždėms) naudojant vidutinius spalvos rodiklius ir normalųjį tarpžvaigždinio paraudonavimo dėsnį. Suskaičiuoti tie patys Q parametrai klasifikuojamoms žvaigždėms yra lyginami su minėtais 300 standartų. Geriausiai tinkančio standarto parametrai priskiriami programinei žvaigždei.
2. Kitas klasifikacijos žingsnis paremtas šešiais spalvos rodikliais sudarytais iš X , Y , Z ir V ($X - Y$, $X - Z$, $X - V$, $Y - Z$, $Y - V$ ir $Z - V$). Iš klasifikuojamų žvaigždžių stebėtų spalvos rodiklių, paeiliui atimami visų 300 standartų normalieji spalvos rodikliai ir likusi dalis laikoma spalvos ekscesu. Tinkamiausiu priimamas standartas, kuriam iš skirtingų spalvos rodiklių gautos tarpžvaigždinės masės reikšmės sklaidosi mažiausiai. Jo parametrai ir gauta tarpžvaigždinės medžiagos masė priskiriami programinei žvaigždei.
3. Žinant klasifikuojamos žvaigždės MK spektrą ir tarpžvaigždinių dulkių masę, „atbalinami“ visi klasifikuojamos žvaigždės spalvos rodikliai ir palyginami su standartais. Standarto su minimalia normalių spalvos rodiklių sklaida parametrai priskiriami programinei žvaigždei. Pagal spalvos rodiklių sklaidos dydį sprendžiama apie klasifikacijos kokybę.

Galutinai priimamos vidutinės visais trimis metodais nustatytos spektro, absoliutinio ryškio ir tarpžvaigždinės ekstinkcijos reikšmės. Kiekvienu metodu nustatytų trijų geriausiai tinkančių standartų sklaidos dydis rodo žvaigždės klasifikacijos patikimumą. Papildomai, žvaigždės pekuliarumas tikrinamas keliose QQ diagramose.

Daugumai žvaigždžių, skirtingais metodais atlikus klasifikaciją, rezultatai sutampa vienos-dviejų spektrinės poklasės tikslumu. Bet yra žvaigždžių, kurioms klasifikacijos rezultatai skiriasi ženkliai, dažniausiai to priežastis yra blogai nustatyta šviesio klasė, žvaigždės pekuliarumas arba dvinariškumas.

Žvaigždžių nuotolių nustatymas

Klasifikuotoms žvaigždėms spalvos ekscesas E_{Y-V} , tarpžvaigždinė ekstinkcija A_V ir atstumas d (parsekais) buvo nustatyti pagal šias lygtis:

$$E_{Y-V} = (Y - V) - (Y - V)_0, \quad (2)$$

$$A_V = 4,16 E_{Y-V}, \quad (3)$$

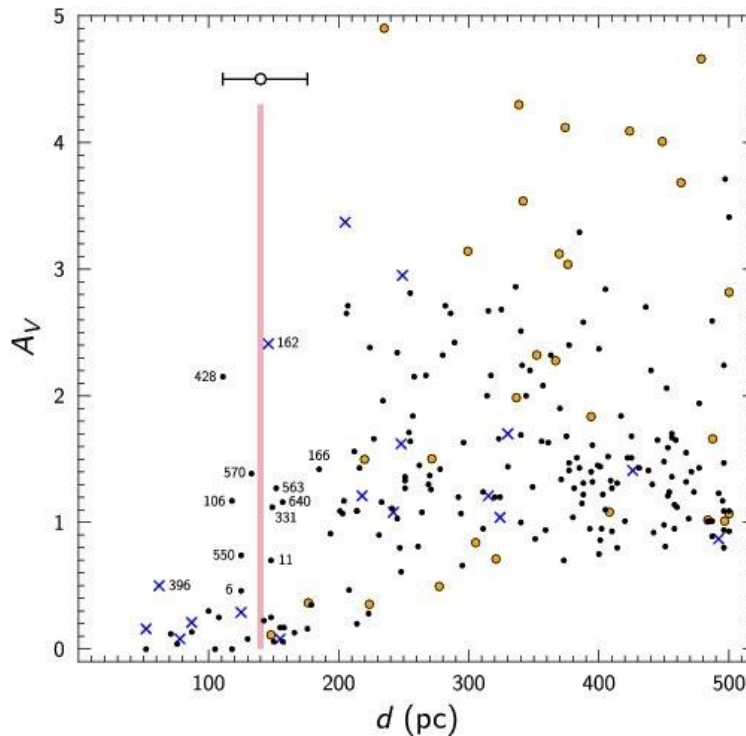
$$\log d = 0,2 (V - M_V + 5 - A_V), \quad (4)$$

kur V yra stebimas žvaigždės ryškis V filtre, $(Y - V) - (Y - V)_0$ – stebimas spalvos rodiklis. Normalinis spalvos rodiklis $(Y - V)_0$ ir absoliutinis žvaigždės ryškis M_V kiekvienam žvaigždės spektriniam tipui buvo paimti iš Straižys (1992). Charakteringos paklaidos ir nustatytų parametrų tikslumas klasifikuotoms žvaigždėms yra tokie: spektrinė žvaigždės klasė daugeliu atvejų nustatoma ± 1 poklasės tikslumu, E_{Y-V} tikslumas $\pm 0,03$ mag, A_V tikslumas $\pm 0,1$ mag. Didžiausią paklaidą sudaro absoliutinio ryškio M_V nustatymas $\pm 0,5$ mag, kas daro įtaką atstumo nustatymo paklaidoms (-20/+26) %.

Žvaigždžių dvinariškumas dirbtinai priartina žvaigždę ekstinkcijos nuotolio diagramoje. Jei abiejų narių absoliutinis ryškis sutampa, žvaigždė atrodo esanti 1,41 karto arčiau. Dvinarei žvaigždei, kurios komponentų absoliutiniai ryškiai skiriasi, atstumo paklaida mažesnė.

Nuotolis iki debesies TGU H994 P1 (LDN 1399, LDN 1400 ir LDN 1402)

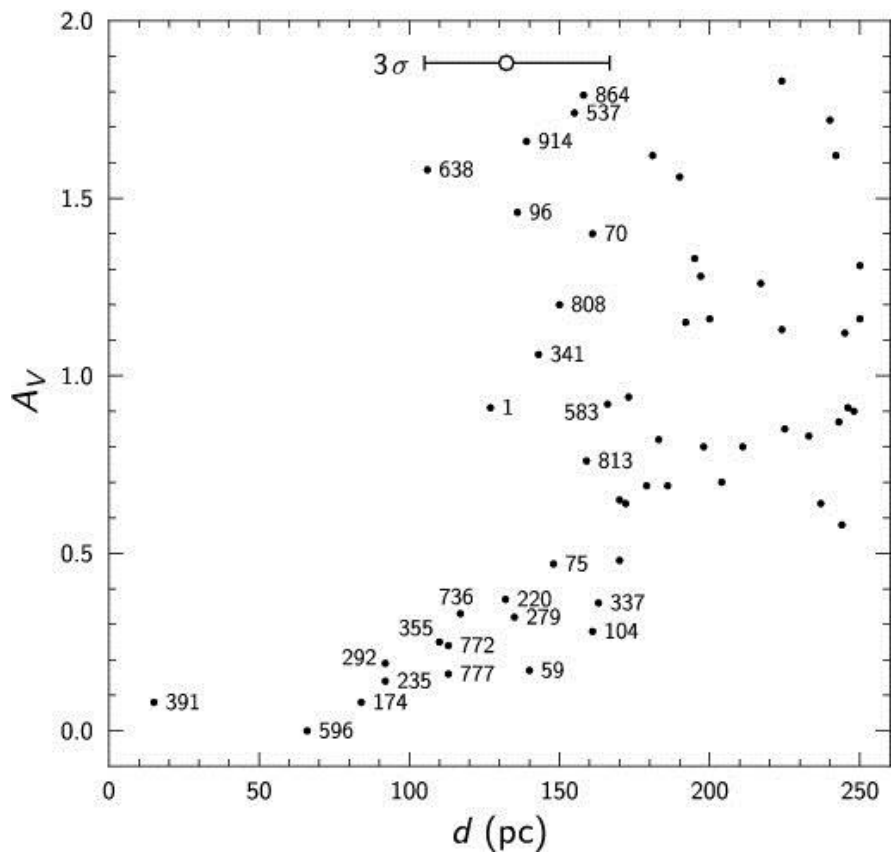
Panaudojus apie 1000 žvaigždžių fotometrinės klasifikacijos rezultatus, buvo nustatyta, kad debesies TGU H994 P1 nuotolis yra 140 (+36/−31) pc (2 pav.). Šis nuotolis yra artimas Tauro tamsiųjų debesų, esančių priešingoje Galaktikos pusiaujo pusėje, nuotoliui. Mažiausia ekstinkcija tiriamoje srityje (1,0–1,5 mag) gerai apibūdinama eksponentiniu Parenago dėsnio su $A_V = 1,25$ mag/kpc. Mūsų stebėjimai duoda maksimalią iki 6,5 mag ekstinkciją tamsiųjų debesų aplinkoje. 1,0–5,5 kpc atstumų intervale vidutinė ekstinkcija nedidėja. Šis rezultatas yra tikėtinas, kadangi tiriamasis laukas ties 100–140 pc jau projektuojasi virš Persėjo vijos, o ties ~350 pc ir virš Išorinės vijos. Nagrinėjamoje srityje nenustatyta aktyvi žvaigždėdara – rasti tik 3 YSO.



2 pav. Ekstinkcija tamsaus debesies TGU H 994 P1 aplinkoje. Žvaigždės, išmatuotos Maksutovo teleskopu pavaizduotos taškeliais, VATT teleskopu – apskritimais. Kryžiuokais pažymėtos žvaigždės, kurioms MK spektrinės klasės buvo nustatytos iš Asiago spektrų. Artimiausios paraudonavusios žvaigždės yra pažymėtos numeriais iš Maksutovo katalogo. Raudona vertikali linija žymi nustatytą tamsaus debesies TGU H 994 P1 nuotolį.

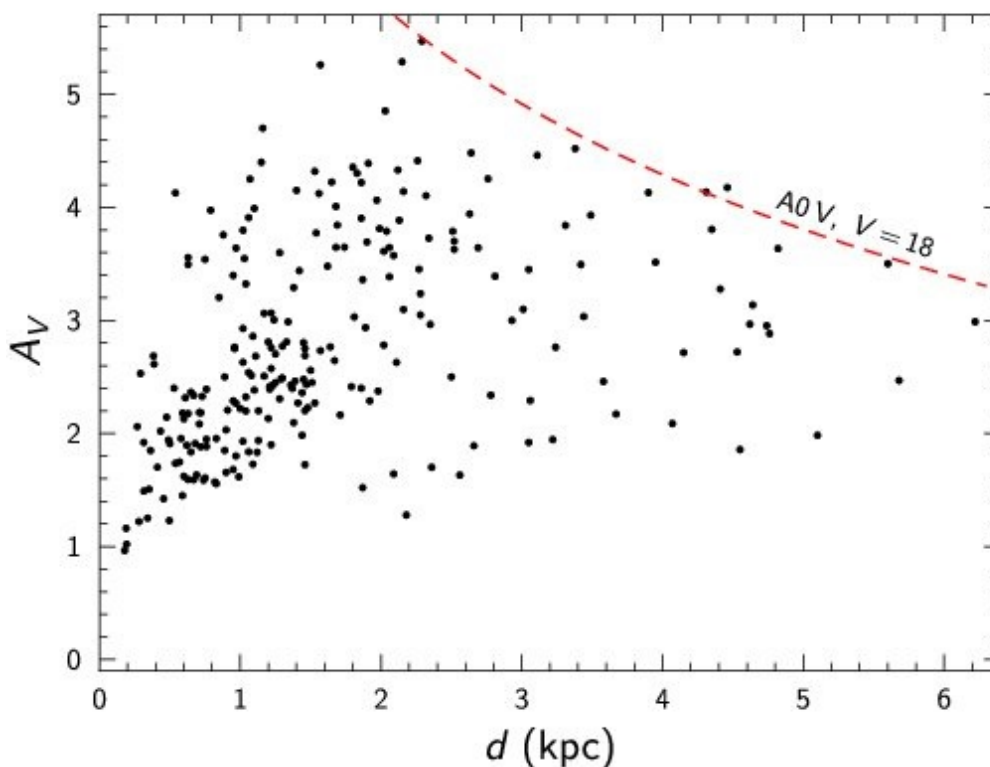
Nuotolis iki tamsiųjų debesų Sh2-205 kryptimi, žvaigždėdara

Atliktas tyrimas parodė, kad ekstinkcijos pasiskirstymas Sh2-205 srityje nėra tolygus. Didžiausia ekstinkcija pastebima rytinėje ir šiaurinėje tiriamos srities dalyse, kur yra HII sritis Sh2-205 ir debesis TGU H942 P7, P8. Tiriamoje srityje buvo nustatyta, kad debesis nėra vienalytis ir yra sudarytas iš mažiausiai 2 sluoksnių. Pirmasis sluoksnis su $A_V \sim 1,8$ mag (3 pav.) prasideda ties maždaug 130 (+35/-27) pc ir dengia beveik visą tiriamą sritį. Debesis tęsiasi maždaug iki 400 pc, kur tarpžvaigždinė ekstinkcija pasiekia 2,5 mag.



3 pav. Ekstinkcijos priklausomybė nuo atstumo H II srities Sh2-205 aplinkoje iki 250 pc Maksutovo teleskopu matuotoms žvaigždėms. Paklaidų ribos debesies nuotoliui yra pažymėtos ties 132 pc. Artimos žvaigždės pažymėtos numeriais.

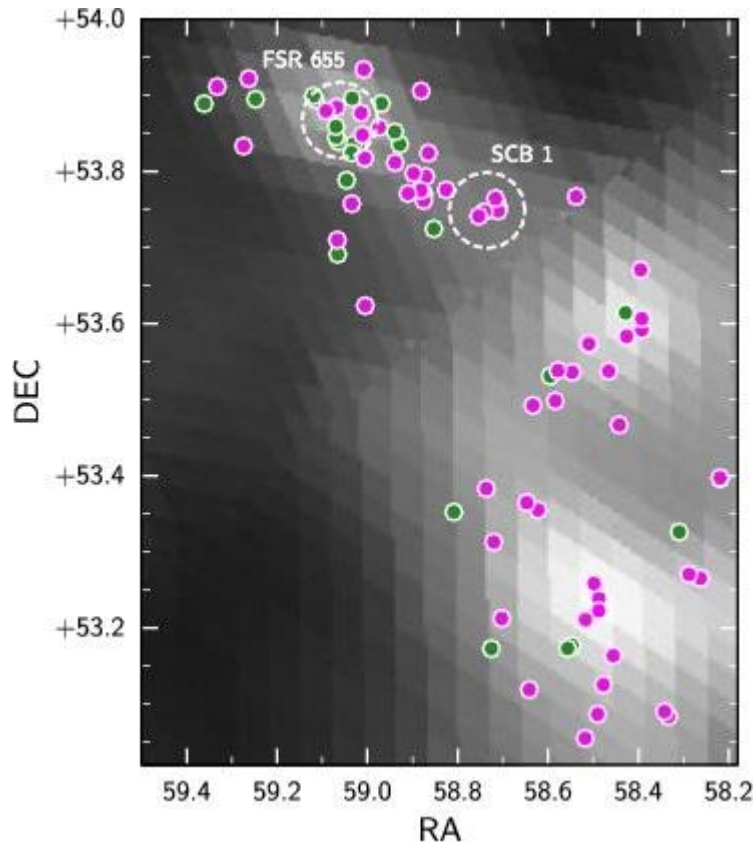
Ties maždaug 500–600 pc yra kitas ekstinkcijos šuolis (A_V iki 3,5–4,0 mag) pastebimas 4 pav. Šiame dulkių sluoksnyje yra debesys TGU H942 P7, P8. Tačiau negalime tiksliai nustatyti H II srities Sh2-205 nuotolio, kuri gali priklausyti Persėjo vijai. Šiuose sluoksniuose, o ypač sluoksnyje ties 500-600 pc, pastebimos pusiau skaidrios sritys, kuriose tarpžvaigždinė ekstinkcija neviršija 1,5–2,0 mag. Skaidriausia yra šiaurinė tiriamo sklypo dalis ($\delta > 54,0^\circ$). Tarpžvaigždinė ekstinkcija tankiausiose debesų TGU H942 P7 ir Dobashi 4042 vietose siekia 13–15 mag.



4 pav. Ekstinkcijos priklausomybė nuo atstumo H II srities Sh2-205 aplinkoje 238 žvaigždėms išmatuotoms VATT teleskopu. Raudona brūkšninė linija rodo ribinį A0 V žvaigždės nuotolį $V = 18$ mag atvejui.

Tyrimo metu nustatyta, kad dulkių debesyse, esančiuose 500–600 pc sluoksnyje, vyksta aktyvi žvaigždėdara. Identifikuoti 25 I klasės (su apvalkalais) jauni žvaigždiniai objektai (YSO) ir 62 II klasės (su diskais) YSO (5 pav.). 12 jaunų žvaigždinių objektų

telkiasi ties žinomu infraraudonoju žvaigždžių spiečiumi FSR 655, o 5 jauni žvaigždiniai objektai (YSO) – ties mūsų atrastu spiečiumi SCB 1.

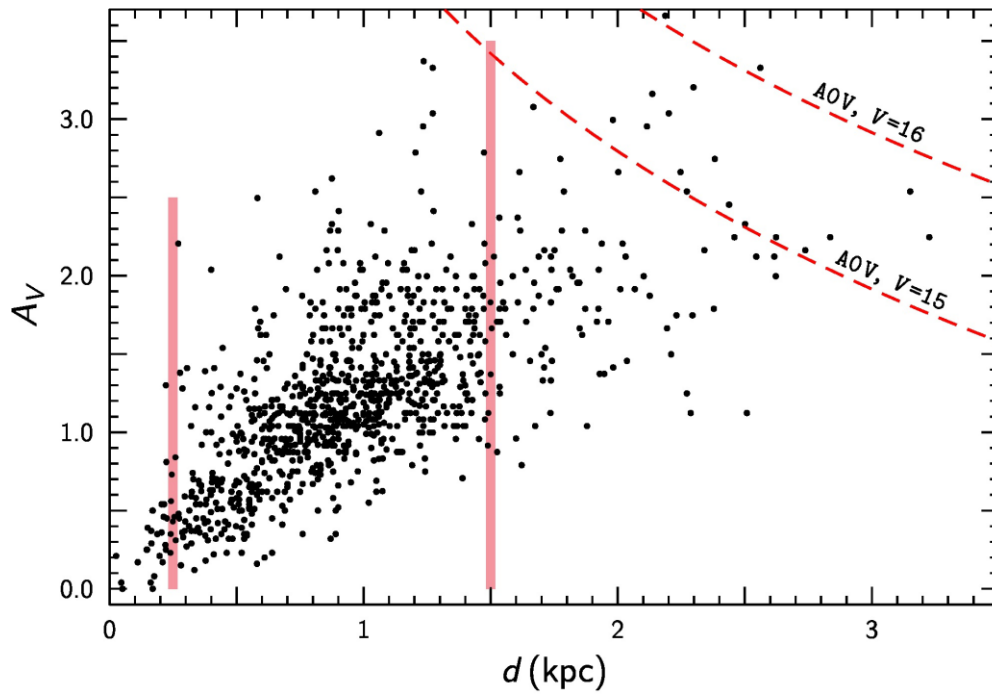


5 pav. Jaunų žvaigždinių objektų (YSO) pasiskirstymas Sh2-205 srityje. Žaliais simboliais pažymėti I klasės YSO, purpuriniais – II klasės YSO. Fone parodytas dulkių žemėlapis iš Schlegel ir kt. (1998). Spiečiai FSR 655 ir mūsų atrastas SCB 1 pažymėti 6' skersmens apskritimais.

Nuotolis iki tamsiųjų debesų King 7 kryptimi, žvaigždėdara

6 pav. pavaizduota ekstinkcijos priklausomybė nuo nuotolio 982 King 7 aplinkos žvaigždėms iki $V = 16$ mag, kurioms patikimai nustatytos spektrinės ir šviesio klasės. Matome, kad dulkių debesis TGU H 989 esantis padrikojo spiečiaus King 7 aplinkoje sudarytas iš dviejų sluoksnių esančių 250 (+65/-52) pc ir 1,3–1,5 kpc nuotoliuose.

Remiantis Koenig ir Leisawitz (2014) YSO šaltinių klasifikavimo schema naudojant 2MASS ir WISE infraraudonosios fotometrijos duomenimis, King 7 srityje identifikuoti 28 jauni žvaigždiniai objektai (YSO).



6 pav. Ekstinkcijos priklausomybė nuo atstumo padrikojo spiečiaus King 7 aplinkoje. Dvi brūkšninės linijos rodo ribinius nuotolius A0 V klasės žvaigždėms $V = 15$ ir 16 mag atvejais. Vertikalios linijos žymi nustatytus atstumus iki debesų.

PAGRINDINIAI REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Tarpžvaigždinė ekstinkcija ištirta 1,5 kvadratinio laipsnio plote (centras $\alpha(2000) = 04^{\text{h}} 25,5^{\text{m}}$, $\delta(2000) = 54^{\circ}55'$; $l = 150,53^{\circ}$, $b = +3,96^{\circ}$) tarpžvaigždinio debesies TGU H994 P1 aplinkoje. Remiantis 584 žvaigždžių iki $V = 17,0$ mag ir 447 iki $V = 20,0$ mag fotometriniu klasifikacija nustatytas debesies nuotolis 140 (+36/-31) pc.
2. Tarpžvaigždinė ekstinkcija ištirta 1,5 kvadratinio laipsnio plote (centras $\alpha(2000) = 03^{\text{h}} 57,0^{\text{m}}$, $\delta(2000) = 53^{\circ}40'$; $l = 148,34^{\circ}$, $b = +0,21^{\circ}$) H II srities Sh2-205 aplinkoje. Remiantis 628 žvaigždžių iki $V = 17,0$ mag ir 238 iki $V = 19,5$ mag fotometriniu klasifikacija nustatyta, kad dulkių debesys yra išsidėstę dviem sluoksniais, esančiais 130 (+35/-27) pc ir 500–600 pc nuotoliu.
3. Tarpžvaigždinė ekstinkcija ištirta 1,5 kvadratinio laipsnio plote (centras $\alpha(2000) = 03^{\text{h}}59,0^{\text{m}}$, $\delta(2000) = +51^{\circ}48'$; $l = 149,77^{\circ}$, $b = -1,02^{\circ}$) padrikojo žvaigždžių spiečiaus King 7 aplinkoje. Remiantis 982 žvaigždžių iki $V = 16,0$ mag fotometriniu klasifikacija dulkių debesys TGU H 989, esantys spiečiaus King 7 aplinkoje, yra išsidėstę dviem sluoksniais, esančiais 250 (+65/-52) pc ir 1,3–1,5 kpc nuotoliu.
4. Spiečiaus King 7 ir H II srities Sh2-205 aplinkose nustatyta aktyvi žvaigždėdara.
5. Atrastas infraraudonasis spiečius SCB 1 ($\alpha(2000) = 03^{\text{h}} 54^{\text{m}} 56^{\text{s}}$, $\delta(2000) = 53^{\circ}45'$).

Literatūra

- Barnard E. E. 1927, Vizier Online Data Catalogue: VII/220A
Dobashi K., Uehara H., Kandori R., ir kt. 2005, PASJ, 57, S1
Dobashi K. 2011, PASJ, 63, S1
Koenig X. P. & Leisawitz D. T. 2014, ApJ, 791, 131
Sharpless S. 1959, ApJS, 4, 257
Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., & Davis M. 1998, ApJ, 500, 525
Straižys V. 1992, Tucson : Pachart Pub. House
Straižys V., Černis K., Kazlauskas A., & Meištas E. 1992, Baltic Astronomy, 1, 149
Straižys V., Laugalys V. 2007, Baltic Astronomy, 16, 167
Straižys V., Laugalys V. 2008, in Handbook of Star Forming Regions, vol. 1, ed. B. Reipurth, 294
Zdanavičius J., Černis K., Zdanavičius K., Straižys V. 2001, Baltic Astronomy, 10, 349
Zdanavičius J., Zdanavičius K. 2002, Baltic Astronomy, 11, 75
Zdanavičius K. 2005, Baltic Astronomy, 14, 104

Summary

The Milky Way is a huge system that consist of 100–400 billion stars, interstellar gas and dust, cosmic rays, electromagnetic radiation, interstellar magnetic fields, gravitational fields, dark matter. In spiral galaxies, like the Milky Way, most of the dust and gas is to be found within relatively thin gaseous disk, with a thickness of a few hundred parsecs, and within this disk nearly all of the star formation takes place. Among the least investigated directions in the Milky Way are the dark clouds in the Camelopardalis constellation. The distances of the clouds and their extinction are known with a low accuracy and only in some occasional directions.

Straižys & Laugalys (2007, 2008) described a ring-like concentration of dust clouds located at the border of the Perseus, Camelopardalis, and Auriga constellations, which is perfectly seen in the Dobashi et al. (2005) atlas of dark clouds. The ring has a diameter of $\sim 8^\circ$ and is centered on the open cluster NGC 1528. Trying to test physical reality of this dust ring, we decided to investigate distances to its clouds, extinction properties, and star formation activity. The method of investigation is based on Vilnius, 2MASS and WISE photometry of stars in 3 selected 1.5 deg^2 areas centered on dust cloud TGU H994 P1, H II region Sh2-205 and star cluster King 7.

CCD photometry of 4355 stars in the Vilnius seven-color photometric system was performed. Observations were made in Molėtai observatory with Maksutov telescope and with 1.8 meter VATT telescope on Mt. Graham, USA. Two-dimensional spectral types, interstellar extinction and distances for most of the observed stars were determined. The interstellar extinction run with distance and star formation activity in all investigated areas were determined.

The main results of the investigation are published in three papers in „Baltic Astronomy“ and two papers in „Astronomy & Astrophysics“.

The use of the Simbad (CDS), NED (NASA), SkyView (NASA), and CO Data Archive (Smithsonian AO Radio Telescope Data Center) databases is acknowledged.

Trumpos žinios apie autorių

Vardas, pavardė: Vytautas Čepas
Gimimo data: 1980 09 08
Gimimo vieta: Vilniaus m.
Elektroninis paštas: Vytautas.Cepas@tfai.vu.lt
Išsilavinimas:
1999-2003 Fizikos bakalauras: Vilniaus universitetas
2003-2006 Fizikos magistras: Vilniaus universitetas

2010-2014 Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, doktorantūros studijos
Profesinė patirtis:
2013- Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, jaunesnysis mokslo darbuotojas