

ՀՀ ԳԱԱ Վ.Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարան

Կոստանդյան Գայանե Ռազմիկի

**«Բարձր գալակտիկական լայնություններում DFBS ուշ դասի  
աստղերի ուսումնասիրություն»**

## **ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ**

Ա.03.02 – «Աստղաֆիզիկա, ռադիոաստղագիտություն»

մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների  
թեկնածուի գիտական աստիճանի համար

Գիտական ղեկավար՝

Ֆ.մ.գ.թ.՝ Կամո Սերյոժայի Գիգոյան

# ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

|       |                                                                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ.....                                                                                 | 4  |
| 2     | ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ԵՐԿՐՈՐԴ՝ ՎԵՐԱՆԱՅՎԱԾ ԵՎ ԹԱՐՄԱՑՎԱԾ ԿԱՏԱԼՈԳ ..... | 17 |
| 2.1   | ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                | 17 |
| 2.2   | ՄԻՋԻՆ ԼՈՒԾՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄ ..                                                | 21 |
| 2.2.1 | ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                           | 23 |
| 2.2.2 | M ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                               | 26 |
| 2.3   | ԿԱՏԱԼՈԳՈՒՄ ՆԵՐԱՌՎԱԾ ՏՎՅԱԼՆԵՐ .....                                                                | 32 |
| 2.4   | ԵՐԿՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ .....                                                    | 39 |
| 3     | ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ .....              | 40 |
| 3.1   | ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                | 40 |
| 3.2   | 2MASS ԵՎ WISE ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                               | 41 |
| 3.3   | ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                           | 43 |
| 3.3.1 | IRAS, WISE, 2MASS և AKARI ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ.....                                                    | 43 |
| 3.3.2 | ՍՊԵԿՏՐԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԲԱՇԽՈՒՄ .....                                                                | 47 |
| 3.3.3 | ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԵՎ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ԿՈՐՍՏԻ ՏԵՄՊԻ ՈՐՈՇՈՒՄՆ ԸՍՏ 2MASS, IRAS ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ.....                | 49 |
| 3.4   | ԵՐՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ.....                                                      | 54 |
| 4     | ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ GAIA ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ .....                  | 55 |
| 4.1   | ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                | 55 |
| 4.2   | ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                           | 56 |
| 4.2.1 | ՏԵՍԱԳԾԱՅԻՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ...                                                | 61 |
| 4.3   | M ԴԱՍԻ ՀՍԿԱ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                          | 63 |
| 4.3.1 | ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱ.....                                                                                   | 65 |
| 4.3.2 | 2MASS ԵՎ GAIA ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ: $W_{RP} - W_{K, JK}$ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ .....                               | 67 |

|       |                                                                                                                     |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4   | ՉՈՐՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ .....                                                                      | 73  |
| 5     | ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ<br>ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ .....            | 75  |
| 5.1   | ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                                  | 75  |
| 5.2   | ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԵՎ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸ ԸՍՏ<br>ՊԱՅԾԱՌՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐԻ .....                                                | 76  |
| 5.2.1 | ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                                             | 78  |
| 5.2.2 | M ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐ .....                                                                                                 | 82  |
| 5.3   | ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐԻ K ՇԵՐՏԻ ԲԱՑԱՐՁԱԿ ԱՍՏՂԱՅԻՆ<br>ՄԵԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ .....                            | 87  |
| 5.4   | CATALINA և LINEAR ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՇՏԵՄԱՐԱՆՆԵՐԻ $P \geq 10$ ՕՐ<br>ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԱՍՏՂԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ..... | 90  |
| 5.4.1 | ՍՊԵԿՏՐԱՅԻՆ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄ .....                                                                                        | 90  |
| 5.4.2 | ԵՐԿԱՐ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿԻ ԿԱԶՄՈՒՄ ....                                                                 | 94  |
| 5.4.3 | 2MASS ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                         | 95  |
| 5.4.4 | M ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ .....                                                                          | 96  |
| 5.5   | ՀԻՆԳԵՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ .....                                                                    | 99  |
|       | ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ .....                                                                                    | 101 |
|       | ՇՆՈՐՀԱԿԱԼՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                              | 109 |
|       | ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ .....                                                                                                 | 110 |

# 1 ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Բյուրականի առաջին շրջահայությունը (First Byurakan Survey(FBS)), որը հայտնի է նաև որպես Մարգարյանի շրջահայություն, արտագալակտիկական օբյեկտների երկնքի՝ օբյեկտիվ-պրիզմայով, առաջին համակարգված սպեկտրային շրջահայությունն է: Շրջահայությունն իրականացրել են Բ. Մարգարյանը և իր գործընկերները 1965-1980 թվականներին: Լուսանկարչական թիթեղներն ստացվել են Բյուրականի աստղադիտարանի 1մ Շմիդտի աստղադիտակի վրա: Սպեկտրային դիտումները կատարվել են  $1^{0.5}$  պրիզմայի օգնությամբ: FBS-ը ներկայումս գոյություն ունեցող երկնքի ամենամեծ տիրույթ ընդգրկող ցածր լուծողունակությամբ (low-resolution) սպեկտրային շրջահայությունն է: Այն ընդգրկում է երկնքի 17 000 քառ. աստ. տիրույթ, բաժանվում է 28 զուգահեռ գոտիների, ընդգրկելով բարձր գալակտիկական լայնություններում՝  $\delta > -15^{\circ}$  և  $|b| > 15^{\circ}$ , ամբողջ հյուսիսային երկինքը և հարավային երկնքի մի մասը: Լուսանկարչական թիթեղների սահմանային աստղային մեծությունը  $17^{m.5}$ - $18^{m.0}$  է: Դիտումների ընթացքում օգտագործվել են Կոդակ (Kodak) ապրանքանիշի տարատեսակ էմուլսիաներ Kodak-IIF, Kodak-IIAF, Kodak IlaF և Kodak103aF, սպեկտրային տիրույթն ընկած է  $\lambda\lambda$  3400-6900Å միջակայքում:

FBS-ն ի սկզբանե իրականացվել է ուլտրամանուշակագույն ավելցուկ (UV-excess (UVX)) ունեցող գալակտիկաների որոնման համար [1]: Հայտնաբերվել է ուլտրամանուշակագույն ավելցուկով 1515 գալակտիկա [2]: UVX գալակտիկաների հայտնաբերումը FBS-ի լուսանկարչական թիթեղների վրա ամենակարևոր աշխատանքն էր Մարգարյանի ու իր գործընկերների կողմից [3]:

Բարձր գալակտիկական լայնություններում ուշ դասի աստղերի (Late-type stars-LTS) համակարգված ուսումնասիրություններ չէին կատարվել մինչև 2000 թվականները: FBS-ը լինելով ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրասկոպիկ շրջահայություն, թույլ է տալիս կատարել ուշ դասի աստղերի ուսումնասիրություն:



1987թ.-ին, սկսվեց FBS-ի վրա հիմնված նախագիծ, որի առաջնահերթությունն էր ուլտրամանուշակագույն ավելցուկով աստղային օբյեկտների և ուշ դասի աստղերի՝ M դասի և ածխածնային աստղերի որոնումը: Մեծ սպեկտրային տիրույթը հնարավորություն է տալիս ընտրել տարբեր թելիկավոր (ниточные) օբյեկտներ՝ գալակտիկական և աստղային: Այն անվանվեց FBS-ի երկրորդ մաս: Թիթեղների վրա արտահայտված կլանման շերտեր ունեցող անճեղք սպեկտրները ընտրելու համար, օգտագործվեց օկուլյար՝ 15× խոշորացումով: Արդյունքում հայտնաբերվեցին բազմաթիվ կապույտ աստղային օբյեկտներ [4] և ուշ դասի աստղեր:

Ուշ դասի աստղերի ուսումնասիրության արդյունքները հրապարակվել են 15 ցուցակներում [5-18]: Այդ ցուցակների հիման վրա ստեղծվեց Բյուրականի առաջին շրջահայության ուշ դասի աստղերի ուսումնասիրության վերանայված և թարմացված կատալոգի առաջին տարբերակը, որը պարունակում է 1045 աստղի տվյալներ [19,20]:

2002-2004թթ.-ին FBS-ի մոտ 2000 սպեկտրային թիթեղներ թվայնացվեցին: Այն համատեղ նախագիծ էր Բյուրականի աստղադիտարանի (BAO), ԱՄՆ Կորնելլի (Cornell) համալսարանի և Իտալիայի Հռոմի Լա Սապիենզա համալսարանի (Universita di Roma «La Sapienza») հետ: Արդյունքում 2007թ.-ին ստեղծվեց թվայնացված բյուրականյան առաջին շրջահայության (DFBS) տվյալների շտեմարանը [21]: Այն աշխարհի ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրոսկոպիկ տվյալների ամենամեծ շտեմարանն է: Դրա պատկերներն ու սպեկտրները հասանելի են DFBS-ի վեբ կայքում՝ <http://www.ia2-byurakan.oats.inaf.it>:

Անհրաժեշտություն առաջացավ վերանայել և վերահրատարակել FBS ուշ դասի աստղերի վերանայված և թարմացված կատալոգի առաջին տարբերակը:

**Աստղերի սպեկտրային դասակարգումը** շատ կարևոր է աստղաֆիզիկական խնդիրներ լուծելու համար: Աստղերի սպեկտրների վերլուծությունը սկսվել է Իոսիֆ Ֆոն Ֆրաունհոֆերի կողմից, երբ նա 1814 թ.-ին դիտեց Արեգակի և մի քանի պայծառ աստղերի սպեկտրներ: 1860թ. Գուստավ Կիրխհոֆը և Ռոբերտ Բունսենը լաբորատոր հետազոտությունների արդյունքում կարողացան լաբորատոր պայմաններում ստացված

շատ առաքման և կլանման բազմաթիվ գծեր նույնացնել աստղերի սպեկտրների գծերին [22,23]:

Սպեկտրային վերլուծությունների հիման վրա սկսվեցին աստղերի դասակարգումներ: Հիմնվելով 4000 սպեկտրների և դրանց տարբերությունների օրինաչափություններ վրա՝ 1868թ.-ին իտալացի գիտնական վանահայր Անջելո Սեկկին առաջին անգամ բոլոր աստղերը բաժանեց չորս դասի: **Առաջին** դասում ընդգրկվեցին այն աստղերը, որոնց սպեկտրներում հստակ երևում էին միայն ջրածնի կլանման գծեր, **երկրորդ** դասում այն աստղերը, որոնց սպեկտրներում համեմատաբար թույլ արտահայտված ջրածնի գծերի հետ միասին երևում էին մեծ քանակությամբ ծանր տարրերի կլանման գծեր [23]:

Սեկկին 1866թ.-ին հայտնաբերեց աստղեր, որոնք ընդգրկվեցին **երրորդ** դասում և հետագայում դասակարգվեցին որպես M դասի աստղեր, իսկ 1868թ.-ին՝ ածխածնային աստղերը (C)՝ նույնացնելով ածխածնի շերտերը լաբորատոր շերտերի հետ [23] և այդ աստղերը ընդգրկեց **չորրորդ** դասում: Երրորդ և չորրորդ դասերի աստղերի սպեկտրներում հիմնականում դիտվում էին ոչ թե ատոմային գծեր, այլ մոլեկուլային կլանման տարբեր շերտեր:

Այս հայտնագործությունների արդյունքում Սեկկին առաջ քաշեց այն հարցը, թե ինչու կան կարմիր աստղերի երկու՝ միմյանցից շատ տարբեր սպեկտրալ դասեր [22,24]:

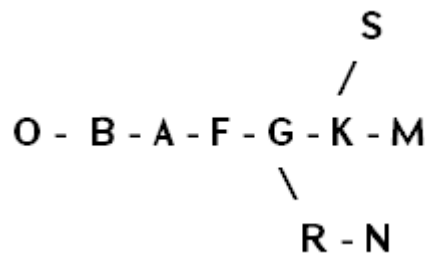
Սպեկտրային դասակարգումը սերտորեն կապված էր աստղային էվոլյուցիայի տեսությունների հետ: Օրինակ՝ Լոկյերի (Lockyer) կողմից մշակված դասակարգումը, որը ներառում էր նախ և առաջ աստղերի ջերմաստիճանի բարձրացումը և հետագա անկումը դրանց կյանքի փուլերի ընթացքում, որոշ տեսական աջակցություն ուներ Ջոնաթան Հոմեր Լեյնի (Jonathan Homer Lane) և Օգյուստ Ռիթերի (August Ritter) աշխատանքներում, որոնց համաձայն՝ աստղերի ճառագայթման էներգիան առաջանում է գազային միգամածությունների գրավիտացիոն ինքնասեղմման հետևանքով [23]:

Սկսվեց աստղերի դասակարգման նոր փուլ՝ պայմանավորված աստղերի գույնով, գծերի հարաբերական ինտենսիվությամբ և կլանման գծերի լայնությամբ:

Հարվարդի քոլեջի աստղադիտարանում 1885 թվականից՝ շուրջ չորս տասնամյակ, իրականացվեցին դիտողական կատալոգների ստեղծման նախագծեր և

հրատարակվեց չորս կատալոգ: Աստղադիտարանի տնօրեն Կ. Պիկերինգը սկսեց ամբողջ երկնքի սպեկտրասկոպիկ շրջահայություն: 1890թ. ստեղծվեց սպեկտրների դասակարգման առաջին՝ Հենրի Դրեպերի կատալոգը, որը պարունակում էր 10351 աստղ: Դա սպեկտրային դասակարգման՝ տասնիններորդ դարի ամենամեծ և մանրամասն կատալոգն էր: Սպեկտրային դասակարգման հիմք էին հանդիսացել Սեկկիի չորս սպեկտրային դասերը [22]:

Սպեկտրային դասերը նշանակվեցին լատիներեն այբուբենի տառերով: Սպեկտրային դասակարգման հաջորդականությունը ուներ հետևյալ տեսքը.



Հարվարդյան սպեկտրային դասակարգման մեջ ածխածնային աստղերը դասակարգվեցին որպես R և N դասեր:

Աստղերի սպեկտրների հետագա ուսումնասիրություններով աստղերի դասակարգումը ավելի ճշտագրտվեց, ըստ իրենց սպեկտրային հատկանիշների: Կախված լուսուղրտի ջերմաստիճանից՝ աստղերի սպեկտրներում դիտվում էին տարբեր քիմիական տարրեր: Սպեկտրային վերլուծության եղանակով հնարավոր է ուսումնասիրել աստղերի մակերևութային շերտերի ֆիզիկական հատկություններն ու քիմիական բաղադրությունները:

Աստղերի ժամանակակից սպեկտրային դասակարգումը դա MKK (Մորգան-Կինան-Կելման) դասակարգումն է: MK համակարգի առանձնահատկությունն այն է, որ այն ներառում է նաև լուսատվության դասերը: Այն երկչափ դասակարգում է: Ածխածնային աստղերը MKK համակարգում նշանակվեցին լատիներեն C տառով և դասակարգվեցին C0-ից C9 ենթադասերով [22,23]:

Երկնային մարմինների սպեկտրային դասակարգումը ժամանակակից աստղաֆիզիկայի կարևորագույն ու արդիական խնդիրներից մեկն է, քանի որ հնարավորություն է տալիս գնահատել աստղերի կարևոր աստղաֆիզիկական

բնութագրեր՝ արդյունարար ջերմաստիճանը, լուսատվությունը, քիմիական բաղադրությունը և այլն:

Ուշ դասի M, S և C աստղերը սառը աստղեր են: M և S դասերի միջև կա միջանկյալ MS դասը, իսկ S և C դասերի միջև՝ SC դասը: Ենթադրվում է, որ  $M \rightarrow MS \rightarrow S \rightarrow SC \rightarrow C$  հաջորդականությունը պայմանավորված է ածխածնի հաջորդական ավելացմամբ, ինչից բխում է, որ C աստղերը ավելի ծեր են [22]: Այս աստղերը ունեն գրեթե նույն ջերմաստիճանները, սակայն սպեկտրները բավականաչափ տարբերվում են: Ուստի ուշ դասի աստղերի դասակարգման համար անհրաժեշտ են մեկ կամ մի քանի քիմիական չափորոշիչներ:

**Ածխածնային աստղերի** բնորոշ առանձնահատկությունը դրանց սպեկտրներում ածխածնային կլանման շերտերն են: Օպտիկական տիրույթի սպեկտրում Սեկկին դիտեց  $C_2$  մոլեկուլի՝ Սվանի 5636, 5165 և 4737 Å կլանման շերտերը: Այս երեք շերտերը նույնացրել էր Վիլյամ Սվանը 1857թ.-ին լաբորատոր աշխատանքներում [23]: Հետագայում հայտնաբերվեցին **CN** ցիանի մոլեկուլի կլանման շերտերը, որոնք սկիզբ են առնում սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն մասում և շարունակվում են կարմիր մասում: Այս շերտերը առաջին անգամ նույնացվեցին Հենրիխ Կայզերի (Heinrich Kayser) և Կառլ Ռունգեի (Carl Runge) կողմից: Ամենաուժեղ շերտերը 4216, 3883 և 3590 Å գլխիկներով կլանման շերտերն են ուլտրամանուշակագույն մասում: **CH** կլանման շերտերը նույնացվել են Նյուալ Բաքսանդալի (Newall Baxandall) և Չարլզ Ռիչարդ Բաթլերի (Charles Pritchard Butler) կողմից 1916թ.-ին: Դա հայտնի ֆրաունհոֆյան G արեգակնային շերտն էր 4300 Å-ում: 1941թ.-ին Կինանը և Մորգանը նկատելով CH 4215 - 4325 Å մոլեկուլային շերտի անսովոր մեծ ինտենսիվությամբ և կապույտ տիրույթում ատոմային գծերի գրեթե բացակայությամբ աստղերի խումբ, դրանք դասակարգեցին որպես առանձին դաս՝ CH աստղեր: CH աստղերը, որոնք հայտնի են նաև որպես բարձր արագության օբյեկտներ, հիմնականում դասակարգվում էին որպես R աստղեր, նախքան դրանք ճանաչվեցին որպես առանձին դաս: Թույլ մոլեկուլային շերտերում Պաուլ Մերիլը (Paul Merrill) 1926թ.-ին հայտնաբերեց 4976 Å շերտը, որն, ի տարբերություն  $C_2$ , **CN** և **CH** մոլեկուլների, դեգրադացվում էր դեպի կարմիր մասը ինչն անսովոր էր: Ռոսքոու Սանֆորդը (Roscoe Sanford) հայտնաբերեց մեկ այլ նմանատիպ

շերտ 4868 Å-ում: Դրանք հիմնականում հայտնի են որպես Մերիլ-Սանֆորդի կլանման շերտեր: Այդ շերտերի ծագումը մնում էր անհայտ մինչև 1956թ.-ը, երբ Օտավայում Բենգթ Քլեմանը (Bengt Kleman) դրանք նույնացրեց եռատոմ  $\text{SiC}_2$  մոլեկուլի շերտի հետ [23]:

Սպեկտրային առաջին ծավալուն վերլուծությունը կատարել են Ջորջ Էլլերի Հեյլը (George Ellery Hale), Ֆերդինանդ Էլլերմանին (Ferdinand Ellerman) և Ջոն Պարքուստը (John Parkhurst) 1903թ.-ին Յորքսում (Yerkes): Նրանք ուսումնասիրեցին բազմաթիվ կլանման գծերի ու շերտերի և առաքման գծերի ակիքի երկարությունները: Մինչև հարվարդյան կատալոգը Կարլ Ռուֆեսը Միչիգանում, որպես ատենախոսություն ներկայացրեց կարևոր աշխատանք, ածխածնային աստղերի մասին: Ուսումնասիրելով 10 R դասի և 5 N դասի աստղ՝ նա, ինչպես Պիկերինգը, ցույց տվեց, որ R դասի աստղերը N դասի աստղերից տարբերվում են ավելի մեծ ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման կլանումով՝ տալով R դասի աստղերին, ընդհանուր առմամբ, ավելի քիչ կարմիր գույն: Դոնալդ Շեյնը (Donald Shane, 1895–1983) ուսումնասիրեց ավելի մեծ քանակի ածխածնային աստղեր և դա թույլ տվեց նրան 1928թ.-ին մշակել կատարելագործված սպեկտրային դասակարգում՝ հիմնված հարվարդյան դասակարգման վրա [23]:

Դիտողական տեխնիկայի զարգացմանը զուգահեռ, որն այժմ հնարավորություն է ընձեռում դիտումներ կատարել ակիքային սպեկտրի շատ ավելի լայն տիրույթում, հայտնաբերվեցին նաև ածխածնային կլանման շերտեր ինֆրակարմիր տիրույթում:

**M դասի աստղերի** սպեկտրները ուսումնասիրելով՝ Սեկկին նկատել էր կլանման շերտեր լուսանկարչական տիրույթում: Հետագայում՝ 1904թ.-ին, Ֆաուլերը դրանք նույնացրեց **տիտանի օքսիդի** ( $\text{TiO}$ ) մոլեկուլի 5167, 5500 և 6200 Å կլանման շերտերի հետ [24]: Այդ շերտերը կարևոր սպեկտրային բնութագրերից են: Մյուս կարևոր շերտերը **վանադիումի օքսիդի** շերտերն ( $\text{VO}$ ) են M աստղերում, որոնք նույնացվել են Ն. Տ. Բոբրովնիկովի կողմից 1936թ.-ին ամենանկատելի շերտը 5738 Å գլխիկով շերտն էր: Այս բոլոր աստղերը M6e կամ ավելի ուշ դասի երկար պարբերական փոփոխականներ էին: Նա նշել է, որ վանադիումի շերտերը ուժեղանում են ավելի ուշ դասի անցնելիս և այդ

շերտի աննկատելի լինելու փաստն ավելի վաղ M դասի աստղերում պայմանավորված է ավելի ցածր դիսոցիացիայի էներգիայով VO- ի համար, քան TiO: Վանադիումի օքսիդի  $\lambda\lambda$  7400 և 7900 Å շերտերի հայտնաբերումը հանգեցրեց ճշգրիտ ջերմաստիճանային դասակարգմանը, որովհետև այս շերտերը խիստ զգայուն են ջերմաստիճանի նկատմամբ [23]:

**S դասի աստղերը** Հենրի Դրեպերի համակարգում որպես առանձին սպեկտրային դաս դասակարգվեցին **ցիրկոնիումի օքսիդի (ZrO)** մոլեկուլի շնորհիվ: Դրանք հայտնաբերվել են Ֆրենկ Բաքսանդալի (Frank Baxandall) և Փոլ Մերիլի (Paul Merrill) կողմից: Առաջին համապարփակ աշխատանքը կատարեց Մերիլը 1922թ.-ին՝ ներկայացնելով S դասի 22 աստղի ցուցակ, որոնցից 16-ը աստղ երկար պարբերական փոփոխականներ էին: Մերիլը հայտնաբերեց նաև երկաթի իոնացված գծեր: Նա նաև նշեց ծանր տարրերի, մասնավորապես՝ բարիումի 4554 Å և ստրոնցիումի 4607 Å գծերը՝ որպես S դասի ընդհանուր բնութագրեր: Այդ աստղերի սպեկտրներում դիտվում են CN և C<sub>2</sub> շերտեր, բայց ոչ այնքան ուժեղ ինչպես ածխածնային աստղերում [23]:

1934թ.-ին Ռեսելը տվեց մասնակի պատասխան, թե ինչու են կարմիր աստղերը բաժանվում մի քանի դասի: Նա նկատեց, որ կարմիր աստղերի միջև սպեկտրային տարբերությունները պայմանավորված են ածխածին-թթվածին փոխհարաբերությամբ: Նա ցույց տվեց, որ, եթե սպեկտրում թթվածնի բաղադրության հարաբերությունը ածխածնին մեծ է մեկից, ապա դիտվում է M դասի աստղի սպեկտր և եթե այդ հարաբերությունը փոքր է մեկից, ապա դիտվում է ածխածնային աստղի սպեկտր [24,25]:

Ելնելով միայն թթվածնի և ածխածնի ատոմների հարաբերական քանակությունից M և S դասի աստղերը ըստ սպեկտրների դժվար է ճիշտ դասակարգել: S դասի աստղերի սպեկտրներում կան Sr, Y, Zr, Nb, Tc, Ba և La հազվագյուտ քիմիական տարրերի ուժեղ գծեր և շերտեր [22]: Հետևաբար, որպես երկրորդ բնութագրիչ քիմիական չափորոշիչ ընտրվել է քիմիական ծանր և թեթև տարրերի փոխհարաբերությունը:

Ուշ դասի աստղերը ունեն տարբեր լուսատվության դասեր: «Հսկա» և «թզուկ» հասկացությունները սկիզբ են առել 1905-1915 թվականներին: Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամի վերլուծության ժամանակ տարբերակվեց տարբեր չափեր ունեցող սառը

աստղերի երկու տեսակ՝ թզուկներ, որոնք գտնվում էին գլխավոր հաջորդականության վրա և հսկաներ: Թզուկների և հսկաների հայտնաբերումը անմիջապես հանգեցրեց այն հարցի, թե ի՞նչն է աստղի հսկա կամ թզուկ լինելու պատճառը [24]:

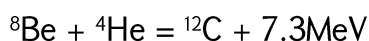
Գնդաձև ատղակույտների՝ գունային մեծության դիագրամների ուսումնասիրությունները 1953թ. հանգեցրին անսպասելի հայտնագործության, այն է՝ կարմիր հսկաները ունեն ճյուղավորում: Ասիմպտոտիկ հսկա ճյուղի (Asymptotic Giant Branch (AGB)) ճյուղի աստղերի լուսատվությունը գերազանցում էր «սովորական» կարմիր հսկաների ճյուղի (Red Giant Branch(RGB)) աստղերի լուսատվությանը: Դրանք ավելի քիչ կայուն են և երկար պարբերական փոփոխականներ են:

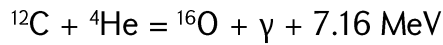
Արդեն 1970 թվականին պարզ դարձավ, որ կարմիր հսկաների տիրույթը բաժանված է ենթահսկաների ճյուղի, կարմիր հսկաների ճյուղի, հորիզոնական ճյուղի և հսկաների ասիմպտոտիկ ճյուղի [24]:

Սկսվեցին կառուցվել մոդելներ, որոնց միջոցով փորձում էին բացատրել աստղերի ներքին կառուցվածքը, դրանց ներսում ընթացող ֆիզիկական պրոցեսները:

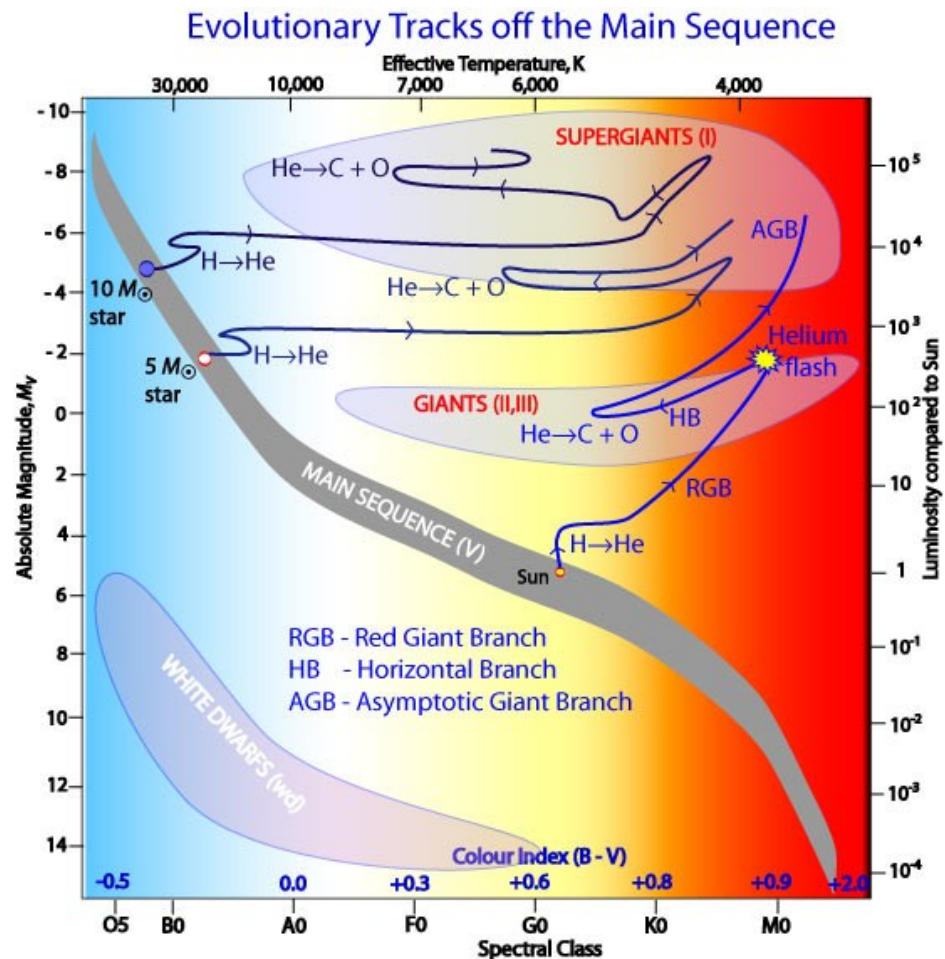
Ժամանակակից աստղաֆիզիկայում ընդունված է, որ գլխավոր հաջորդականության (Main Sequence(MS)) փուլում գտնվում են այն աստղերը, որոնց միջուկում ջրածինը դանդաղ փոխակերպվում է հելիումի: Այդ փուլն ավարտվում է, երբ այրվում է միջուկում գտնվող գրեթե ողջ ջրածինը: Երբ MS-ի աստղի կենտրոնում ավարտվում է ջրածնի այրումը, առաջանում է հելիումային «կորիզ», իսկ ջրածնի այրումը շարունակվում է կորիզին հարող շերտում: Աստղը MS-ից սկսում է (տե՛սՆկար1) տեղափոխվել աջ և վերև՝ դեպի հսկաների (Giants) տիրույթ, որը, ելնելով հսկաների սպեկտրալ բնութագրից, անվանվում է կարմիր հսկաների՝ Red Giants (RG) տիրույթ:

Հետագա էվոլյուցիայի ընթացքը հիմնականում կանխորոշվում է աստղի զանգվածի մեծությամբ:  $0.4 \div 0.6 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$  զանգվածով աստղերի համար, երբ կորիզի սեղմումը հասնում է այն աստիճանի, որ  $T_c$  -ն բարձրանալով գերազանցում է  $1.5 \cdot 10^8$  Կ, սկսվում է հելիումի այրումը.





այսինքն՝ ածխածնի, այնուհետև՝ թթվածնի սինթեզը, ինչի հետևանքով աստղը սկսում է տեղաշարժվել հակառակ՝ ձախ-ներքև ուղղությամբ այսպես կոչված հորիզոնական ճյուղով (Horizontal Branch):



Նկար 1 Հերցարունգ-Ռեսելի դիագրամը:

Արեգակի և  $2M_\odot$  կարգի զանգված ունեցող աստղերում հաջորդական ֆիզիկական պրոցեսներն ի վերջո բերում են «հելիումային բռնկումների», որի ժամանակ աստղը կորցնում է զանգված: Ավելի մեծ զանգված ունեցող աստղերում հելիումի «այրումը» ընթանում է ավելի սահուն, չեն առաջանում նման բռնկումներ [24,25]:

Երրորդ փուլում, կորիզում հելիումի պաշարների սպառմանը զուգընթաց աստղը նույն ճյուղով, գրեթե նույն («ասիմպտոտիկ») հետագծով վերստին տեղափոխվում է աջ-վերև ուղղությամբ՝ հասնելով մինչև ճյուղի վերջը: Ճյուղի այդ հատվածն ստացել է



«հսկաների ասիմպտոտիկ ճյուղ»՝ **AGB**, իսկ էվոլյուցիայի այդ փուլում գտնվող աստղերը՝ AGB աստղեր անվանումը: Այդ փուլը կարող է տևել մինչև տասնյակ միլիոնավոր տարիներ: Ներքին թաղանթներում որոշակի ընդհատումներով և բռնկումներով («ջերմային բաբախումներով») տեղի են ունենում ջերմամիջուկային ռեակցիաներ՝ հելիումային թաղանթում սինթեզվում է ածխածին, ջրածնային թաղանթում՝ հելիում: Այդ փուլն ընդունված է անվանել «Ջերմային բաբախումներով հսկաների ասիմպտոտիկ ճյուղ»՝ «Thermally-Pulsing AGB» (**TP-AGB**): Ջերմային բաբախումների ընթացքում աստղային «քամու» տեսքով կարող է արտանետվել աստղի զանգվածի 50-70%-ը: Զանգվածի կորուստը բերում է աստղի շուրջ հզոր գազափոշային թաղանթի առաջացման [24]: Կարևոր է նշել, որ համաձայն արդի պատկերացումների, AGB աստղերը նշանակալի ներդրում ունեն երկաթից ծանր տարրերի նուկլեոսինթեզում:

Նշենք, որ էվոլյուցիայի այդ փուլն իրենց կյանքի ավարտին անցնում են բոլոր փոքր և միջին զանգվածի ( $0.6-10M_{\odot}$ ) աստղերը: AGB փուլի ավարտին աստղը որպես RG այլևս դադարում է գոյություն ունենալ՝ էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ազդեցությամբ տեղի է ունենում նրա արտաքին շերտերի արտանետում, և «մերկացած», բարձր  $Te$  -ով օժտված CO կորիզը հայտնվում է «սպիտակ թզուկների» (White dwarf, WD) տիրույթում [24]:

Նկար 1-ում բերված է Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամը: Աջ առանցքում բերված է հարաբերական լուսատվությունը (Արեգակի լուսատվության միավորներով): Վերևի առանցքում բերված է  $Te$  -ն, ներքևի առանցքում՝ սպեկտրալ դասը:

**Փոփոխականությունը** կարևոր երևույթ է աստղերի կառուցվածքի և էվոլյուցիայի աստղաֆիզիկական ուսումնասիրություններում: Մասնավորապես, Գալակտիկայի հալոյի թույլ աստղային բնակչությունը կրում է իր մեջ ձևավորման մեխանիզմներ և բազմաթիվ կարևոր բնութագրեր գալակտիկայի հետագա զարգացման մասին: Փոփոխական աստղերի որոշ տեսակներ հիանալի գործիք են Գալակտիկայի ուսումնասիրության համար [26-28]:

Կարմիր հսկաների կամ AGB փուլում գտնվող շատ աստղեր անկայուն են դառնում աստղի ներսում ընթացող փոփոխություններից: Երկար պարբերական փոփոխականները Գալակտիկայի աստղային բնակչության բավականին փոքր տոկոսն

են կազմում: Էվոլյուցիայի այն ժամանակահատվածը, որի ընթացքում աստղն իրեն դրսևորում է որպես երկար պարբերական փոփոխական շատ կարճատև է՝ ընդամենը մի քանի հարյուր հազար տարի [24]:

Վերջին տարիներին, պայմանավորված դիտողական տեխնիկայի զարգացման հետ, կատարվում են երկար պարբերական փոփոխականների բազմակողմանի ուսումնասիրություններ: Ինֆրակարմիր դիտումների շնորհիվ հնարավոր են դառնում աստղերի գազափոշային թաղանթների մանրակրկիտ ուսումնասիրությունները: Մասնավորապես IRC+10216 աստղը, որն ամենամոտ ածխածնային աստղն է, դարձավ արքեսիպը AGB աստղերի, բարձր զանգվածի կորստի արագությամբ և հաստ գազափոշային թաղանթով [25]: Վերանայվում են նաև կարմիր հսկա աստղերի կառուցվածքների ժամանակակից մոդելները:

Ուշ դասի հսկա փոփոխական աստղերը բաժանվում են երեք տիպի՝ Միրա Կետի տիպի (միրիդներ) փոփոխականներ, կիսականոնավոր (semiregular-SR) փոփոխականներ և անկանոն (irregular-Irr) փոփոխականներ: Կիսականոնավոր փոփոխականները բաժանված են SRa-ից SRd ենթախմբերի: Որպես միրիդներ դասակարգվում են այն աստղերը, որոնց պայծառության փոփոխման ամպլիտուդները տեսանելի տիրույթում մեծ են  $\Delta V \geq 2^m.5$  – ից, իսկ որպես կիսականոնավոր փոփոխականներ՝ որոնց ամպլիտուդները փոքր են  $\Delta V \leq 2^m.5$  աստղային մեծությունից [24]: Ուշ դասի աստղերը ունեն փոփոխականության 100-ից մինչև 1000 օր պարբերություն:

AGB Միրա Կետի տիպի փոփոխականները հեռավորության շատ կարևոր ինդիկատորներ են ծեր և միջին տարիքի աստղային բնակչության ուսումնասիրության համար [29]:

Ուշ դասի աստղերին վերաբերող հետազոտությունները մեծ կարևորություն ունեն աստղերի ներսում ընթացող ֆիզիկական երևույթները բացատրելու համար, որոնք բերում են դրանց անկայուն դրսևորումների, ինչպես նաև պարզաբանելու աստղային էվոլյուցիայի փուլերը՝ գլխավոր հաջորդականություն – կարմիր հսկա – մոլորակաձև միգամածություն – սպիտակ թզուկ: Բազմաալիքային սպեկտրային հետազոտությունները դիտողական աստղաֆիզիկայի հիմնական զենքն են աստղերում

ընթացող ֆիզիկական երևույթների բացահայտման պրոցեսում: Այդ պատճառով շատ կարևոր է ներկա աշխատանքում իրականացվող ուշ դասի աստղերի սպեկտրների դասակարգումը:

Փոփոխականության հետ կապված բազմաթիվ հարցեր դեռևս մնում են անպատասխան, մասնավորապես. որքան է տարբեր տիպի փոփոխական աստղերի ներդրումը ընդհանուր փոփոխականության մեջ, ինչպես են դրանք բաշխված ըստ աստղային մեծության և գույնի, որոնք են փոփոխականության ժամանակային մասշտաբները և փոփոխականության հիմնական մեխանիզմները: Այդ պատճառով շատ կարևոր է նաև ներկա աշխատանքում իրականացվող ուշ դասի աստղերի փոփոխականության ուսումնասիրությունը:

Հետաքրքիր է նաև պարզաբանել թույլ պայծառության ուշ դասի աստղերի հայտնվելը Գալակտիկական հալոյում Արեգակից մեծ հեռավորությունների վրա, մասնավորապես՝ բարձր տեսագծային արագություն ունեցող M հսկաների, N դասի AGB և թույլ CH դասի C աստղերի ծագումը և զարգացումը բարձր գալակտիկական լայնություններում և գալակտիկական հալոյում:

Աշխատանքը նվիրված է DFBS ուշ դասի աստղերի դասակարգմանը, սպեկտրային, լուսաչափական և փոփոխականության ուսումնասիրությանը: Աշխատանքի նպատակն է պարզել FBS ուշ դասի աստղերի սպեկտրային և լուսատվության դասերը, պարզել դրանց փոփոխականության տեսակները և աստղային էվոլյուցիայի փուլերը, դրանց բաշխվածությունը բարձր գալակտիկական լայնություններում: Ինչպես նաև որոշել այդ աստղերի զանգվածները: Ատենախոսությունը բաղկացած է հինգ գլուխներից:

***Առաջին գլխում*** տրված են ուշ դասի աստղերի ընդհանուր բնութագրերը:

***Երկրորդ գլխում*** նկարագրվել է բյուրականյան առաջին շրջահայության ուշ դասի աստղերի ընտրման և սպեկտրային դասակարգման եղանակը: Կազմվել է բյուրականյան առաջին շրջահայության երկրորդ՝ վերանայված և թարմացված կատալոգը: Այն բաղկացած է ուշ դասի 1471 աստղից և ընդգրկում է այդ աստղերի սպեկտրային և լուսատվության դասերը, տվյալներ ժամանակակից հայտնի

շրջահայությունների տվյալների բազայից: Կատալոգը հասանելի է <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/MNRAS/489/2030> համացանցային կայքում:

**Երրորդ գլխում** կատարվում է FBS ուշ դասի աստղերի լուսաչափական ուսումնասիրություն ինֆրակարմիր տիրույթում:

**Չորրորդ գլխում** կատարվում է FBS ուշ դասի աստղերի GA/A ուսումնասիրություն:

**Հինգերորդ գլխում** կատարվում է FBS ուշ դասի աստղերի փոփոխականության ուսումնասիրություն CATALINA, NSVS, ASAS-SN շտեմարանների տվյալների հիման վրա: Կատարվում է նաև CATALINA և LINEAR կատալոգների երկար պարբերական փոփոխականների ուսումնասիրություն: Ընտրվել է 1184 օբյեկտ, որոնց համար  $P \geq 10$  օր: Կազմվել է երկար պարբերականների ցուցակ, որտեղ բերված են սպեկտրային և լուսատվության դասերը, տվյալներ ժամանակակից հայտնի շրջահայությունների տվյալների բազայից: Այն հասանելի է <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/other/Ap/64> համացանցային կայքում:

## **2 ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ԵՐԿՐՈՐԴ՝ ՎԵՐԱՆԱՅՎԱԾ ԵՎ ԹԱՐՄԱՅՎԱԾ ԿԱՏԱԼՈԳ**

### **2.1 ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Բարձր գալակտիկական լայնություններում ուշ դասի աստղերի համակարգված ուսումնասիրություններ չէին կատարվել մինչև 2000 թվականները: 1987թ.-ին, սկսվեց FBS-ի վրա հիմնված նախագիծ, որի առաջնահերթությունն էր ուլտրամանուշակագույն ավելցուկով աստղային օբյեկտների և ուշ դասի աստղերի՝ M դասի և ածխածնային աստղերի որոնումը: Արդյունքում ստեղծվեց Բյուրականի առաջին շրջահայության ուշ դասի աստղերի ուսումնասիրության վերանայված և թարմացված կատալոգի առաջին տարբերակը, որը պարունակում է 1045 աստղի տվյալներ [19,20]:

2002-2004թթ.-ին FBS-ի մոտ 2000 սպեկտրային թիթեղներ թվայնացվեցին: Անհրաժեշտություն առաջացավ վերանայել և վերահրատարակել FBS ուշ դասի աստղերի վերանայված և թարմացված կատալոգի առաջին տարբերակը:

Ուշ դասի աստղերի բազմակողմանի ուսումնասիրությունները շատ կարևոր են աստղաֆիզիկական խնդիրներ քննարկելու տեսակետից, ներառյալ սպեկտրային դասակարգումը, լուսատվության դասակարգումը, ուշ դասի աստղերի ջերմաստիճանների որոշումը [30]:

Այս գլխում նկարագրվում է բյուրականյան առաջին շրջահայության ուշ դասի աստղերի ընտրման և սպեկտրային դասակարգման եղանակը: Կազմվել է բյուրականյան առաջին շրջահայության երկրորդ՝ վերանայված և թարմացված կատալոգը: Այն բաղկացած է ուշ դասի 1471 աստղից: Կատալոգում ընդգրկված են աստղերի սպեկտրային և լուսատվության դասերը, տվյալներ ժամանակակից հայտնի շրջահայությունների տվյալների շտեմարաններից:

## ԴԻՏՈՂԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹ

Բյուրականի աստղադիտարանի 1մ աստղադիտակը հանդիսանում է Շմիդտի տիպի ամենամեծ դիտակներից մեկը: Այս աստղադիտակի օգնությամբ իրականացվել է երկու հիմնական ծրագիր.

- Ուլտրամանուշակագույն ավելցուկով արտագալակտիկ օբյեկտների հայտնաբերում (առաջին և երկրորդ բյուրականյան շրջահայություններ):
- Բռնկվող աստղերի հայտնաբերում:

Դրանք ընդգրկում են 20 մլն. օբյեկտի ցածր լուծողունակությամբ 40 մլն. սպեկտր:

Թվայնացումը թույլ տվեց կատարել DFBS-ի բոլոր 1800 սպեկտրային թիթեղների մանրամասն վերլուծություն ստանդարտ պատկերների վերլուծության ծրագրերի օգնությամբ, ինչպիսիք են FITSVIEW և SAOIMAGE ds9: Վերլուծության ծրագրերը հնարավորություն տվեցին կատարել կարմիր օբյեկտների ավելի լավ ընտրություն՝ համեմատած օկուլյարով (ոսպնյակների) որոնման հետ [13]:

Ստանդարտ պատկերների վերլուծության ծրագրերի օգտագործումը թույլ տվեց հայտնաբերել շատ կարմիր և թույլ աստղեր, յուրաքանչյուր DFBS թիթեղի սահմանային արժեքին մոտ, մասնավորապես՝  $6500\text{--}6900\text{\AA}$  տիրույթում N դասի և M դասի աստղերի ուշ ենթադասերի համար [17,18]: Վերլուծական ծրագրի օգտագործման երկրորդ և շատ կարևոր առավելությունը համեմատաբար պայծառ՝  $m_v\text{--}12^m\sim 13^m$ , վաղ դասի C աստղերի հայտնաբերումն է: Ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրի կապույտ մասում, այդ աստղերի  $C_2$  կլանման շերտերը հեշտ չէ հայտնաբերել հազեցվածություն պատճառով: Գործնականում, FBS լուսանկարչական թիթեղներ վրա սահմանային աստղային մեծությունը  $16^m.0\text{--}17^m.0$  է [13]:

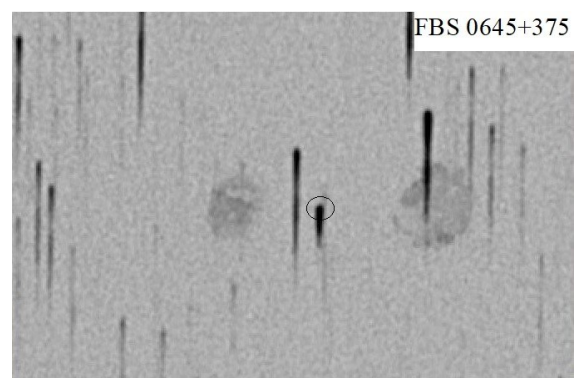
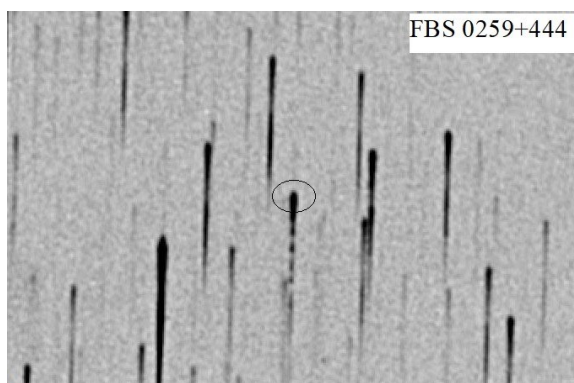
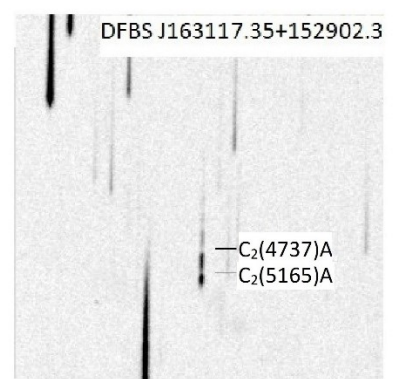
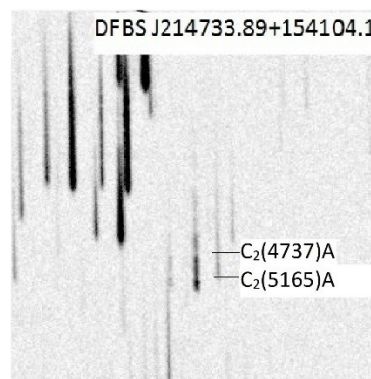
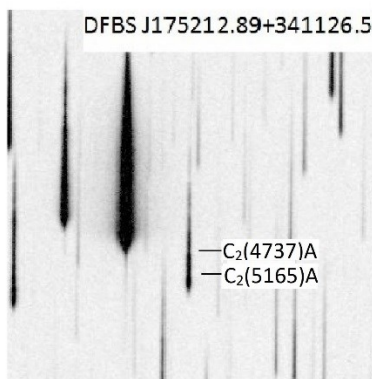
Վերջին երկու տասնամյակների ընթացքում բազմաթիվ աշխատանքներ են նվիրվել բարձր գալակտիկական լայնությունների թույլ ածխածնային աստղերի (Faint High Latitude Carbon stars (FHLCS))՝  $R > 13^m$  և  $|b| > 20^\circ$  ուսումնասիրությանը: Մասնավորապես, շատ հեռավոր և թույլ N դասի աստղերը կինեմատիկայի և քիմիական միացությունների ինտենսիվ ուսումնասիրության օբյեկտներ են գալակտիկական հալոյում [33-36], ինչպես նաև գալակտիկաների տեղական խմբում: Դրանք

դժվարությամբ էին հայտնաբերվել վերջին ժամանակներում, և դրանցից ոմանք հայտնաբերվել էին պատահականորեն [37,38]: Շատ FHLCs -ներ հեռավոր հսկաներ են, որոնք օգտակար են հատկապես գալակտիկական հալոյի դինամիկայի ուսումնասիրությունների համար [39,40]: FHLCs-ների ուսումնասիրությունների առաջին տարիներին բացահայտումների մեծ մասը օբյեկտիվ պրիզմայի շրջահայությունների շնորհիվ էր, ինչպիսիք են Քեյսի [37], Միչիգանի [41], Բյուրական [42,43] և Համբուրգի / ESO [44]: Կարմիր FHLCs-ներ հայտնաբերվել են օպտիկական POSS գունային ընտրության միջոցով՝ ճեղքային սպեկտրասկոպիկ հաստատմամբ, Տոտենի և Իրվինի կողմից [33]: Մաուրոնը և իր գործընկերները [45] հետևեցին ուսումնասիրության այս մեթոդին, բայց՝ հիմնվելով 2MASS (2 Micron All Sky Survey) մոտ ինֆրակարմիր տվյալների և այդ շտեմարանի կատալոգների օգտագործման վրա [46]: Ընտրված թեկնածուների ճեղքային սպեկտրասկոպիայից հետո հայտնաբերվել են ավելի քան 100 նոր AGB հալոյի C աստղեր: Զուգահեռաբար, Սլոանի երկնքի թվային շրջահայության (SDSS) վրա հիմնված ուսումնասիրությունները թույլ տվեցին նույնացնել 251 FHLCs, որոնք հաստատվել են սպեկտրասկոպիայով [47]: Վերջերս Գրինը [35] դարձյալ հիմնվելով SDSS-ի վրա, ընդլայնեց FHLCs-ների քանակը մինչև 1220 օբյեկտ: Այս հայտնագործությունները հիմնված են լուսաչափական ընտրության, թեկնածուների մանրաթելային սպեկտրոսկոպիայի և C աստղերի սպեկտրների հետ խաչաձև նույնացումների վրա: Վերջապես կարելի է նշել Գոսվուամիի և իր գործընկերների [48-50] աշխատանքները՝ որոնք դասակարգել են Համբուրգ / ESO շրջահայության FHLC-ները ճեղքային սպեկտրասկոպիայով [51]: FBS շրջահայության ածխածնային աստղերի հայտնաբերումը ավելացրեց FHLCs-ների քանակը:

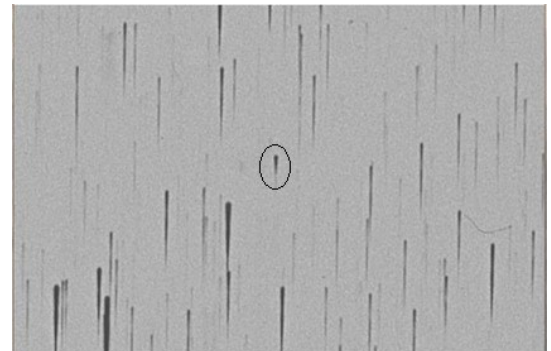
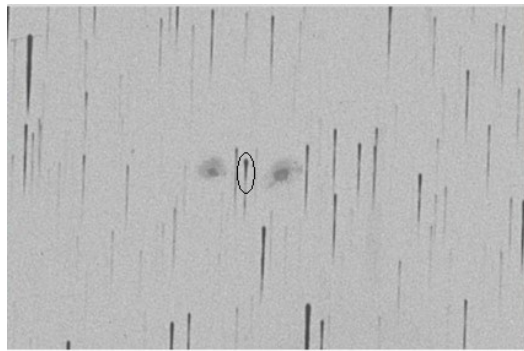
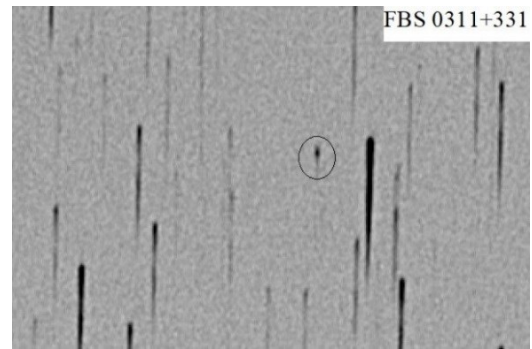
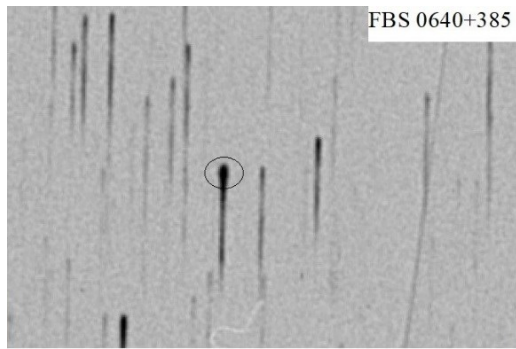
Ածխածնային աստղերը կարելի է նույնացնել սպեկտրում  $C_2$  մոլեկուլի հետևյալ շերտերի առկայությամբ. Սվանի շերտերի  $\lambda\lambda$  4737, 5165 և 5636 Å առկայությամբ՝ հիմնականում N դասի C աստղերի համար և  $C_2$  մոլեկուլի 4382 Å գլխիկով շերտի առկայությամբ՝ R և CH դասի աստղերի համար: Շատ R աստղեր նույնպես ունեն ուժեղ CH, և դժվար է տարբերակել CH և R աստղերը ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներից, քանի որ դրանք շատ նման են [32]:

M դասի աստղերի սպեկտրները հեշտությամբ կարելի է առանձնացնել շնորհիվ տիտանի օքսիդի մոլեկուլի  $\lambda\lambda$  4584, 4762, 4954, 5167, 5500, 6200 և 6700 Å կլանման շերտերի: Ընտրության նույն չափորոշիչներն են օգտագործվել Քիթ Պիկի (Kitt Peak) Բիրելի Շմիդտի աստղադիտակի լուսանկարչական թիթեղների վրա LTS աստղերի հայտնաբերման համար [37, 52]:

Արդյունքում թվայնացված թիթեղների վրա անճեղք սպեկտրների մանրակրկիտ ուսումնասիրությամբ հայտնաբերվեց ուշ դասի 426 թույլ աստղ՝ 27 վաղ և ուշ C աստղեր և 399 M դասի աստղ [53, 31, 54-56]: Հայտնաբերված M դասի աստղերի համար որոշվել են նրանց սպեկտրալ ենթադասերը՝ M0-ից մինչև M10: Աստղերի ենթադասերի որոշման ճշտությունը կախված է դրանց պայծառությունից: Այն աստղերը, որոնց սպեկտրների սևացումները նորմալ են (տարանջատվում են մոլեկուլային կլանման շերտերը և գծերը), դասակարգվել են մեկ ենթադասի ճշտությամբ, իսկ որոնց սպեկտրները թերլուսակայվել կամ գերլուսակայվել են, որոշվել են երկու ենթադասի ճշտությամբ:







Նկար 2.1 N, CH, M դասի աստղերի ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներ:

Նկար 2.1-ում բերված են թվայնացված թիթեղների օրինակներ, որոնց վրա հայտնաբերվել են M և C դասի աստղեր:

## 2.2 ՄԻՋԻՆ ԼՈՒԾՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄ:

FBS ուշ դասի աստղերի սպեկտրային դասերը հստակեցնելու և որոշելու համար այդ աստղերի լուսատվության դասերը կատարվել են սպեկտրային ուսումնասիրություններ Բյուրականի աստղադիտարանի 2.6մ դիտակի UAGS, ByuFOSC2 և SCORPIO սպեկտրոգրաֆներով [7, 8, 57]: FBS թեկնածու աստղերի ածխածնով հարուստ բնույթը հաստատելու համար, միջին և բարձր լուծողունակությամբ CCD սպեկտրասկոպիայի միջոցով, սպեկտրներ են ստացվել Ֆրանսիայի Վերին Պրովանսի (de Haute-Provence) աստղադիտարանի 1.93մ աստղադիտակի վրա CARELEC սպեկտրոգրաֆով [13, 58]: FBS որոշ C աստղերի համար, միջին լուծողունակությամբ CCD սպեկտրները ստացվել են նաև Իտալիայի Պադովայի աստղադիտարանի Կիմա-

Էքսարի 1.83մ աստղադիտակի վրա AFOSC(Asiago Faint Objects Spectroraph and Camera) սպեկտրոգրաֆով և Իտալիայի՝ Լոյանոյում գտնվող Բոլոնիայի աստղադիտարանի Կասինիի 1.52մ աստղադիտակի վրա: Դիտակը հագեցած է եղել BFOSC (Bologna Faint Object Spectrograph and Camera) սպեկտրոգրաֆով և 1300x1340 pix EEV P129915 CCD-ով [18]:

Աղյուսակ 2.1-ում բերված են այն CCD սպեկտրների ստացման ժամանակահատվածները, որոնք ներառված են ատենախոսության մեջ ընդգրկված հոդվածներում:

*Աղյուսակ 2.1*

CCD սպեկտրների ստացման ժամանակահատվածները

| Դիտման ամսաթիվը       | Աստղադիտակ |
|-----------------------|------------|
| 12/13 հունվար 2016թ.  | 1.52մ      |
| 15/16 ապրիլ 2016թ.    | 2.6մ       |
| 8/9 սեպտեմբեր 2016թ.  | 2.6մ       |
| 10/11 նոյեմբեր 2016թ. | 2.6մ       |
| 12/13 նոյեմբեր 2016թ. | 2.6մ       |

FBS ուշ դասի աստղերի համար որոնվել են նաև միջին լուծողունակությամբ սպեկտրներ LAMOST DR2 տվյալների շտեմարանում [58], և 179 աստղ ունեն սպեկտրներ այդ շտեմարանում:

LAMOST (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) դիտակը, որը հայտնի է նաև որպես XIII դարի հայտնի չինացի աստղագետ Գո Շուզցին անվան աստղադիտակ, գտնվում է Չինաստանի Սինլուն դիտողական կայանում: Դիտակի ապերտուրան 4մ է, ինչը թույլ է տալիս գրանցել մինչև 20<sup>m</sup>.5 աստղային մեծության աստղեր: Այն հայելային Շմիդտի տիպի աստղադիտակ է ակտիվ օպտիկայով: LAMOST-ի յուրահատուկ կառուցվածքը հնարավորություն է տալիս ստանալ 4000 սպեկտր մեկ էքսպոզիցիայի ընթացքում: Սպեկտրերը ստացվում են  $\lambda\lambda$  4000-9100 Å ալիքի երկարության տիրույթում:

## 2.2.1 ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ:

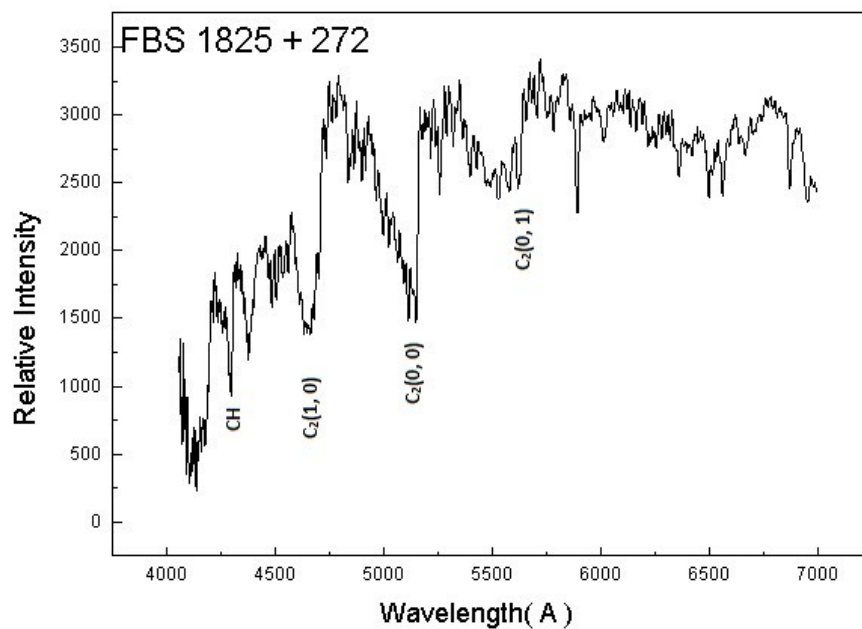
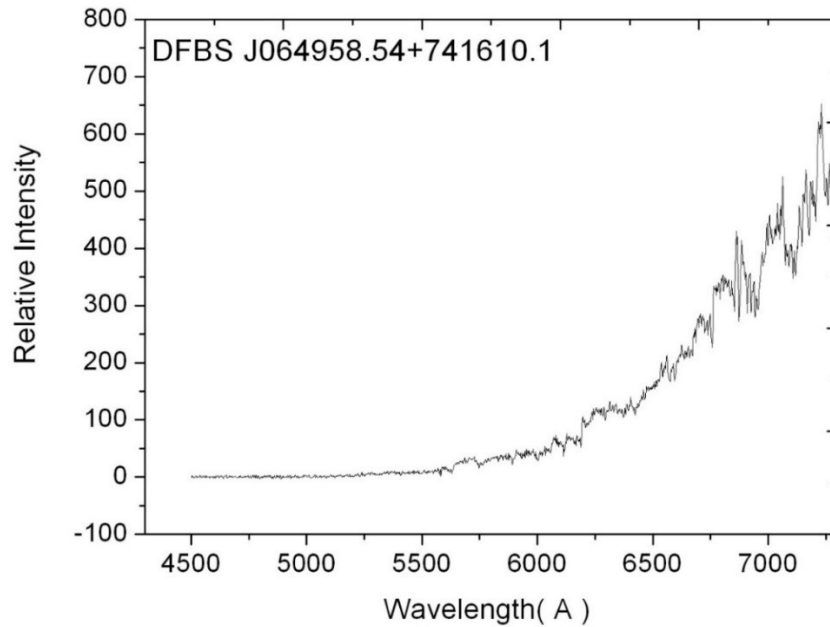
Ածխածնային աստղերի ցածր մթնոլորտային ջերմաստիճանները թույլ են տալիս ածխածնով հարուստ մոլեկուլների առաջացումը, ինչպիսիք են  $C_2$ , CN և CH, որոնք ամբողջովին ծածկում են կոնտինիումը  $\lambda\lambda$  4000-10000 Å տիրույթում: Մոլեկուլային անթափանցիկությունը և խիտ ատոմական գծային ալիքները կապույտ մասում դժվարացնում է դասակարգումն ըստ ջերմաստիճանի և լուսատվության:

Չնայած ստացված սպեկտրների սպեկտրային լուծողունակությունը թույլ չի տալիս դուրս բերել իզոտոպային հարաբերակցություններ, սակայն այն բավական է հայտնաբերելու և չափելու առաջնային սպեկտրային առանձնահատկությունները, որոնք հաստատում են աստղերի ածխածնային բնույթը՝ համեմատելով մեր աստղերի սպեկտրները հայտնի սպեկտրային չափորոշիչների հետ, որոնք ներկայացնում են Բարնբաումը (Barnbaum) [59], Վալերսթայնը (Wallerstein) [60], Գոսվամին (Goswami) [48, 49], Տոտենը և Իրվինը [33]: Որպես առաջին քայլ, սպեկտրի ընդհանուր տեսքը թույլ է տալիս տարբերակել N- աստղերը C-R և CH դասի աստղերից: N դասի աստղերի սպեկտրում 5000 Å –ից դեպի կապույտ տիրույթ դիտվում է լույսի ճառագայթման դեպրեսիա, որը բնորոշ է ածխածնային աստղերին [60] և դրան հակառակ, վաղ դասի ածխածնային աստղերում դիտվում է համեմատաբար ուժեղ կապույտ/մանուշակագույն շարունակականություն, բայց CR և CH դասի աստղերի սպեկտրները շատ նման են [59,48,49]:

Հիմնական սպեկտրոսկոպիկ առանձնահատկությունները, որոնք հիմնված են միջին լուծողունակությամբ սպեկտրների վրա և օգտագործվում են C - CH և C - R դասերը ճշգրտելու համար հետևյալն են.

- ուժեղ  $^{12}C$  մոլեկուլային շերտերը  $\lambda\lambda$  4737, 5165, 5636, 6122 և 6192 Å:
- CN շերտերը  $\lambda\lambda$  4215, 5264, 5746, 6206 և 6360, 6478, 6631, 6925, 7088, 7259, 7876 Å:
- CH մոլեկուլի ուժեղ / կամ թույլ G խումբ 4300, երկրորդական P ճյուղի գլխիկով 4342 Å, ինչը CH և C-R աստղերի տարբերության ամենաօգտակար ցուցիչն է:

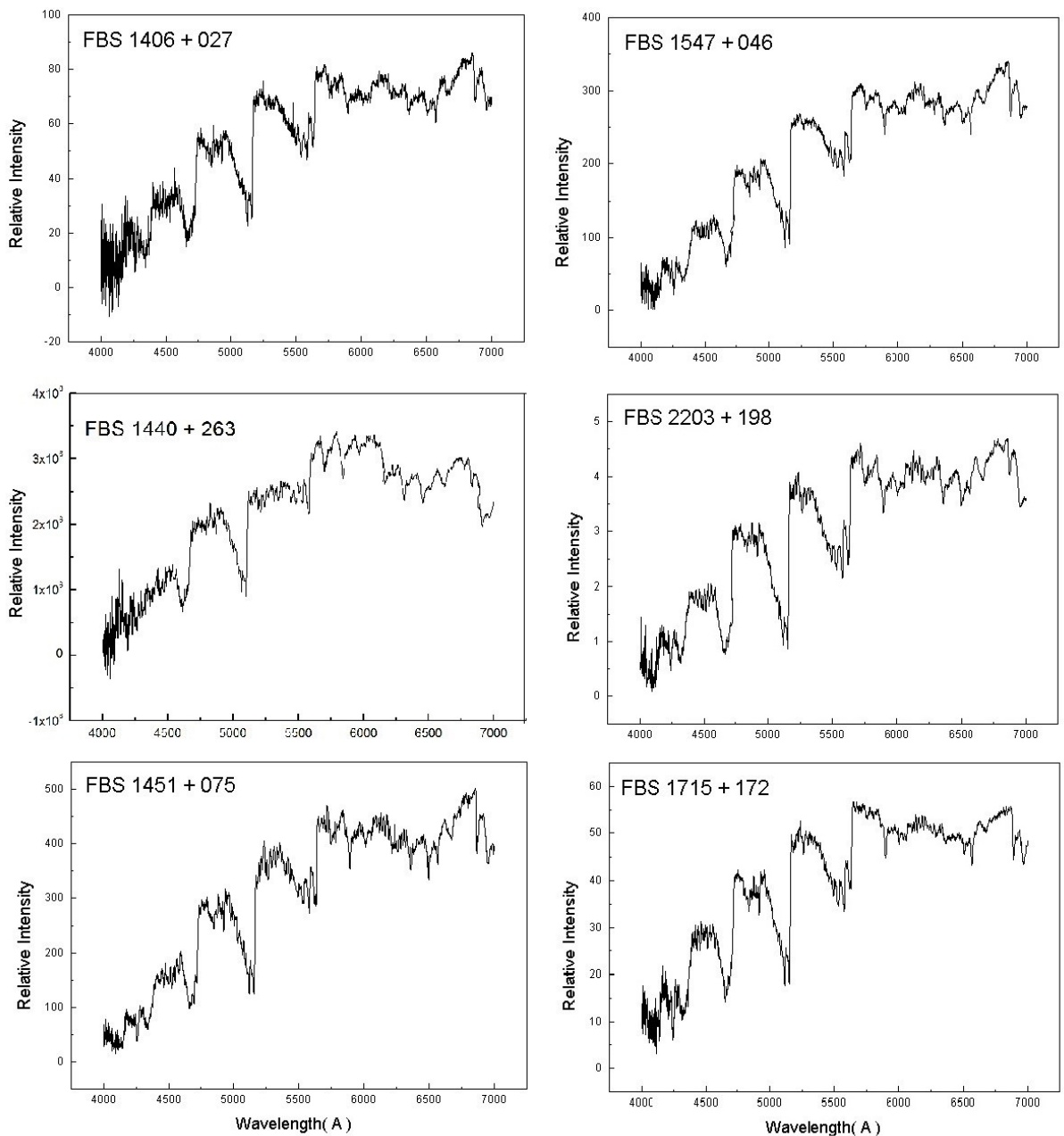
- ինտենսիվ  $\lambda\lambda$  Ba II 4554, 4935 և 6496 Å, Sr II գծերը 4077 և 4215 Å կետերում, բալմերյան շարքի ինտենսիվ գծերը, Ca I հատկության ուժեղ / թույլ 4226 Å-ում [32]

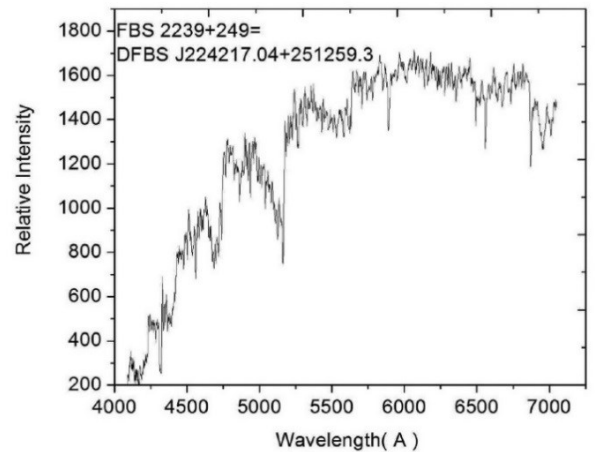
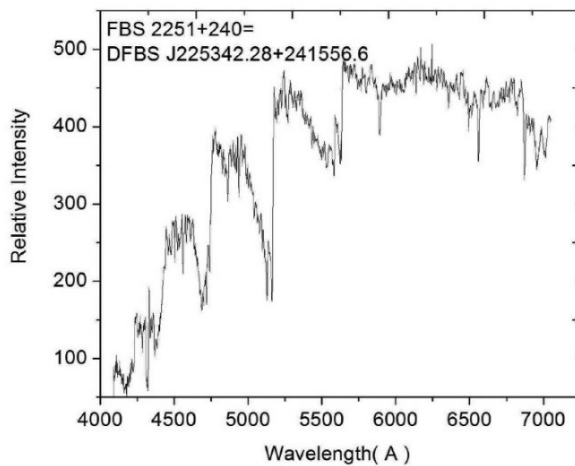


Նկար 2.2. N դասի DFBS J064958.54+741610.1 աստղի և CH դասի FBS 1825+272 աստղի սպեկտրներ:

Նկար 2.2-ում բերված են N դասի DFBS J064958.54+741610.1 աստղի և CH դասի FBS 1825+272 աստղի CCD սպեկտրները ստացված Բյուրականի 2.6մ դիտակի վրա: N դասի աստղի սպեկտրում շատ լավ երևում է ճառագայթման ուժեղ դեպրեսիան սպեկտրի մանուշակագույն մասում և CH դասի աստղի սպեկտրում՝ CH մոլեկուլի 4300 Å G շերտի մեծ ինտենսիվությունը, C<sub>2</sub>(1,0) 4737 Å, C<sub>2</sub>(0,0) 5165 Å, C<sub>2</sub>(0,1) 5636 Å Սվանի շերտերը:

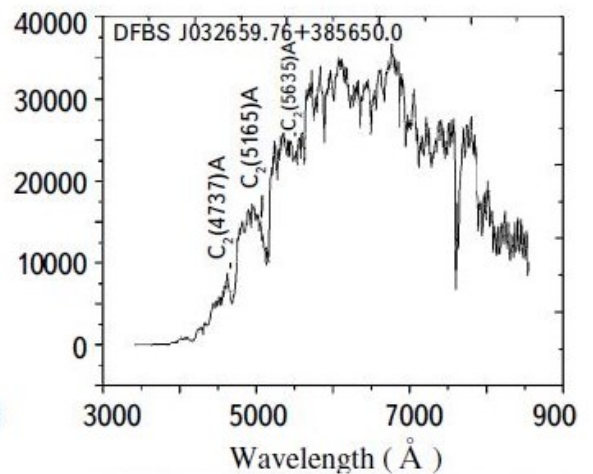
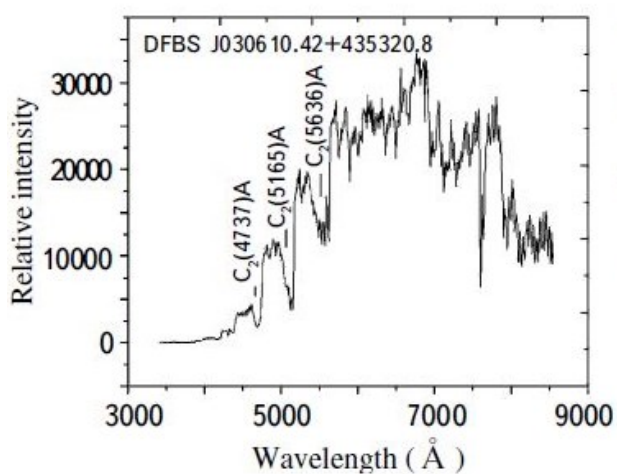
Նկարներ 2.3-ում բերված են Բյուրականի 2.6մ դիտակով ստացված C աստղերի CCD սպեկտրների օրինակներ ավելի փոքր մասշտաբով:





Նկար 2.3. *Բյուրականի աստղադիտարանի 2.6մ դիտակով ստացված ածխածնային աստղերի սպեկտրներ:*

Նկար 2.4-ում բերված են Լոյանոյի 1.52մ դիտակով ստացված C աստղերի CCD սպեկտրների օրինակներ:



Նկար 2.4. *Լոյանոյի 1.52մ դիտակով ստացված աստղերի CCD սպեկտրներ:*

## 2.2.2 Մ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐ:

Մ դասի աստղերի սպեկտրների հիմնական բնութագրիչ շերտերը դա TiO-ի  $\lambda\lambda$  4626, 4761, 4954, 5448, 5862, 6714Å, 7060-7200Å, 7907Å, 8270-8330Å, 8500-8540Å

շերտերի առկայությունը և դրանց ինտենսիվությունների տարաբնույթ լինելն է տարբեր ենթադասի աստղերի համար: Բացի այդ, կան նաև այլ կարևոր բնութագրիչ սպեկտրային գծեր՝  $MgI$ ,  $b$  տրիպլետը՝  $\lambda 5180\text{\AA}$  ալիքային երկարության վրա,  $(FeI, TiI, CrI)+MgH$  ատոմային գծերի բլենդը  $\lambda 5206\text{\AA}$  ալիքային երկարության վրա,  $Nal$  դուբլետը  $\lambda 5890\text{\AA}$  ալիքային երկարության վրա, որը հայտնվում է  $TiO$ -ի շերտում տարբեր խորություններով,  $CaOH$   $\lambda 6230\text{\AA}$  լայն շերտը, որոշ՝  $FeI, TiI, CrI$  ատոմային գծերի խառնուրդը (բլենդ)  $\lambda 6362\text{\AA}$  և  $\lambda 6497\text{\AA}$  ալիքային երկարությունների վրա [22]:  $TiO$ -ի շերտերը բազմաթիվ են և ի հայտ են գալիս սպեկտրի նշված տիրույթի գրեթե բոլոր մասերում: Այդ շերտերի մանրակրկիտ ուսումնասիրությամբ կարելի է ավելի ճշգրիտ որոշել կարմիր աստղերի ենթադասերը և լուսատվության դասերը:

$M$  դասի աստղերի ենթադասերի որոշման հիմնական չափորոշիչներն են հանդիսանում սպեկտրի մոտ ինֆրակարմիր տիրույթում գտնվող  $TiO$  և  $VO$  կլանման շերտերը, որոնք շատ զգայուն են ջերմաստիճանի փոփոխման նկատմամբ [61], հատկապես  $VO$  շերտը:

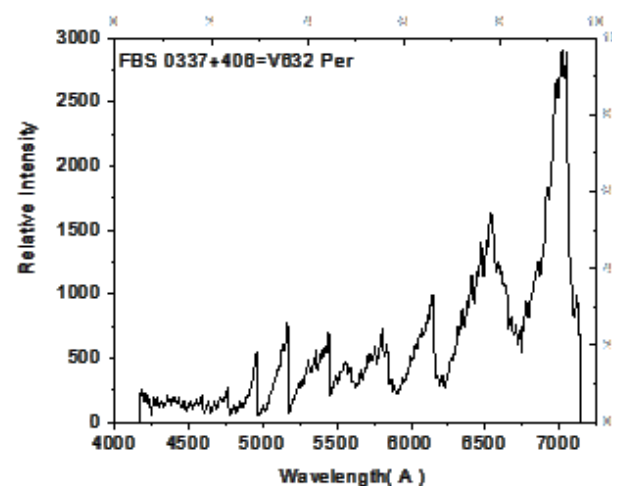
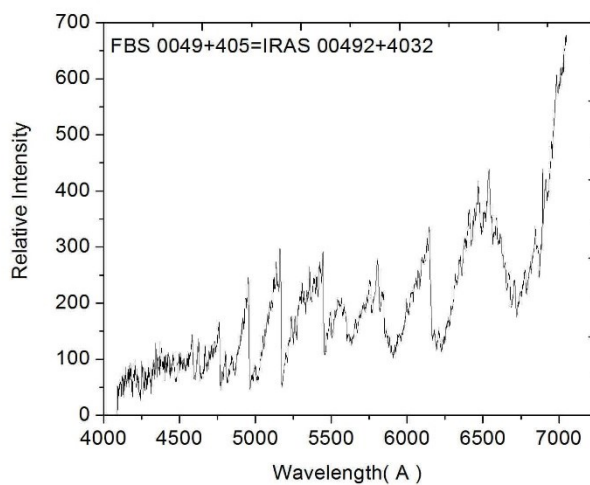
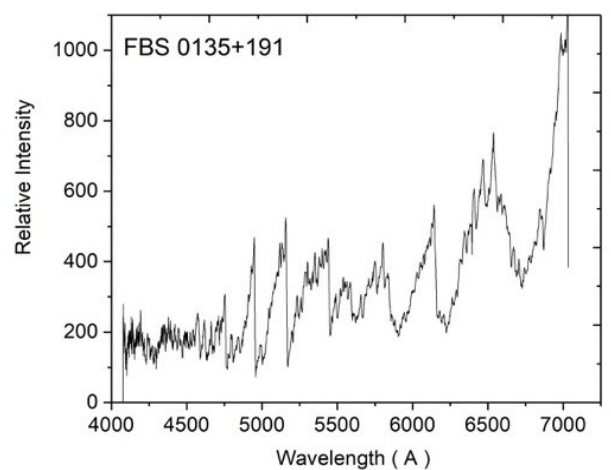
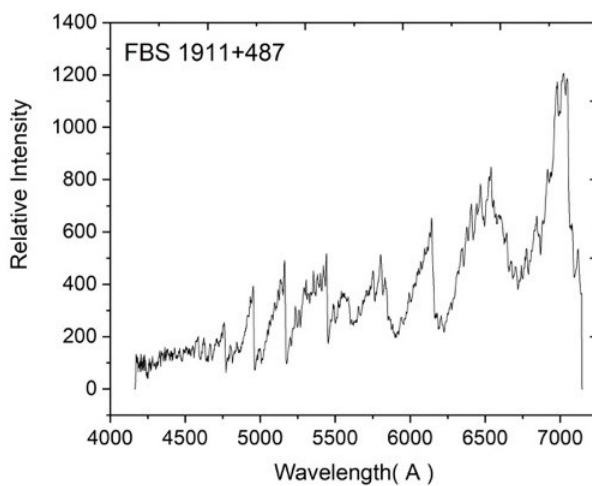
$M$  դասի աստղերի սպեկտրային դասակարգման համար օգտագործվել են [30,62,63,64] աշխատանքներում բերված ստանդարտ կարմիր աստղերի սպեկտրները և նշված գծերը, որոնք օգտագործվում են աստղերի դասակարգման ժամանակ: Որպես մոլեկուլային շերտեր և ատոմական գծեր ընտրվել են  $TiO$  և  $CaH$  մոլեկուլային շերտերը, ինչպես նաև  $FeI, BaII, Nal$  և  $HI$  ատոմների կլանման գծերը, որոնց օգնությամբ կատարվել է դիտված աստղերի դասակարգումը:

$M$  դասի աստղերն հիմնականում չունեն իրական անընդհատ սպեկտր՝ բազմաթիվ կլանման շերտերի առկայության պատճառով: [30] աշխատանքում  $M$  դասի աստղերի անընդհատ սպեկտրին պատկանող ընդամենը 6 կետ է նշված, որոնց ալիքային երկարություններն են՝  $\lambda\lambda 6530, 7040, 7560, 8130, 8840$  և  $9040\text{\AA}$ :

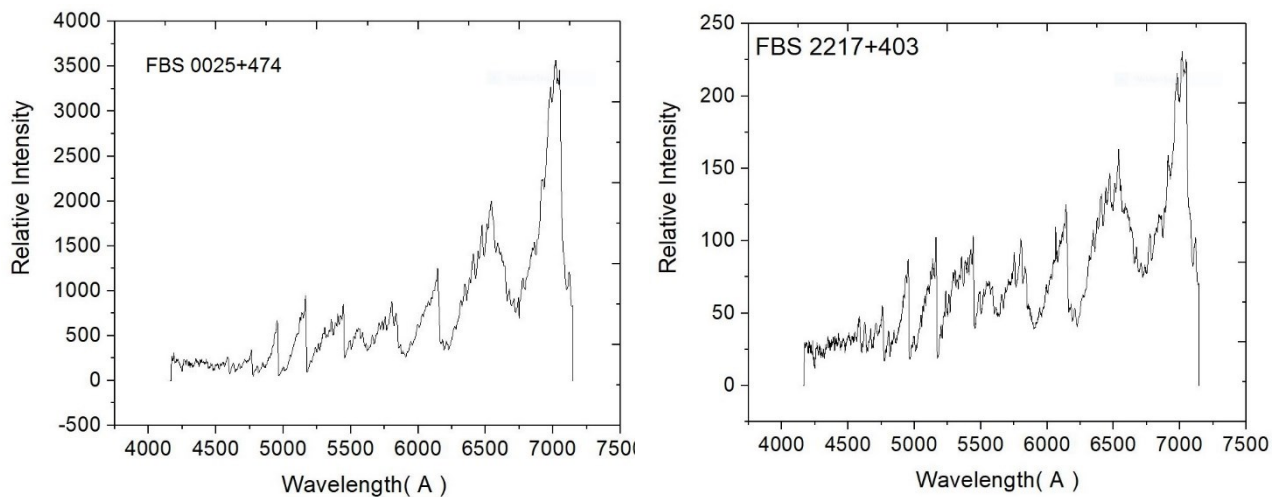
Դիտված սպեկտրալ տիրույթում կա ընդամենը երկու կետ ( $\lambda 6530\text{\AA}$  և  $\lambda 7040\text{\AA}$ ), որոնք համարվում են անընդհատ սպեկտրի կետեր: Այդ պատճառով սխալ է որոշվում անընդհատ սպեկտրը, որի հետևանքով կլանման շերտերի և ատոմական գծերի մեծությունները կտարբերվեն իրենց իրական արժեքներից: [62] աշխատանքում դասակարգման համար օգտագործվել է ևս մեկ դեպրեսիոն տիրույթ, որն առկա է

դիտված աստղերի սպեկտրներում  $\lambda$  6458 $\text{\AA}$  ալիքային երկարության վրա: Այս շերտը ձևավորվում է տարբեր ատոմական կլանման գծերի միաձուլման հետևանքով, հիմնականում CaI-ի: Հայտնի է, որ M5 դասից հետո սպեկտրներում դիտվում է լույսի ճառագայթման դեպրեսիա ինչպես ուշ դասի C աստղերում և հիմնականում այդ աստղերն փոփոխական են [30,65,66,67]: M դասի աստղերի դասակարգման համար օգտագործվել են դիտված շերտերի բնութագրիչ առանձնահատկությունները և  $\lambda$  6458 $\text{\AA}$  դեպրեսիոն տիրույթը, որոնք օգտագործվել են [30,62,63,64] աշխատանքներում:

FBS 1109 աստղ դասակարգվել են որպես M դասի հսկաներ: Նկար 2.5-ում բերված են 2.6մ դիտակով ստացված M հսկա աստղերի CCD սպեկտրներ:







Նկար 2.5. *Բյուրականի աստղադիտարանի 2.6մ դիտակով ստացված*

*Մ հսկա աստղերի սպեկտրներ:*

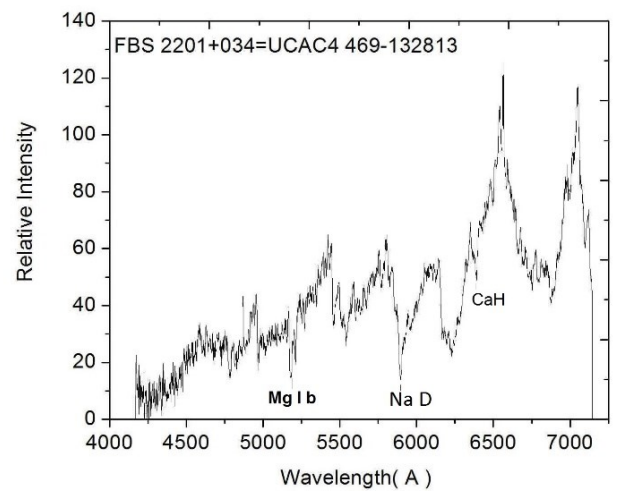
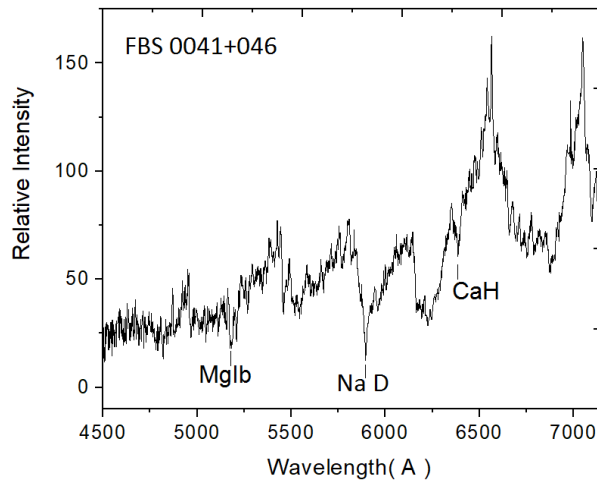
Մ դասի 235 աստղ, որոնք կազմում են հայտնաբերված FBS Մ դասի բոլոր աստղերի 16 տոկոսը, դասակարգվել են որպես թզուկներ: Հիմնական սպեկտրասկոպիկ առանձնահատկությունները, որոնք հիմնված են միջին լուծողունակությամբ սպեկտրների վրա և օգտագործվում են Մ դասի թզուկները դասակարգելու համար հետևյալն են [67].

- Ուժեղ TiO  $\lambda\lambda$  4950, 4630, 4670, 4810, 5010, 5175, 5450, 5850 և 6520 շերտեր
- CaOH  $\lambda\lambda$  5500-ից մինչև 5560 $\text{\AA}$  շերտեր՝ խառնված TiO-ի  $\lambda$  5450 $\text{\AA}$  շերտի հետ
- CaH  $\lambda\lambda$  6346, 6382 և 6750  $\text{\AA}$  շերտեր
- MgH  $\lambda\lambda$  4845, 5210 և 5620  $\text{\AA}$  թույլ շերտեր
- MgI b եռյակը  $\lambda$ 5180 $\text{\AA}$  ալիքային երկարության վրա
- Na D  $\lambda$  5890/5896  $\text{\AA}$  գծեր

Na D գծերը չափազանց ուժեղ են թզուկների սպեկտրներում և, հետևաբար, կարող են օգտագործվել որպես չափորոշիչ՝ թզուկները մյուս աստղերից բաժանելու համար: Ուշ դասերում D գծերը սերտորեն միաձուլվում են TiO շերտերի հետ և չեն կարող չափվել:

Հիմնականում թզուկները հսկաներից տարբերակում են ըստ դրանց գունային

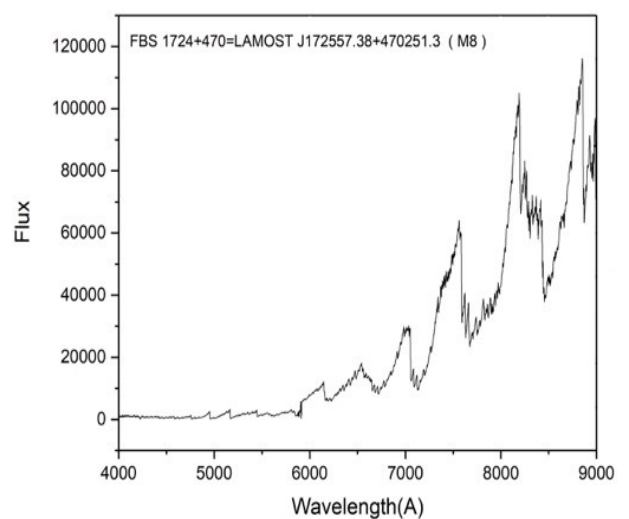
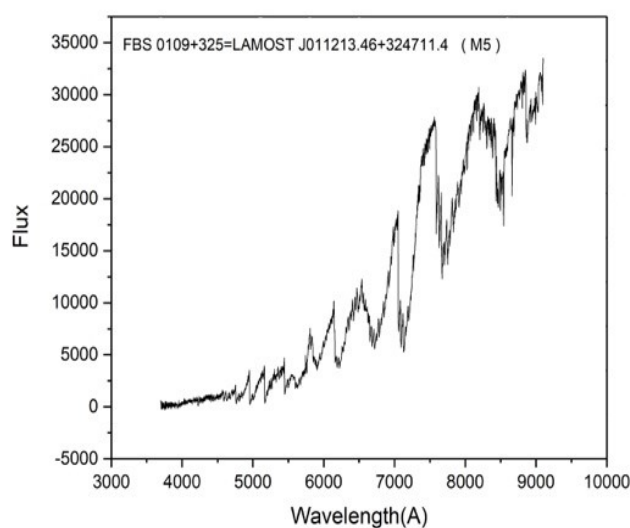
ինդեքսների: Այս մասին մանրամասն կքննարկվի Երրորդ գլխում:

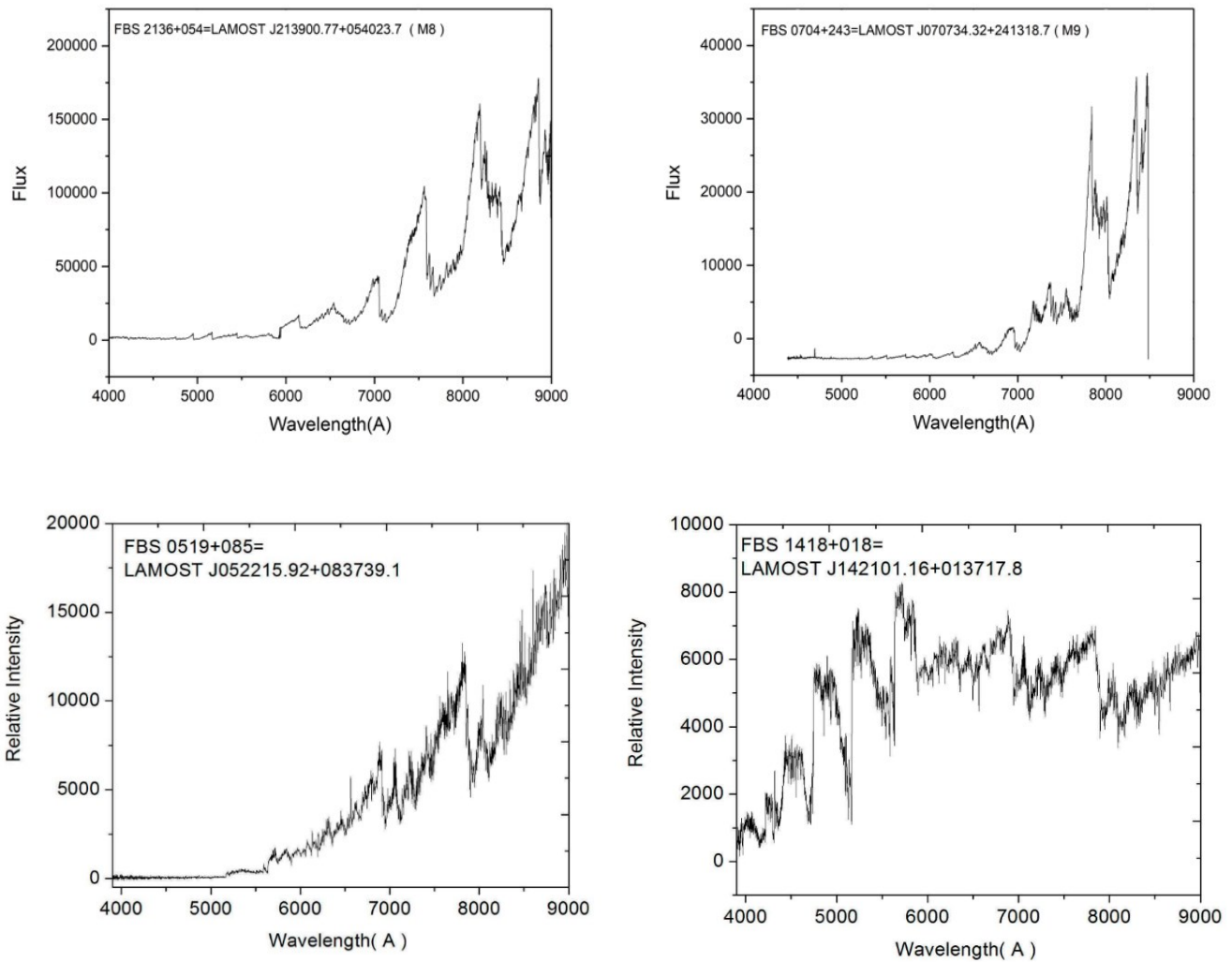


Նկար 2.6. 2.6մ դիտակով ստացված M թզուկ աստղերի սպեկտրներ:

Նկար 2.6-ում բերված են 2.6մ դիտակով ստացված M թզուկ աստղերի սպեկտրներ:

Դիտողական նյութը մշակվել է աստղագիտական տվյալների մշակման MIDAS-ESO (Munich Image Data Analysis System-European Southern Observatory) և IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) փաթեթներով:



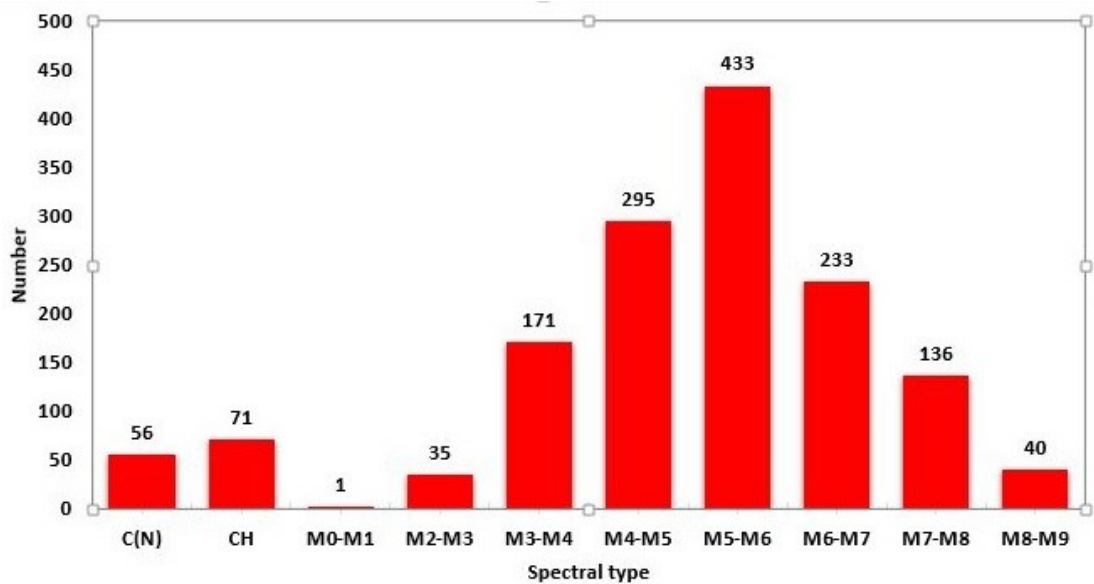


Նկար 2.7. LAMOST M և C դասի աստղերի սպեկտրներ:

Նկար 2.7-ում բերված են FBS M և C աստղերի LAMOST սպեկտրների օրինակներ:

CCD բոլոր դիտումները հաստատեցին FBS ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրային թիթեղների վրա նախնական սպեկտրային դասերի դասակարգման հուսալիությունը:

Նկար 2.8-ում բերված է FBS ուշ դասի աստղերի սպեկտրային դասերի բաշխման հիստոգրամը:



Նկար 2.8 FBS ուշ դասի աստղերի սպեկտրային դասերի բաշխման հիստոգրամը:

## 2.3 ԿԱՏԱԼՈԳՈՒՄ ՆԵՐԱՌՎԱԾ ՏՎՅԱԼՆԵՐ:

Կատալոգում բերված են FBS 1471 LTS- ի ճշգրիտ օպտիկական դիրքերը, որոնք որոշվել են POSSI (DSS1) և POSSII (DSS2) շրջահայություններով, որը հնարավորություն է տվել ճշգրիտ խաչաձև-նույնացում կատարել առկա բոլոր ժամանակակից աստղագիտական կատալոգներում և տվյալների բազաներում, մասնավորապես USNO-B1.0 [68], SDSS DR15 (<http://skyserver.sdss.org/dr15>), Gaia DR2 [69], 2MASS [70], AllWISE (Vizier CDS Catalog) II / 328 / allwise), և IRAS PSC/FSC [71,72] տվյալների շտեմարանները:

- USNO-B1.0 կատալոգը ստեղծվել է ԱՄՆ-ի Նավայի աստղադիտարանի Ֆլագստաֆ կայանում (Naval Observatory Flagstaff Station (NOFS)), Պալոմարի երկնային շրջահայության O և E թիթեղների, UK Science Research Council SRC-յ survey թիթեղների և European Southern Observatory survey (ESO-R) թիթեղների թվայնացման հիման վրա: Կատալոգում ներառված են 1042618261 օբյեկտ:
- SDSS (Sloan Digital Sky Survey) նախագիծը իրագործվել է ԱՄՆ-ի Նյու-Մեքսիկո նահանգի Ապաչի-Պոյնտ աստղադիտարանի 2.5մ լայնանկյուն դիտակի վրա: Աստղադիտակի տեսախցիկը բաղկացած է երեսուն CCD լուսաընդունիչից՝ յուրաքանչյուրը 2048 × 2048 պիքսել լուծողունակությամբ: Նախագիծը անվանվել

է ի պատիվ Ալֆրեդ Սլոունի հիմնադրամի: Նախագիծը բաժանված է մի քանի փուլերի՝ SDSS-I (2000-2005), SDSS-II (2005-2008), SDSS-III (2008-2014), SDSS-IV (2014-2020): Շրջահայությունների ընթացքում հավաքված տվյալները հրապարակվում են առանձին թողարկումների տեսքով (տվյալների թողարկում), դրանցից վերջինը՝ DR15-ը, հրապարակվել է 2017թ.-ի հուլիսին:

- GAIA - Global Astrometric Interferometer for Astrophysics տիեզերական աստղադիտակը, որը պատկանում է Եվրոպական տիեզերական գործակալությանը, հանդիսանում է Hipparcos նախագծի «իրավահաջորդը» [69]: Արբանյակը դուրս է բերվել ուղեծիր 2013 թ. դեկտեմբերի 19-ին: Աստղադիտակի հիմնական խնդիրն է կազմել մեր Գալակտիկայի աստղերի բաշխման քարտեզը: Gaia DR2 հրապարակվել է 2018թ.ին:
- IRAS - Infrared Astronomical Satellite արբանյակը [73] - Առաջին ինֆրակարմիր աստղագիտական արտամթնոլորտային դիտակը ուղեծիր է դուրս բերվել 1983 թվականի հունվարի 25-ին և գործել է մոտ տասն ամիս՝ մինչև հեղուկ հելիումի պաշարի սպառվելը: Արբանյակը հագեցած էր 0.57մ տրամագծով դիտակով (ռեֆլեկտոր) և ինֆրակարմիր ճառագայթման ընդունիչներով: Գրանցվել են 12, 25, 60 և 100 մկմ ալիքային երկարությունների վրա ճառագայթվող հոսքերը: IRAS աստղադիտակի հիմնական խնդիրը երկարալիքային ինֆրակարմիր տիրույթում ճառագայթող մարմինների որոնումն ու երկնքի քարտեզագրումն էր: Ճառագայթումը այս տիրույթում հիմնականում կապված է միջաստղային փոշու հետ: IRAS դիտողական նյութը ամփոփվել են երկու հետևյալ կատալոգներում.
  - IRAS PSC (IRAS catalogue of Point Sources, Version 2.0) շրջահայությունը կատարվել է 1986 թվականին ամբողջ երկնքի տիրույթում և պարունակում է 245889 աղբյուրներ, որոնց համար առկա են էներգիայի հոսքերի խտությունները 12 մկմ, 25 մկմ, 60 մկմ եւ 100 մկմ ալիքի երկարությունների վրա:
  - IRAS FSC (IRAS Faint Source Catalog, Version 2.0) շրջահայությունը կատարվել է 1989 թվականին  $|b| > 10$  երկնքի բարձր գալակտիկական լայնություններում, որի զգայնությունը մոտ 2.5 անգամ գերազանցում է

IRAS PSC զգայնությանը եւ պարունակում է 173044 աղբյուրներ, որոնց համար առկա են (ինչպես IRAS PSC-ում) էներգիայի հոսքերի խտությունները 12 մկմ, 25 մկմ, 60 մկմ եւ 100 մկմ ալիքի երկարությունների վրա:

- 2MASS - The Two Micron All Sky Surve [70] Այն իրականացվել է 1997 թվականի հունիսից մինչև 2001 թվականի փետրվարը հյուսիսային (Արիզոնա, ԱՄՆ) և հարավային (Չիլի) կիսագնդերում գործող երկու ինքնաշխատ (ավտոմատ) 1.3մ դիտակների օգնությամբ: Այն լուսաչափական շրջահայություն էր, որի ընթացքում J (1.25 մկմ), H (1.65մկմ) և Ks (2.17մկմ) լուսազտիչների օգտագործմամբ կառուցվել է ողջ երկնքի պատկերը մոտակա ինֆրակարմիր ալիքային տիրույթում:
- WISE - Wide-Field Infrared Survey Explorer [74] - 2009 թվականի դեկտեմբերի 14-ին NASA-ն արձակել է ինֆրակարմիր տիեզերական դիտակը, որի հիմնական նպատակն էր հայտնաբերել գերալայծառ ինֆրակարմիր գալակտիկաներ, դարչնագույն թզուկ աստղեր, երկիր մոլորակին մոտեցող աստղակերպեր և գիսավորներ: WISE դիտակի օգնությամբ կատարվել է ամբողջ երկնքի շրջահայություն ինֆրակարմիր չորս ալիքային տիրույթներում: Դիտակը համալրված էր չորս խցիկներով, որոնցից յուրաքանչյուրն աշխատել է որոշակի ալիքային տիրույթում՝ 3.4մկմ (W1), 4.6մկմ (W2), 12մկմ (W3) և 22մկմ (W4):

FBS LTS կատալոգը բաղկացած է հետևյալ տվյալներից.

- FBS անուն (hhmm + ddmm),
- DSS2 կապույտ J2000 RA և Dec. 0.6 arcsec ճշտությամբ
- Galactic J2000 երկայնություն և լայնություն,
- USNO-B1.0 J2000 կոորդինատներ,
- USNO-B1.0 *B1, R1, B2, R2, I* աստղային մեծություններ,
- SDSS DR15 *u, g, r, i, z* աստղային մեծություններ և սխալանքներ,
- *Gaia* DR2 տվյալների շտեմարանի *G* աստղային մեծությունը, շառավիղները և լուսատվություններ արեգակնային միավորներով, Vizier CDS Catalogue I/345/gaia2),
- 2MASS *J, H, Ks* աստղային մեծություններ և սխալանք,

- 2MASS  $J - H$  և  $H - Ks$  գույներ,
- AllWISE J2000 կոորդինատներ,  $W1, W2, W3$  և  $W4$  աստղային մեծություններ և սխալանք,
- IRAS PSC/FSC աղբյուրների տվյալներ,
- IRAS 12, 25, 60, 100  $\mu m$  հոսքերը,
- Սպեկտրային դասեր,
- Լուսատվության դասի գնահատում,
- Օբյեկտների այլընտրանքային անուններ այլ տվյալների կատալոգներում:

Աղյուսակ 2.2-ում բերված են 10 աստղի 2MASS JHK տվյալներ, *Gaia* DR2 պարալաքսները, *G* աստղային մեծությունները, արդյունաբերական ջերմաստիճանները, տեսագծային արագությունները, սպեկտրային դասերը և լուսատվության դասերը:

Աղյուսակներ 2.3, 2.4-ում ներկայացված են *Gaia* DR2 տվյալներ FBS M թզուկների, CH հսկաների և M ու N դասի AGB աստղերի համար: Հեռավորության գնահատումները մի քանի FBS M թզուկների համար՝ հիմնված *Gaia* DR2-ի պարալաքսների վրա, բերված են Աղյուսակ 2.3-ում:

## Աղյուսակ 2.2

### Կատալոգի տվյալներ 10 աստղի համար

| FBS<br>համար | J     | H    | K    | Պարալաքս | G<br>(ա.մ.) | $T_{\text{eff}}$<br>(Կ) | RV<br>(կմ/վ) | Սպ.<br>դաս | Լուս.<br>դաս |
|--------------|-------|------|------|----------|-------------|-------------------------|--------------|------------|--------------|
| 0018+213     | 7.83  | 7.34 | 7.19 | 1.330    | 9.41        | 4838                    | -13.87       | C-CH       | Հսկա         |
| 0034+341     | 9.48  | 8.66 | 8.43 | 0.22     | 11.95       | 4071                    | -88.43       | C-CH       | Հսկա         |
| 0042+484     | 7.28  | 6.04 | 5.30 | 0.390    | 10.85       | 3361                    | -23.95       | C-N        | Հսկա         |
| 0043+474     | 7.24  | 5.96 | 4.99 | -0.127   | 11.71       | 3947                    | -2.64        | C-N        | Հսկա         |
| 0048+319     | 9.33  | 8.39 | 8.11 | 0.170    | 12.21       | 3879                    | -76.76       | M7-M8      | Հսկա         |
| 0134+454     | 9.02  | 8.07 | 7.77 | 0.193    | 12.27       | 3383                    | -104.83      | M3-M4      | Հսկա         |
| 0144+369     | 10.52 | 9.43 | 8.88 | 0.056    | 13.54       | 3589                    | -111.50      | C-N        | Հսկա         |
| 0241-087     | 9.92  | 9.34 | 9.09 | 23.656   | 12.43       | 4002                    | 0.97         | M3-M4      | Թզուկ        |

|          |       |      |      |        |       |      |  |       |       |
|----------|-------|------|------|--------|-------|------|--|-------|-------|
| 2111-072 | 9.96  | 9.33 | 9.05 | 30.883 | 13.01 | 3657 |  | M6-M7 | Թզուկ |
| 2231+333 | 10.41 | 9.85 | 9.59 | 28.303 | 13.40 | 3937 |  | M5-M6 | Թզուկ |

### Աղյուսակ 2.3

#### Հեռավորության գնահատումներ 6 FBS M թզուկների համար

| FBS համար | Պարալաքս (mas) | $T_{\text{eff}}$ (Կ) | RV (կմ/վ) | Շառավիղ (արեգ. մ.) | Լուսատվություն (արեգ. մ.) | R (պս) |
|-----------|----------------|----------------------|-----------|--------------------|---------------------------|--------|
| 0148+071  | 14.9964        | 3638                 | 12.24     |                    |                           | 67     |
| 1309+661  | 5.9427         | 3638                 |           | 0.54               | 0.047                     | 168    |
| 1346+796  | 16.4797        | 3852                 |           | 0.54               | 0.057                     | 61     |
| 1852+429  | 5.6036         | 3945                 | 0.47      | 0.93               | 0.189                     | 178    |
| 2250-135  | 14.5262        | 3503                 | -27.43    | 0.61               | 0.051                     | 69     |
| 2255-131  | 7.9362         | 4058                 | +17.87    | 0.73               | 0.129                     | 126    |

7 FBS CH աստղի համար բերված են *Gaia* DR2 տվյալներ Աղյուսակ 2.4-ում:

### Աղյուսակ 2.4

#### *Gaia* DR2- ի տվյալներ 7 FBS CH աստղերի համար

| FBS համար | $T_{\text{eff}}$ (Կ) | RV (կմ/վ) | Շառավիղ (արեգ. մ.) | Լուսատվություն (արեգ. մ.) |
|-----------|----------------------|-----------|--------------------|---------------------------|
| 1127+782  | 4646                 | -167.08   | 25.88              | 281.176                   |
| 1140+038  | 4695                 | -6.92     | 12.04              | 63.529                    |
| 1727+652  | 4398                 |           | 41.34              | 576.431                   |
| 1752+342  | 4255                 | -273.96   | -                  | -                         |
| 1825+272  | 4975                 | 54.74     | 14.08              | 109.471                   |
| 1859+440  | 4846                 | -2.09     | 15.22              | 115.138                   |
| 2158+197  | 4796                 | -139.16   | 16.61              | 131.687                   |



Աղյուսակ 2.5-ում բերված են *Gaia* DR2- ի տվյալներ մի քանի FBS աստղերի համար: Աղյուսակ 2.5-ում բերված FBS 1918 + 869 աստղի համար լուսատվությունը  $M_V = -3.3$  է, ինչը բնորոշ է N դասի AGB C աստղերին [32]:

#### Աղյուսակ 2.5

*Gaia* DR2- ի տվյալներ 6 FBS աստղերի համար

| FBS համար | Սպեկտր. դաս | Այլ անուններ    | Շառավիղ (արեգ. մ.) | Լուսատվություն (արեգ. մ.) |
|-----------|-------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| 0001+384  | M           | IRAS 00010+3451 | 81.43              | 713.126                   |
| 0001+340  | M           | -               | 56.30              | 340.248                   |
| 0025+474  | M           | IRAS 00252+4724 | 26.72              | 118.394                   |
| 0103-118  | M           | -               | 70.41              | 531.426                   |
| 0253+482  | M           | V494 Per        | 65.38              | 470.084                   |
| 1918+869  | C-N         | -               | 87.17              | 1802.333                  |

Ինֆրակարմիր տիրույթում ուսումնասիրվել են SDSS սպեկտրները: FBS միայն ութ օբյեկտների համար կան մեծ լուծողականությամբ APOGEE (Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment) ինֆրակարմիր սպեկտրներ՝ 1.5 - 1.7 մկմ տիրույթում, SDSS DR15 տվյալների շտեմարանում:

Աղյուսակ 2.6-ում բերված են APOGEE- ի տվյալները FBS ուշ դասի ութ աստղերի համար:

#### Աղյուսակ 2.6

APOGEE- ի տվյալներ FBS ուշ դասի ութ աստղերի համար

| FBS համար | Սպեկտր. դաս | Լուսատվ. դաս | SDSS համար          | APOGEE ID.         | $V_{\text{helio}}$ (կմ/վ) |
|-----------|-------------|--------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| 0351-114  | M           | Հսկա         | J035341.99-11604.7  | 2M03534200-1116046 | 279.752                   |
| 1145-000  | CH          | Հսկա         | J114759.77-001918.3 | 2M11475977-0019182 | 239.506                   |
| 1311+460  | M           | Թզուկ        | J131348.06+454649.8 | 2M13134810+4546499 | -12.8618                  |
| 1415+456  | M           | Թզուկ        | J141722.11+452545.9 | 2M14172209+4525461 | 4.8879                    |
| 1706+647  | M           | Թզուկ        | J170617.50+643810.6 | 2M17061767+6438088 | -35.0767                  |
| 2035-008  | M           | Թզուկ        | J203823.25-03923.8  | 2M20382326-0039235 | -57.6409                  |
| 2101+102  | M           | Հսկա         | J210422.37+102828.5 | 2M21042238+1028285 | -3.0131                   |

|          |    |      |                     |                    |          |
|----------|----|------|---------------------|--------------------|----------|
| 2107+109 | CH | հսկա | J210958.92+111101.3 | 2M21095891+1111013 | -91.7758 |
|----------|----|------|---------------------|--------------------|----------|

Կարևոր է նշել, որ SDSS DR7 տվյալների բազայում FBS M թզուկների տվյալներ չեն գտնվել, M թզուկների սպեկտրասկոպիկ կատալոգում խաչաձև նույնացումից հետո [76]:

## 2.4 ԵՐԿՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ:

Ամփոփելով վերը նշված արդյունքները՝ կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները.

- Հայտնաբերվել են նոր 426 թույլ աստղ՝ 27 վաղ և ուշ դասի C աստղեր և 399 M դասի աստղ, ինչն ընդլայնում է Արեգակի հարևանությամբ M դասի հսկաների և թզուկների թվաքանակը:
- Կատալոգի երկրորդ տարբերակը պարունակում է 1471 աստղի հիմնական տվյալներ: Կատալոգի աստղերից 127-ը՝ վաղ և ուշ դասերի ածխածնային աստղեր են: 235 աստղ M դասի թզուկներ են և 1109 աստղը M դասի հսկաներ են:
- Վերանայված կատալոգում բերվում են ճշգրիտ DSS1 / DSS2 դիրքերը, USNO-B1.0 շտեմարանի օպտիկական լուսաչափությունը և սեփական շարժումները, 2MASS, WISE IR լուսաչափությունը, *Gaia* DR2 տվյալները, IRAS PSC/FSC և այլն: Կատալոգի էլեկտրոնային տարբերակը հասանելի է՝ <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/MNRAS/489/2030> համացանցային կայքում:
- *Gaia* DR2-ի նոր լուսաչափական և սպեկտրոսկոպիկ տվյալների ուսումնասիրությունն անհրաժեշտություն է առաջացնում հետազայում՝ պարզաբանելու FBS LTS-ների բնույթը, մասնավորապես բարձր տեսագծային արագություն ունեցող M հսկաների, N դասի AGB և թույլ CH դասի C աստղերի ծագումը բարձր գալակտիկական լայնություններում և գալակտիկական հալոյում:

### **3 ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ԼՈՒՍԱԶԱՓԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ**

#### **3.1 ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ:**

Լուսաչափական հետազոտությունները կարևոր են երկնային մարմինների ֆիզիկական հատկությունների բացահայտման գործընթացում: Ուշ դասի աստղերի ֆիզիկական հատկությունների վեր հանման տեսանկյունից հատկապես կարևոր է հենց ինֆրակարմիր տիրույթում դրանց վարքի բացահայտումը:

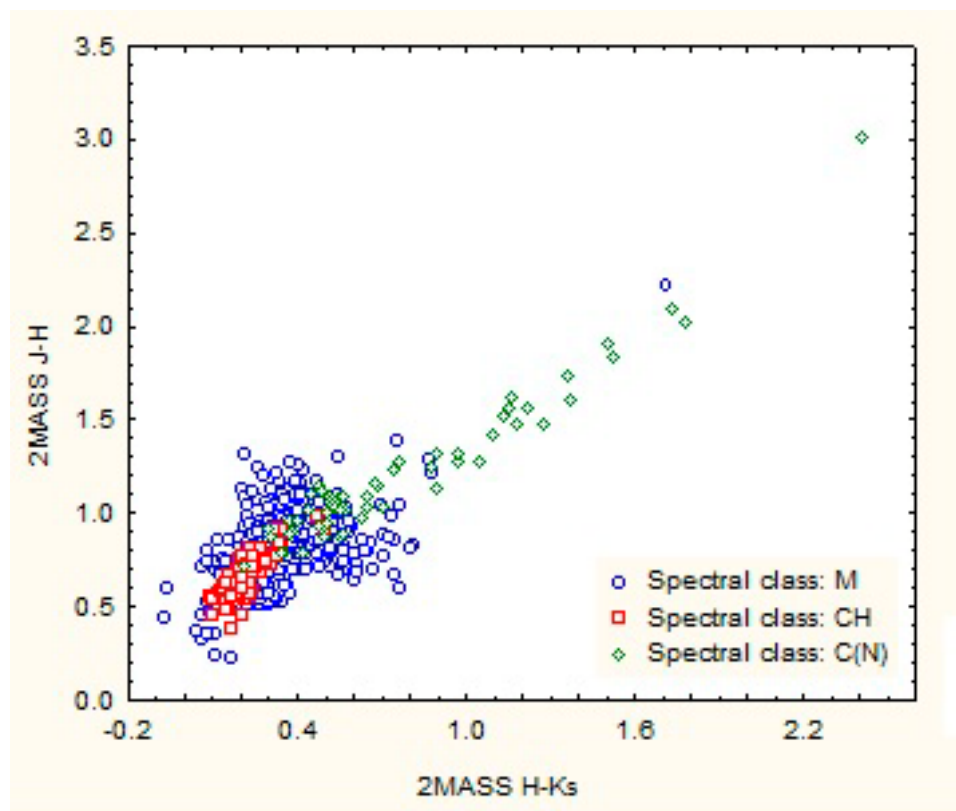
Էլեկտրամագնիսական ալիքների ինֆրակարմիր տիրույթը, հասանելի չէ Երկրի մակերևույթից արվող դիտումներին: Այդ պատճառով արտամթնոլորտային աստղագիտությունն այժմ դարձել է աստղաֆիզիկական դիտումների զարգացող ճյուղը: Ճառագայթման ինֆրակարմիր տիրույթում բազում շրջահայություններ են իրագործված, դրանցից կարևորագույններն են՝ IRAS, 2MASS, AKARI, WISE, SPITZER, HERSCHEL և այլն ծրագրերը: Այդ շրջահայությունների լուսաչափական տվյալների միջոցով ուսումնասիրվել ու պարզաբանվել են շատ երկնային մարմինների և դրանց մոտ ու հեռու շրջակայքում ընթացող ֆիզիկական պրոցեսների էությունը: Կատարվել են շատ հետազոտություններ ուշ դասի աստղերի աստղային էվոլյուցիայի ուշ փուլերն ուսումնասիրելու համար:

Աշխատանքի ներկա գլխի նպատակն է վերլուծել ուշ դասի աստղերի՝ ժամանակակից բոլոր հնարավոր աստղագիտական կատալոգներից ստացված բոլոր ինֆրակարմիր (Infrared(IR)) լուսաչափական տվյալները: Քանի որ ինֆրակարմիր տիրույթում գրանցվող ճառագայթումը զգալի չափով պայմանավորված է տիեզերական փոշով, կատարվել է FBS ուշ դասի աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթների ուսումնասիրություն, պարզաբանելու համար կարմիր հսկաների էվոլյուցիոն փուլերը:

### 3.2 2MASS ԵՎ WISE ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ

Հայտնի է, որ JHK գույն-գույն դիագրամները շատ լավ գործիքներ են կարմիր աստղերը դասակարգելու, ըստ լուսատվության և գույնի ցուցիչի:

Նկար 3.1-ում բերված է 2MASS (J – H) – (H – Ks) գույն-գույն դիագրամը բոլոր 1471 FBS ուշ դասի աստղերի համար: Կապույտ գույնով նշվել են M դասի աստղերը, կարմիր գույնով՝ CH դասի աստղերը, իսկ կանաչ գույնով՝ N դասի C աստղերը:



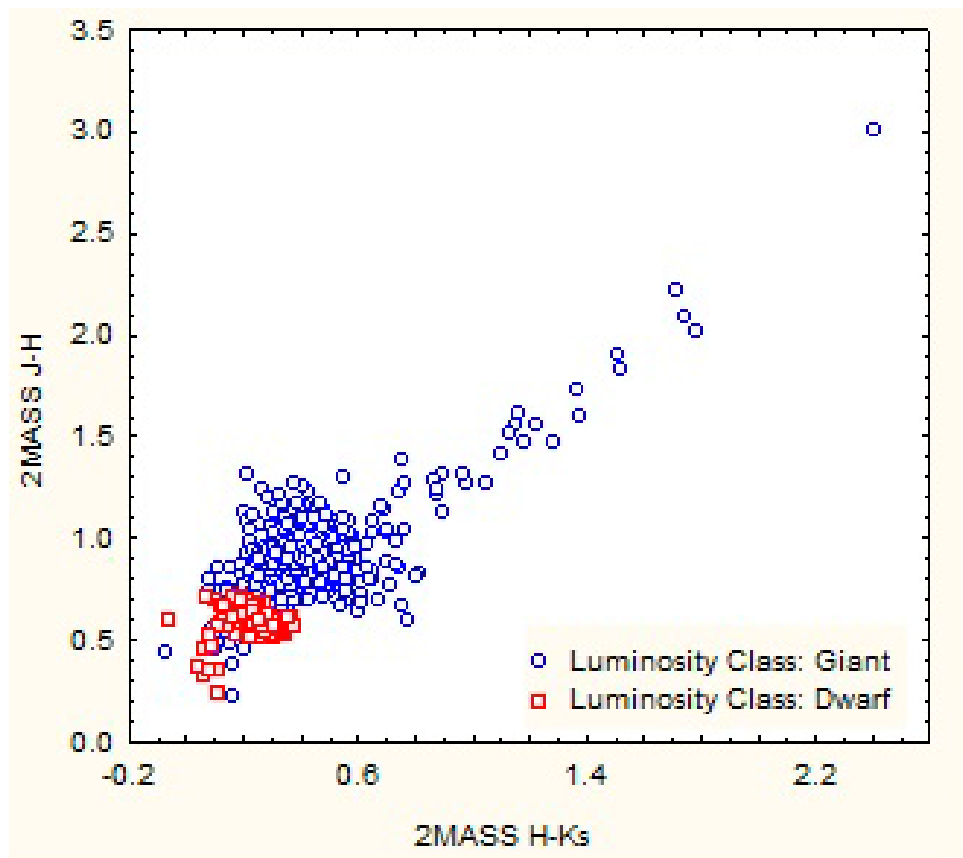
Նկար 3.1. 2MASS JHKs գույն-գույն դիագրամը

1471 FBS LTS աստղերի համար:

Այն աստղերը, որոնք ունեն  $J - H > 0.8$  և  $H - K_s > 0.2$  արժեքներ գույն-գույն դիագրամում, սովորաբար AGB աստղեր են [77-79]: Այս դիագրամում հստակ երևում է N դասի հսկաների և վաղ դասի C աստղերի կտրուկ բաժանումը: Վաղ և ուշ դասի C աստղերը դիագրամում գտնվում են տարբեր տիրույթներում: Վերին աջ անկյունում ամենակարմիր օբյեկտը N դասի FBS 2213 + 421 աստղն է, որը պատկանում է AGB սառը R Coronae Borealis (R CrB) փոփոխականների խմբին [80]:

M թզուկները ցույց են տալիս սեփական շարժումներ և շատ լավ են առանձնացված JHK ինֆրակարմիր (NIR) գույն-գույն դիագրամների վրա: Սովորաբար դրանք ունեն  $J - H < 0.7$  և  $H - K_s > 0.15$  արժեքներ [77]: Դրանք ունեն սեփական շարժումներ, NIR գույներ, որոնք բնորոշ են M թզուկների համար:

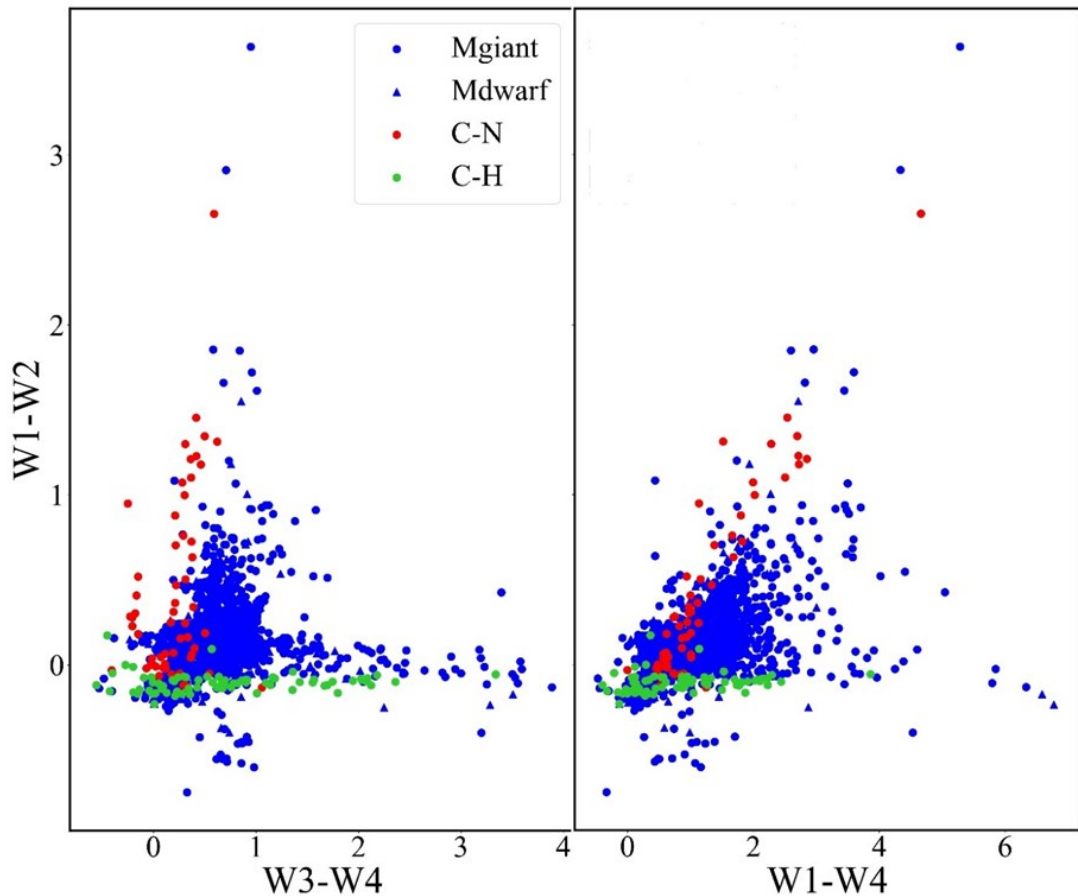
Նկար 3.2-ում բերված է 2MASS  $(J - H) - (H - K_s)$  դիագրամը 1471 FBS M և C դասի բոլոր աստղերի համար՝ նշված լուսատվության դասերով: M թզուկները նշված են կարմիր գույնով, իսկ կարմիր հսկաները՝ կապույտ գույնով:



Նկար 3.2 2MASS  $JHKs$  գույն - գույն դիագրամը ըստ լուսատվության դասի 1471 FBS LTS աստղերի համար:

Կառուցվել են նաև WISE գույն-գույն դիագրամները: Նկար 3.3-ում բերված են այդ դիագրամները: Գույն - գույն դիագրամներում N դասի հսկաները բաշխված են վաղ դասի C հսկաներից առանձնացված ճյուղի երկայնքով: Այստեղ կրկին իր դիրքով առանձնանում է N- դասի FBS 2213 + 421 աստղը: CH, R և թզուկ ածխածնային աստղերն ունեն նույն գույները, ինչպես վաղ M դասի աստղերը: M դասի հսկաները և թզուկները

դիագրամում հանդես են եկել միևնույն կոմպակտ տիրույթում: Գույնի մեծության չափանիշները, որոնք հիմնված են WISE տվյալների վրա, բերված են [83]-ում և թույլ են տալիս ընտրել AGB աստղեր՝ գազափոշային թաղանթներով և առանձնացնել C դասի աստղերը M դասի աստղերից:



Նկար 3.3. WISE գույն-գույն դիագրամները FBS ուշ դասի աստղերի համար:

### 3.3 ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ

#### 3.3.1 IRAS, WISE, 2MASS և AKARI ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ:

IRAS գույն-գույն դիագրամներն օգտագործվում են բազմաթիվ գիտական աշխատանքներում: Հայտնաբերված FBS C աստղերից միայն 26 N դասի աստղ [18] է IRAS աղբյուր [81]: Միայն չորս օբյեկտներ ունեն մինչև 60 միկրոն հոսքեր IRAS կատալոգում՝ FBS 0137 + 400, FBS 0707 + 270, FBS 1812 + 455 և FBS 2213 + 421:

Ստուգվել են այս աստղերի դիրքերը Վան դեր Վին - Հեբինգ դասական գույն-գույն դիագրամում [83], որտեղ գույները սահմանվում են հետևյալ առնչությամբ.

$$[12] - [25] = 2.5 * \text{Log} \frac{F(25)}{F(12)} \quad (3.1)$$

$$[25] - [60] = 2.5 * \text{Log} \frac{F(60)}{F(25)} \quad (3.2)$$

որտեղ F (12), F (25) և F (60) IRAS հոսքերն են համապատասխանաբար 12, 25 և 60 մկմ ալիքային երկարություններում:

Աղյուսակ 3.1-ում բերված են չորս աստղի IRAS գույները:

*Աղյուսակ 3.1*

IRAS գույները 4 աստղի համար

| IRAS գույն | FBS 0137+400 | FBS 0707+270 | FBS 1812+455 | FBS 2213+421 |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| [12]-[25]  | -1.41        | -1.36        | -1.32        | -0.74        |
| [25]-[60]  | -1.59        | -1.64        | -1.77        | -1.55        |

IRAS երկգունային՝ [12]-[25] — [25]-[60] դիագրամը ինֆրակարմիր հատկանիշների (հոսքերի քանակության, փոփոխականության և սպեկտրային դասակարգման) հիման վրա բաժանված է ութ գոտիների, որտեղ աստղերը առանձնանում են տարբեր գազափոշային թաղանթներ ունենալու հատկանիշներով:

Այդ գոտիները հետևյալներն են՝

I գոտի - թթվածնով հարուստ ոչ փոփոխական աստղեր, որոնք չունեն թաղանթ:

II գոտի – փոփոխական աստղեր, որոնք ունեն թթվածնով հարուստ համեմատաբար երիտասարդ թաղանթ:

IIIa գոտի – փոփոխական աստղեր, որոնք ունեն թթվածնով հարուստ համեմատաբար զարգացած թաղանթ:

IIIb գոտի – փոփոխական աստղեր, որոնք ունեն թթվածնով հարուստ հաստ թաղանթ:

IV գոտի – փոփոխական աստղեր, որոնք ունեն թթվածնով հարուստ շատ հաստ թաղանթ:

V գոտի – մոլորակաձև միգամածություններ և ոչ փոփոխական աստղեր, որոնք ունեն շատ սառը թաղանթ:

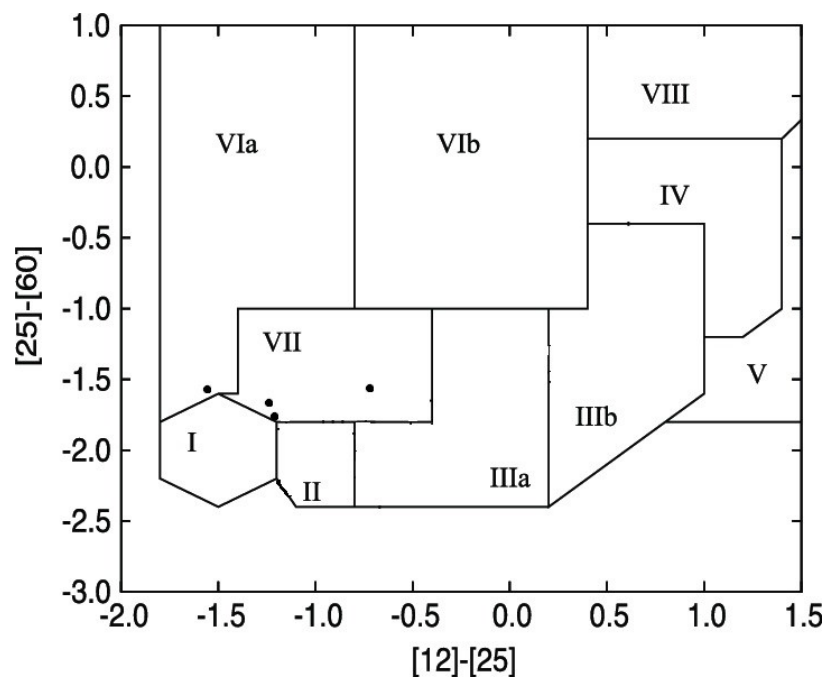


Vla գոտի – ոչ փոփոխական աստղեր, որոնց թաղանթներն ունեն համեմատաբար սառը փոշի մեծ հեռավորությունների վրա: Այդ աստղերի հիմնական մասը հարուստ է ածխածնով:

VIb գոտի – փոփոխական աստղեր, որոնց թաղանթները պարունակում են ինչպես աստղին մոտ գտնվող համեմատաբար տաք փոշու բաղադրիչ, այնպես էլ համեմատաբար սառը փոշու բաղադրիչ աստղից մեծ հեռավորությունների վրա: Դրանց մի մասը հարուստ է թթվածնով:

VII գոտի – փոփոխական աստղեր, որոնք ունեն ածխածնով հարուստ ավելի զարգացած թաղանթ:

VIII գոտի – այլ տեսակի տարբեր օբյեկտներ: Այս գոտում հանդիպում են տարբեր տեսակի շատ սառը օբյեկտներ, անգամ մոլորակաձև միգամածություններ:



Նկար 3.4. Վան դեր Վին - Հեբինգ դասական գույն- գույն դիագրամ:

Նկար 3.4-ում ներկայացված է Վան դեր Վին - Հեբինգ դասական գույն- գույն դիագրամը: FBS 0137+400 աստղը գտնվում է դիագրամի VIa գոտում, որտեղ տեղակայված են այն աստղերը որոնք հարուստ են ածխածնով, իսկ մյուսները VII գոտում, որտեղ տեղակայված են փոփոխական ածխածնային աստղերը: CSS տվյալների

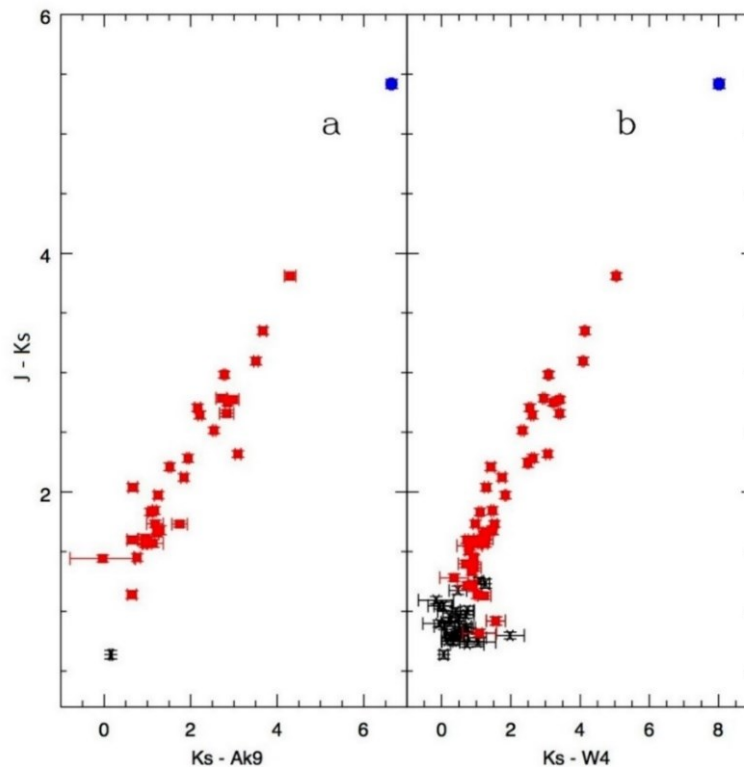
բազայում ստուգվել են այս աստղերի պայծառության կորերը, դրանք հաստատում են այս աստղերի փոփոխականությունը:

Ճապոնական առաջին ինֆրակարմիր աստղագիտական AKARI - The Infrared Astronomical Mission AKARI արբանյակը [84] տիեզերք է արձակվել 2006 թվականի փետրվարի 21-ին և մայիսին սկսել է դիտումները՝ գործելով մինչև 2007 թվականի օգոստոսի 26-ը: Նրա հիմնական նպատակն էր կառուցել երկնականարի քարտեզը հեռավոր (50 - 180 մկմ) և միջին (9 և 18 մկմ) ինֆրակարմիր տիրույթներում: Այն համարվել է IRAS ծրագրի շարունակական գործընթացը, բայց ավելի մեծ լուծողականությամբ և զգայնությամբ:

39 օբյեկտներ նույնացվել են AKARI շրջահայության կատալոգի կետային աղբյուրների հետ: Դրանցից 38 օբյեկտ N դասի աստղեր են և 1 օբյեկտ CH աստղ է՝ FBS 0018 + 213 = AKARI 0021334 + 213526, որը վաղ դասի CH ամենապայծառ աստղն է FBS ածխածնային աստղերի մեջ: FBS 0043 + 474 = AKARI 0046284 + 474132 աստղը 9  $\mu$ m տիրույթի վրա տվյալ չունի, բայց այն դիտված է 18  $\mu$ m տիրույթում՝ S18 = 1.01E + 00 Jy: Մնացած 16 N դասի աստղերը չեն հայտնաբերվել AKARI արբանյակի կողմից՝ իրենց թույլ լինելու պատճառով:

Կատալոգում հաշվարկված հոսքի խտությունը վերափոխվել է IRC-Vega համակարգի աստղային մեծությունների՝ օգտագործելով զրո- աստղային մեծություն հոսքի խտությունները [85]: Շատ դեպքերում աստղային մեծությունների ամպլիտուդը փոքր է 0<sup>m</sup>.05-ից է, ամենաթույլ 15 աստղերի համար աստղային մեծությունների ամպլիտուդը՝  $\Delta m$ , տատանվում է 0.10÷0.15-ի միջակայքում: Նկար 3.5 (ա, բ) -ում բերված են է 2MASS, AKARI9 և WISE գույն-գույն դիագրամները: N դասի C աստղերը նշված են կարմիր գույնով, իսկ վաղ դասի C աստղերը՝ սև գույնով: Վերին աջ անկյունում կրկին ամենակարմիր N դասի FBS 2213 + 421 աստղն է, որը նշված է կապույտ գույնով:

Նպատակը ոչ միայն կետերի բաշխման ուսումնասիրությունն է, այլ նաև երկու դիագրամների համեմատությունը: Ինչպես երևում է, շատ լավ համաձայնություն կա երկու դիագրամների միջև:



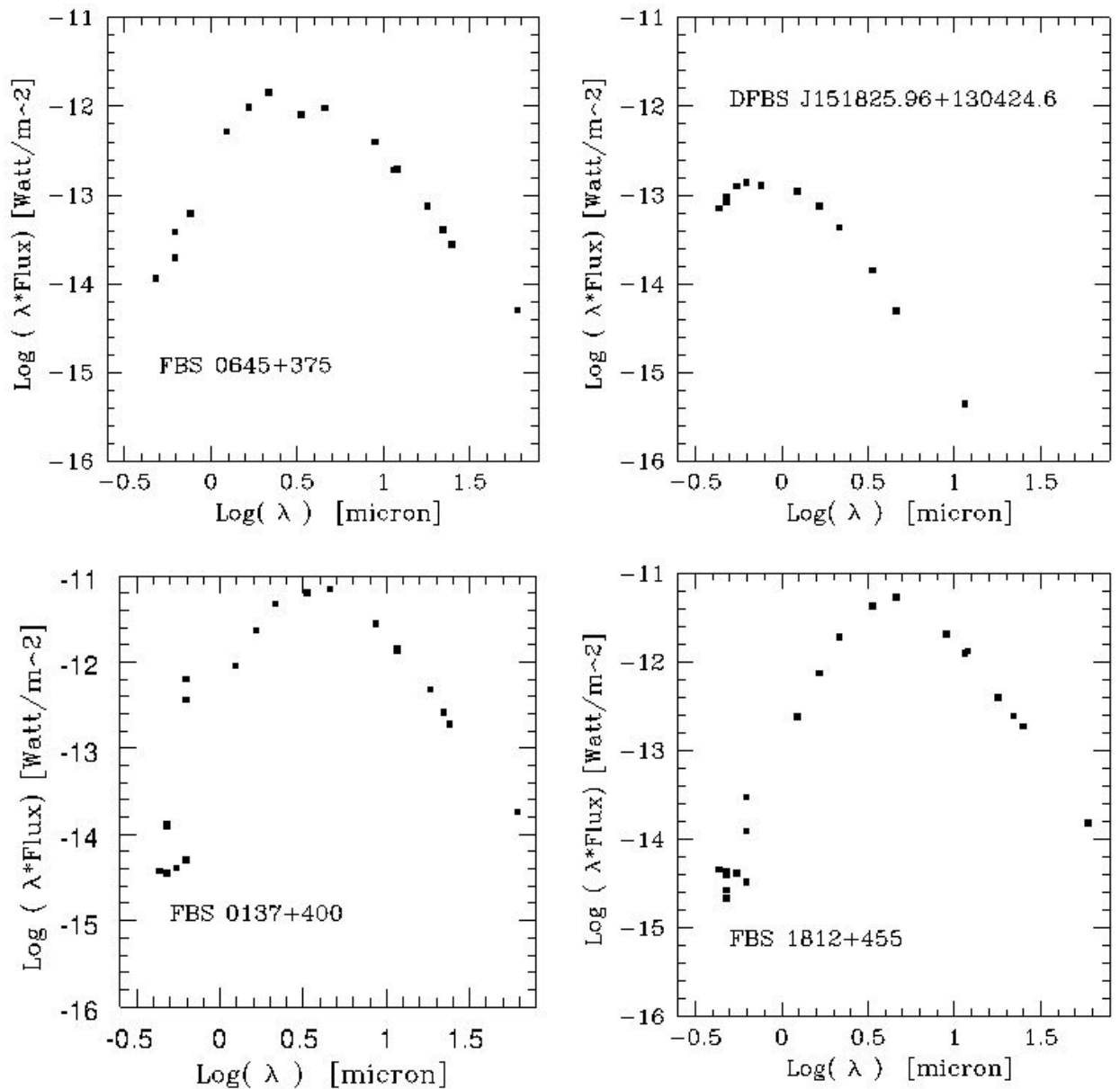
Նկար 3.5. 2MASS, AKARI9 և WISE գույն-գույն դիագրամները:

Կրկին, AGB N դասի փոփոխական աստղերը բաշխված են կարմիր հսկաների կարմրացման տիրույթի երկայնքով: Դիագրամում CH դասի միակ աստղը գտնվում է ներքևի ձախ անկյունում, ինչպես սպասվում էր: Այն օբյեկտները, որոնք ունեն  $K_s - AKARI9 > 3^m.0$  գունային ցուցիչ, ցույց են տալիս կրկնակի գազաթներ սպեկտրային էներգիայի բաշխման (Spectral energy distribution (SED)) դիագրամներում:

### 3.3.2 ՍՊԵԿՏՐԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԲԱՇԽՈՒՄ

Օպտիկական տիրույթում փոփոխականությունը ստուգելու և ինֆրակարմիր առաքման ավելցուկն ուսումնասիրելու համար կառուցվել են բոլոր աստղերի SED-երը: Լուսաչափական տվյալները ստացվել են <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR/> համացանցային կայքից: SED-երն ընկած են B շերտից՝ 0,444 մկմ-ից մինչև IRAS 100 մկմ ալիքի երկարության տիրույթում: Օգտագործվել են 2MASS, WISE, AKARI և IRAS տվյալները ինֆրակարմիր տիրույթի համար և UCAC4, APASS կատալոգների տվյալները

(CDS կատալոգներ I / 322A և II / 336) օպտիկական տիրույթի համար, այնուհետև կիրառվել է LAMBDA\*F (LAMBDA) փոխարկումը՝ օգտագործելով համացանցային գործիք՝ կայք <http://morpheus.phys.lsu.edu/magnitude.html>: Որոշ աստղերի համար միջաստղային կլանումը չի կարելի անտեսել տարբեր լուսաչափական շերտերում: Այս դեպքերում կիրառվել են ուղղումներ, ինչպես նկարագրված է [54] հոդվածում:



Նկար 3.6. Կառուցված SED-երի օրինակներ:

Շատ կարևոր է նշել, որ տարբեր կատալոգների լուսաչափական տվյալները ստացվել են տարբեր ժամանակաշրջաններում: Սա կարող է խնդիր առաջացնել N դասի AGB աստղերի համար, որոնք փոփոխական են հիմնականում օպտիկական մասում: Պահպանվել են բոլոր կետերը որպեսզի պատկերացում լինի փոփոխականության մասին: Վաղ դասի CH և R հսկաները քիչ թե շատ հաստատուն են: 5 FBS N դասի AGB աստղեր ցույց են տալիս կրկնակի գագաթներ SED-երում:

Նկար 3.6-ում բերված են կառուցված SED-երը որոշ հետաքրքիր օբյեկտների համար:

### 3.3.3 ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԵՎ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ԿՈՐՍՏԻ ՏԵՄՊԻ ՈՐՈՇՈՒՄՆ ԸՍՏ 2MASS, IRAS ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ:

Քիմիապես յուրահատուկ կարմիր հսկաների արդյունաբար ջերմաստիճանի որոշումը դիտարկվել է բազմաթիվ աշխատանքներում և այն հիմնված է օպտիկական և NIR գունային ցուցիչների վրա: Արդյունաբար ջերմաստիճանները 66 FBS վաղ դասի C աստղերի համար գնահատվել են օգտագործելով  $T_{\text{eff}}$ -ի և J - K գույնի՝ առանց միջաստղային կլանման, միջև կապը, որը ստացել են Բեսելը և իր գործընկերները [77]: Այն արտահայտվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$T_{\text{eff}} = \frac{7070}{[(J - K) + 0.88]} \quad (3.3)$$

2MASS JHKS- ի բոլոր տվյալները փոխակերպվել են Ջոնսոնի կողմից սահմանված համակարգին [86], իսկ J - K գույները՝ առանց միջաստղային կլանման, ստացվել են՝ օգտագործելով Շլեգելի [87] միջաստղային կլանման քարտեզը: (3.3) առնչությունը ստացվել է Բեսելի և իր գործընկերներ կողմից, ովքեր օգտագործել են  $T_{\text{eff}}$  գնահատականները՝ մոտ 250 Կ ճշգրտությամբ և Լուսնի խավարման դիտումները [88,89]:

Ստացված ջերմաստիճանային արժեքները լավ համապատասխանության մեջ են սպեկտրային դասակարգման հետ: Այդ տվյալները բերված են Աղյուսակ 3.2-ում:

Արդյունաբար ջերմաստիճանները FBS վաղ դասի 66 C աստղերի համար

| FBS և DFBS համար | USNO-A2.0 R | Սպեկտրային դաս | $T_{\text{eff}}$ (Կ) |
|------------------|-------------|----------------|----------------------|
| 0018+213         | 9.71        | CH             | 4620                 |
| 0254+482         | 11.1        | CH             | 3500                 |
| 0259+444         | 12.8        | CH             | 3417                 |
| 0318+238         | 10.7        | R              | 4517                 |
| 0324+236         | 13.7        | CH             | 3620                 |
| 0644+616         | 11.5        | CH             | 4210                 |
| 0754+109         | 12.1        | CH             | 4270                 |
| 0845+466         | 13.9        | dC?            | -----                |
| 0900+034         | 12.1        | CH             | 3890                 |
| 0904+213         | 11.6        | CH             | 4277                 |
| 0916+029         | 11.4        | CH             | 4160                 |
| 0922+786         | 12.1        | CH             | 3990                 |
| 1043+213         | 11.2        | CH             | 3970                 |
| 1043+253         | 13.1        | CH             | 3970                 |
| 1119+460         | 14.2        | CH             | 3830                 |
| 1127+782         | 12.0        | CH             | 4570                 |
| 1140+038         | 15.1        | CH             | 4450                 |
| 1145-000         | 12.4        | CH             | 3895                 |
| 1152-039         | 11.5        | CH             | 3880                 |
| 1225+077         | 13.5        | CH             | 4430                 |
| 1238-046         | 13.1        | CH             | 4275                 |
| 1305+015         | 12.2        | CH             | 4122                 |
| 1339+117         | 13.4        | dC?            | -----                |
| 1406+027         | 12.8        | CH             | 4298                 |
| 1418-031         | 12.0        | CH             | 3717                 |
| 1418+018         | 11.8        | CH             | 4000                 |
| 1431-079         | 12.7        | CH             | 4040                 |
| 1440+263         | 12.4        | R              | 3910                 |
| 1451+075         | 11.7        | R              | 3750                 |
| 1547+046         | 12.2        | CH             | 4330                 |

|                     |      |     |       |
|---------------------|------|-----|-------|
| 1552-002            | 11.3 | CH  | 4300  |
| 1553+119            | 12.4 | CH  | 4342  |
| 1609-058            | 12.3 | CH  | 4065  |
| 1612+262            | 13.1 | CH  | 4166  |
| 1615-048            | 12.6 | CH  | 3432  |
| 1619+160            | 11.8 | CH  | 3538  |
| 1715+172            | 12.2 | CH  | 4340  |
| 1728+216            | 11.1 | CH  | 3838  |
| 1811+462            | 13.2 | CH  | 3631  |
| 1825+272            | 12.1 | CH  | 4648  |
| 2029+101            | 11.8 | CH  | 3768  |
| 2100+123            | 12.7 | CH  | 3454  |
| 2123-104            | 12.9 | CH  | 4142  |
| 2158+197            | 12.5 | CH  | 4735  |
| 2203+198            | 13.2 | CH  | 4030  |
| 2207-095            | 12.7 | CH  | 3876  |
| 2217+100            | 13.3 | CH  | 4196  |
| J003700.13+342234.0 | 11.9 | CH  | 3582  |
| J004619.15+354537.3 | 13.2 | CH  | 4416  |
| J075331.90+190344.3 | 11.0 | CH  | 3813  |
| J083335.84-011939.1 | 11.0 | CH  | 4144  |
| J111422.94+081442.7 | 10.8 | CH  | 4234  |
| J112242.11+411020.1 | 12.4 | CH  | 4415  |
| J113524.04+181623.3 | 11.5 | CH  | 4447  |
| J115153.56+412232.9 | 12.9 | CH  | 4526  |
| J135831.62+611042.7 | 12.9 | CH  | 3888  |
| J143026.10+202233.7 | 14.1 | CH  | 3826  |
| J145241.15+785923.8 | 13.3 | dC? | ----- |
| J153938.95+124800.2 | 13.3 | CH  | 4068  |
| J172834.59+651110.4 | 11.7 | CH  | 3789  |
| J190034.62+440829.1 | 12.1 | dC? | ----- |
| J213937.66+095250.4 | 13.5 | CH  | 4348  |
| J22425.62-043801.6  | 13.0 | R   | 4360  |
| J224217.04+251259.3 | 10.5 | CH  | 4170  |

|                     |      |     |      |
|---------------------|------|-----|------|
| J225342.28+241556.6 | 12.2 | CH  | 4306 |
| J234043.43+353104.4 | 13.8 | dC? | ---  |

IR գույները կարող են օգտագործվել N դասի աստղերի զանգվածի կորուստների տեմպերը գնահատելու համար: 8 միրիդների վերաբերյալ գնահատումը հիմնված է IR գույնի և բաբախման պարբերության վրա: [90] աշխատանքում գնահատվել են գալակտիկական C միրիդների համար K- [12] գույնի ցուցիչի և զանգվածի կորուստի տեմպերի միջև առնչությունը: Այս առնչությունը քանակապես գնահատվել է որպես.

$$\begin{aligned} \text{Log}(\dot{M}_{\text{total}}) = & -7.668 + 0.7305(K - [12]) - 5.398 * 10^{-2} + (K - [12])^2 + 1.343 \\ & * 10^{-3}(K - [12])^3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

որտեղ [12]-ում IRAS 12 մկմ շերտի աստղային մեծությունը որոշվել է հետևյալ բանաձևով.

$$[12] = 3.63 - 2.5 * \text{Log}F(12) \quad (3.5)$$

որտեղ F-ը (12) IRAS 12 մկմ հոսքն է՝ յանսկիով: Որպես լրացուցիչ գնահատական, օգտագործվել է նաև զանգվածային կորուստների տեմպի և բաբախման պարբերության միջև հետևյալ առնչությունը [91]

$$\text{Log}\dot{M} = (4.08 \pm 0.41) * \text{Log}P - (16.54 \pm 1.1) \quad (3.6)$$

Աղյուսակ 3.3-ում բերված են ութ միրիդների զանգվածի կորուստների տեմպերը, FBS կամ DFBS համարը, 2MASS անունը և Log  $\dot{M}$ - ի գնահատումը՝ օգտագործելով K- [12] գույնի ցուցիչները և բաբախման պարբերությունը (P):

### Աղյուսակ 3.3

#### Զանգվածի կորուստների տեմպերը 8 միրիդների համար

| FBS+DFBS անուն           | 2MASS անուն      | P (օր) | Log $\dot{M}$ (K-[12]) | Log $\dot{M}$ (P) |
|--------------------------|------------------|--------|------------------------|-------------------|
| FBS 0043+474             | 00462480+4741330 | 344    | -6.18                  | -6.19             |
| FBS 0155+384             | 01580610+3839185 | 300    | -7.00                  | -6.43             |
| FBS 0158+095             | 02005614+0945356 | 400    | -5.36                  | -5.38             |
| FBS 0502+088             | 05050029+0856078 | 340    | -6.00                  | -5.80             |
| FBS 0729+269             | 07323273+2647156 | 165    | -6.60                  | -6.60             |
| FBS 1812+455             | 18132945+4531175 | 400    | -5.13                  | -5.92             |
| DFBS J064958.64+741610.1 | 06495846+7416107 | 356    | -5.80                  | -6.08             |



|                          |                  |     |       |       |
|--------------------------|------------------|-----|-------|-------|
| DFBS J230835.19+403533.9 | 23082356+4035287 | 361 | -6.06 | -6.10 |
|--------------------------|------------------|-----|-------|-------|

Ինչպես երևում է Աղյուսակ 3.3-ից, զանգվածի կորուստների տեմպերի համար ստացվում են իրար համարժեք՝ օգտագործելով երկու տարբեր մեթոդներ: FBS 1812 + 455- ի արժեքների ավելի մեծ տարբերությունը, ամենայն հավանականությամբ, կարելի է բացատրել K շերտի փոփոխականությամբ: Այն օբյեկտների հեռավորությունները, որոնք գտնվում են 3.6-ից 12.9 կպս միջակայքում, որոշվել և ներկայացվել են [92]-ում՝ հիմնված պարբերություն-լուսատվություն (PL) առնչությունների վրա:

### 3.4 ԵՐՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ:

Ամփոփելով վերը նշված արդյունքները՝ կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները.

1. Կառուցվել են IRAS, 2MASS, WISE և AKARI գույն-գույն դիագրամները, որոնք ևս մեկ անգամ հաստատում են սպեկտրասկոպիկ դասակարգման ճշտությունը:
2. Ստուգվել են աստղերի դիրքերը Վան դեր Վին - Հեբինգ դասական գույն-գույն դիագրամում՝ IRAS ([12]-[25] – [25]-[60]): Մեկ աստղ գտնվում է դիագրամի VIa գոտում VII գոտուն մոտ, իսկ 3 C աստղ՝ VII գոտում, որտեղ տեղակայված են փոփոխական ածխածնային աստղերը: CSS տվյալների բազայում ստուգվել են այս աստղերի պայծառության կորերը, դրանք հաստատում են այդ աստղերի փոփոխականությունը:
3. Բոլոր հայտնաբերված C աստղերի համար կառուցվել են SED-երը: Ուսումնասիրվել են այս աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթները: 5 N դասի աստղեր, որոնք ունեն  $W2-W3 > 1^m.0$  գույնի ցուցիչ SED-ում ցույց են տալիս կրկնակի գագաթներ, ինչը վկայում է այդ աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթի առկայության մասին: SED-երում առավելագույն ճառագայթումն այս աստղերում հասնում է մոտ 5 միկրոն ալիքի վրա:
4. Այն օբյեկտները, որոնք ունեն  $K_s - AKARI9 > 3^m.0$  գունային ցուցիչ, սպեկտրային էներգիայի բաշխման դիագրամներում ունեն կրկնակի գագաթներ, ինչը վկայում է այս աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթների առկայության մասին :
5. K - [12] գույնի և բաբախման պարբերության միջև հայտնի կապն օգտագործվել է ութ միլիոնների զանգվածի կորստի արագությունը գնահատելու համար: Ստացված արժեքները տատանվում են  $10^{-5}$ -  $10^{-7} M_{\odot}$ /տարեկան սահմաններում, որոնք բնորոշ են N դասի AGB փոփոխական աստղերին:
6. Գնահատվել են վաղ դասի C աստղերի ջերմաստիճանները: Ստացված արժեքները լավ համապատասխանության մեջ են սպեկտրային դասակարգման հետ:
7. Ուսումնասիրված օբյեկտների մեջ ամենակարմիր օբյեկտը N- դասի FBS 2213 + 421 աստղն է, որը պատկանում է ջրածնով աղքատ AGB R CrB սառը փոփոխականներին:

## 4 ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ *GAIA* ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

### 4.1 ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ:

*GAIA*-ի հիմնական խնդիրն է կազմել մեր Գալակտիկայի եռաչափ քարտեզը, որտեղ նշված կլինեն ավելի քան մեկ միլիարդից ավելի աստղերի կոորդինատները, դրանց պարալաքսները, սեփական շարժումները, լուսաչափական տվյալները և այլն: *GAIA* աստղադիտակի առավել կարևոր գիտական խնդիրն է աստղերի հետազոտման միջոցով մեր Գալակտիկայի ծագման և զարգացման լուսաբանումը:

Աստղադիտակը հագեցած է հետևյալ սարքավորումներով.

- ASTRO՝ աստղաչափություն  $G < 21^m$
- BP/RP լուսաչափ  $G < 21^m$ 
  - Կապույտ լուսաչափ  $\lambda\lambda\ 3300 - 6800\ \text{\AA}$
  - Կարմիր լուսաչափ  $\lambda\lambda\ 6400 - 10500\ \text{\AA}$
- RVS տեսագծային արագության սպեկտրոմետր՝  $G_{\text{RVS}} < 16^m$ 
  - Դիտման մեթոդը՝ անճեղք սպեկտրասկոպիա՝ Ca տրիպլետի  $\lambda\lambda\ 8450-8720\ \text{\AA}$  տիրույթում

Այս չափումներից որոշվել են հիմնական աստղաֆիզիկական բնութագրերը, ինչպիսիք են ջերմաստիճանը, ձգողությունը, մետաղականությունը, կարմրացումը և այլ կարևոր աստղաֆիզիկական պարամետրեր:

2018թ.ի ապրիլի 25-ին, թողարկվեց *Gaia* Data Release 2 (DR2)-ը՝ հիմնված 2014թ.-ի 25 հուլիսից մինչև 2016թ.-ի մայիսի 23-ի 22 ամիս դիտումների վրա: *Gaia* DR2-ում բերված են է աստղաչափական, լայնաշերտ լուսաչափությունից՝  $G$ ,  $G_{\text{BP}}$  և  $G_{\text{RP}}$  շերտերում, տեսագծային արագությունից, արդյունարար ջերմաստիճանից, աստղաֆիզիկական պարամետրերի և փոփոխականության վերաբերյալ տվյալներից  $G = 21^m.0$  աստղային մեծությունից ավելի պայծառ, մոտ 1.7 միլիարդ աղբյուրների համար [93]:

2020թ-ի դեկտեմբերի 9-ին թողարկվեց երրորդ միջանկյալ *Gaia* Early Data Release 3 (*Gaia* EDR3) առաջին մասը՝ որը հիմնված է 2014թ 25 հուլիսից մինչև 2017թ. մայիսի 28-ի 34 ամիս դիտումների վրա: *Gaia* DR3- ի այս վաղ մասը բաղկացած է թարմացված աղբյուրների ցուցակից, աստղաչափությունից և լայնաշերտ լուսաչափությունից՝  $G$ ,  $G_{BP}$  և  $G_{RP}$  շերտերում: Բացի այդ, ներառված է *Gaia* DR2- ից տեսագծային արագությունների նորացված ցուցակը, մաքրված սխալ արժեքներից: *Gaia* EDR3-ում ճշգրտվել են աստղաչափության և լայնաշերտ լուսաչափության տվյալները: *Gaia* EDR3 ամբողջ *Gaia* DR3- ի թողարկումը սպասվում է 2022 թ.-ին:

Այս գլխի նպատակն է *Gaia* DR2 [93] և *Gaia* EDR3 [94] բարձր ճշգրիտ լուսաչափական և աստղաչափական տվյալների, ինչպես նաև՝ [95,96] կատալոգներում ներկայացված հեռավորության արժեքների օգտագործմամբ այնպիսի կարևոր պարամետրերի գնահատումը, ինչպիսիք են բացարձակ աստղային մեծությունները և մեր Գալակտիկայում ուշ դասի աստղերի բաշխումը, լուսաչափական տվյալների հիման վրա աստղերի զանգվածների գնահատումը և էվոլյուցիայի փուլերի որոշումը:

## 4.2 ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ:

Բոլոր FBS C աստղերը խաչաձև նույնացվել են *Gaia* DR2 կատալոգի աղբյուրների հետ: Որոշումը կատալոգում կատարվել է աղբյուրի դիրքի շուրջը 5'' որոնման շառավղով: FBS C աստղերի  $G$  լայնաշերտ լուսաչափական տվյալների արժեքները ընկած են  $9^m.4 < G < 18^m.2$  միջակայքում, իսկ արդյունարար ջերմաստիճանները՝  $3290\text{K} < T_{\text{eff}} < 5000\text{K}$  միջակայքում:

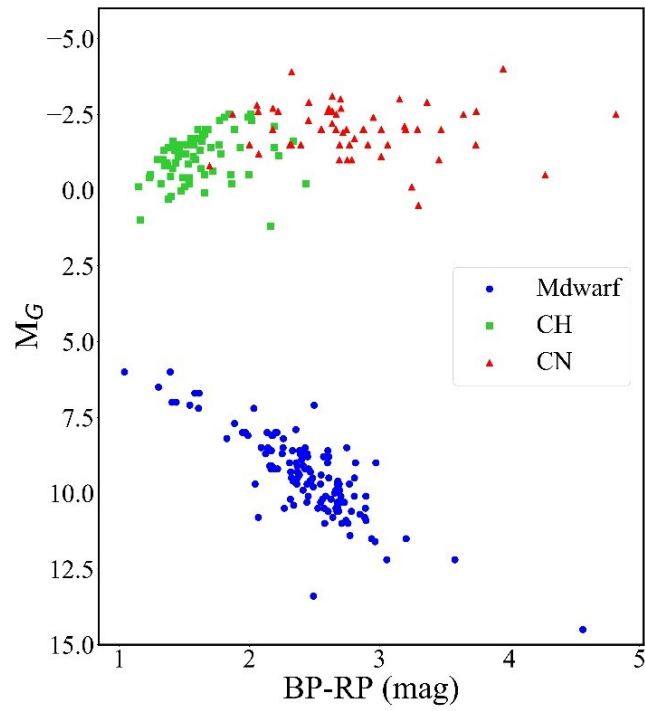
*Gaia* DR2 տվյալների շտեմարանում տրամագծերի և լուսատվությունների տվյալներ կան (Արեգակնային միավորներով) միայն 18 FBS C աստղերի համար: 18 օբյեկտի համար գնահատվել են բացարձակ աստղային մեծությունները  $V$  շերտում, ընդունելով  $M_{V\odot} = +4.81$  Արեգակի համար (տե՛ս Աղյուսակ 3, [97]): Աղյուսակ 4.1-ում բերված են այս օբյեկտների կարևոր պարամետրերը:

## 18 FBS C աստղերի կարևոր պարամետրեր

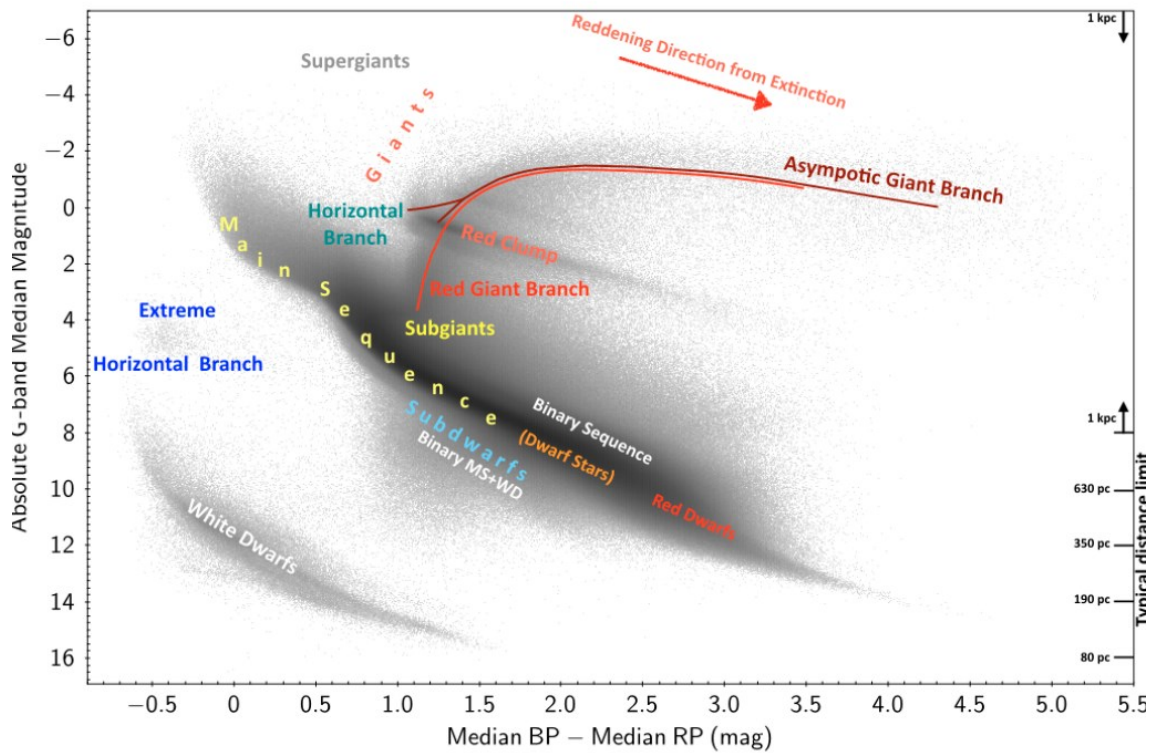
| FBS անուն | Սպեկտ.<br>դաս | G<br>(ա. մ.) | T <sub>eff</sub><br>(Կ) | BP-RP<br>(ա. մ.) | Լուսատվություն<br>(արեգ. մ. ) | M <sub>v</sub><br>(ա. մ. ) |
|-----------|---------------|--------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 0018+213  | CH            | 9.414        | 4837                    | 1.231            | 82.779                        | 0.0(±0.1)                  |
| 0034+341  | CH            | 11.955       | 4070                    | 1.864            | 405.752                       | -1.7(±0.3)                 |
| 0254+482  | CH            | 11.205       | 4198                    | 1.538            | 94.475                        | -0.1(±0.1)                 |
| 0259+444  | CH            | 12.717       | 3797                    | 1.355            | 206.141                       | -1.0(±0.2)                 |
| 0318+238  | CH            | 10.555       | 4552                    | 1.486            | 133.304                       | -0.5(±0.1)                 |
| 0323+387  | CH            | 11.730       | 4225                    | 1.766            | 368.050                       | -1.6(±0.3)                 |
| 0644+616  | CH            | 12.053       | 4436                    | 1.501            | 65.890                        | 0.2(±0.1)                  |
| 0831-011  | CH            | 11.534       | 4657                    | 1.399            | 51.670                        | 0.5(±0.1)                  |
| 1127+782  | CH            | 12.588       | 4646                    | 1.410            | 281.176                       | -2.6(±0.2)                 |
| 1140+038  | CH            | 11.732       | 4695                    | 1.375            | 63.529                        | 0.3(±0.1)                  |
| 1552-002  | CH            | 11.837       | 45289                   | 1.464            | 295.640                       | -1.3(±0.3)                 |
| 1727+652  | CH            | 12.071       | 4398                    | 1.644            | 576.431                       | -2.1(±0.3)                 |
| 1728+216  | CH            | 11.245       | 4170                    | 1.633            | 417.297                       | -1.8(±0.2)                 |
| 1825+272  | CH            | 12.796       | 4975                    | 1.237            | 109.471                       | 0.3(±0.2)                  |
| 1859+440  | CH            | 11.834       | 4846                    | 1.395            | 115.138                       | -0.4(±0.1)                 |
| 1918+869  | N             | 11.151       | 4028                    | 2.067            | 1802.333                      | -3.4(±0.2)                 |
| 2158+197  | CH            | 12.547       | 4796                    | 1.320            | 131.687                       | -0.5(±0.2)                 |
| 2239+249  | CH            | 10.795       | 4523                    | 1.433            | 226.120                       | -1.1(±0.1)                 |

18 FBS աստղերի ամենապայծառ օբյեկտը V շերտում FBS 1918 + 869 է, որը N դասի AGB ածխածնային աստղ է:

Նկար 4.1 -ում բերված են (BP-RP) - M<sub>G</sub> բացարձակ աստղային մեծություն Հերցշպրունգ-Ռեսել (HR) դիագրամը FBS C աստղերի, ինչպես նաև՝ 150 M FBS թզուկ աստղերի համար [98]՝ ցույց տալու կարմիր հսկաների և գլխավոր հաջորդականության տիրույթների փոխադարձ դասավորվածությունը: Նկար 4.2-ում համեմատության համար բերված է նաև HR դիագրամը՝ բոլոր *Gaia* դիտված օբյեկտների համար[99]:



Նկար 4.1 Հերցարունգ-Ռենել դիագրամը FBS C աստղերի և 150 M թզուկների համար:

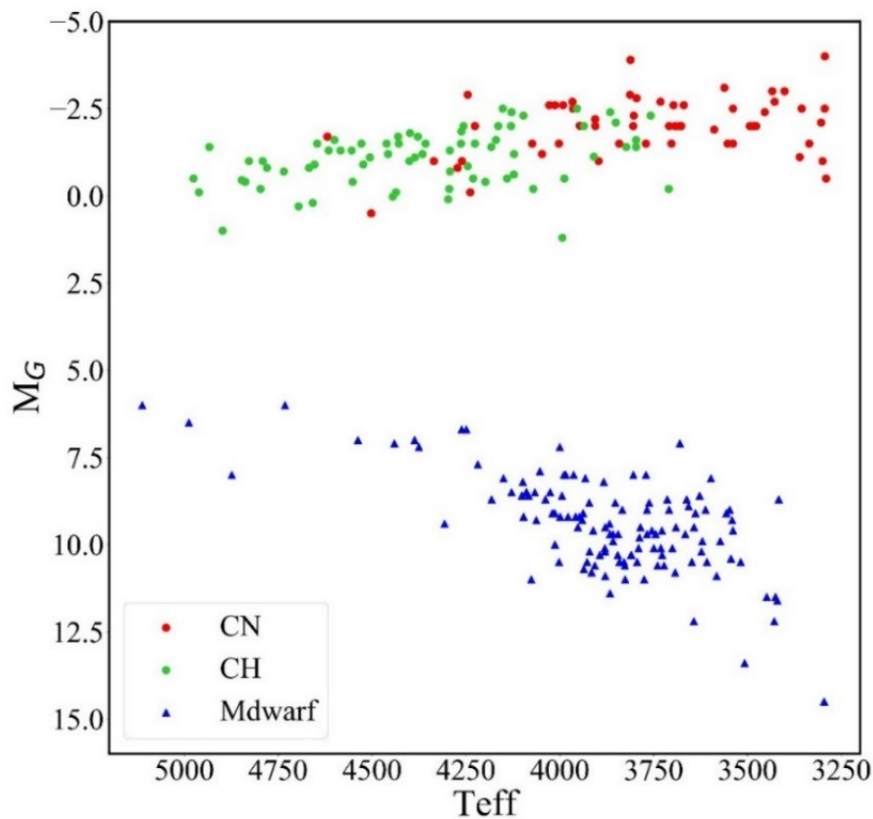


Նկար 4.2 Հերցարունգ-Ռենել դիագրամը Gaia օբյեկտների համար:

G շերտում բացարձակ աստղային մեծությունը գնահատվել է հայտնի արտահայտության միջոցով [97].

$$M_G = G - 5\text{Log}(r) + 5 - A_G \quad (4.1)$$

Նկար 4.3-ում բերված է նաև  $T_{\text{eff}} - M_G$  Հերցշպրունգ-Ռեսել դիագրամը FBS C աստղերի համար, ինչպես նաև մոտ FBS ուշ դասի 150 M թզուկների համար: Ինչպես երևում է, FBS C աստղերը զբաղեցնում են HR դիագրամի այն տիրույթը, որտեղ տեղակայված են կարմիր հսկաները և AGB աստղերը: Վաղ դասի աստղերը և ուշ դասի աստղերը լավ առանձնանում են դիագրամների վրա՝ հաստատելով սպեկտրասկոպիկ դասակարգման հուսալիությունը:

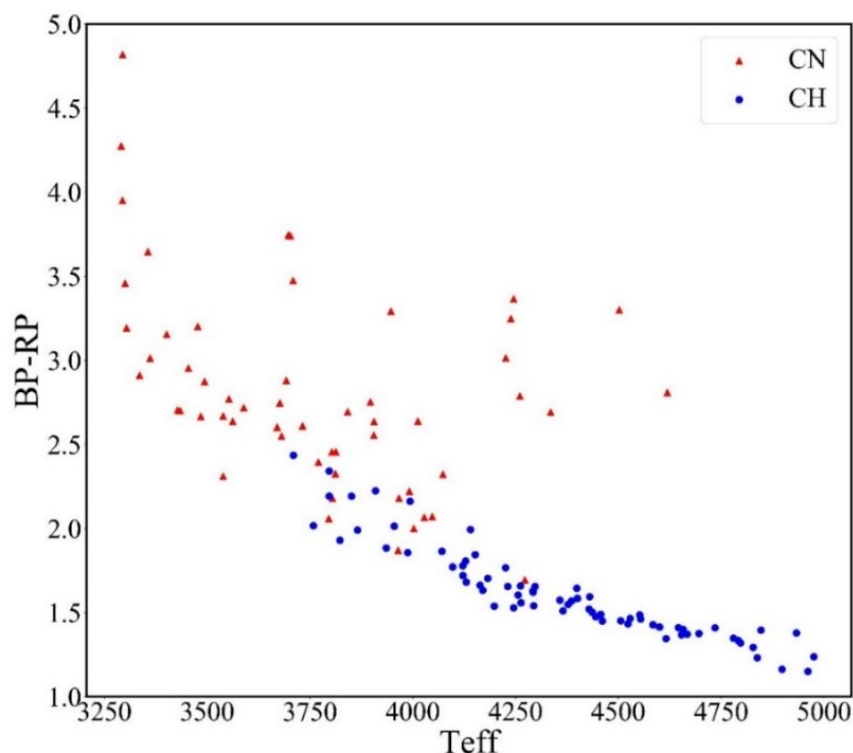


Նկար 4.3  $T_{\text{eff}} - M_G$  Հերցշպրունգ-Ռեսել դիագրամը FBS C աստղերի և FBS 150 M թզուկների համար:

N դասի AGB բոլոր աստղերը բաշխված են ամենապայծառ տիրույթում, որտեղ տեղակայված են երկար պարբերական փոփոխականները՝ միրիդները,

կիսականոնավոր փոփոխականները, դանդաղ անկանոն փոփոխականները և կարմիր հսկաները՝ փոքր փոփոխականության ամպլիտուդով [97,99]:

Նկար 4.4-ում բերված է *Gaia* DR2  $T_{\text{eff}}$  - գույն դիագրամը 127 FBS C աստղերի համար: 11 N դասի AGB աստղ հեռու են ընկած աստղերի բաշխման տիրույթից: Բոլորի համար  $2\text{MASS } J - K_s > 2^m.5$ : Այս աստղերի շուրջ, ամենայն հավանականությամբ, կան գազի փոշու հաստ թաղանթներ: N դասի 11 AGB աստղերից երեքը SED-երում ունեն կրկնակի գագաթ [54], ինչը նույնպես վկայում է դրանց շուրջ գազափոշային թաղանթի առկայության մասին: Նշենք նաև, որ արդյունարար ջերմաստիճանները, որը որոշվել է FBS CH դասի աստղերի համար՝ 2MASS լուսաչափական տվյալներից [53], շատ լավ համաձայնության մեջ են *Gaia* DR2 կատալոգում [99] այդ աստղերի համար տրված ջերմաստիճանների հետ:



Նկար 4.4 *Gaia* DR2 գույն -  $T_{\text{eff}}$  կախվածության դիագրամը 127 FBS C աստղերի համար:



Ուսումնասիրելով *Gaia* DR2 BP - RP --  $T_{\text{eff}}$  դիագրամը առաջին անգամ կարելի է ասել, որ այն կարող է ծառայել որպես հիանալի գործիք հաստ գազափոշային թաղանթներով N դասի աստղեր ընտրելու համար:

#### 4.2.1 ՏԵՍԱԳԾԱՅԻՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ:

127 FBS C աստղերից միայն 77 օբյեկտի համար կան տեսագծային արագությունների (RV) տվյալներ *Gaia* DR2 տվյալների շտեմարանում: Դրանց արժեքներն ընկած են  $-342.7 (\pm 1.93)$  կմ/վ  $< RV < +280.17 (\pm 3.82)$  կմ/վ միջակայքում: Աղյուսակ 4.2-ում բերված են 9 FBS ածխածնային աստղի տվյալներ, որոնց համար *Gaia* DR2  $|RV| > 200$  կմ/վ-ից: Աղյուսակում բերված են FBS անունը, օբյեկտի սպեկտրալ դասը, *Gaia* DR2 կատալոգի G մեծությունը, արդյունարար ջերմաստիճանը, BP-RP գույնը և տեսագծային արագությունների տվյալները, համապատասխանաբար:

Աղյուսակ 4.2

9 FBS C աստղի տվյալներ, որոնց համար *Gaia* DR2  $|RV| > 200$  կմ/վ-ից

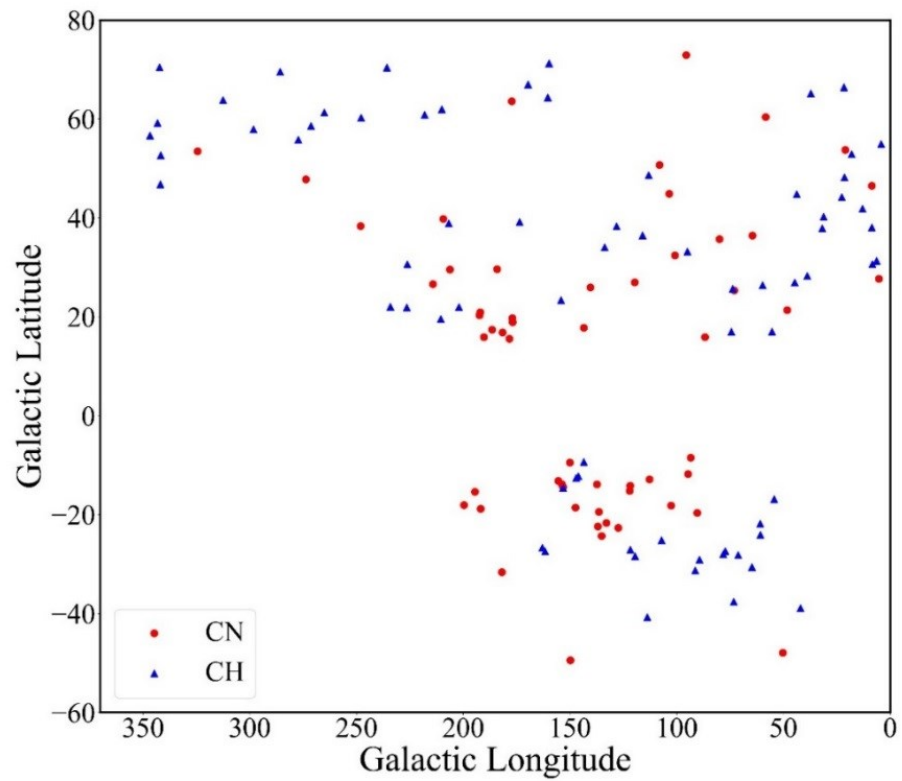
| FBS<br>անուն | Սպեկտր.<br>դաս | G<br>(ա. մ.) | $T_{\text{eff}}$<br>(Կլ) | BP-RP<br>(ա. մ.) | RV<br>(կմ/վ)           |
|--------------|----------------|--------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| 0900+034     | CH             | 11.96        | 4386                     | 1.569            | 321.87( $\pm 0.43$ )   |
| 1043+253     | CH             | 12.83        | 4297                     | 1.655            | 212.45( $\pm 4.92$ )   |
| 1145-000     | CH             | 13.04        | 4182                     | 1.703            | 237.91( $\pm 1.27$ )   |
| 1331+421     | N              | 12.58        | 3796                     | 2.058            | -224.95( $\pm 14.18$ ) |
| 1406+027     | CH             | 12.86        | 4792                     | 1.334            | 280.17( $\pm 3.82$ )   |
| 1416+640     | CH             | 12.64        | 3965                     | 1.870            | -342.70( $\pm 1.93$ )  |
| 1454+792     | N              | 13.24        | 4129                     | 1.806            | -217.90( $\pm 1.01$ )  |
| 1615-048     | N              | 12.53        | 3993                     | 2.161            | -202.34( $\pm 0.61$ )  |
| 1752+342     | CH             | 12.55        | 4256                     | 1.603            | -273.96( $\pm 0.71$ )  |

RV չափումները շատ կարևոր են գալակտիկական բարակ սկավառակին, հաստ սկավառակին և գալակտիկական հալոյին աստղի պատկանելիությունը որոշելու համար [100]:

Բոլոր հայտնաբերված FBS C աստղերի հեռավորության գնահատված արժեքները ներկայացված են [95] կատալոգում, որը հիմնված է *Gaia* DR2 պարալաքսների վրա: FBS ածխածնային աստղերի ուսումնասիրության առաջին հոդվածում [92] հեռավորությունները գնահատվել են N դասի AGB C աստղերի համար վերանայված պարբերություն - լուսատվություն (PL) առնչությունների հիման վրա: N դասի ածխածնային աստղերը պայծառ և սառը AGB աստղեր են և ունեն պարբերություն-լուսատվություն (PL) առնչություն: Պետք է նշել, որ *Gaia* DR2-ի և պարբերություն - լուսատվություն (PL) առնչությունների հիման վրա գնահատված հեռավորությունները այնքան էլ չեն համապատասխանում:

Աստղերի հեռավորությունները գտնվում են  $735.64 \text{ պա} < d < 14133.43 \text{ պա}$  միջակայքում: Գալակտիկական հարթությունից ամենափոքր բարձրությունը (Z) 480 պա է՝ FBS 0018 + 213- ի համար, իսկ ամենամեծ բարձրությունը 16.1 կպս՝ FBS 1811 + 462- ի համար՝

Նկար 4.5-ում բերված է տարածական բաշխումը բոլոր FBS C աստղերի համար: Գալակտիկական բարձր տիրույթում CH հսկաները բաշխված են ավելի բարձր գալակտիկական հարթություններում, քան N դասի C աստղերը: Միննույն ժամանակ, հարկ է նշել, որ FBS CH դասի երեք աստղերի համար [94] կատալոգը տալիս է Արեգակից ավելի քան 13 կպս հեռավորություն: Այդ աստղերն են՝ FBS 1629 + 156՝ 13.04 կպս, FBS 1811 + 462՝ 14.133 կպս և FBS 1454 + 792՝ 13.487 կպս: Ըստ [101] աշխատանքի FBS 1454 + 792 և FBS 1811 + 462 աստղերը կարող են լինել Sagittarius (Sgr) թզուկ գալակտիկայի առաջատար թևից: FBS 1811 + 462 աստղը RS CVn տիպի փոփոխական աստղ է: FBS 1629 + 156 օբյեկտն ըստ պայծառության կորի դասակարգվել է որպես RS CVn փոփոխական՝  $\Delta m \approx 0^m.4$  ամպլիտուդով: Ինչ վերաբերում է FBS 1454 + 792 օբյեկտին այն փոփոխականություն չի ցուցաբերում:



Նկար 4.5 Տարածական բաշխումը բոլոր FBS C աստղերի համար:

### 4.3 M դասի ՀՍԿԱ ԱՍՏՂԵՐ

FBS M դասի բոլոր 1100 հսկաները խաչաձև նույնացվել են *Gaia* EDR3 կատալոգի աղբյուրների հետ: Նույնացումը կատարվել է 5'' շառավղով, յուրաքանչյուր աստղի դիրքի շուրջ: Դրանք համեմատաբար պայծառ աստղեր են և G շերտում աստղային մեծություններն ընկած են  $7^m.5 < G < 18^m.0$  տիրույթում:

*Gaia* EDR3 տվյալների շտեմարանում առկա են միայն 158 M հսկաների շառավիղների և լուսատվությունների տվյալները: Աստղերի լուսատվությունները տատանվում են  $L = 28.039 L_{\odot}$  (FBS 0255 + 193, M1 աստղ) և  $L = 2024.777 L_{\odot}$  (FBS 1306 + 385, M6 SR- փոփոխական), արդյունաբար ջերմաստիճանը տատանվում է  $3200\text{K} < T_{\text{eff}} < 4300\text{K}$  միջակայքում:

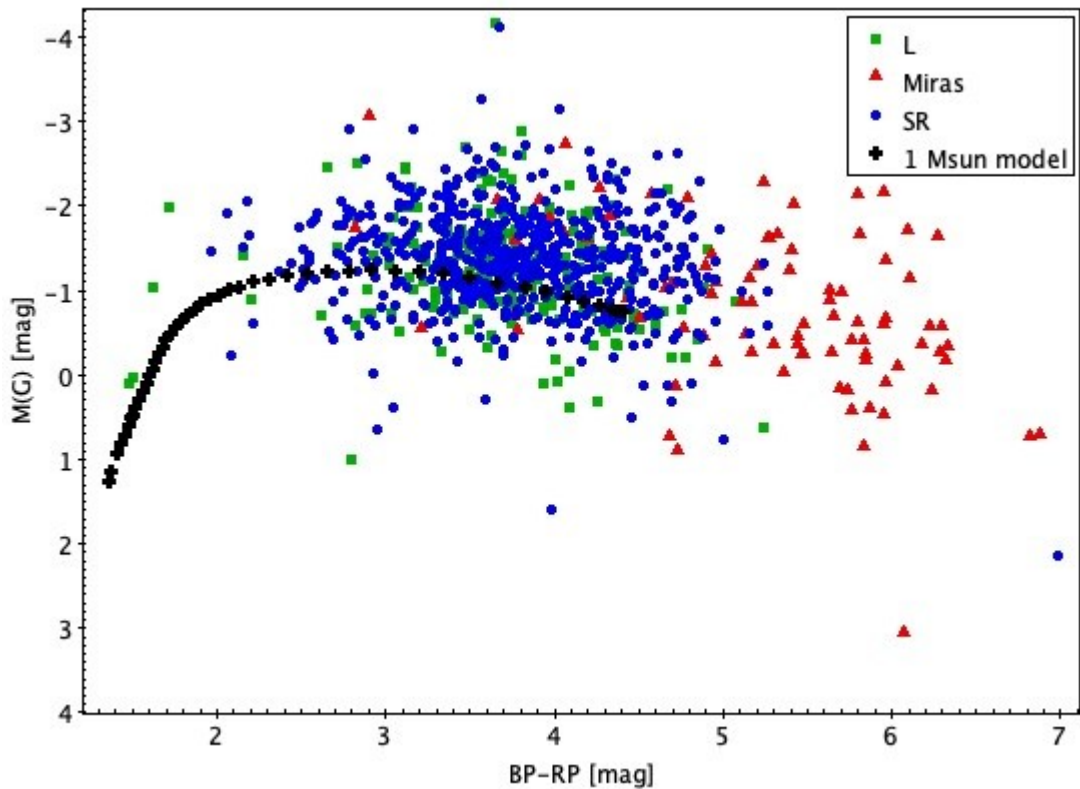
Աղյուսակ 4.2-ում բերված են *Gaia* EDR3 տվյալներ 10 աստղի համար:

Gaia EDR3 տվյալներ 10 M հսկա աստղի համար

| FBS<br>համար | Փոփ.<br>դաս | G<br>(ա. մ.) | BP – RP<br>գույն | Teff<br>(Կ) | Լուսատվ. | Gaia անուն               |
|--------------|-------------|--------------|------------------|-------------|----------|--------------------------|
| 0001+340     | L           | 10.38        | 3.42             | 3304        | 340.28   | Gaia 2875188963509383424 |
| 0212+858     | SR          | 11.82        | 2.43             | 3615        | 999.79   | Gaia 574623777611058048  |
| 0519+021     | SR          | 11.16        | 3.27             | 3306        | 139.47   | Gaia 3234312310366854400 |
| 1014+819     | SR          | 10.17        | 2.73             | 3529        | 1357.73  | Gaia 1134197925394050688 |
| 1201+850     | L           | 10.65        | 3.02             | 3297        | 1100.97  | Gaia 1726425399561869056 |
| 1306+385     | SR          | 10.07        | 3.27             | 3306        | 2024.77  | Gaia 1522756710355466368 |
| 1454-069     | SR          | 9.90         | 3.11             | 3302        | 388.26   | Gaia 6333410078067010944 |
| 1737+428     | SR          | 11.76        | 3.43             | 3670        | 319.70   | Gaia 1349118634345576320 |
| 1757+194     | Mira        | 8.07         | 2.90             | 3304        | 927.80   | Gaia 4551638222401929728 |
| 2147+023     | SR          | 9.05         | 4.13             | 3326        | 761..05  | Gaia 2694155503570803712 |

G շերտում բացարձակ աստղային մեծությունը գնահատելու համար օգտագործվել են *Gaia* EDR3 [94] կատալոգի հեռավորությունները: Այն գնահատվել է այնպես, ինչպես FBS ածխածնային աստղերի համար: Կառուցվել է գույն –  $M_c$  բացարձակ աստղային մեծությունն դիագրամը 1054 աստղերի համար: Միջաստղային կլանումն անտեսվել է: Դիագրամը բերված է նկար 4.6-ում:

Փոփոխականության դասերն արտահայտվել են տարբեր գույներով: Բոլոր աստղերի բացարձակ մեծությունները համապատասխանում են վերին կարմիր հսկա ճյուղի աստղերին: Տարվել են Մարիգոյի (Marigo) և իր գործընկերների կողմից PARSEC-COLIBRI սինթետիկ մոդելի  $1M_{\odot}$  զանգվածով աստղերի էվոլյուցիայի հետագծերը (evolutionary track) [102]՝ ներառյալ TP-AGB փուլը: Աստղային իզոքրոնները (Isochrones) նշվել են փոքր սև խաչերով: Ինչպես երևում է դիագրամից FBS M դասի հսկաների զանգվածները համարժեք են ցածր զանգվածով AGB աստղերի զանգվածներին:



Նկար 4.6  $G$  ու  $M_G$  դիագրամը  $M$  աստղերի համար և  $1 M_{\odot}$  արեգակնային զանգվածով աստղերի էվոլյուցիայի հետազոտությունը:

#### 4.3.1 ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱ:

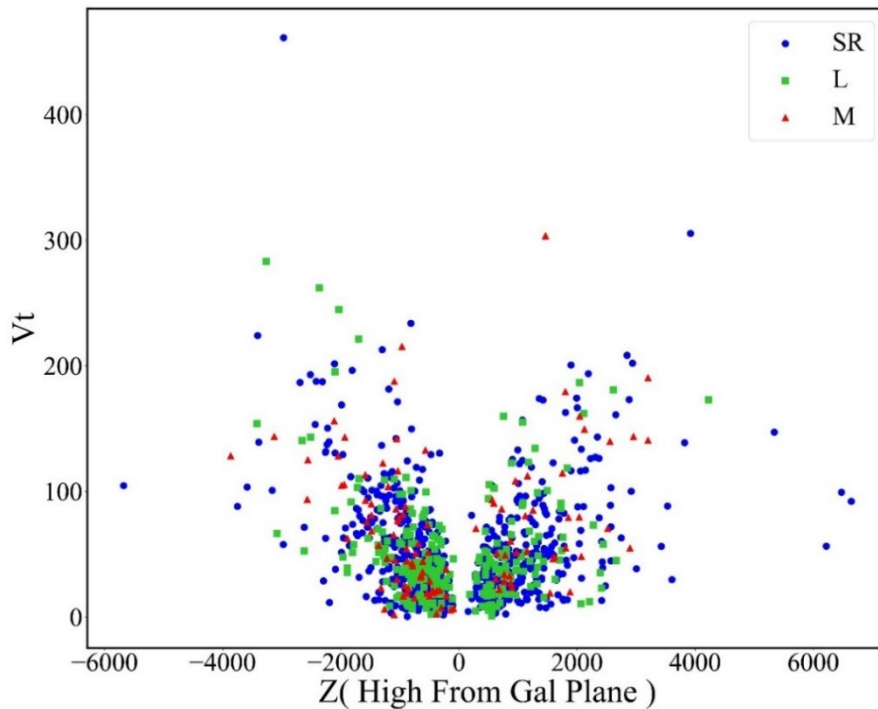
Տեսագծային արագության տվյալները հասանելի են  $M$  դասի 1096 օբյեկտներից 134-ի համար: Տանգենցիալ արագությունները լավ են Ծիր Կաթինի ներսում տարբեր աստղային բնակչություններ առանձնացնելու համար, մասնավորապես Գալակտիկական բարակ սկավառակի, հաստ սկավառակի և հալոյի բնակչությունները՝ իրենց տարբեր կինեմատիկայի պատճառով [103]:

*Gaia* EDR3 տվյալների շտեմարանից ունենալով FBS  $M$  հսկա աստղերի սեփական շարժումների և պարալաքսների տվյալները տանգենցիալ արագությունները որոշվել են հետևյալ բանաձևով.

$$V_t = 4.74 * \mu / \pi \quad (4.2)$$

$V_t$  արագության չափողականությունը կմ/վ է:

Նկար 4.7-ում բերված է տանգենցիալ արագության ( $V_t$ ) և գալակտիկական հարթությունից վերև / ներքևում բարձրության առնչության դիագրամը FBS M հսկաների համար:



Նկար 4.7 Տանգենցիալ արագության ( $V_t$ ) և գալակտիկական հարթությունից վերև / ներքևում բարձրության կախվածության դիագրամը FBS M հսկաների համար:

Միայն 9 օբյեկտի համար է  $V_t > 200$  կմ/վ: Ամենամեծ տանգենցիալ արագությամբ օբյեկտը FBS 2053-015 է՝  $V_t = 461.1$  կմ/վ, որն SR փոփոխական է և գտնվում է 2970 պս հեռավորության վրա Գալակտիկական հարթությունից:

[103] աշխատանքում HRD- ի և կինեմատիկայի հիման վրա ըստ *Gaia* DR2- ի տվյալների առանձնացվում են բարակ սկավառակը՝  $V_t < 40$  կմ/վ, հաստ սկավառակը՝  $60 \text{ կմ/վ} < V_t < 150 \text{ կմ/վ}$  և հալոն՝  $V_t > 200$  կմ/վ (տես՝ նկարներ 20-ը և 21-ը [103]): Ընդունելով այս չափանիշները FBS M հսկաների գերակշռող մասը պատկանում է Ծիր Կաթնի բարակ և հաստ սկավառակների բնակչություններին: FBS 1803 + 224, որի արագությունը  $V_t = 303.5$  կմ/վ է, առավել ուշադրության է արժանի 9 օբյեկտների մեջ,

որը միրիդ է և ունի հետևյալ արժեքները՝  $\Delta V = 4^m.1$  և  $P = 328.16$  օր: Գալակտիկական հարթությունից դրա բարձրությունը գնահատվում է  $Z = 1465$  պս:

#### 4.3.2 2MASS ԵՎ GAIA ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ: $W_{RP} - W_{K, J-K}$ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ:

Միացնելով մոտ ինֆրակարմիր (NIR) և *Gaia* լուսաչափությունները՝ Լեբզելթերը և իր գործընկերները [104] կառուցեցին նոր դիագրամ՝ որպես կարմիր հսկաների վերլուծության գործիք: Դրա համար նրանք համատեղեցին Վեսենհայտի ֆունկցիաները (Wesenheit functions) NIR-ում և *Gaia* տիրույթում: 2MASS J և Ks NIR Վեսենհայտի ֆունկցիան սահմանվում է հետևյալ բանաձևով [105].

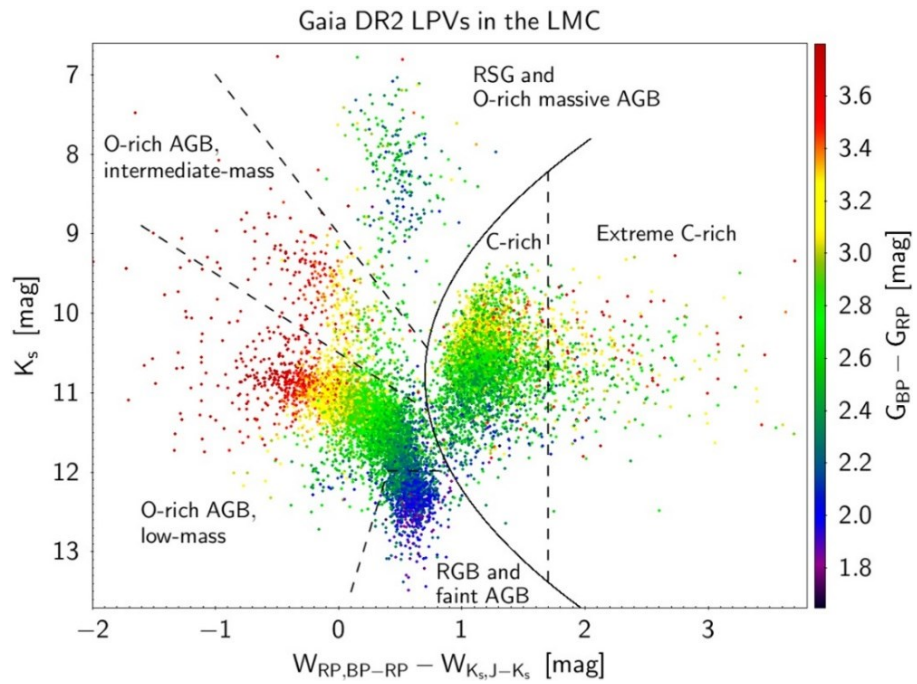
$$W_{K,J-K_s} = K_s - 0.686(J - K_s) \quad (4.3)$$

իսկ *Gaia* BP և RP մեծությունների համար Վեսենհայտի ֆունկցիան [101] սահմանվում է հետևյալ բանաձևով.

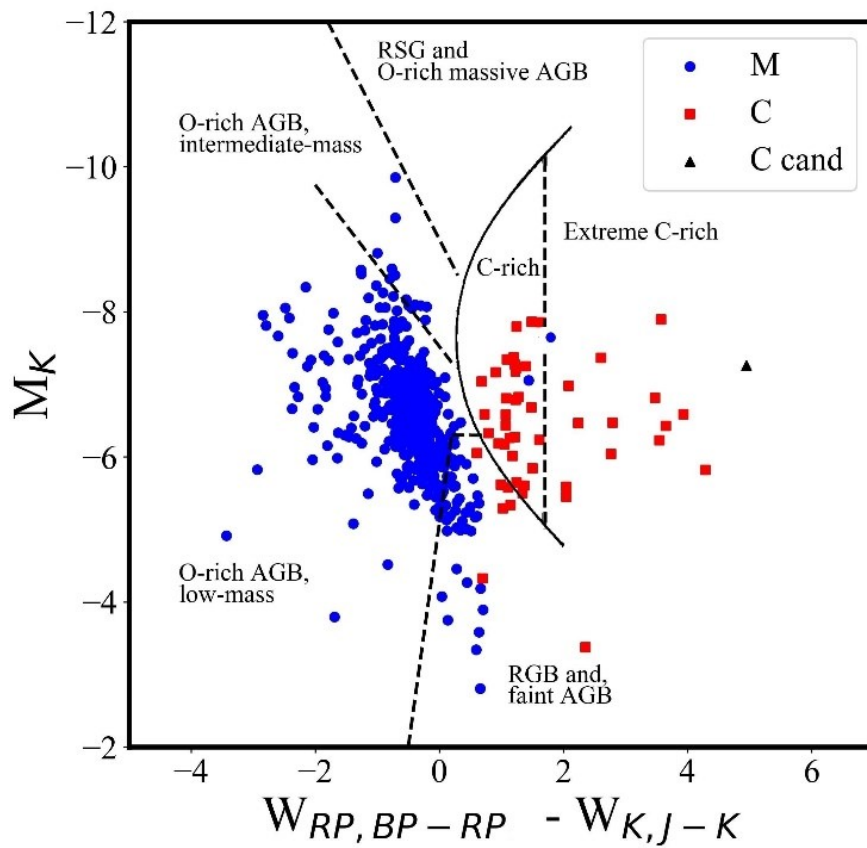
$$W_{RP,BP-RP} = G_{RP} - 1.3(G_{BP} - G_{RP}) \quad (4.4)$$

Լեբզելթերը կառուցեց այս դիագրամը Մեծ Մագելանյան ամպի (Large Magellanic Clouds(LMC)) երկար պարբերական փոփոխականների համար (LPV) և ցույց տվեց, որ այն թույլ է տալիս նույնացնել AGB աստղերի ենթախմբերը՝ ըստ դրանց զանգվածի և քիմիական բաղադրության: Դրանցում հստակ առանձնացվեց կարմիր հսկաների վեց խումբ իրենց սահմաններով:

Աստղային բնակչության սինթետիկ մոդելների վրա հիմնելով՝ TRILEGAL code [102,106] նա ցույց տվեց, որ այդ խմբերը համապատասխանում են թթվածնով հարուստ ցածր, միջին և մեծ զանգվածներով AGB աստղերին, ինչպես նաև՝ կարմիր գերհսկաներին (Red Supergiants (RSG)) և ածխախնով շատ հարուստ C AGB աստղերին, որոնցից յուրաքանչյուր խմբում աստղային զանգվածի տիրույթը կախված է աստղային մետաղականությունից: Նկար 4.8-ում բերված է [104] աշխատանքի նկար 1-ը: Լեբզելթերը և իր գործընկերները աստղերի բացարձակ աստղերի մեծությունները գնահատել են ըստ LMC-ի հեռավորության մոդուլի՝  $18^m.45$ [107]:



Նկար 4.8 Gaia-2MASS դիագրամը Վեսենհայրի ֆունկցիաների կիրառմամբ LMC երկար պարբերական փոփոխականների համար



Նկար 4.9 Gaia-2MASS դիագրամը Վեսենհայրի ֆունկցիաների կիրառմամբ FBS կարմիր հսկաների համար:



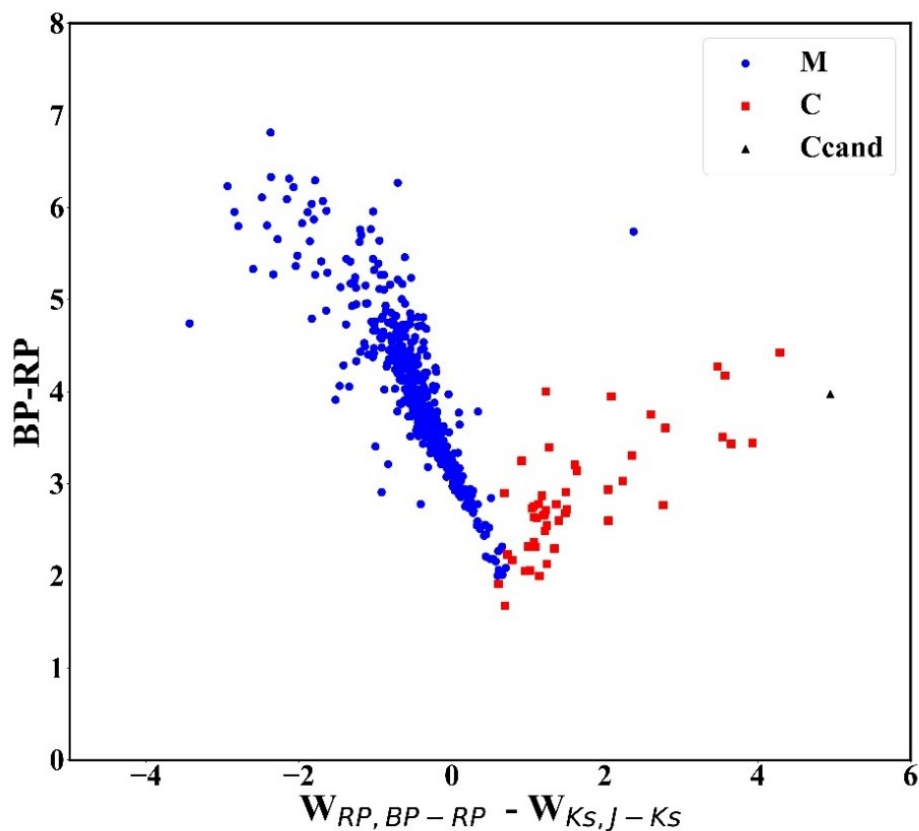
Նկար 4.9-ում բերված է այդ դիագրամի կիրառումը FBS M և C հսկաների համար: Նկար 4.9-ը հաստատում է, որ *Gaia* - 2MASS դիագրամը կարող է տարբերակել M և C աստղերը, չնայած կան մի քանի օբյեկտներ, որոնք, ըստ FBS ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրների, ցույց են տալիս այնպիսի սպեկտրալ դաս, որը տարբերվում է դիագրամում զբաղեցրած խմբի սպեկտրալ դասից:

Գրոենվեգենի (Groenewegen) աշխատանքում [108] նույնպես հայտնաբերվել են մեծ զանգվածի կորուստով մի քանի M աստղ ածխածնով շատ հարուստ C աստղերի խմբում, ինչը ևս հաստատում է նկար 4.9-ում ստացված արդյունքը: Զանգվածի կորուստը բերում է գազափոշային թաղանթի առաջացմանը, այնպես որ M և C աստղերը չեն կարող տարբերվել: Ցածր լուսատվության մի քանի C աստղեր կարելի է գտնել սահմանված խմբի սահմաններից դուրս: Նման դեպքերը կարելի է տեսնել նաև սինթետիկ տվյալների մեջ՝ օգտագործելով աստղային բնակչության մոդելը՝ տես [104] աշխատանքի նկ. 5:

Սա ենթադրում է, որ LMC տվյալների հիման վրա սահմանված սահմանները, որոնք դիագրամի այս մասում աստղեր չունեն, կարող են որոշակի ճշգրտման կարիք ունենալ, մասնավորապես ցածր լուսատվության ռեժիմում: FBS հսկաների մեծ մասը դիագրամում զբաղեցնում է ցածր զանգվածով և թթվածնով հարուստ AGB աստղերի տիրույթը: Այսպիսով, հավանական է, որ FBS ուշ դասի աստղերը հիմնականում ունեն  $M < 2M_{\odot}$  զանգված: Բացի այդ, դիագրամի շնորհիվ կարելի է հայտնաբերել է AGB միջին զանգվածով աստղերի մի քանի թեկնածուների: FBS M հսկաների մեջ չկան գերհսկա (Red Supergiant(RSG)) աստղեր և մեծ զանգվածով AGB աստղեր: Ինչպես նշվեց վերևում, դիագրամի աջ մասում հայտնաբերվել են երկու M հսկա, որտեղ ընկած է C աստղերի տիրույթը՝  $W_{RP} - W_{Ks} > 0^m.8$ : Այդ աստղերն են FBS 0825 + 626, որն SR փոփոխական է,  $J - K = 2.14$ ,  $M(G) = -1^m.0$ , և FBS 2142-089, այն SR փոփոխական է, սպեկտրային դասը M6,  $J - Ks = 1.21$ ,  $M(G) = -1^m.8$ : FBS 2216 + 434 օբյեկտի համար սպեկտրային դասը որոշակի չէ, այն SR փոփոխական է,  $P = 411.59$  օր,  $\Delta V = 1^m.08$ , և, քանի, որ ընկած է դիագրամի C աստղերի տիրույթում, այն կարելի է համարել C աստղի թեկնածու: Նկար 4.9-ում այն նշված է սև եռանկյունով: Երկու C աստղ ցույց են տալիս շատ մեծ գույնի ցուցիչներ՝  $W_{RP} - W_K > 7^m.0$ : Դրանցից մեկը FBS 2213 + 421 = V381 Lac աստղն է, որը R CrB- ի դասի

հայտնի աստղն է [80], որը նույնպես կարևոր է *Gaia*- 2MASS դիագրամում R CrB աստղերի խմբի հնարավոր տեղակայումը որոշելու համար: Մյուսը FBS 0658 + 400 = IRAS 06583 + 4004 աստղն է, այն կիսականոնավոր փոփոխական է  $\Delta 1^m.54$  ամպլիտուդով: Այս աստղի բնույթի վերաբերյալ այլ տեղեկություններ հասանելի չեն, բայց դիագրամում դրա գտնվելու տեղը վկայում է զանգվածի մեծ կորստի մասին: Նկար 4.9-ի ձախ կողմում՝ M աստղերի տիրույթում գտնվող երկու M հսկա լավ բաժանված են աստղերի մեծ մասից: Դրանք են FBS 0122 + 461 SR փոփոխական աստղը՝  $\Delta V=1^m.69$  և  $P=299.2$  օր, և FBS 0308 + 414 = GG Per, M8-M9 ենթադասի, միրիդ,  $\Delta 4^m.92$  ամպլիտուդով և  $P=279$  օր,  $M(G) = -2.5^m$  և  $V_t = 86.5$  կմ/վ: Դիագրամում դրանց զբաղեցրած տիրույթի պատճառը հայտնի չէ:

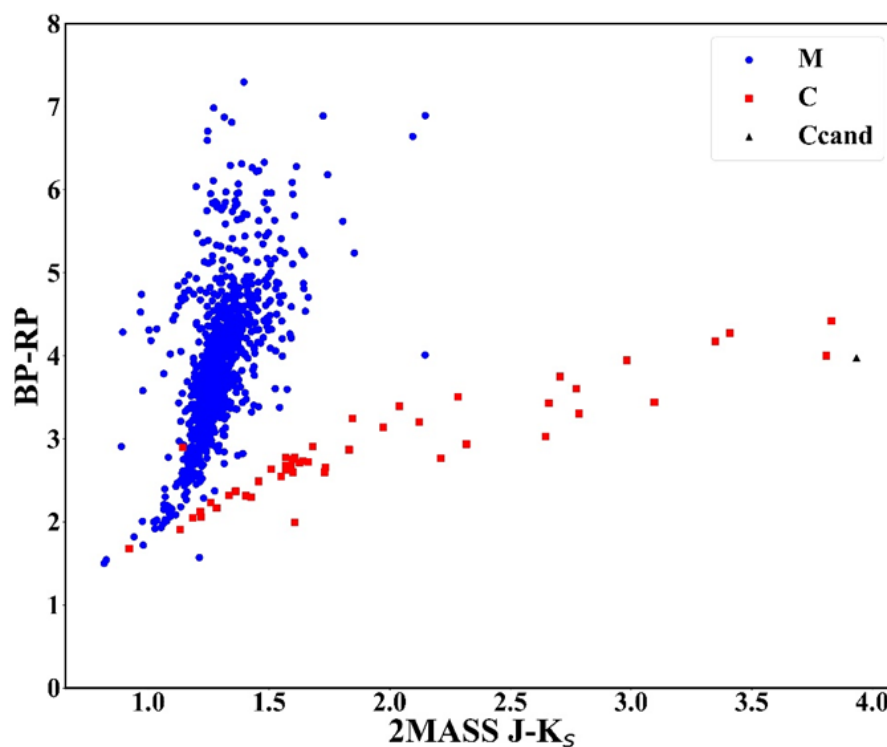
Նկար 4.10-ում բերված է դիագրամի մոդիֆիկացված տարբերակը: Այս դիագրամը բերվում է առաջին անգամ: Y առանցքի վրա բացարձակ աստղային մեծության փոխարեն վերցված է  $G_{BP} - G_{RP}$ :



Նկար 4.10 *Gaia*-2MASS մոդիֆիկացված դիագրամը:

Նկար 4.10-ը, կարծես, թույլ է տալիս նույնիսկ ավելի լավ տարբերակել ածխածնային և թթվածնային աստղերը, քան նկար 4.9-ը: Այս դեպքում  $G_{BP} - G_{RP}$ -ն հայտնվում է երկու առանցքների վրա, քանի որ այն  $W_{RP, BP-RP}$ -ի մաս է:

Լեբզելթերը նշում է, որ *Gaia*-2MASS դիագրամում ամենակապույտ օբյեկտները տեղակայված են դիագրամի մեջտեղում,  $W_{RP} - W_K = 0^m.8$  և օբյեկտները կարմիր են դառնում դիագրամի երկու կողմերով, ձախից հիմնականում  $G_{BP} - G_{RP}$  գույնի ցուցիչով և աջից J - K- ով: Քանի որ M և C աստղերը զգայուն են այդ երկու գույներից որևէ մեկի նկատմամբ, Վեսենհայտի երկու ֆունկցիաների ինդեքսը թույլ է տալիս վերը նշված տարբերակումը: Այս էֆեկտն է՛լ ավելի տեսանելի է դառնում նկար 4.10-ի նման դիագրամում: Սակայն աստղերն ըստ իրենց զանգվածի բաժանելու հնարավորությունը կորում է: Այս իմաստով նկարներ 4.9-ը և 4.10-ը կարող են դառնալ իրար լրացնող համադրություն AGB աստղերն ուսումնասիրելու համար: Այնուամենայնիվ, երկու դեպքում էլ խուսափել մի քանի աստղի սխալ դասակարգումից հնարավոր չի լինի:



Նկար 4.11 *Gaia*-2MASS դիագրամը առանց Վեսենհայտի ֆունկցիաների կիրառման:

Նկար 4.11-ում բերված է *Gaia*-2MASS երկգույն դիագրամը առանց Վեսենհայտի ֆունկցիաների կիրառման:

Նկար 4.10-ը թույլ է տալիս տարբերակել աստղերը, X առանցքի ինդեքսի կարմրացումից ազատ է, այնպես որ միջաստղային ցանկացած կարմրացում ազդում է միայն Y առանցքի վրա, մինչդեռ դա նկար 4.11 - ում չկա: Դիագրամում երկու ճյուղերի նեղությունը կարելի է դիտարկել որպես այդ աստղերի ցածր կարմրացման ցուցիչ, քանի որ FBS օբյեկտները գտնվում են գալակտիկական սկավառակից դուրս, բայց դա, ամենայն հավանականությամբ, կազդի աստղային այն բնակչության վերլուծության վրա, որն ունի միջաստղային կարմրացման ավելի բարձր մակարդակ:

#### 4.4 ՉՈՐՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ:

Ամփոփելով վերը նշված արդյունքները՝ կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները.

1. Կառուցվել են գույն - բացարձակ աստղային մեծություն և  $T_{\text{eff}}$  - բացարձակ աստղային մեծություն Հերցշպրունգ-Ռեսել դիագրամները՝ հիմնված հեռավորության տվյալների վրա: FBS C աստղերը հսկա և AGB աստղեր են գալակտիկական հալոյում: Դրանք գտնվում են գալակտիկական հարթությունից 8 կպս հեռավորության վրա:
2. Գնահատվել են *Gaia* DR2 լայնաշերտ G բացարձակ աստղային մեծությունները, դրանք ընկած են  $+1^m.0 \leq M(G) \leq -4^m.0$  միջակայքում: 18 FBS C աստղերի համար գնահատվել են V շերտի բացարձակ մեծությունները: Այդ աստղերը, որից 17-ը CH հսկաներ են, ունեն լուսատվություն DR2 տվյալների շտեմարանում: Դրանք գտնվում են  $-3^m.45 (\pm 0.2) \leq M_V < +0^m.5 (\pm 0.1)$  միջակայքում: FBS 1918 + 869 բացարձակ աստղային մեծությունը  $M_V = -3^m.4 (\pm 0.2)$  է, ինչը բնորոշ է N դասի AGB C աստղերին:
3. Կառուցվել է տանգենցիալ արագության ( $V_t$ ) և գալակտիկական հարթությունից վերև / ներքևում բարձրության առնչության դիագրամը FBS M հսկաների համար: FBS M հսկաների գերակշռող մասը պատկանում է Ծիր Կաթնի բարակ և հաստ սկավառակների բնակչություններին: 11 օբյեկտների ունեն 200կմ/վ-ից մեծ արժեքներ և դրանք գալակտիկական հալոյի օբյեկտներ են:
4. Այս աշխատանքի ամենակարևոր արդյունքներից մեկն այն է, որ *Gaia* DR2 BP - RP --  $T_{\text{eff}}$  դիագրամը կարող է ծառայել որպես հիանալի գործիք հաստ գազափոշային թաղանթներով N դասի աստղեր ընտրելու համար:
5. Կառուցվել են *Gaia*-2MASS դիագրամները, որոնք ցույց են տալիս, FBS հսկաների մեծ մասը դիագրամում զբաղեցնում է ցածր զանգվածով և թթվածնով հարուստ AGB աստղերի տիրույթը: FBS ուշ դասի աստղերի մեծ մասը ունեն  $M < 2M_{\odot}$  զանգված: Կարելի է հայտնաբերել AGB միջին զանգվածով աստղերի մի քանի թեկնածուների: FBS M հսկաների մեջ չկան RSG աստղեր և մեծ զանգվածով AGB աստղեր: Սպեկտրասկոպիկորեն հաստատված թթվածնով և ածխածնով

հարուստ FBS հսկաները *Gaia* - 2MASS դիագրամում բաժանվում են ըստ իրենց քիմիական բաղադրության, ինչպես LMC-ի երկար պարբերականներն են բաժանվում Լեբզելթերի աշխատանքի համապատասխան դիագրամում՝ ապահովելով դրա հուսալիության մեկ այլ հաստատում:

6. Օ հարուստ և C հարուստ աստղերի տարբերությունն էլ ավելի տեսանելի է դառնում, առաջին անգամ հայտնաբերված,  $W_{RP, BP - RP} - W_{K, J - Ks}$  — *Gaia* BP-RP գույն-գույն դիագրամի օգտագործման ժամանակ: Սա հնարավորություն է տալիս օգտագործել Վեսենհայտի ինդեքսների տարբերությունը՝  $W_{RP, BP - RP} - W_{Ks, J - Ks}$ , անհայտ հեռավորությամբ աստղերը դասակարգել ըստ քիմիական բաղադրության՝ սակայն կորցնելով *Gaia* - 2MASS դիագրամի աստղերն ըստ զանգվածի առանձնացնելու հնարավորությունը:

## 5 ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՅԱՆ ԱՌԱՋԻՆ ՇՐՋԱՀԱՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՇ ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

### 5.1 ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ:

Փոփոխական աստղերի ուսումնասիրությունը ժամանակակից աստղագիտական հետազոտությունների ամենատարածված և դինամիկ ուղղություններից է: Փոփոխականությունը աստղերի մեծ մասի հատկություններից է, և դրա ուսումնասիրությունը մեծապես նպաստում է դրանց մասին մեր ընկալմանը:

Փոփոխականության ուսումնասիրությունը թույլ է տալիս նաև ուղղակիորեն դիտարկել աստղերի փոփոխությունները. արագ, և՛ երբեմն կտրուկ փոփոխությունները, որոնք կապված են հատկապես աստղի ծննդի և մահվան հետ, և նաև դանդաղ փոփոխություններ՝ կապված աստղերի բնականոն էվոլյուցիայի հետ: Փոփոխական աստղերի հայտնաբերման, ուսումնասիրման տեխնիկայի և փոփոխական աստղերի հիմնական դասերի մանրամասն նկարագրությունը ներկայացված է Զոն Պերսիի գրքում [109]: Փոփոխական աստղերի ճիշտ դասերի որոշումը կարող է շատ կարևոր լինել աստղային բնակչության ուսումնասիրությունների համար:

M, C և S դասի պարբերական փոփոխական (Periodic Variable(PV)) աստղերը ներառում են տարբեր բացարձակ աստղային մեծությամբ օբյեկտների տարբեր դասեր՝ RR Lyra, Ցեֆեիդներ, միրիդներ, SR փոփոխականներ և այլն: Երկար պարբերական փոփոխական աստղերը, որոնք Հերցշպրունգ-Ռեյսելի դիագրամի վրա գտնվում են հսկաների ասիմպտոտիկ ճյուղի վրա, շնորհիվ մեծ բացարձակ աստղային մեծության հանդիսանում են հեռավորության լավ չափորոշիչներ և օգտագործվում են Գալակտիկայի կառուցվածքի՝ աստղային համակարգերի ուսումնասիրման համար [110-112]:

Սառը, պայծառ N դասի AGB փոփոխական ածխածնային (C) աստղերը ուսումնասիրման համար նույնպես կարևոր օբյեկտներ են հանդիսանում: Դրանց մի

մասը ունի պարբերություն-լուսատվության առնչություն և օգտագործվում են նաև գալակտիկաների կարևոր հատկությունների ուսումնասիրության համար [32]:

Փոփոխական օպտիկական երկինքը բարձր գալակտիկական լայնություններում մնում է հիմնականում քիչ ուսումնասիրված, հատկապես  $V > 15^m$  մեծությունների տիրույթում: Բազմաթիվ հարցեր դեռևս մնում են անպատասխան՝ ինչքան տարբեր տեսակի փոփոխականներ կան, ինչպես են դրանք բաշխված ըստ աստղային մեծության և գույնի, որոնք են բնութագրիչ ժամանակային մասշտաբները և փոփոխականության հիմնական մեխանիզմները: Այս հարցերին պատասխանելու համար կատարվել են մի շարք ժամանակակից շրջահայություններ որոնք ուղղված են օպտիկական երկնքի համակարգված ուսումնասիրությանը:

## 5.2 ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԵՎ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸ ԸՍՏ ՊԱՅԾԱՌՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐԻ

Աստղերի փոփոխականության բնույթը ուսումնասիրելու համար օգտագործվել են հետևյալ շրջահայությունների տվյալներ.

**Հյուսիսային երկնքի փոփոխականության շրջահայություն** - NSVS-Northern Sky Variability Survey [113]: NSVS նախագծը հիմնված է ROTSE 1 - Robotic Optical Transient Search Experiment դիտողական ծրագրի վրա [114], որը եզակի հնարավորություն է կատարելու փոփոխական աստղերի համար երկնային համաչափ շրջահայություն: Դիտումները կատարվել են Լոս-Ալամոսի ազգային լաբորատորիայում՝ Նյու-Մեքսիկա, ԱՄՆ: NSVS նախագիծը իրականացվել է 1998 թվականի ապրիլի 1-ից մինչև 2000թ. մարտի 30-ը: Այդ շրջահայության ժամանակ ստացվել են մոտ 14 մլն օբյեկտների լուսատվության կորերը: Ուսումնասիրվող օբյեկտների աստղային մեծությունները  $V$  գույնում տատանվում են  $8^m$ -ից մինչև  $15^m.5$ : Չափումների ճշտությունը  $0^m.02$  մեծություն է, իսկ դիրքային որոշման ճշտությունը  $2''$ : Դիտումները կատարվել են առանց լուսազտիչի, լայն լուսաչափական շերտում՝  $4500\text{\AA}$ -ից մինչև  $10000\text{\AA}$ : 14 մլն դիտված աստղերի պայծառության կորերը կարելի է գտնել՝ <http://skydot.lanl.gov/nsvs.php> համացանցային կայքում:



**Կատալինյան շրջահայությունը** (CSS - Catalina Sky Survey) - դա երեք միացյալ աստղագիտական շրջահայություններից մեկն է հանդիսանում, որի մեջ մտնում են նաև SSS (Siding Springs Survey) և MLS (Mount Lemmon Survey) շրջահայությունները: Այս միավորված շրջահայության հիմնական նպատակն է եղել որոնել արագ շարժվող մերձակա երկրային օբյեկտներ (NEO): Շրջահայությունը իրականացվել է Արիզոնայի նահանգի համալսարանի աստղադիտարանում: Կատալինյան շրջահայության տվյալները ստացվել են երեք աստղադիտակներից՝ Կատալինայի Շմիդտ աստղադիտակ, Ստևարդ աստղադիտարան 60" Կասեգրենի ռեֆլեկտոր, Սայթինգ-Սայրինգ աստղադիտարանի 0.5մ Շմիդտի տիպի աստղադիտակ: Կատալինյան շրջահայությունը իրականացվել է 2004 թվականին՝ երկնքի վրա ծածկելով մոտ 33000 քառ. աստիճան տիրույթ՝  $-75^\circ < \delta < 70^\circ$ : Տվյալների շտեմարանը պարունակում է 500 միլիոն օբյեկտների համար լուսաչափական տվյալներ, աստղային մեծությունները V գույնում տատանվում են  $11^m.5$ -ից մինչև  $21^m.5$ : Կատալինյան շրջահայության շնորհիվ, 5.4մլն փոփոխականների ուսումնասիրության արդյունքում, հայտնաբերվել են մոտ 47000 պարբերական [115]: PV- ներ ընտրելու համար օգտագործվում է Lomb - Scargle պարբերագրության վերլուծություն բոլոր փոփոխական թեկնածուների վրա՝  $\beta$  Scuti, RR Lիրա, ցեֆեիդներ, RS CVn դասի փոփոխականներ, W UMa խավարուն փոխազդող կրկնակիներ և այլն:

**All Sky Automated Survey (ASAS)** շրջահայությունը [116] իրականացվել է Զիլիի Լաս-Կամպանաս աստղադիտարանում 2000 թվականի, որը ծածկել է ամբողջ Հարավային երկնքի և հյուսիսային երկնքի որոշ մասը ( $\delta < +28^\circ$ ): Դիտումները կատարվել են Զոնսոն լուսաչափական սիստեմի V տիրույթում: Դիտվել են  $V \leq 17^m$  մեծության մի քանի միլիոն աստղեր: Դիտման անկյունային լուծողունակությունը այս ծրագրում, ինչպես NSVS-ում ցածր է՝  $15''.5$  պիկսելի վրա: ASAS ցուցակը պարունակում է մոտ 50 հազար փոփոխական աստղերի տվյալներ, որոնց 80%-ը նոր հայտնաբերված փոփոխականներ են:

**LINEAR** (Lincoln Near-Earth Asteroid Research) շրջահայությունը ԱՄՆ օդային ուժերի, NASA-ի և Լինկոլն լաբորատորիայի նախագիծն է, որի հիմնական նպատակն է եղել հայտնաբերել և հետևել Երկրին մոտ գտնվող 1կմ տրամագծից ավելի

աստերոիդները: LINEAR ծրագիրը իրականացվել է երկու դիտակներով, որոնք հագեցվել են CCD կամերաներով: LINEAR-ը 1998 թ.-ից մինչև 2013 թ-ը դիտել է հյուսիսային երկնքի ավելի քան 10000 քառ. աստիճան տիրույթ: Այս շրջահայությունը այնքան խորը չէ, որքան Կատալինան, հասնելով մինչև  $<18^m$ : Երկարաժամկետ դիտումները հնարավորություն են տվել ուսումնասիրել թույլ փոփոխական օբյեկտներ: LINEAR շրջահայության շնորհիվ հայտնաբերվել են 7194 երկար պարբերականներ [117]:

### 5.2.1 ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐ

54 N դասի C աստղի փոփոխականության բնույթը ուսումնասիրելու համար վերլուծվել են CSS և NSVS պայծառության կորերը: NSVS տվյալների բազայում բացակայում են միայն երկու աստղի պայծառության կորերը՝ FBS 0158 + 095 և FBS 1502 + 359 աստղերի: 54 աստղից 27 աստղ դասակարգվել են NSVS շտեմարանում [113]: FBS N դասի 13 աստղի համար դեռևս չկան CSS տվյալներ, վեց օբյեկտների կոորդինատները դուրս են CSS- ի շրջահայության տիրույթից:

Հիմնական պարամետրերի գնահատման համար, որպես հիմք, օգտագործվել են CSS շրջահայության պայծառության կորերը, քանի որ այն ավելի խորը և երկարաժամկետ մոնիտորինգ է, քան NSVS-ը: NSVS- ի մեկ տարվա դիտման ժամանակաշրջանը դժվարացնում է ճշգրիտ գնահատել ամպլիտուդները և պարբերությունները: Որոշ դեպքերում, երբ CSS- ում բացակայում են պայծառության կորերը, վերլուծվել են NSVS պայծառության կորը: Պայծառության կորի վերլուծությունն ու փոփոխականության դասակարգումն կատարվել է VStar ծրագրի օգնությամբ, որը հասանելի է <http://www.aavso.org/> կայքում: VStar- ը իրականացնում է DCDFt (Date Compensated Discrete Fourier Transform) ալգորիթմը [118]՝ հիմնական բաբախման պարբերությունը ստանալու համար:

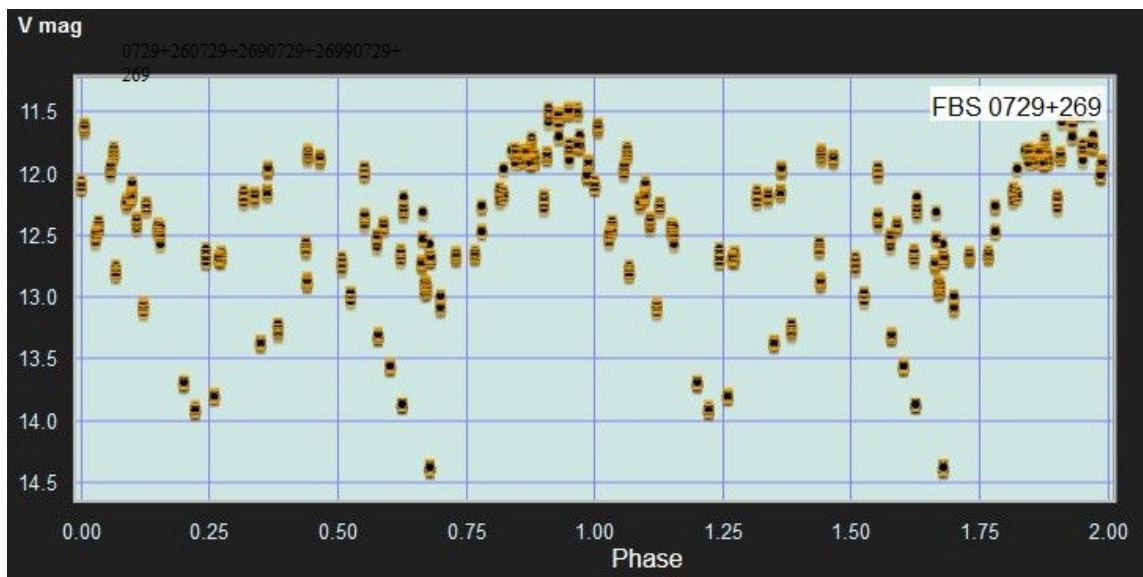
Միրիդների և կիսականոնավոր փոփոխականների դասակարգման չափանիշներ են հանդիսացել պայծառության կորերի տեսքերը և տատանման ամպլիտուդների մեծությունները: Կիսականոնավոր փոփոխականների պայծառության կորերը ավելի քիչ են կանոնավոր, քան միրիդներին:

CSS տվյալների բազայում աստղերը դասակարգվում են որպես միրիդներ, երբ փոփոխականության ամպլիտուդը  $2^m.5$  -ից մեծ է V շերտում՝  $\Delta V \geq 2^m.5$ :

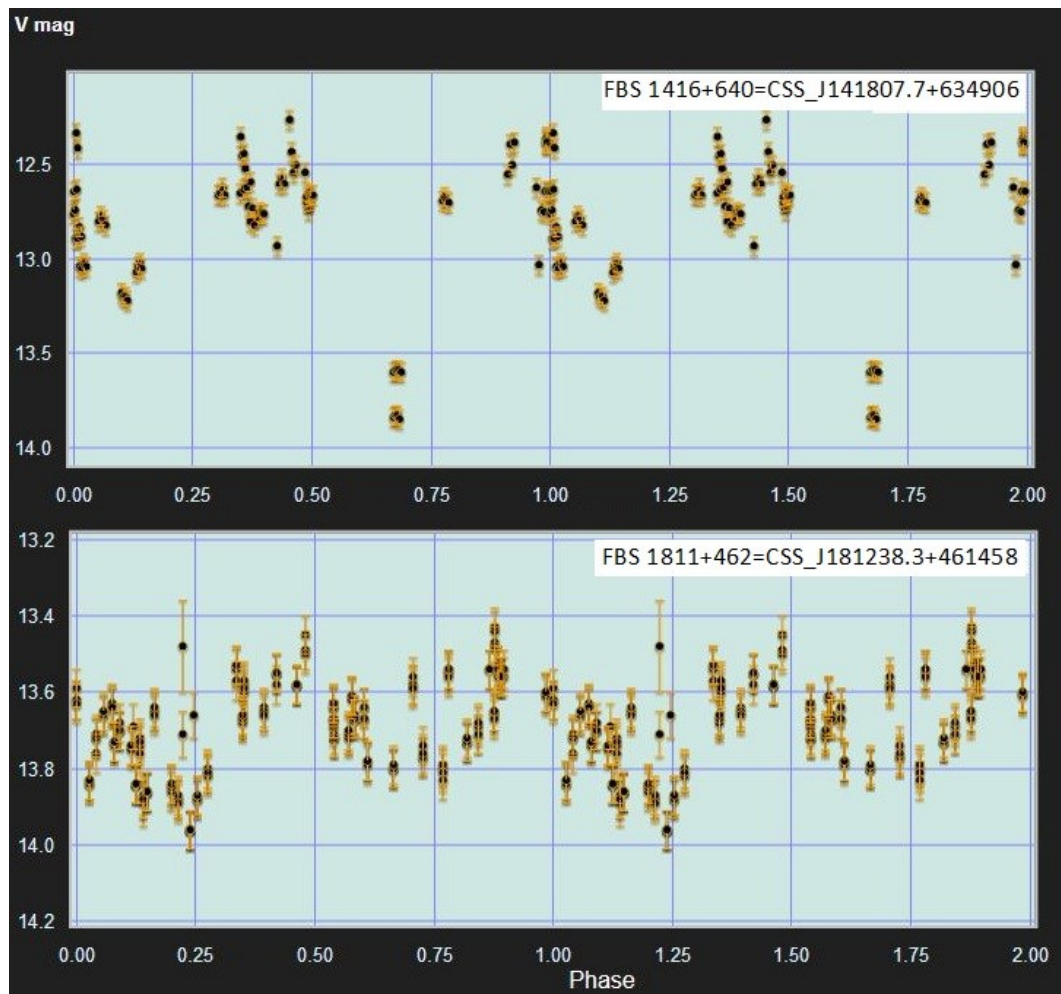
NSVS «Գալակտիկական ածխածնային աստղերի գլխավոր կատալոգում» [119], որպես միրիդներ դասակարգվում են այն N դասի աստղերը, որոնց փոփոխականության ամպլիտուդը  $1^m.5$  -ից մեծ է R շերտում [113]:

Պայծառության կորերի վերլուծությունից 9 աստղ դասակարգվել է որպես միրիդ, 43-ը կիսականոնավոր (SR)՝ շատ լավ արտահայտված պարբերականությամբ, և 2 աստղ՝ որպես անկանոն (Irr) դասի փոփոխական: 27 աստղերի փոփոխականության դասերը ներկայացված են առաջին անգամ: Ավելին, NSVS կատալոգում դասակարգված 27 օբյեկտների բաբախման պարբերությունները վերանայվել են: Աղյուսակ 5.1-ում բերված են այդ աստղերը և դրանց փոփոխականության դասերը:

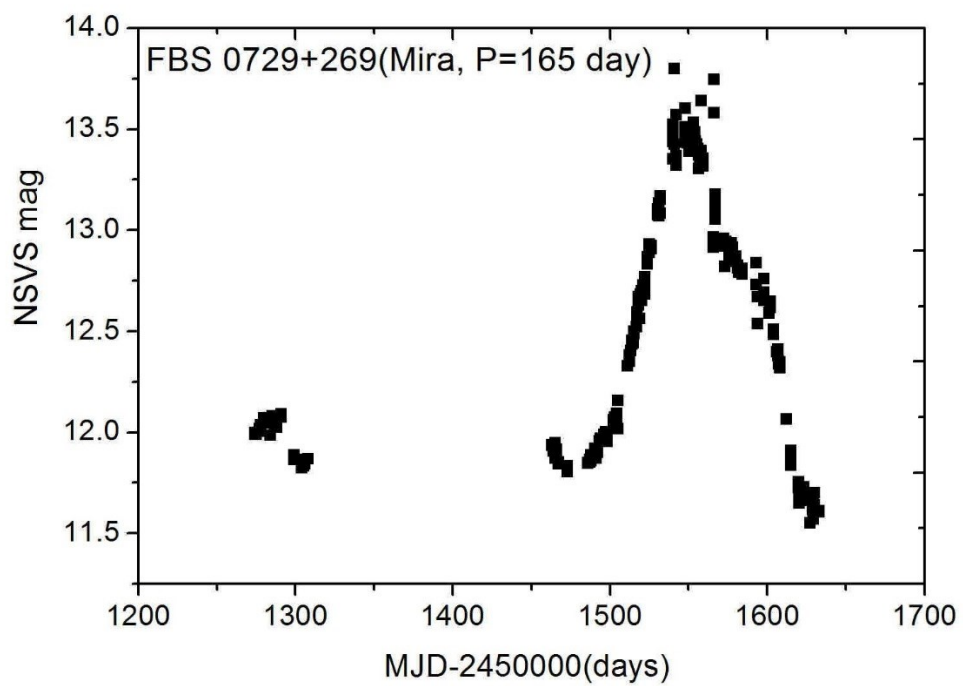
Նկար 5.1, 5.2-ում բերված են միրիդի և կիսականոնավոր փոփոխական CSS պայծառության կորերի օրինակներ, իսկ նկար 5.3-ում բերված են Vstar փաթեթի օգնությամբ դասակարգված աստղերի պայծառության կորերի օրինակներ:

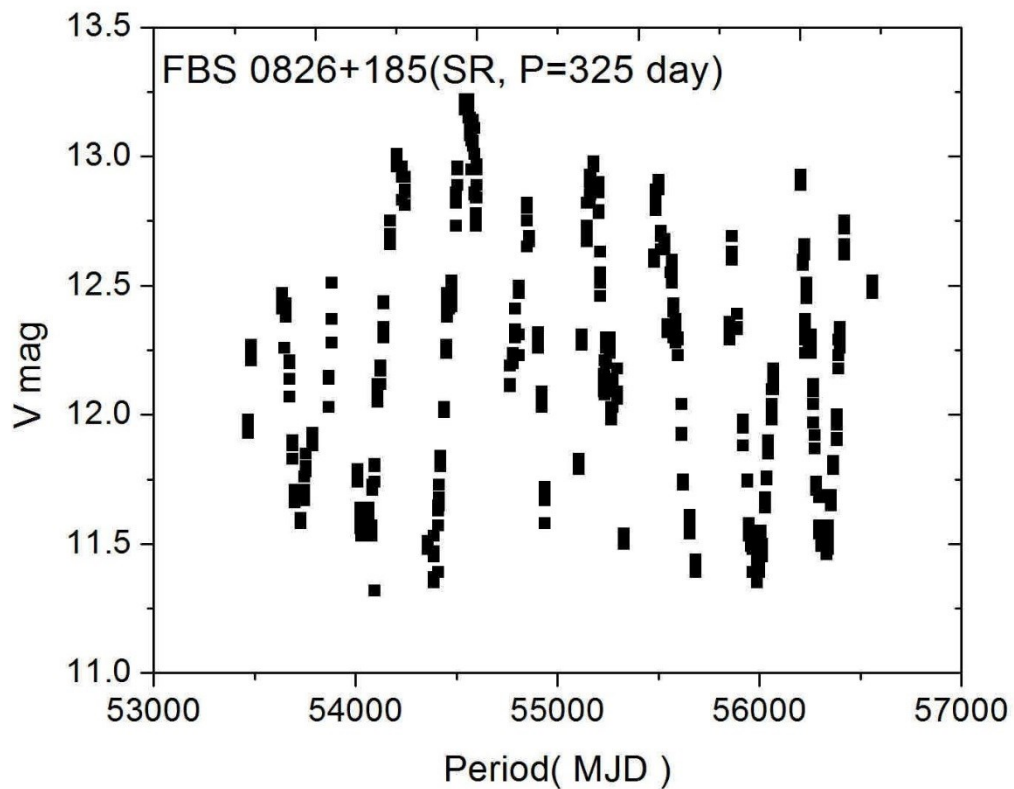


Նկար 5.1 Միրիդի CSS պայծառության կորի օրինակ:



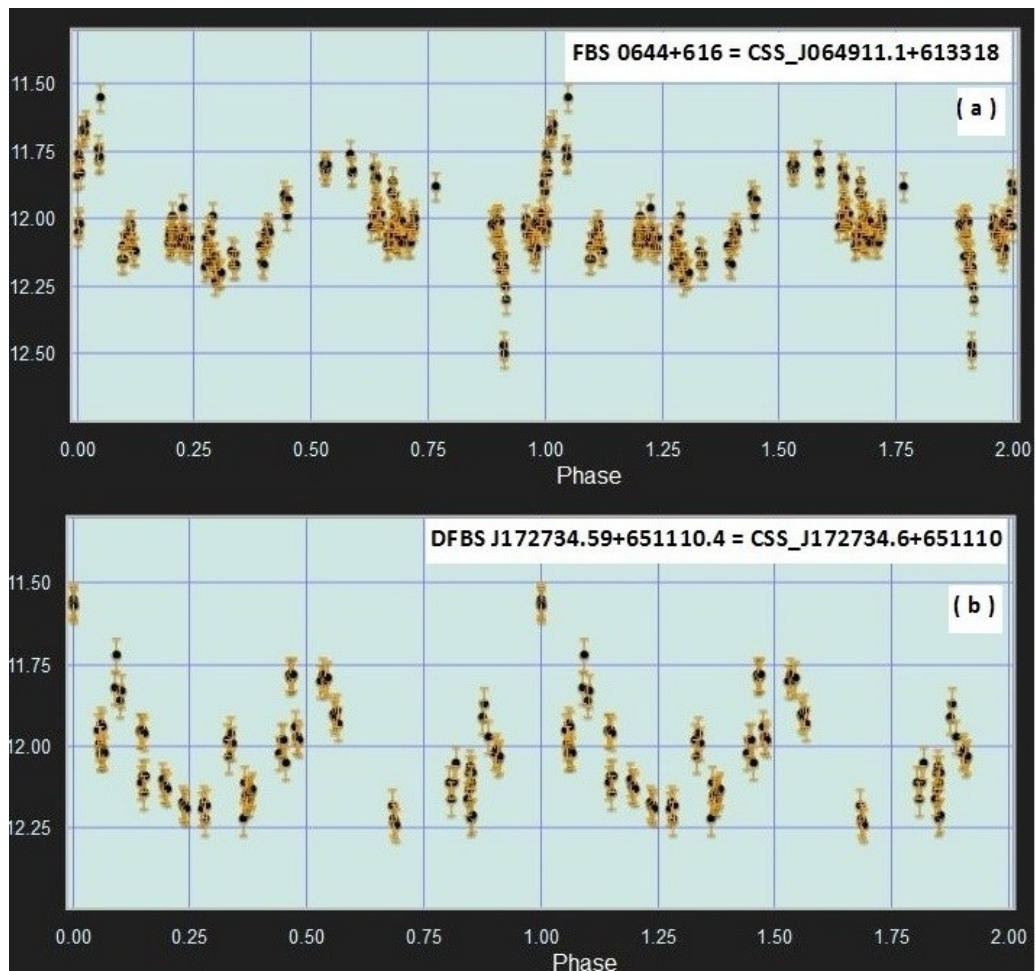
Նկար 5.2 Կիսականոնավոր աստղերի CSS պայծառության կորեր:





Նկար 5.3 *Vstar* փաթեթի օգնությամբ դասակարգված աստղերի պայծառության կորերի օրինակներ:

Ինչ վերաբերում է վաղ դասի ածխածնային աստղերին փոփոխականությանը, CSS այդ օբյեկտները բացակայում են փոփոխական աստղերի CSS կատալոգում, կամ, եթե առկա են այս տվյալների բազայում, ամպլիտուդիան շատ փոքր է, ինչը ենթադրում է շատ փոքր փոփոխականություն կամ փոփոխականության բացակայություն: Դրանից բխում է, որ դրանք AGB աստղեր չեն: Այնուամենայնիվ, Նկար 5.4 (ա, բ) -ում բերված են CSS [37] պայծառության կորերը FBS 0644 + 616 և DFBS J172734.59 + 651110.4 համար, որոնք դասակարգվում են որպես CH դասի աստղեր: Այս երկու դեպքերում փոփոխականությունը կարող է իրական լինել, որը պայմանավորված կարող է լինել կրկնակիությամբ՝ այդ աստղի շուրջ երկրորդ բաղադրիչի առկայությամբ, քանի որ ընդունված է, որ CH աստղերը կրկնակի համակարգեր են:



Նկար 5.4 CSS պայծառության կորերը CH դասի աստղեր համար:

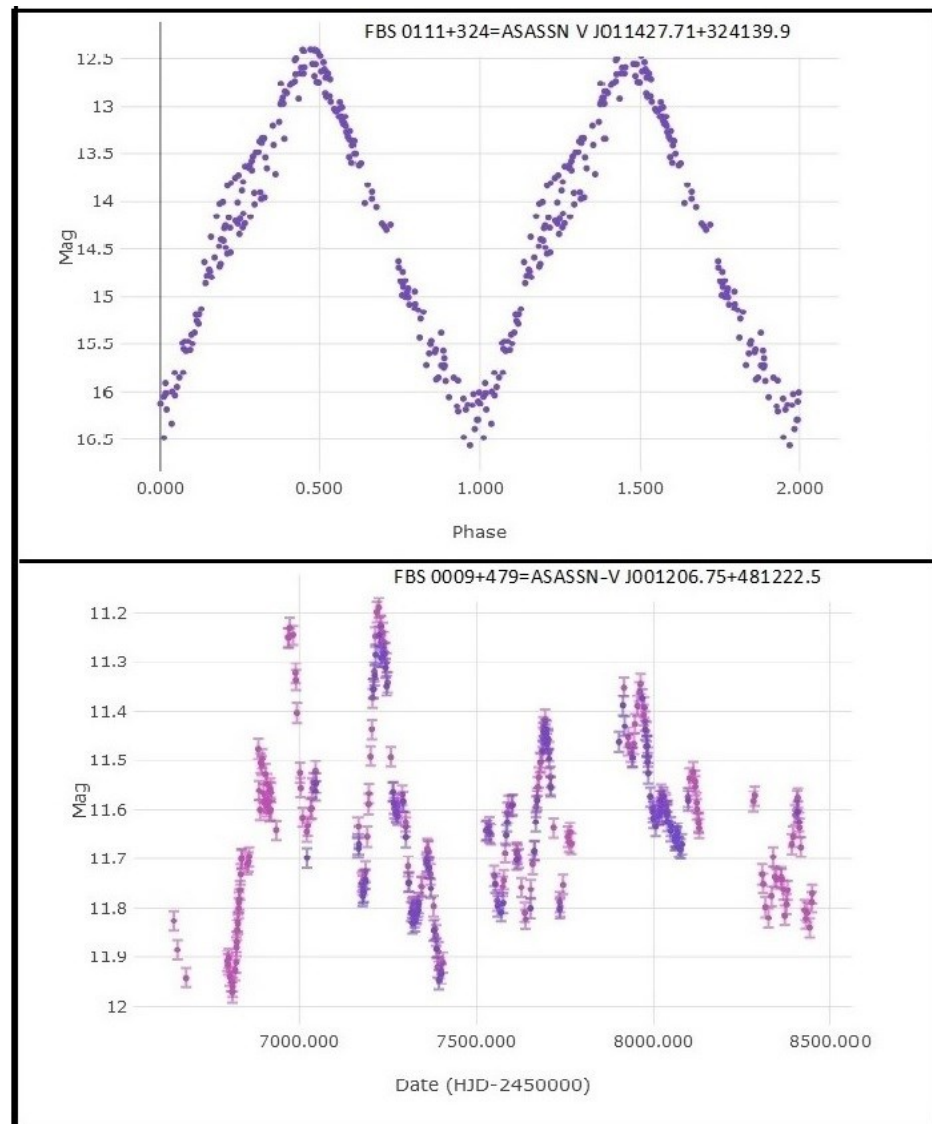
## 5.2.2 M ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐ:

FBS M հսկաների փոփոխականության դասերը, պարբերությունները և ամպլիտուդները որոշելու համար օգտագործվել է ASAS-SN- ն որպես հիմնական աղբյուր: ASAS-SN տվյալների բազայում բացակայող մի քանի օբյեկտների համար փոփոխականության պարամետրերը որոշվել են CSDR2 լուսատվության կորերից՝ օգտագործելով VStar վերլուծության ծրագիրը [120]:

690 M հսկա կիսականոնավոր փոփոխականներ են, 294 աստղ՝ L դասի (անկանոն) փոփոխականներ են և 112 աստղ միրիդներ են:

Նկար 5.5-ում բերված են ASAS-SN պայծառության կորերը միրիդի և կիսականոնավոր փոփոխական M դասի աստղերի համար:

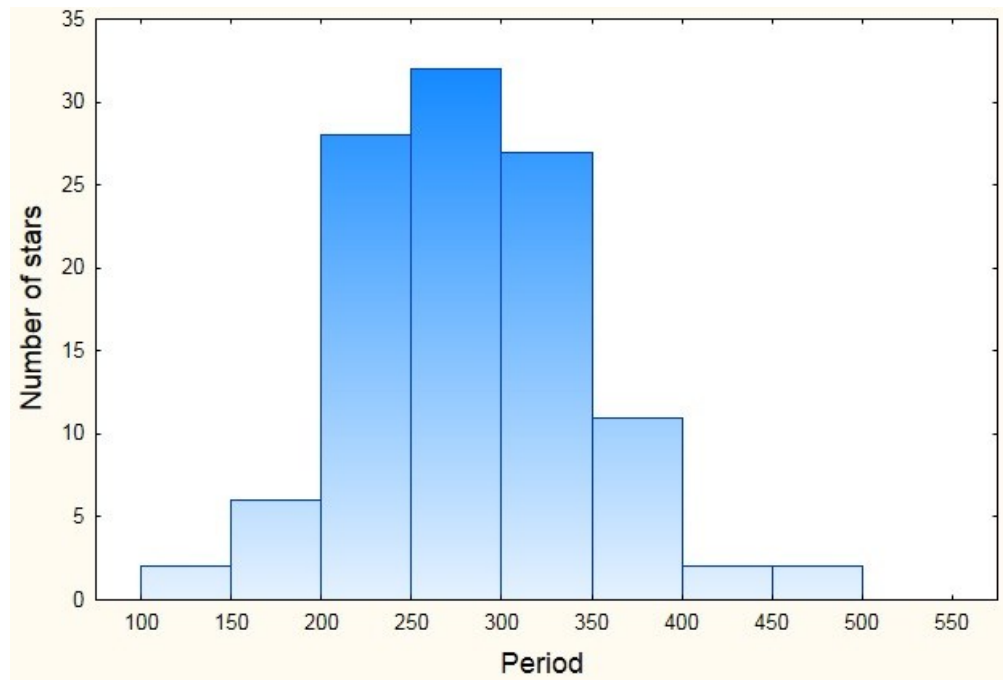




Նկար 5.5 ASAS-SN պայծառության կորերը միրիդի և կիսականոնավոր փոփոխական M դասի աստղերի համար:

Թե՛ թթվածնով հարուստ և թե՛ ածխածնով հարուստ միրիդները ունեն P-L առնչություններ [121], որոնք օգտագործվում են անկախ հեռավորության գնահատման համար [112]: Հաշվի առնելով, որ M դասի միրիդների բնակչության միջին պարբերությունը կորելացվում է դրանց տարիքի հետ, Գրեյդին (Grady) և իր գործընկերները [122,123] այս փոփոխականներն օգտագործել են ամբողջ Ծիր Կաթնի երկայնքով տարիքային գրադիենտներն ուսումնասիրելուն և տարիքային անցումը սկավառակից դեպի հալո թթվածնով հարուստ միրիդների, ինչպես նաև Գալակտիկայի տարբեր բնակչությունների հարաբերական տարիքը համեմատելու համար, կախված գալակտակենտրոն հեռավորությունից: Նրանք հավաքել են մինչ այժմ M դասի

միրիդների ամենամեծ քանակը 2400՝ օգտագործելով հյուսիսային և հարավային CCS-ն և ASAS-SN շրջահայությունների տվյալները: Միրիդի պարբերությունը մեծանում է լուսատվության աճով, և հետևաբար կախված է աստղի զանգվածից և AGB ճյուղի երկայնքով դրա էվոլյուցիոն կարգավիճակից: Այսպիսով, ավելի երկար պարբերական միրիդները հակված են ունենալ ավելի մեծ զանգվածներ (տե՛ս նկ. 6 [124]):



Նկար 5.6 Պարբերությունների բաշխման հիստոգրամը:

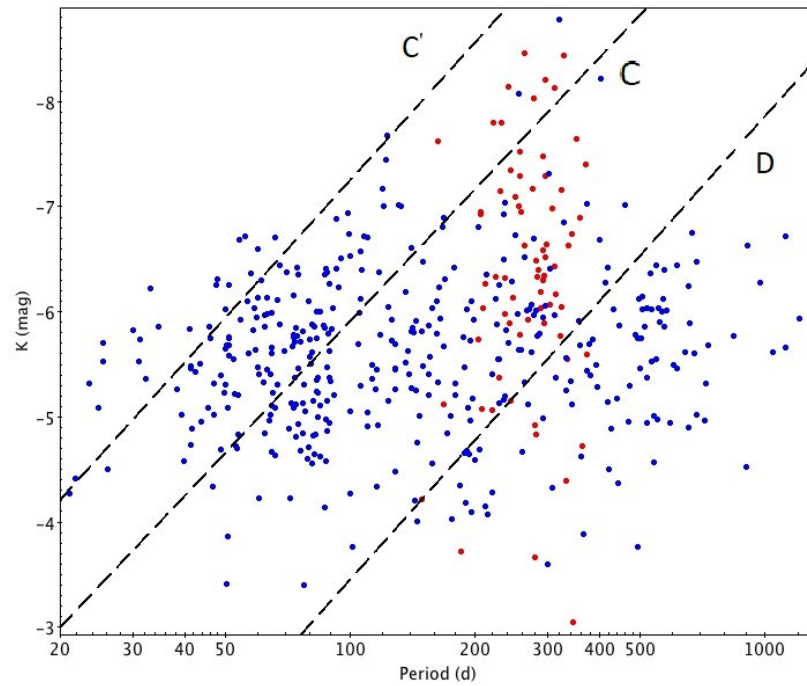
112 FBS M դասի միրիդների համար պարբերությունները վերցվել են ASAS-SN տվյալների բազայից: Այս բոլոր պարբերությունները ստուգվել են լուսատվության կորերից և որոշ դեպքերում ուղղվել են: Նկար 5.6-ում բերված է միրիդների պարբերությունների բաշխման հիստոգրամը:

Հիստոգրամում երևում է որ, պարբերության արժեքի գագաթնակետն ընկած է 250-ից 300 օրվա միջև և 4 FBS միրիդ ունեն 400 օրից բարձր պարբերություններ: Սա ենթադրում է, որ FBS միրիդները հիմնականում ցածր զանգվածով AGB աստղեր են, որոնց բնորոշ զանգվածը կազմում է  $1M_{\odot}$ :

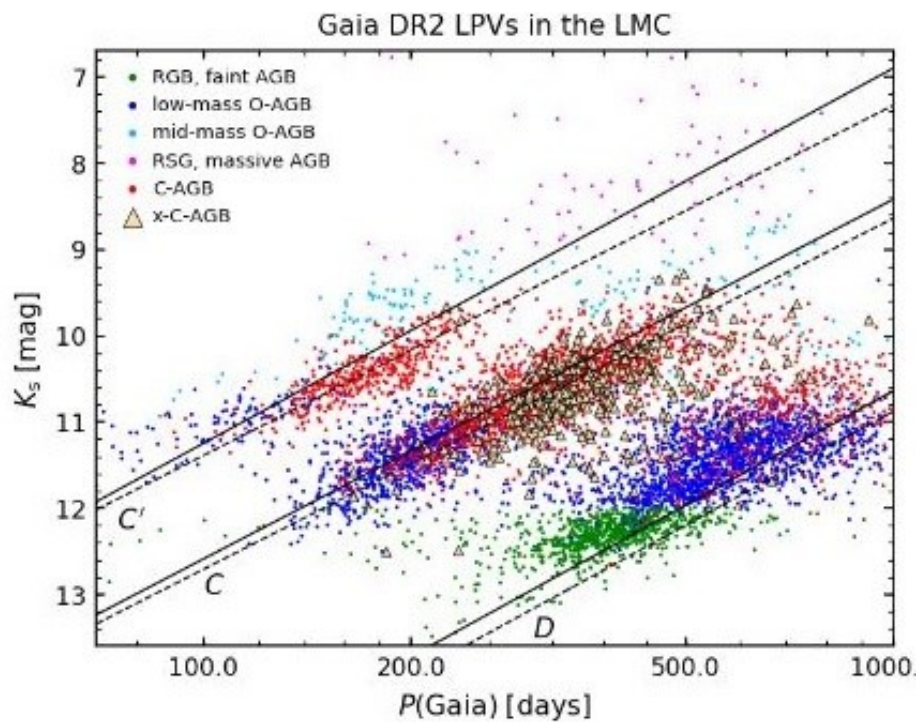
Հայտնի է, որ առնչություն կա աստղերի լուսատվությունների և պարբերությունների միջև: Նկար 5.7-ում բերված է պարբերություն - բացարձակ 2MASS  $K_s$  դիագրամը բոլոր FBS M հսկաների համար, որոնք ունեն *Gaia* լավ պարալաքսներ:  $K_s$  արժեքները չեն ուղղվել միջաստղային կլանմամբ՝ ենթադրելով, որ այն աննշան է բարձր



գալակտիկական լայնություններում, ինչպես վերը քննարկվեց: Ավելացվել են երեք P-L հաջորդականությունները C', C և D [125] այս դիագրամում:



Նկար 5.7 Պարբերություն - 2MASS  $M(K_s)$  դիագրամը բոլոր FBS  $M$  հսկաների համար:



Նկար 5.8 Պարբերություն - 2MASS  $M(K_s)$  դիագրամը LMC LPV աստղերի համար:

C' և C հաջորդականությունները համապատասխանում են առաջին հիմնարար ռեժիմի պոլսացիային, մինչդեռ D հաջորդականության ֆիզիկական ծագումը դեռ քննարկման առարկա է (օրինակ՝ [126]):

Համեմատության համար նկար 5.8-ում բերված է Մեծ մագելանյան ամպերի LPV աստղերի P - K<sub>s</sub>- դիագրամը [127]: FBS LPV- ների այս դիագրամի համեմատությունը LMC- ի P - K<sub>s</sub>- դիագրամի հետ ցույց է տալիս, որ FBS հսկաները զբաղեցնում են դիագրամի միայն ցածր լուսատվության ռեժիմը՝ կրկին ցույց տալով FBS աստղերի ցածր զանգվածը:

Օբյեկտները լայնորեն տարածված են դիագրամի հարթության վրա՝ ցույց տալով միայն թույլ առնչություն  $\log P$ - ի և K պայծառության միջև: Կարելի է ենթադրել, որ հստակ հաջորդականությունների բացակայությունը պայմանավորված է օբյեկտների սահմանափակ քանակով: Հաջորդականությունների միջև աստղերի առկայությունը տեսանելի է նաև այսպիսի դիագրամում՝ տվյալների ավելի մեծ քանակի դեպքում:

Միրիդների մի մասը գտնվում է ինչպես որ սպասելի էր C աստղերի հաջորդականությանը մոտ, դրանք նաև միրիդների մեջ ամենապայծառ խումբն են: Բացի այդ, միրիդներն ավելի սերտորեն կապված են նաև D հաջորդականության հետ: Սրա համար կարող է լինել երկու պատճառ: Նախ միրիդները կարող են ցածր լուսատվություն ունենալ K- ում՝ զանգվածի մեծ կորստից բխող միջաստղային կլանման պատճառով: Դա համապատասխանում է նկար 4.6-ին, որտեղ FBS միրիդները մի մեծ խումբ գտնվում է M(G)- ում  $1 M_{\odot}$  աստղի էվոլյուցիոն ուղու ներքևում: Երկրորդ, երկար երկրորդական պարբերությամբ աստղերի միրիդների հետ սխալ դասակարգում է տեղի ունեցել: Հաշվի առնելով D հաջորդականությանը բնորոշ ամպլիտուդը՝ [128,129] աստղային մեծության մի քանի տասնորդական մասը, օպտիկական / կարմիր տիրույթում և ամպլիտուդների  $2^{m.5}$  աստղային մեծությունը գերազանցող ընտրության չափանիշը միրիդների համար, այս տարբերակը համարվում է բավականին քիչ հավանական FBS աստղերի համար:

### 5.3 ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐԻ K ՇԵՐՏԻ ԲԱՑԱՐՁԱԿ ԱՍՏՂԱՅԻՆ ՄԵԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Գնահատվել են K շերտի բացարձակ աստղային մեծությունները և հեռավորությունները 2MASS-ի [70] K աստղային մեծություններից, ընդունելով, որ K աստղային մեծության փոփոխությունը աննշան է, օգտագործելով հետևյալ պարբերություն-լուսատվություն (PL) առնչությունները:

Միրիդների համար օգտագործվել է վերանայված հետևյալ PL առնչությունը [130].

$$M_k = -3.56 * \text{Log}P + 1.14 \quad (\sigma = 0.26\text{mag}) \quad (5.1)$$

SR փոփոխականների համար օգտագործվել է PL առնչությունը [131].

$$M_k = -1.34 * (\pm 0.06) * \text{Log}P - 4.5(\pm 0.35) \quad (5.2)$$

որը հիմնված է K շերտի լուսատվության վերլուծության և Hipparcos շրջահայության պարալաքսների վերանայված տվյալների վրա:

Irr փոփոխականների հեռավորությունների գնահատման համար ընդունվել է  $M_k = -6.5$  [70]:

K շերտի առավելագույն բացարձակ աստղային մեծությունը գնահատվել է երկու օբյեկտի համար՝ FBS 0158 + 095 և FBS 1812 + 455, այն  $M_k = -8.12$  է: Երկու աստղերն էլ ունեն 400 օր պարբերություն: Այս արժեքը լավ համաձայնության մեջ է Գալակտիկայի և Մեծ Մագելանյան ամպերի միրիդների համար հնարավոր առավելագույն բացարձակ աստղային մեծության՝  $M_k = -8.2 \pm 0.2$  [131] արժեքի հետ, որը համապատասխանում է մոտ  $5000 \div 6000 L_{\odot}$  բոլոմետրիկ լուսատվության, ինչը AGB աստղերի համար ակնկալվող լուսատվություն է: Հայտնաբերված ամենացածր լուսատվության միրիդը դա FBS 0729 + 269 է՝  $M_k = -6.75$ , որը գալակտիկական հարթությունից գտնվում է 3.4 կպս հեռավորության վրա: FBS 2213 + 421- ի համար վերջերս կատարված NIR վերջին դիտումները ցույց են տալիս, որ այս օբյեկտը մեծ փոփոխման ամպլիտուդ ունի՝  $\Delta K > 1.6^m$ :

Աղյուսակ 5.1-ում բերված են FBS N դասի 54 C աստղի հետևյալ տվյալները. FBS և DFBS համարները ըստ [18] կատալոգի և համաձայն [43], CSS (CSS, MLS և SSS) կամ NSVS անվանումները՝ երբ բացակայում են CSS պայծառության կորերը, օբյեկտի

փոփոխականության դասը, K մեծության բացարձակ աստղային մեծությունները M(K), Արեգակից եղած հեռավորությունները, գալակտիկական հարթությունից Z բարձրությունը: Գնահատման ճշտությունը D և Z մեծությունների համար կազմում է մոտ 20%:

*Աղյուսակ 5.1*

FBS N դասի 54 ուշ դասի C աստղի տվյալներ

| FBS, DFBS<br>անուն | CSS և NSVS<br>անուններ | Փոփ.<br>դաս | P<br>(օր) | M(K)<br>(ա.մ.) | D<br>(կպս) | Z<br>(կպս) |
|--------------------|------------------------|-------------|-----------|----------------|------------|------------|
| 0042+484           | NSVS 0045010+484104    | SRA         | 300       | -7.80          | 4.0        | -0.9       |
| 0043+474           | NSVS 0046245+474135    | Mira        | 344       | -7.90          | 3.6        | -0.9       |
| 0110+397           | CSS J0112 56.5+395944  | SR          | 250       | -7.70          | 7.5        | -2.9       |
| 0137+400           | CSS J014020.6+401518   | SR          | 329       | -7.85          | 5.1        | -1.8       |
| 0144+369           | CSS J014736.3+371229   | SR          | 140       | -7.37          | 17.0       | -7.0       |
| 0155+384           | CSS J015806.1+383818   | Mira        | 300       | -7.67          | 7.9        | -3.0       |
| 0158+095           | CSS J020056.1+094535   | Mira        | 400       | -8.12          | 11.0       | -8.3       |
| 0210+464           | -                      | Irr         | -         | -6.50          | 8.3        | -1.8       |
| 0324+389           | CSS J032707.7+234847   | SR          | 170       | -7.40          | 7.5        | -1.8       |
| 0328+390           | CSS J033133.6+391450   | SR          | 276       | -7.70          | 21.9       | -5.2       |
| 0337+386           | CSS J034017.8+384538   | SR          | 325       | -7.85          | 8.3        | -4.3       |
| 0359+085           | CSS J040143.3+084210   | SR          | 398       | -7.90          | 15.8       | 8.2        |
| 0502+088           | CSS J050500.3+085607   | Mira        | 340       | -7.80          | 5.7        | 1.8        |
| 0518+687           | CSS J052400.2+685000   | SR          | 380       | -7.90          | 7.5        | 2.3        |
| 0520+029           | CSS J052302.3+030144   | SR          | 270       | -7.70          | 7.9        | -2.4       |
| 0645+375           | CSS J064823.4+372856   | SR          | 389       | -7.90          | 9.5        | 2.5        |
| 0656+351           | CSS J070001.7+350555   | SR          | 350       | -7.90          | 7.5        | 2.2        |
| 0658+400           | CSS J070148.9+395951   | SR          | 375       | -7.80          | 12.0       | 3.8        |
| 0702+402           | CSS J070607.8+401200   | SR          | 320       | -7.80          | 9.0        | 3.0        |
| 0707+270           | MLS J071047.9+265902   | SR          | 383       | -7.80          | 4.3        | 1.1        |
| 0707+310           | MLS J071048.3+305545   | SR          | 184       | -7.50          | 3.9        | 1.1        |
| 0729+269           | CSS J073232.8+264715   | Mira        | 165       | -6.75          | 10.0       | 3.4        |
| 0731+274           | CSS J073423.9+271911   | SR          | 325       | -7.80          | 11.5       | 4.1        |
| 0800+368           | CSS J080352.8+364443   | SR          | 70        | -6.80          | 13.2       | 6.5        |
| 0826+185           | CSS J082915.2+182307   | SR          | 325       | -7.80          | 9.0        | 4.4        |

|                     |                      |      |      |       |      |      |
|---------------------|----------------------|------|------|-------|------|------|
| 0826+109            | CSS J082929.0+104624 | SR   | 295  | -6.90 | 10.0 | 4.4  |
| 0846-071            | CSS J084911.0-072144 | SR   | 350  | -7.00 | 15.8 | 5.9  |
| 0910+197            | CSS J091331.9+193422 | SR   | 254  | -6.90 | 6.9  | 4.4  |
| 1008—66             | CSS J101037.0-065113 | SR   | 333  | -7.80 | 18.2 | 11.3 |
| 1056+399            | CSS J105923.9+394405 | SR   | 198  | -7.50 | 24.0 | 21.4 |
| 1331+421            | CSS J133319.4+415451 | SR   | 142  | -6.67 | 9.0  | 8.6  |
| 1339-070            | CSS J134226.8-071523 | SR   | 290  | -7.80 | 17.0 | 13.6 |
| 1416+640            | CSS J141807.7+634906 | SR   | 131  | -7.30 | 22.9 | 17.7 |
| 1502+359            | CSS J150455.3+354757 | SR   | 312  | -7.80 | 30.2 | 26.2 |
| 1515+666            | CSS J151545.4+662604 | SR   | 305  | -7.70 | 7.9  | 5.5  |
| 1516+151            | CSS J151840.3+145903 | SR   | 333  | -7.80 | 11.0 | 8.8  |
| 1524+046            | CSS J152723.6+042827 | SR   | 310  | -7.80 | 15.1 | 11.0 |
| 1618-087            | CSS J162136.3-085319 | SR   | 365  | -7.90 | 13.8 | 6.4  |
| 1705+402            | CSS J170650.8+401234 | Irr  |      | -6.50 | 15.8 | 9.3  |
| 1713+527            | CSS J171447.6+524006 | SR   | 205  | -7.59 | 24.0 | 14.0 |
| 1756+226            | -                    | SR   | 143  | -7.30 | 11.5 | 4.1  |
| 1812+455            | CSS J181329.4+453119 | Mira | 400  | -8.12 | 9.0  | 3.8  |
| 1918+869            | NSVS 1900462+870340  | SR   | 90   | -7.00 | 7.2  | 3.2  |
| 1934+545            | -                    | SR   | 300  | -7.80 | 15.8 | 4.3  |
| 2107+109            | CSS J210958.9+111101 | SR   | 200  | -7.50 | 20.0 | 8.1  |
| 2157+400            | -                    | SR   | 250  | -7.70 | 11.5 | -1.7 |
| 2213+421            | -                    | Mira | 172? | -     | -    | -    |
| 2219+333            | CSS J222113.8+333558 | SR   | 202  | -7.58 | 9.0  | 3.0  |
| 2348+485            | -                    | SR   | 172  | -7.49 | 7.5  | -1.6 |
| J020008.95+413737.4 | CSS J020008.9+413747 | SR   | 383  | -7.90 | 20.0 | -6.6 |
| J032912.92+445330.0 | -                    | SR   | 340  | -7.89 | 8.7  | -1.4 |
| J064958.74+741610.1 | NSVS 0649582+741611  | Mira | 356  | -7.90 | 5.9  | 2.5  |
| J172825.82+700829.6 | -                    | SR   | 250  | -7.70 | 21.9 | 11.7 |
| J230835.19+403533.9 | CSS J230835.1+403534 | Mira | 361  | -7.90 | 12.9 | -4.0 |

## 5.4 CATALINA և LINEAR ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՇՏԵՄԱՐԱՆՆԵՐԻ $P \geq 10$ ՕՐ ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ԱՍՏՂԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

FBS ուշ դասի աստղերի փոփոխականության ուսումնասիրության արդյունքներից պարզվեց, որ FBS շատ աստղեր պարբերական փոփոխականներ են: Փորձ արվեց ուսումնասիրել նաև բարձր գալակտիկական լայնություններում բոլոր պարբերական փոփոխական աստղերը որոնց համար  $P \geq 10$  օր է, պարզելու փոփոխականության դասերը, կատարել սպեկտրային դասակարգում, որը շատ կարևոր է այդ աստղերի բնույթը հասկանալու համար:

Թույլ PV աստղերն շատ կարևոր են տալիս Ծիր Կաթնի արտաքին հալոն ուսումնասիրելու և Sgr թզուկ գալակտիկայի մակընթացային հոսքերը գտնելու համար, ինչպես նաև այս գալակտիկայի երկնիքը քարտեզագրելու համար:

Օգտագործվել են CCS և LINEAR տվյալների շտեմարաններից: CSS Data Release 1 (DR1) և LINEAR [112] կատալոգներից ընտրվել է 1184 օբյեկտ: Ընտրվել են 1142 PV աստղ CSS DR1-ից և 96 աստղ LINEAR կատալոգներից: 54 LINEAR PV ներառված են նաև CSS DR1 տվյալների շտեմարանում:

### 5.4.1 ՍՊԵԿՏՐԱՅԻՆ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄ:

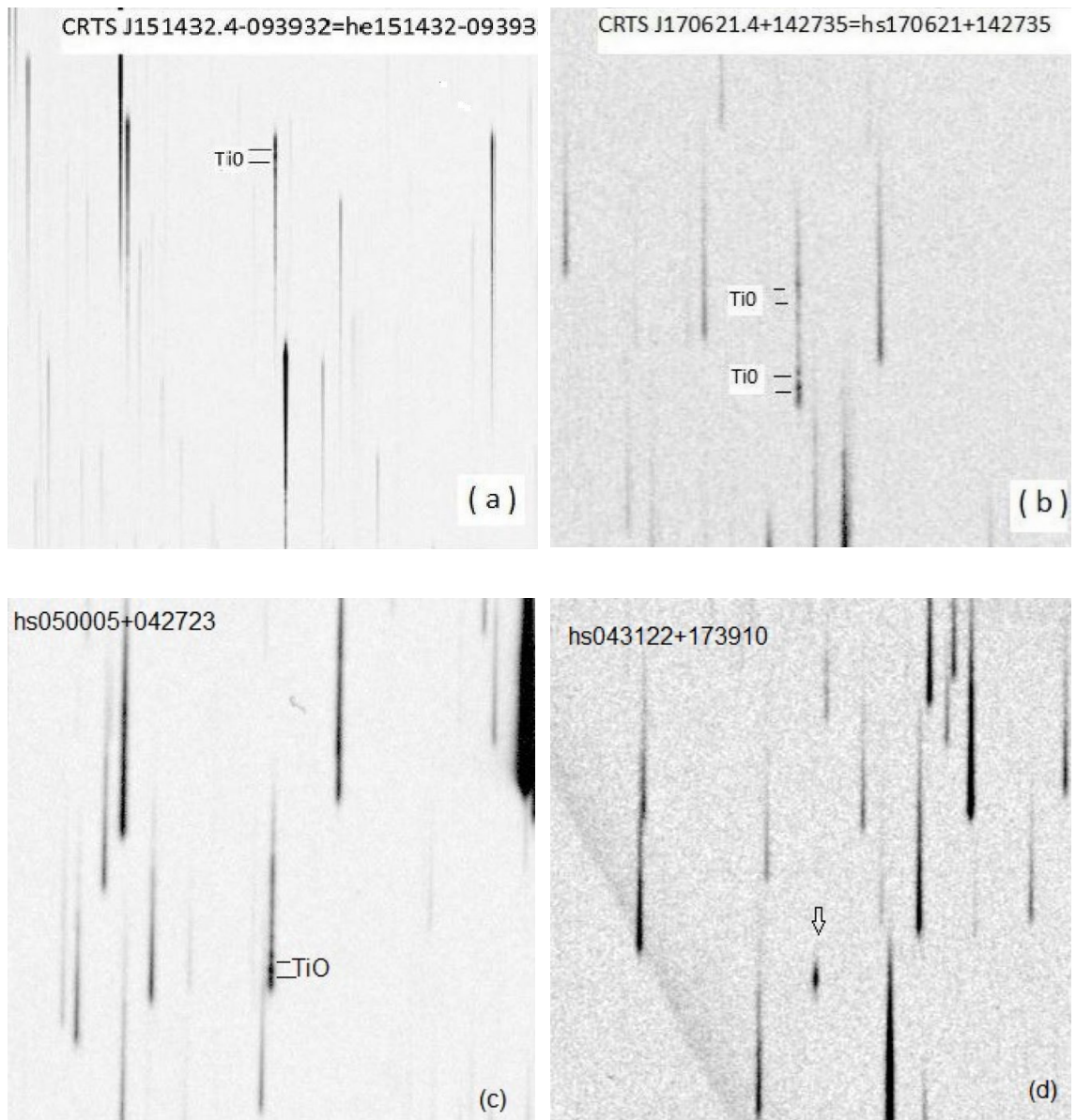
Աստղերի ֆիզիկական առանձնահատկությունների և տարիքային զարգացման փուլերի բացահայտման տեսանկյունից բացառիկ կարևորություն են ներկայացնում դրանց սպեկտրների ուսումնասիրությունը: PV-ների սպեկտրալ դասերը որոշելու համար օգտագործվել են հետևյալ հիմնական շրջահայությունները.

- Hamburg Quasar Survey (HQS)
- Hamburg / ESO (HES)
- SDSS DR15
- LAMOST

Համբուրգի շրջահայությունը օբյեկտիվ պրիզմայով սպեկտրային շրջահայություն է, որը իրականացվել է Համբուրգում: Այն բաղկացած է երկու շրջահայություններից, որոնք լրացնում են իրար. հյուսիսային Համբուրգի քվադրանտի շրջահայություն (HQS)՝  $b > 20^\circ$ ,  $\delta < 0^\circ$  և հարավային Hamburg / ESO շրջահայություն (HES)՝  $b > 30^\circ$ ,  $\delta > 2.5^\circ$ : HQS- ի համար ծածկման տիրույթը 13 600 քառ. աստիճան է, իսկ HES- ի համար 6400 քառ. աստիճան տիրույթ: HQS- ի սպեկտրային թիթեղները ստացվել են 1985 - 1997 թվականներին Կալար Ալտո (Calar Alto) Շմիդտի աստղադիտակի վրա: Ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրները HQS- ի համար ստացվել են 3400 - 5400 Å տիրույթում (1300 Å / մմ H $\gamma$ - ում)  $14'' < B < 19''$  մեծության միջակայքում: Հարավային թիթեղները ստացվել են ESO Շմիդտի դիտակի վրա 1990 - 1996 թվականներին 3200 - 5300 Å տիրույթում (450 Å / մմ H $\gamma$ -ում)  $13'' < B < 18''$  մեծության միջակայքում: HQS արխիվը պարունակում է 1288 սպեկտրային թիթեղներ 567 դաշտերի համար, մինչդեռ HES- ի համար ստացվել է մեկ սպեկտրային թիթեղ յուրաքանչյուր 428 դաշտի համար: Երկու շրջահայության սպեկտրային թիթեղները թվայնացվել են և թվայնացված շտեմարանն օգտագործվում է տարբեր աստղագիտական ծրագրերի համար:

Կարևոր է նշել, որ հավաստի դասակարգման համար ցուցակում ներկայացվում են HQS և HES միայն M և C դասի աստղերի համար, որոնց ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներում դիտվում են TiO 4584, 4762, 4954, 5167, 5500, 6200 և 6700 Å կլանման շերտերի և C<sub>2</sub> մոլեկուլի Սվանի 4737, 5165 և 5636 Å կլանման շերտերը, ինչպես որ դասակարգվել են FBS ուշ դասի աստղերը: HQS և HES թիթեղների վրա F, G և K աստղերը չեն դասակարգվել, քանի որ ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներ դասակարգելու համար չկան սպեկտրային չափորոշիչներ:

Նոր հաստատված աստղերն թույլ M և N դասի բաբախող երկար պարբերական փոփոխականներ են (Long Period Variable (LPV)) բարձր գալակտիկական լայնություններում: Նկար 5.9-ում (ա, բ, գ, դ) բերված են HQS և HES օբյեկտիվ պրիզմայի ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներ, որոնց ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներում դիտվում են TiO կլանման շերտերը և դասակարգվել են որպես M դասի աստղեր և ուշ N դասի ածխածնային աստղի սպեկտր:



Նկար 5.9 HQS և HES օբյեկտիվ պրիզմայի ցածր լուծողունակությամբ սպեկտրներ:

1184 PV- ներից յուրաքանչյուրի համար ստուգվել են SIMBAD տվյալների շտեմարանում առկա սպեկտրային տվյալները:

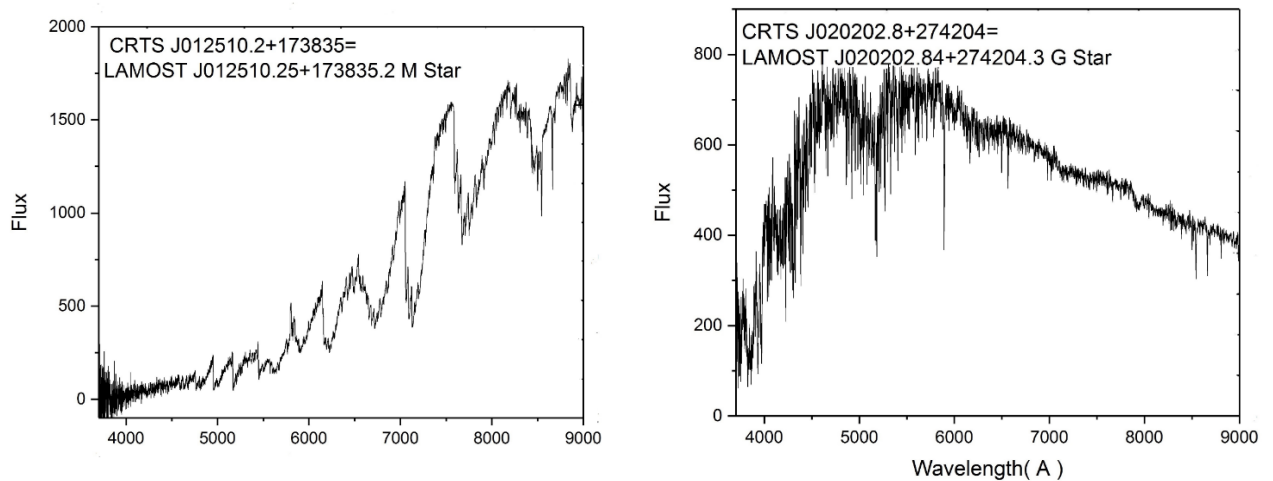
Սպեկտրային դասեր հաստատված են 625 PV-ի համար: Աղյուսակ 5.2-ում բերված են այդ տվյալները:



## Սպեկտրային դասերը 625 PV-ի համար

| Շրջահայություն | A | F  | G  | K  | C      | M       | CV | Կապույտ<br>օբյեկտ | Անհայտ | Ընդհանուր |
|----------------|---|----|----|----|--------|---------|----|-------------------|--------|-----------|
| LAMOST         | 2 | 11 | 84 | 86 | 32(13) | 121(86) | -  | -                 | 16     | 354       |
| Hamburg        | - | -  | -  | -  | 47(13) | 293(86) | -  | -                 | 566    | 906       |
| FBS            | - | -  | -  | -  | 17     | 18      | -  | -                 | -      | 35        |
| SDSS DR15      | - | 3  | 2  | 11 | 9      | 4       | 2  | 2                 | -      | 33        |

Նկար 5.10-ում բերված են LAMOST DR5 սպեկտրի օրինակներ CRTS երկու պարբերական փոփոխականների համար, որոնք դասակարգվում են որպես M և G դասի աստղեր: Դրանք են CRTS J012510.2 + 173835 աստղը՝ դասակարգված որպես LPV և CRTS J020202.8 + 274204 աստղը՝ դասակարգված որպես RS CVn դասի փոփոխական:



Նկար 5.10 LAMOST DR5 սպեկտրերի օրինակներ CRTS պարբերական փոփոխականների համար:

## 5.4.2 ԵՐԿԱՐ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿԻ ԿԱԶՄՈՒՄ

Բոլոր 1184 պարբերական փոփոխականները խաչաձև նույնացվել են առկա ժամանակակից աստղագիտական կատալոգների և տվյալների շտեմարանների հետ, մասնավորապես՝ 2MASS, SDSS DR15, Gaia DR2 և LAMOST DR5:

Ցուցակը բաղկացած է հետևյալ տվյալներից.

- CRTS – CSS համար կամ LINEAR համար,
- RA, Dec (J2000),
- V շերտում աստղային մեծությունը,
- Պարբերությունը և ամպլիտուդան՝ աստղային մեծությամբ,
- Փոփոխականության դասը՝ ըստ CRTS DR1 կատալոգի,
- 2MASS J, H և Ks մեծություններ և սխալանքը, J - H և H - Ks գույներ,
- Gaia DR2 անվանումը, G շերտում աստղային մեծությունը,  $T_{\text{eff}}$ , BP - RP գույնի ցուցիչը, շառավիղը և լուսատվությունը արեգակնային միավորներով, սխալանքները,
- HQS և HES անունները, սպեկտրալ դասերը միայն M և C դասի աստղերի համար,
- LAMOST DR5 կատալոգի անվանումները և սպեկտրային դասը (առկայության դեպքում),
- SDSS DR15 անվանումները և սպեկտրային դասերը (առկայության դեպքում),
- օբյեկտների այլընտրանքային անվանումները և սպեկտրաային դասերը SIMBAD-ից:

Աղյուսակ 5.3-ում բերված են ցուցակում ներառված տվյալները:

*Աղյուսակ 5.3*

Ցուցակի տվյալներ 9 աստղի համար

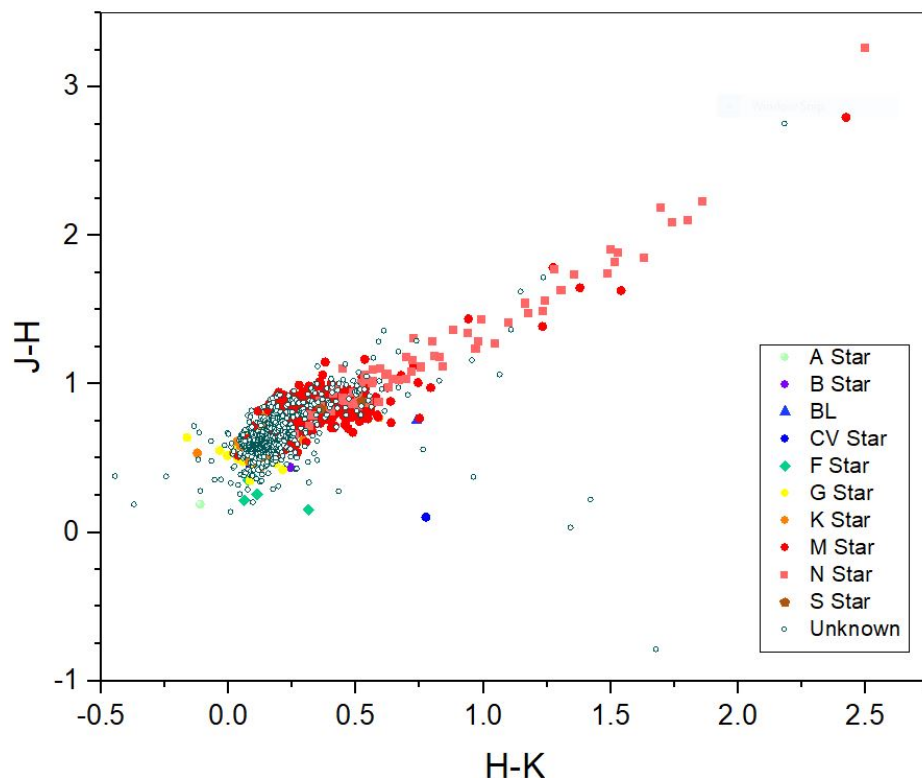
| CRTS<br>համար    | V<br>mag. | J-H<br>mag. | H-K<br>mag. | G<br>Mag | BP-RP<br>գույն | $T_{\text{eff}}$<br>(Կ) | Լուս.<br>(արեգ. մ.) | Սպեկտր.<br>դաս |
|------------------|-----------|-------------|-------------|----------|----------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| J010453.2+450136 | 12.61     | 0.81        | 0.40        | 12.49    | 4.35           | 3380                    | -                   | M              |

|                  |       |      |      |       |      |      |       |        |
|------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|--------|
| J010354.4+203955 | 13.89 | 0.56 | 0.13 | 13.84 | 1.25 | 5130 | 48.87 | G      |
| J020424.0+325248 | 14.14 | 0.56 | 0.12 | 14.32 | 1.39 | 4620 | 2.36  | անհայտ |
| J032905.5+305924 | 15.05 | 1.00 | 0.35 | 15.27 | 2.80 | 3820 | 0.10  | անհայտ |
| J034525.1+294352 | 14.36 | 0.81 | 0.23 | 14.75 | 2.63 | 3470 | 0.32  | M      |
| J163525.0+383247 | 14.15 | 0.72 | 0.23 | 14.07 | 2.29 | 3800 | -     | M      |
| J220910.4+022323 | 15.57 | 0.38 | 0.09 | 15.58 | 0.96 | 5360 | 2.25  | F      |
| LINEAR 3577682   | 15.17 | 0.89 | 0.36 | 15.06 | 1.93 | 4060 | -     | N      |
| LINEAR 13990545  | 16.80 | 0.10 | 0.77 | 17.05 | 0.14 | 9460 | -     | B      |

### 5.4.3 2MASS ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ

Լուսաչափական ուսումնասիրությունները կարևոր են աստղերի ֆիզիկական հատկությունների բացահայտման գործընթացում: Երկար պարբերական փոփոխականների ֆիզիկական հատկությունների վեր հանման տեսանկյունից հատկապես կարևոր է 2MASS տիրույթում դրանց վարքի բացահայտումը:

Նկար 5.11-ում 2MASS երկգույն դիագրամը բերված է բոլոր PV- ների համար, բացառությամբ 22 օբյեկտների, որոնք չունեն 2MASS J, H, K լուսաչափական տվյալներ:



Նկար 5.11 2MASS JHK գույն-գույն դիագրամը ցուցակի օբյեկտների համար:

Ինչպես նշվել է 2MASS երկգույն դիագրամը համարվում է որպես թզուկ հսկա դասակարգման համար հիանալի գործիք: Դիագրամի վրա գտնվող այն տիրույթը, որը ընկած է  $0.0 \leq H - K \leq 0.7$  և  $0.2 \leq J - H \leq 1.0$  միջակայքում, դիտվում է օբյեկտների ակնհայտ առավելագույն խտացում: Այդ օբյեկտները հիմնականում F, G և K դասի աստղեր են:  $J - H \geq 1.0$  գույնի ցուցիչ ունեցող օբյեկտները միայն M և N դասի AGB աստղեր են: Մի քանի անհայտ օբյեկտներ ընկած են այն տիրույթում, որտեղ  $J - H < 0.8$  և  $H - K > 0.2$ : Հետագա սպեկտրասկոպիկ դիտումներ են անհրաժեշտ այդ օբյեկտների բնույթը պարզելու համար: Սովորաբար դիագրամի այս տիրույթում տեղակայված են M դասի թզուկները, ածխածնային թզուկները և դարչնագույն թզուկները:

#### 5.4.4 M ԴԱՍԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ:

Թույլ LPV աստղերն կարևոր են Ծիր Կաթնի արտաքին հալոն ուսումնասիրելու համար և Sgr թզուկ գալակտիկայի մակընթացային հոսքերը գտնելու, ինչպես նաև այս գալակտիկայի երկինքը քարտեզագրելու համար: Աղյուսակ 5.4-ում բերված են մի քանի կարևոր տվյալներ՝ նոր հաստատված M դասի աստղերի համար, որոնք ունեն  $J - K > 1.2$ :

*Աղյուսակ 5.4*

LPV M դասի աստղերի տվյալներ

| CRTS և LINEAR անուն | V     | Պարբերություն<br>(օր) | G     | BP-RP<br>գույն | D<br>(կպս) |
|---------------------|-------|-----------------------|-------|----------------|------------|
| J012510.2+173835    | 12.73 | 425                   | 12.54 | 3.08           | 18.0       |
| J012842.1+433218    | 13.05 | 119                   | 13.26 | 3.34           | 10.0       |
| J063516.1+524425    | 12.08 | 260                   | 12.12 | 4.83           | 3.98       |
| J133725.3-014948    | 12.91 | 147                   | 12.65 | 2.43           | 10.5       |
| J152042.9-093148    | 15.75 | 233                   | 16.03 | 3.33           | 50.0       |
| LINEAR 9809348      | 15.47 | 77                    | 15.46 | 1.71           | 33.0       |

Աղյուսակ 5.4-ում բերված հեռավորությունները գնահատվել են՝ հիմնված պարբերություն - լուսատվություն (PL) առնչության վրա [132] :

P - L առնչությունն արտահայտվում է հետևյալ հավասարումով.

$$M(K) = -3.69 * (\text{Log}P - 2.38) - 7.33 \quad (5.3)$$

Աղյուսակ 5.4-ի վերջին երկու օբյեկտները ավելի մեծ ուշադրության են արժանի: Դրանք 11<sup>m</sup> աստղային մեծությունից ավելի թույլ են 2MASS K շերտում և պատկանում են Sgr թզուկ գալակտիկայի առաջատար թևին (տես՝ նկար 28 [99]): [115] -ում քննարկվում և ներկայացվում է LPV- ների բաշխումը (տես՝ [133] նկար 37 համեմատության համար) Sgr թզուկ գալակտիկայի հոսքերի մոդելում՝  $14^m.9 < V_{\text{CSS}} < 15^m.9$ , բայց առանց օբյեկտների համար սպեկտրային դասերի վերաբերյալ տեղեկատվության, և ընդունված է բոլոր LPV- ների համար  $M_V = -3.0$ : LPV աստղերն ունեն բացարձակ աստղային մեծությունների շատ մեծ տիրույթ [134]: Միայն CRTS J063516.1 + 524425 M8 ենթադասի աստղի համար հեռավորության գնահատումն հիմնված է PL առնչության վրա և [95] կատալոգում ներկայացված հեռավորության արժեքի հետ լավ համաձայնություն ունեն: Աղյուսակ 5.4-ի մնացած օբյեկտների համար հեռավորությունների այս երկու արժեքները չեն համընկնում:

Աղյուսակ 5.5-ում բերված են Gaia DR2 լուսատվությունները և LAMOST DR5- ի սպեկտրային դասերը 9 PV- ների համար:

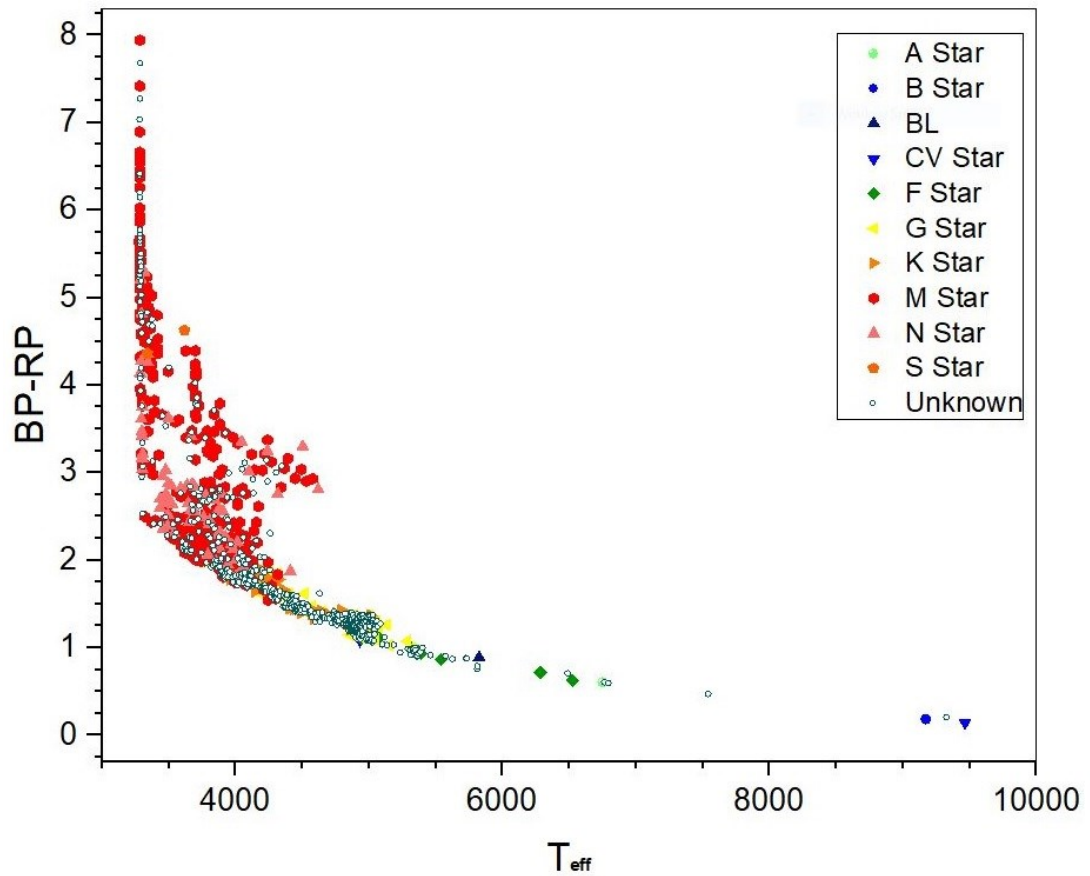
#### Աղյուսակ 5.5

9 օբյեկտի Gaia DR2 լուսատվությունները և LAMOST DR5 - ի սպեկտրային դասերը

| CRTS կամ LINEAR<br>համար | P<br>(օր) | Փոփոխականության<br>դաս      | Gaia DR2<br>$T_{\text{eff}}$ | Լուսատվ.<br>(ար. մ) | Սպ.<br>դաս |
|--------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|------------|
| J034525.1+294352         | 13.88     | W UMa                       | 3470                         | 0.33                | M2         |
| J035614.7-022826         | 240.9     | RS CVn                      | 5070                         | 2.15                | F9         |
| J040513.0+220743         | 10.00     | RS CVn                      | 3570                         | 0.06                | M2         |
| J045535.3+213800         | 60.46     | RS CVn                      | 4080                         | 21.82               | G5         |
| J144715.4-021415         | 13.57     | RS CVn                      | 4440                         | 2.6                 | K3         |
| J170211.1+175334         | 10.24     | W Uma դասի կրկնակի խավարուն | 4970                         | 26.73               | G9         |
| J173134.5+573738         | 14.98     | RS CVn                      | 4970                         | 69.17               | G5         |
| LINEAR 3513885           | 16.18     | RR Lիրա                     | 4980                         | 6.5                 | K1         |
| LINEAR 13990545          | 1503.71   | Կատակլիզմիկ փոփոխական       | 9470                         | -                   | B0 IV      |

Նկար 5.12-ում բերված է Gaia DR2 BP - RP –  $T_{\text{eff}}$  դիագրամը 1184 PV- ի համար: 1184-ից 76 PV ունեն մեծ Gaia DR2 BP - RP գույներ՝ 5<sup>m</sup>: Բոլորն էլ միրիդներ են՝ M դասի M7 ենթադասերից ավելի ուշ աստղեր: Այս ցուցակի մեծ գույնի ցուցիչով 23 աստղ չեն

դասակարգվել: Նրանք բոլորը անհայտ են և կապված են IRAS աղբյուրների հետ և դուրս են HQS և HES դաշտերից: Դրանց աստղային մեծությունը ավելի մեծ է քան  $V_{\text{CSS}} < 13^m$ :



Նկար 5.12 *Gaia* DR2  $BP - RP - T_{\text{eff}}$  դիագրամը:

## 5.5 ՀԻՆԳԵՐՈՐԴ ԳԼԽԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ:

Ամփոփելով վերը նշված արդյունքները կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները.

1. FBS ուշ դասի աստղերից 54 N դասի C աստղերից 9-ը դասակարգվել են միրիդներ, 43-ը՝ SR, իսկ 2-ը՝ Irr փոփոխականներ, ըստ CSS և NSVS պայծառության կորերի: Ըստ ASAS-SN պայծառության կորերի M հսկա աստղերից 690 դասակարգված են SR, 294 աստղ՝ L(Irr) տիպի փոփոխականներ և 112 աստղ միրիդներ:
2. FBS վաղ դասի C աստղեր չկան փոփոխական աստղերի CSS կատալոգում, կամ, եթե առկա են պայծառության կորերը տվյալների շտեմարանում, ամպլիտուդիան շատ փոքր է, ինչը ենթադրում է շատ փոքր փոփոխականություն կամ փոփոխականության բացակայություն: Դրանից բխում է, որ դրանք AGB աստղեր չեն: Փոփոխականությունը կարող է պայմանավորված լինել այդ աստղերի կրկնակիությամբ:
3. FBS միրիդների պարբերության արժեքի գագաթնակետն ընկած է 250-ից 300 օրվա միջև: Սա ենթադրում է, որ FBS միրիդները հիմնականում ցածր զանգվածով AGB աստղեր են, որոնց բնորոշ զանգվածը կազմում է  $1M_{\odot}$ :
4. FBS C աստղերի համար գնահատված գալակտիկական հարթությունից ամենացածր հեռավորության արժեքը  $Z = 0.9$  կպս է, իսկ ամենաբարձր արժեքն՝  $Z = 26.2$  կպս: SR փոփոխականների համար գնահատված առավելագույն պարբերությունը  $P = 398$  օր է: Գնահատվել են K շերտի բացարձակ աստղային մեծությունները և հեռավորությունները 2MASS-ի [70] K աստղային մեծություններից, ընդունելով, որ K աստղային մեծության փոփոխությունը աննշան է, օգտագործելով պարբերություն-լուսատվություն (PL) կախվածությունները: Ստացված արժեքները լավ համաձայնության մեջ են Գալակտիկայի և Մեծ մագելանյան ամպերի միրիդների համար հնարավոր առավելագույն բացարձակ աստղային մեծության՝  $M_K = -8.2 \pm 0.2$  արժեքի հետ, որը համապատասխանում է մոտ  $5000 \div 6000L_{\odot}$  բոլոմետրիկ լուսատվության, ինչը AGB աստղերի համար ակնկալվող լուսատվություն է: Նման

հետազոտությունների համար պահանջվում է բարձր գալակտիկական լայնություններում մեծ քանակությամբ C աստղերի օպտիկական և ինֆրակարմիր ուսումնասիրություն:

5. Կազմվել է 1184 CRTS և LINEAR օբյեկտների ցուցակ, որոնց համար  $P \geq 10$  օր է: Այն հասանելի է <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/other/Ap/64> համացանցային կայքում:
6. Սպեկտրալ դասեր հաստատված են ավելի քան 625 PV-ի համար: Դրանք F, G, K և M հսկաներ և թզուկներ են, ինչպես նաև N դասի թույլ բաբախող զարգացած աստղեր են բարձր գալակտիկական լայնություններում: Միրիդների զգալի քանակ դասակարգվում են վաղ ենթադասի M աստղեր: Առաջին անգամ հաստատվել են շատ աստղերի սպեկտրային դասեր, որոնք ներկայացված են [135] կատալոգում, բայց առանց սպեկտրային դասերի: Այս ցուցակը շատ օգտակար կլինի այդ կատալոգի հետագա տարբերակների համար:
7. Շատ մեծ Gaia DR2 BP - RP գույներով 100 LPV աստղից 25 աստղի համար դեռ սպեկտրոսկոպիկ եղանակով պետք է հաստատվեն այդ աստղերի բնույթը, և դրանք կներառվեն մեր հետագա աշխատանքներում:
8. LPV- ների մի մեծ մասի համար CRTS V շերտի աստղային մեծությունն ավելի թույլ է, քան  $15^m.0$ - $16^m.0$ : PV ցուցակը զգալիորեն ընդլայնում է M հսկաների, թույլ AGB ածխածնային աստղերի և M թզուկների քանակը Արեգակի շրջակայքում՝ մինչև  $17^m.0$  օպտիկական տիրույթում:



## ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ատենախոսությունը վերաբերում է բարձր գալակտիկական լայնություններում DFBS ուշ դասի աստղերի ուսումնասիրությանը: Ուշ դասի աստղերին վերաբերող հետազոտությունները մեծ կարևորություն ունեն աստղային զարգացման փուլերը բացատրելու, աստղերի անկայուն դրսևորումների, ինչպես նաև՝ գլխավոր հաջորդականություն – հսկա – մոլորակաձև միգամածություն – սպիտակ թզուկ անցումների ֆիզիկական հասկանալու համար: Բազմաալիքային սպեկտրային հետազոտությունները դիտողական աստղաֆիզիկայի հիմնական զենքն են աստղերում ընթացող ֆիզիկական երևույթների բացահայտման պրոցեսում: Այդ պատճառով շատ կարևոր է ներկա աշխատանքում իրականացվող ուշ դասի աստղերի սպեկտրների դասակարգումը:

Փոփոխականության հետ կապված բազմաթիվ հարցեր դեռևս մնում են անպատասխան, մասնավորապես. որքան է տարբեր փոփոխական աստղերի ներդրումը ընդհանուր փոփոխականության մեջ, ինչպես են դրանք բաշխված ըստ աստղային մեծության և գույնի, որոնք են փոփոխականության ժամանակային մասշտաբները և փոփոխականության հիմնական մեխանիզմները: Այդ պատճառով շատ կարևոր է նաև ներկա աշխատանքում իրականացվող ուշ դասի աստղերի փոփոխականության ուսումնասիրությունը:

Հետաքրքիր է նաև պարզաբանել թույլ պայծառության ուշ դասի աստղերի հայտնվելը Գալակտիկական հալոյում Արեգակից մեծ հեռավորությունների վրա, մասնավորապես՝ բարձր տեսագծային արագություն ունեցող M հսկաների, N դասի AGB և թույլ CH դասի C աստղերի ծագումը և էվոլյուցիան բարձր գալակտիկական լայնություններում և գալակտիկական հալոյում:

Ատենախոսությունում ներկայացված են FBS սպեկտրային թիրեղների վրա հայտնաբերված 426 ուշ դասի աստղերի միաչափ և երկչափ դասակարգման մեթոդը: Կատարվել են սպեկտրային դիտումներ ճեղքավոր սպեկտրոգրաֆներով, Բոլոնիայի աստղագիտական աստղադիտարանի 1.52մ Կասսինիի դիտակով Լոյանոյում (Իտալիա) և Բյուրականի աստղաֆիզիկական աստղադիտարանի 2.6մ դիտակով: Որոշվել են FBS

ուշ դասի աստղերի լուսատվության դասերը: Կատարվել են աստղերի լուսաչափական ուսումնասիրություններ ինֆրակարմիր IRAS, 2MASS, WISE, AKARI շրջահայությունների շրջանակներում: Կատարվել է նաև *GAIA* շրջահայության ուսումնասիրություն: Ուսումնասիրվել է FBS ուշ դասի աստղերի փոփոխականությունը:

Արվել են հետևյալ եզրակացությունները.

- Հայտնաբերվել են նոր 426 թույլ աստղ՝ 27 վաղ և ուշ դասի C աստղեր և 399 M դասի աստղ:
- Կազմվել է FBS ուշ դասի աստղերի վերանայված և թարմացված կատալոգի երկրորդ տարբերակը, որը պարունակում է 1471 աստղի սպեկտրային դասակարգումները, լուսատվության դասերը: Կատալոգի աստղերից 127-ը՝ վաղ և ուշ դասերի ածխածնային աստղեր են, 235 աստղ M դասի թզուկներ են և 1109 աստղը M դասի հսկաներ են: Վերանայված կատալոգում բերվում են ճշգրիտ DSS1 / DSS2 դիրքերը, USNO-B1.0 շտեմարանի օպտիկական լուսաչափությունը և սեփական շարժումները, 2MASS, WISE IR լուսաչափությունը, *Gaia* DR2 տվյալները, IRAS PSC/FSC և այլն: Կատալոգի էլեկտրոնային տարբերակը հասանելի է՝ <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/MNRAS/489/2030> համացանցային կայքում:
- Կառուցվել են բոլոր IR գույն-գույն դիագրամները, որոնք ևս մեկ անգամ հաստատում են սպեկտրասկոպիկ դասակարգման ճշտությունը:
- WISE շրջահայության W2 –W3 , W1 –W2 և W3 –W4 , W1 –W2 գունային դիագրամներում վաղ և ուշ դասի C աստղերը շատ լավ առանձնանում են, M դասի հսկաները հիմնականում հանդես են եկել կոմպակտ տիրույթում:
- IR լուսաչափական տվյալներով ուսումնասիրվել են աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթները: Այն օբյեկտները, որոնք ունեն  $K_s - AKARI9 > 3^m.0$  գունային ցուցիչ, ցույց են տալիս կրկնակի գազաթներ սպեկտրային էներգիայի բաշխման դիագրամներում, ինչը վկայում է աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթների մասին:

- C աստղերի համար կառուցվել են SED-երը: 5 N դասի աստղեր, որոնք ունեն  $W2-W3 > 1^m.0$  գույնի ցուցիչ SED-ում ցույց են տալիս կրկնակի գագաթներ, ինչը վկայում է այդ աստղերի շուրջ գազափոշային թաղանթի առկայության մասին:
- 2MASS լուսաչափական տվյալներով որոշվել են վաղ դասի ածխածնային աստղերի ջերմաստիճանները, որոնք լավ համաձայնության մեջ են այլ տվյալների շտեմարանների տրված արժեքների հետ:
- Ուսումնասիրված օբյեկտների մեջ ամենակարմիր օբյեկտը N- դասի FBS 2213 + 421 աստղն է, որը պատկանում է ջրածնով աղքատ AGB R Coronae Borealis սառը փոփոխականներին:
- Կառուցվել են գույն - բացարձակ աստղային մեծություն և արդյունարար ջերմաստիճան - բացարձակ աստղային մեծություն Հերցշպրունգ-Ռեսել դիագրամները՝ հիմնված հեռավորության տվյալների վրա: FBS C աստղերը հսկա և AGB աստղեր են գալակտիկական հալոյում: Դրանք գտնվում են Արեգակից 14 կմ հեռավորությունից ոչ հեռու և գալակտիկական հարթությունից 8 կպս հեռավորության վրա: M դասի հսկաները AGB աստղեր են և գտնվում են AGB ճյուղի վերին մասում:
- Գնահատվել են *Gaia* DR2 լայնաշերտ G բացարձակ աստղային մեծությունները, համաձայն GAIA լուսատվության տվյալների կրկին կարելի է եզրակացնել, որ FBS ուշ դասի աստղերը հիմնականում կարմիր հսկաներ են և AGB աստղեր են:
- Այս աշխատանքի ամենակարևոր արդյունքներից մեկն այն է, որ *Gaia* DR2 BP - RP --  $T_{\text{eff}}$  դիագրամը կարող է ծառայել որպես հիանալի գործիք հաստ գազափոշային թաղանթներով N դասի աստղեր ընտրելու համար:
- Կառուցվել է FBS ուշ դասի հսկաների համար *Gaia* - 2MASS դիագրամները, որտեղ աստղերը բաժանվում են ըստ իրենց քիմիական բաղադրության, ինչպես LMC-ի երկար պարբերականներն են բաժանվում Lերզելթերի աշխատանքի համապատասխան դիագրամում: Օ հարուստ և C հարուստ աստղերի տարբերությունն էլ ավելի տեսանելի է դառնում այս հետազոտության արդյունքում ստացված նոր դիագրամների վրա՝  $W_{\text{RP, BP - RP}} - W_{\text{K, J - Ks}}$  — *Gaia* BP-RP գույն-գույն և 2MASS J - K<sub>s</sub> — BP-RP գույն-գույն դիագրամներ: Սա հնարավորություն է

տալիս օգտագործել Վեսենհայտի ինդեքսների տարբերությունը՝  $W_{RP, BP-RP} - W_{KS, J-KS}$ , անհայտ հեռավորությամբ աստղերի՝ ըստ քիմիական բաղադրության դասակարգման համար՝ սակայն կորցնելով *Gaia* - 2MASS դիագրամի աստղերն ըստ զանգվածի առանձնացնելու հնարավորությունը:

- FBS հսկաների մեծ մասը *Gaia* - 2MASS դիագրամում զբաղեցնում են ցածր զանգվածով և թթվածնով հարուստ AGB աստղերի տիրույթը: Այսպիսով, հավանական է, որ FBS ուշ դասի աստղերը հիմնականում ունեն  $M < 2M_{\odot}$  զանգված: Բացի այդ, դիագրամի շնորհիվ կարելի է հայտնաբերել է AGB միջին զանգվածով աստղերի մի քանի թեկնածուներ: FBS M հսկաների մեջ չկան RSG աստղեր և  $5M_{\odot}$  զանգվածից մեծ AGB աստղեր:
- Կառուցվել են *Gaia* տանգենցիալ արագություն - գալակտիկական հարթության բաշխման դիագրամը: FBS M հսկաները հանդիսանում են գալակտիկայի բարակ և հաստ սկավառակի բնակչություն: Հալոյի թեկնածուները շատ քիչ են:
- Կառուցվել են *Gaia* բացարձակ մեծություն - աստղերի պարբերություն դիագրամները, որոնք ցույց են տալիս, որ FBS M դասի հսկաները հիմնականում ցածր զանգվածով AGB կամ RGB աստղեր են:
- FBS ուշ դասի աստղերից 54 N դասի C աստղերից 9-ը դասակարգվել են որպես միրիդներ, 43-ը՝ SR, իսկ 2-ը՝ Irr փոփոխականներ, ըստ CSS և NSVS պայծառության կորերի: «VStar» փաթեթի օգնությամբ որոշվել են այդ փոփոխական աստղերի պարբերությունները և ամպլիտուդները: Ըստ ASAS-SN պայծառության կորերի M հսկա աստղերից 690 դասակարգված են SR, 294 աստղ՝ L(Irr) տիպի փոփոխականներ և 112 աստղ միրիդներ:
- Ուշ դասի C աստղերի համար գնահատվել են K շերտի բացարձակ աստղային մեծությունները և հեռավորությունները: Ըստ այդ արժեքների FBS ուշ դասի C աստղերը AGB աստղեր են:
- Միրիդների համար գնահատվել է զանգվածի կորստի չափը: Ստացված արժեքները տատանվում են  $10^{-5}$ - $10^{-7} M_{\odot}$ /տարեկան սահմաններում, որոնք բնորոշ են N դասի AGB փոփոխական աստղերին:

- Կազմվել է 1184 CRTS և LINEAR օբյեկտների ցուցակ, որոնց համար  $P \geq 10$  օր է: Այն հասանելի է <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/other/Ap/64> համացանցային կայքում: Սպեկտրալ դասեր առաջին անգամ հաստատված են 624 PV-ի համար [136]: Դրանք F, G, K և M հսկաներ և թզուկներ են, ինչպես նաև N դասի թույլ բաբախող աստղեր են բարձր գալակտիկական լայնություններում: Զգալի քանակ թույլ միրիդների դասակարգվում են վաղ ենթադասի M աստղեր: PV ցուցակը զգալիորեն ընդլայնում է M հսկաների, թույլ AGB ածխածնային աստղերի և M թզուկների քանակը Արեգակի շրջակայքում՝ մինչև  $17^m.0$  օպտիկական տիրույթում:
- Շատ մեծ *Gaia* DR2 BP - RP գույնի ցուցիչներով 100 LPV աստղի և 25 աստղի համար դեռ սպեկտրոսկոպիկ եղանակով պետք է հաստատվեն դրանց սպեկտրային դասերը, և դրանք կներառվեն մեր հետագա աշխատանքներում: LPV- ների մի մեծ մասի համար CRTS V շերտի աստղային մեծություններն ավելի թույլ են  $15^m.0$ - $16^m.0$  աստղային մեծությունից:

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՔՈՒՄ ԸՆԿԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԸ

1. Gigoyan K. S., Mickaelian A. M., Kostandyan G. R., “Revised and updated catalogue of the First Byurakan Survey of Late-Type Stars: second edition”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. **489**, Issue 2, p.2030-2037, 2019.
2. Kostandyan G., Gigoyan, K. S., Sarkissian A., Meftah, M., Zamkotsian F., “New CH Carbon Stars Found in the DFBS”, Astrophysics, Vol. **60**, Issue 2, pp.300-303, 2017.
3. Gigoyan K. S., Sarkissian A., Rossi C., Russeil D., Kostandyan G., et al, M., “Investigation of Faint Galactic Carbon Stars from the First Byurakan Spectral Sky Survey. III. Infrared Characteristics”, Astrophysics, Vol. **60**, Issue 1, pp.70-82, 2017.
4. Gigoyan, K. S., Sarkissian A., Russeil D., Maunon, N., Kostandyan G., et al., “Investigation of Faint Galactic Carbon Stars from the First Byurakan Spectral Sky Survey. II. Early-Type Carbon Stars”, Astrophysics, Vol. **58**, Issue 3, pp.369-379, 2015
5. Костандян Г. Р., «Исследование слабых галактических углеродных звезд из первого Бюраканского спектрального обзора неба. IV. Gaia DR2 данные» Астрофизика, **63**, pp. 91-102 2020
6. Gigoyan K. S, Lebzelter T., Kostandyan G. R., et al., «New results for FBS late-type stars using the GAIA EDR3 data», Publications of the Astronomical Society of Australia (accepted)
7. Gigoyan, K. S., Sarkissian A., Russeil D., Maunon N., Kostandyan G., et al, «Investigation of Faint Galactic Carbon Stars from the First Byurakan Spectral sky Survey. Optical Variability. I. N-Type AGB Carbon Stars. K-band Absolute Magnitudes and Distances», Astrophysics, Vol. **57**, Issue 4, pp.510-519, 2014.
8. Gigoyan K., Kostandyan G. R., Gigoyan K., Sarkissian A. et.al, «Investigations of the Periodic Variables in the Catalina and Linear Databases», Astrophysics, Vol. **64**, Issue 1, p.20-32, 2021

## ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ

|           |                                                                                |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| FBS       | First Byurakan Survey                                                          |
| UVX       | Ultra Violet-excess                                                            |
| DFBS      | Digitized First Byurakan Survey                                                |
| LTS       | Late-type star                                                                 |
| AGB       | Asymptotic Giant Branch                                                        |
| RGB       | Red Giant Branch                                                               |
| TP-AGB    | Thermally-Pulsing AGB                                                          |
| SR        | semi-regular                                                                   |
| Irr       | irregular                                                                      |
| MKK       | Morgan-Keenan-Kelman                                                           |
| FHLCs     | Faint High Latitude Carbon stars                                               |
| ESO       | Euoropean Southern Observatory                                                 |
| SDSS      | Sloan Digital Sky Survey                                                       |
| 2MASS     | The Two Micron All Sky Survey                                                  |
| FITS view | Flexible Image Transport System view                                           |
| LAMOST    | Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope                      |
| CCD       | Charge-Coupled Device                                                          |
| IRAF      | Image Reduction Analysis Facility                                              |
| MIDAS     | Munich Image Data Analysis System                                              |
| IRAS      | Infrared Astronomical Satellite                                                |
| IRAS PSC  | IRAS catalogue of Point Sources                                                |
| IRAS FSC  | IRAS Faint Source Catalog                                                      |
| APOGEE    | Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment                         |
| SIMBAD    | Set of Identifications, Measurements, andBibliography for<br>Astronomical Data |
| SED       | Spectral energy distribution                                                   |
| AKARI     | The Infrared Astronomical Mission AKARI                                        |

|           |                                                    |
|-----------|----------------------------------------------------|
| WISE      | Wide-Field Infrared Survey Explorer                |
| GAIA      | Global Astrometric Interferometer for Astrophysick |
| Gaia DR2  | Gaia Data Release 2                                |
| Gaia EDR3 | Gaia Early Data Release 3                          |
| RSG       | Red Supergiant                                     |
| SAAO      | South African Astronomical Observatory             |
| CSS       | Catalina Sky Survey                                |
| SSS       | Siding Springs Survey                              |
| MLS       | Mount Lemmon Survey                                |
| PV        | Periodic Variable                                  |
| ROTSE     | Robotic Optical Transient Search Experiment        |
| NSVS      | The Northen Sky Variability Survey                 |
| ASAS      | The All Sky Automated Survey                       |
| LINEAR    | Lincoln Near-Earth Asteroid Research               |
| AAVSO     | American Association of Variable Star Observers    |
| LPV       | Long Periodic Variable                             |
| VStar     | Variable Star                                      |
| DCDFT     | The Date Compensated Discrete Fourier Transform    |



## ՇՆՈՐՀԱԿԱԼՈՒԹՅՈՒՆ

Կցանկանայի իմ խորին երախտագիտությունը հայտնել իմ ղեկավար՝ ֆ.մ.գ.թ.՝ Կամո Սերյոժայի Գիգոյանին աշխատանքներում արժեքավոր խորհուրդների համար: Ցանկանում եմ նաև շնորհակալություն հայտնել Արեգ Միքայելյանին օգտակար խորհուրդների համար, ինչպես նաև Վ.Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանի ողջ անձնակազմին:

«Ատենախոսության» աշխատանքները մասնակիորեն աջակցություն են ստացել՝

- Գիտության եւ կրթության հայկական ազգային հիմնադրամի (ANSEF-Astroex-5153) կողմից (2019թ),
- ակադ. Վիկտոր Համբարձումյանի անվան միջազգային գիտական մրցանակի կողմից (գիտահետազոտական դրամաշնորհ 2020թթ.):

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Маркарян Б. Е., «Галактики с ультрафиолетовым континуумом. I. » 1967, Астрофизика, **3**, 55-68.
2. Markarian B. E., Lipovetsky V. A., Stepanian J. A., Erastova L. K., Shapovalova A. I., «The first Byurakan survey. A catalogue of galaxies with UV-continuum», 1989, Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii, Vol. **62**, p. 5-117
3. Markarian B. E., Lipovetsky V. A., Stepanian J. A., Erastova L. K., Shapovalova A. I., 1997, VizieR Online Data Catalog, 7172, VII/61A
4. Mickaelian A., «Revised and Updated Catalogue of the First Byurakan Survey Blue Stellar Objects», 2008, The Astronomical Journal, Volume **136**, Issue 3, pp. 946-953
5. Абрамян Г. В. и Гигоян К. С., «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. I. Полоса  $+37^{\circ} \leq \delta \leq +41^{\circ}$ », 1989, Астрофизика, **31**, 601-604.
6. Абрамян Г. В. и Гигоян К. С., «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. III. Полоса  $+33^{\circ} \leq \delta \leq +37^{\circ}$ », 1990, Астрофизика, **33**, 317-319.
7. Абрамян, Г. В. и Гигоян, К. С., «Спектрофотометрическое исследование слабых углеродных звезд на высоких галактических широтах. II. Спектрофотометрические характеристики 21 углеродной звезды», 1993, Астрофизика, **36**, 181-188.
8. Абрамян Г. В. и Гигоян К. С., «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. V. Полоса  $+65^{\circ} \leq \delta \leq +69^{\circ}$ », 1994, Астрофизика, **37**, 585-590.
9. Абрамян Г. В. и Гигоян, К. С. «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. VI. Полоса  $+69^{\circ} \leq \delta \leq +77^{\circ}$ », 1995, Астрофизика, **38**, 211-216.

10. Абрамян Г. В., Гигоян К. С. и Шахбазян, Г. М. «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. VII. Полоса  $+76^{\circ} \leq \delta \leq +80^{\circ}$ », 1995, Астрофизика, **38**, 351-358.
11. Гигоян К. С. и Амбарян В. В., «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. VIII. Полоса  $+80^{\circ} \leq \delta \leq +90^{\circ}$ », 1996, Астрофизика, **39**, 523-530.
12. Гигоян К. С., Амбарян В. В. и Аззопарди М., «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Звезды поздних спектральных классов. X. Полоса  $-11^{\circ} \leq \delta \leq -7^{\circ}$ », 1998, Астрофизика, **41**, 545-560
13. Gigoyan K. S., Abrahamyan H. V., Azzopardi M., Russeil D., «First Byurakan Spectral Sky Survey. Stars of Late Spectral Types. XII. Zone  $-3^{\circ} \leq \delta \leq +1^{\circ}$ », 2001, Astrophysics , Vol. **44**, p. 328-334
14. Gigoyan K. S., Abrahamyan H. V., Azzopardi M., Russeil D., «First Byurakan Spectral Sky Survey. Stars of Late-Spectral Types. XIII. Zone  $+1^{\circ} \leq \delta \leq +13^{\circ}$ », 2002, Astrophysics, Vol. **45**, p. 322-333
15. Gigoyan K. S., Abrahamyan H. V., Azzopardi M., Maun, N.; Russeil, D.; Sinamyan, P. «First Byurakan Spectral Sky Survey. Stars of Late-Spectral Types. XIV. Zone  $+13^{\circ} \leq \delta \leq +33^{\circ}$ », 2003, Astrophysics, Vol. **46**, p. 475-488
16. Абрамян Г. В., Синамян П. К. и Гигоян К. С., «Первый Бюраканский спектральный обзор неба. Голубые звездные объекты. XII. Область  $-3^{\circ} \leq \delta \leq +1^{\circ}$ », 2003, Астрофизика, **46**, 63-74.
17. Gigoyan K. S., Sinamyan P. K., Engels D., Mickaelian A. M., «Late-type stars found in the DFBS», 2010, Astrophysics, Vol. **53**, pp.123-132
18. Gigoyan K. S., Engels D., Maun N., Hambaryan, V. V., Rossi, C.; Gualandi, R., «Late-type stars found in the FBS. New carbon stars», 2008, Astrophysics, Vol. **51**, p.209-217

19. Gigoyan K. S., Mickaelian A. M., 2012, «Revised and updated catalogue of the First Byurakan Survey of late-type stars», Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. **419**, p. 3346-3353
20. Gigoyan K. S., Mickaelian A. M., 2012, CDS VizieR Catalogue III/266
21. Mickaelian A. M., Nesci R., Rossi C. Weedman, D.; Cirimele, G.; Sargsyan, L. A.; Erastova, L. K.; Gigoyan, K. S.; Mikayelyan, G. A.; Massaro, E.; Gaudenzi, S., Houck, J.; Barry, D., D'Amante, L., Germano, P., «The digitized first Byurakan survey - DFBS» 2007, Astronomy and Astrophysics, Vol. **464**, p.1177-1180
22. Grey R. O., Corbally C. J. «Stellar Spectral Classification», Princeton University Press, 2009, p 611
23. John B. Hearnshaw «The Analysis of Starlight:Two Centuries of Astronomical Spectroscopy», Cambridge University Press, 2014, Second Edition, p.386
24. Harm J. Habing, Hans, Olofsson «Asymptotic Giant Branch Stars», Springer Science+Business Media New York, 2004, p.566
25. Кононович Э.В. , Мороз В.И, «Общий курс астрономии», Учебное пособие, 2015, 542 страниц
26. Sesar B., Ivezić Ž., Lupton, R., Jurić M., Gunn J. E., Knapp G. R., DeLee N., Smith J., Miknaitis G., Lin, Huan, Tucker Douglas, Doi Mamoru, Tanaka Masayuki, Fukugita Masataka, Holtzman Jon, Kent Steve, Yanny Brian, Schlegel David, Finkbeiner Douglas, Padmanabhan Nikhil, «Exploring the Variable Sky with the Sloan Digital Sky Survey», 2007, The Astronomical Journal, Vol. **134**, Issue 6, p. 2236-2251
27. G. A. Tammann, A. Sandadge, and B. Reindl, «New Period-Luminosity and Period-Color relations of classical Cepheids: I. Cepheids in the Galaxy», 2003, Astronomy and Astrophysics, Vol.**404**, p.423-448

28. G. A. Tammann, A. Sandage, and B. Reindl, «Comparison of Distances from RR Lyrae Stars, the Tip of the Red Giant Branch, and Classical Cepheids», 2008, The Astrophysical Journal, Vol. **679**, p. 52-70
29. P. A. Whitelock, M. W. Feast, and F. van Leeuwen, «The luminosities and distance scales of type II Cepheid and RR Lyrae variables», Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. **386**, Issue 4, p. 2115-2134
30. Kirkpatrick J. D., Henry Todd J., McCarthy Donald W. Jr. A, «Standard Stellar Spectral Sequence in the Red/Near-Infrared: Classes K5 to M9», 1991, Astrophysical Journal Supplement, Vol.**77**, p.417
31. Gigoyan K. S., Rossi C., Sclavi S., Gaudenzi S., «New bright carbon stars found in the DFBS», 2012, Astrophysics, Vol. **55**, Issue 3, p.424-428
32. Alksne Z. K., Alksnis A. K., Dzervitis U. K., «Properties of galactic carbon stars», 1991, Malabar, Fla. : Orbit Book Co., 1991. 1st English ed., p. 170
33. Totten E. J., Irwin M. J., «The APM survey for cool carbon stars in the Galactic halo» 1998, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. **294**, Issue 1, pp. 1-27.
34. Maun, N., «New observations of cool carbon stars in the halo», 2008, Astronomy and Astrophysics, Vol. **482**, Issue 1, p.151-163
35. P. Green, «Innocent Bystanders: Carbon Stars from the Sloan Digital Sky Survey», 2013, The Astrophysical Journal, Vol. **765**, Issue 1, 19pp.
36. N. Maun, K. S. Gigoyan, P. Berlioz-Arthaud, A. Klotz, «Cool carbon stars in the halo and in dwarf galaxies: H $\alpha$ , colours, and variability», 2014, Astronomy & Astrophysics, Vol. **562**, 37 pp.
37. N. Sanduleak, P. Pesch, «A very faint, very red, high-galactic-latitude carbon star», 1982, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 94, p. 690-691
38. J. Moody, S. A. Gregory, M. S. Soukup, et al., «Discovery of a Faint Carbon Star at High Galactic Latitude», 1997, Astronomical Journal, v.**113**, p.1022

39. J. R. Mould, D. P. Schneider, G. A. Gordon, et al., «The velocity dispersion of carbon stars at the North Galactic Pole», 1985, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. **97**, p. 130-137
40. Bothun G., Elias J., MacAlpine G., Matthews K., Mould J., Neugebauer G., Reid I., «Carbon Stars at High Galactic Latitudes», 1991, Astronomical Journal Vol.**101**, p.2220
41. MacAlpine G., Williams G., «Curtis Schmidt-thin prism survey for extragalactic emission-line objects : University of Michigan, List V»,1981, Astrophysical Journal, Suppl. Ser., Vol.**45**, p. 113-120
42. Gigoyan K., Maun N., Azzopardi M., Muratorio G., Abrahamyan H., «A search for faint galactic carbon stars from the First Byurakan Spectral Sky Survey. I.», 2001, Astronomy and Astrophysics, Vol.**371**, p.560-570
43. Gigoyan K., Russeil D., Mickaelian A., Sarkissian A., Avtandilyan M., «New carbon stars found in the Digitized First Byurakan Survey», 2012, Astronomy & Astrophysics, Vol. **544**, id.A95, 8 pp.
44. Hagen H., Groote D., Engels D., Reimers D., «The Hamburg Quasar Survey. I. Schmidt observations and plate digitization», Astronomy and Astrophysics Supplement, Vol.111, p.195
45. Maun N., Azzopardi M., Gigoyan K., Kendall T., «Cool carbon stars in the halo: A new survey based on 2MASS», 2004, Astronomy and Astrophysics, Vol.**418**, p.77-88
46. Skrutskie M., Cutri R., Stiening R., Weinberg M., Schneider S., Carpenter J., Beichman C., Capps R., Chester T., Elias J., Huchra J., Liebert J., Lonsdale C., Monet D., Price S., Seitzer P., Jarrett T., Kirkpatrick J., Howard E.,..., «The Two Micron All Sky Survey (2MASS)», 2006, The Astronomical Journal, Vol.**131**, Issue 2, pp
47. Margon B., Anderson S., Harris H., Strauss M., Knapp G., Fan X., Schneider D., Vanden B., Daniel E. Schlegel D., Deutsch E, Ivezić Ž., Hall P., Williams B., Davidsen A., Brinkmann J., Csabai I, Hayes J., Hennessy G., Kinney E., Kleinman S., «Faint High-Latitude

Carbon Stars Discovered by the Sloan Digital Sky Survey: Methods and Initial Results», 2002, The Astronomical Journal, Vol.**124**, Issue 3, pp. 1651-1669

48. Goswami A., «CH stars at high Galactic latitudes», 2005, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.**359**, Issue 2, pp. 531-544

49. Goswami A., Karinkuzhi D., Shantikumar N., «The CH fraction of carbon stars at high Galactic latitudes», 2010, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.**402**, Issue 2, pp. 1111-1125

50. Karinkuzhi D., Goswami A., «Chemical analysis of CH stars - I. Atmospheric parameters and elemental abundances», 2014, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.**440**, Issue 2, p.1095-1113

51. Christlieb N., Green P., Wisotzki L., Reimers D., «The stellar content of the Hamburg/ESO survey II. A large, homogeneously-selected sample of high latitude carbon stars», 2001, Astronomy and Astrophysics, Vol.**375**, p.366-374

52. Stephenson, C. B., «Late M Stars Found in a Hemispheric Survey», 1986, Astrophysical Journal, Vol.**301**, p.927

53. Gigoyan K. S., Russeil D., Mickaelian A. M., Sarkissian A., Avtandilyan M. G., «New carbon stars found in the Digitized First Byurakan Survey», 2012, Astronomy & Astrophysics, Vol **544**, id.A95, 8 pp

54. Kostandyan G., Gigoyan, K. S., Sarkissian A., Meftah, M., Zamkotsian F., «New CH Carbon Stars Found in the DFBS», 2017, Astrophysics, Vol. **60**, Issue 2, pp.300-303,

55. Gigoyan K. S., Sarkissian A., Rossi C., Russeil, D., Kostandyan, G., Calabresi, M., Zamkotsian, F., Meftah, M., «Investigation of Faint Galactic Carbon Stars from the First Byurakan Spectral Sky Survey. III. Infrared Characteristics», 2017, Astrophysics, Vol. **60**, Issue 1, p.70-82

56. Gigoyan K. S., Sarkissian A., Russeil D., Mauron, N., Kostandyan G., Vartanian R., Abrahamyan H. V., Paronyan G. M., «Investigation of Faint Galactic Carbon Stars from the

First Byurakan Spectral Sky Survey. II. Early-Type Carbon Stars», 2015, Astrophysics, Vol. **58**, Issue 3, p.369-379

57. Gigoyan, K. S., Mickaelian, A. M., Maun, N., «Investigation of faint Galactic carbon stars from the First Byurakan Spectral Sky Survey. II», 2006, Astrophysics, Vol. **49**, Issue 2, p.173-183

58. Luo A., Zhao Y., Zhao G., Deng L., Liu X., Jing Y., Wang G., Zhang H., Shi, J., Cui X., Li G., Bai Z., Wu Y., Cai Y., Cao S., Cao Z., Carlin J., Chen H., Chen J.,... 2016, VizieR On-line Data Catalog: V/149. Originally published in: Res. Astron Astrophys., in prep. (2016)

59. Barnbaum C. and Stone R. P. S., «A moderate-resolution spectral atlas of carbon stars: R, J, N, CN and barium stars», 1996, Astrophys. J. Suppl. Ser., Vol.105, p. 419-473

60. Wallerstein, George and Knapp, Gillian R, «Carbon Stars», 1998, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol.36, pp. 369-434

61. Solf J., «Spectral Type and Luminosity Classification of Late-type M-stars from Near-Infrared Image Tube Coude Spectrograms», 1978, Astron. Astrophys. Suppl., Vol.34, 409-416

62. Gahm G. F., «A Search for Classification Criteria in Spectra of K- and M-Type Stars in the Region  $\lambda\lambda$  5700 – 6800 Å», 1970, Astron. Astrophys., Vol.4, p.268-279

63. Bochanski J., West A., Hawely S., Covey K., «Low-Mass Dwarf Template Spectra from the Sloan Digital Sky Survey», 2007, Astron. J., Vol.133, p.531-544

64. Kirkpatrick J., Reid N., Liebert J. ..., «Dwarfs Cooler Than "M": The Definition of Spectral Type "L" Using Discoveries from the 2-Micron All-Sky Survey (2MASS)», 1999, Astrophys. J., Vol.519, p.802-833

65. Merrill P. W., Deutsch A. J., Kennan A. J., «Absorption Spectra of M-Type Mira Variables», 1962, Astrophys. J., Vol.136, p.21-59

66. Abt H. A., «A Discussion of Spectral Classification», 1963, Astrophys. J. Suppl. Ser., Vol.8, p.99-124



67. Johnson H., Querci F., «The M-Type Stars», 1986, NASA SP-492, Washington: NASA, and Paris: Centre National pour la Recherche Scientifique (CNRS).
68. Monet D., Levine S., Canzian B., Ables H., Bird A., Dahn C., Guetter H., Harris H., Henden A., Leggett S., Levison H., Luginbuhl C., Martini J., Monet A., Munn J., Pier J., Rhodes A., Rieke B., Sell S., Stone R., «The USNO-B Catalog», 2003, The Astronomical Journal, Vol. 125, Issue 2, p. 984-993
69. Gaia Collaboration, Brown A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J., Babusiaux C., Bailer-Jones C., Biermann M., Evans D., Eyer L., Jansen F., Jordi C., Klioner S., Lammers U., Lindegren L., Luri X., Mignard F., Panem C., Pourbaix D., Randich S., «Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties», 2018, Astronomy & Astrophysics, Vol. 616, id.A1, p. 22
70. Cutri R., Skrutskie M., van Dyk S., Beichman C., Carpenter J., Chester T., Cambresy L., Evans T., Fowler J., Gizis J., Howard E., Huchra J., Jarrett T., Kopan E., Kirkpatrick J., Light R., Marsh K., McCallon H., Schneider S., Stiening R., «VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003) », 2003, VizieR On-line Data Catalog: II/246. Originally published in: 2003yCat.2246.0C
71. Moshir, M., et al., «IRAS Faint Source Catalogue, version 2.0», 1990
72. Abrahamyan, H. V., Mickaelian, A. M., & Knyazyan, A. V., «The IRAS PSC/FSC Combined Catalogue», 2015, Astronomy and Computing, Vol. 10, p. 99-106
73. Neugebauer G., Habing H., van Duinen R., Aumann H., Baud B., Beichman C., Beintema D., Boggess N., Clegg P., de Jong T., Emerson J., Gautier T., Gillett F., Harris S., Hauser M., Houck J., Jennings R., Low F., Marsden P., Miley G.,..., «The Infrared Astronomical Satellite (IRAS) Mission», 1984, Astrophysical Journal, Vol. 278, p. L1-L6
74. Wright E., Eisenhardt P., Mainzer A., et al., “The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance”, 2010, Astron. J., Vol.140, p.1868-1881,

75. Gigoyan K., Mickaelian A., «Stars of later spectral classes from the FBS survey. Preliminary data for seven special cases», 2007, *Astrophysics*, Vol. 50, Issue 1, p.54-64
76. West A., Morgan D., Bochanski J., Andersen J., Bell K., Kowalski A., Davenport J., Hawley S., Schmidt S., Bernat D., Hilton E., Muirhead P., Covey K., Rojas-Ayala B., Schlawin E., Gooding M., Schluns K., Dhital S., Pineda J., Sebastian J., David O., «The Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 Spectroscopic M Dwarf Catalog. I. Data», 2011, *The Astronomical Journal*, Volume 141, Issue 3, article id. 97, 12 pp.
77. Bessell, M. S., Brett, J. M., «JHKLM Photometry: Standard Systems, Passbands, and Intrinsic Colors», 1988, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol.100, p.1134
78. Sharples, R. M., Whitelock, P. A., Feast, M.W., «M giants at high galactic latitudes: an old metal-rich population? », 1995, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 272, Issue 1, p. 139-149
79. Whitelock, P. A., Feast, M. W., Marang, F., Overbeek, M. D., «Mass-loss variations among carbon-rich AGB variables», 1997, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 288, Issue 2, p. 512-532
80. Rossi, C., Dell'Agli, F., Di Paola, A., Gigoyan, K. S., Nesci, R., «The variable V381 Lac and its possible connection with the R CrB phenomenon», 2016, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 456, Issue 3, p.2550-2557
81. IRAS Point Source Catalogue, Version 2.0 (IPAC 1986), CDS Catalogue II/125.
82. Van der Veen W. E. C. J. and Habing H. J., “The IRAS two-colour diagram as a tool for studying late stages of stellar evolution”, *Astron. Astrophys.*, 194, 125-134, 1988.
83. Nikutta, R., Hunt-Walker, N., Nenkova, M., Ivezić, Ž., Elitzur, M., «The meaning of WISE colours - I. The Galaxy and its satellites », 2014, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 442, Issue 4, p.3361-3379

84. Murakami H., Baba H., Barthel P. et al., "The Infrared Astronomical Mission AKARI", Publ. Astron. Society of Japan, 59, 369-376, 2007.
85. Tanabé Toshihiko, Sakon Itsuki, Cohen Martin, Wada Takehiko, Ita Yoshifusa, Ohyama Youichi, Oyabu Shinki, Uemizu Kazunori, Takagi Toshinobu, Ishihara Daisuke, Kim Woojung, Ueno Munetaka, Matsuhara Hideo, Onaka Takashi, «Absolute Photometric Calibration of the Infrared Camera (IRC) aboard AKARI», 2008, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.60, No.SP2, pp.S375--S388
86. Carpenter J. M., «Color Transformations for the 2MASS Second Incremental Data Release», 2001, Astron. J., 121, 2851-2871
87. Schlegel D., Finkbeiner D., Davis M., «Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds», 1998, The Astrophysical Journal, Volume 500, Issue 2, pp. 525-553
88. Ridgway S., Joyce R., White N., Wing R., «Effective temperatures of late-type stars: the field giants from K0 to M6», 1980, Astrophysical Journal, Vol. 235, p. 126-137.
89. Ridgway S., Jacoby G., Joyce, R. R.; Wells, D. C., «Angular diameters by the lunar occultation technique. III. », 1980, Astronomical Journal, Vol. 85, p. 1496-1504
90. Feast M., Whitelock P., Menzies J., «Carbon-rich Mira variables: kinematics and absolute magnitudes», 2006, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 369, Issue 2, pp. 791-797
91. Groenewegen M., Whitelock P., Smith C., Kerschbaum F., «Dust shells around carbon Mira variables », 1998, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 293, Issue 1, pp. 18-42.
92. Gigoyan K., Sarkissian A., Russeil D., Mauron N., Kostandyan G., Vartanian R., Abrahamyan H., Paronyan G., «Investigation of Faint Galactic Carbon Stars from the First Byurakan Spectral sky Survey. Optical Variability. I. N-Type AGB Carbon Stars. K-band Absolute Magnitudes and Distances», 2014, Astrophysics, Volume 57, Issue 4, pp.510-519

93. Gaia Collaboration, Brown A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J., Babusiaux C., Bailer-Jones C., Biermann M., Evans D., Eyer L., Jansen F., Jordi C., Klioner S., Lammers U., Lindegren L., Luri, X., Mignard F., Panem C., Pourbaix D., Randich, S.,..., «Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties», 2018, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 616, id.A1, 22 pp.
94. Gaia Collaboration, Brown A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J., Babusiaux C., Biermann M., Creevey O., Evans D., Eyer L., Hutton A., Jansen F., Jordi C., Klioner S., Lammers U., Lindegren L., Luri X., Mignard F., Panem C., Pourbaix D.,..., «Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties», 2021, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 649, id.A1, 20 pp.
95. Bailer-Jones C., Rybizki J., Fouesneau M., Mantelet G., Andrae R., «Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2», 2018, *The Astronomical Journal*, Volume 156, Issue 2, article id. 58, 11 pp.
96. Bailer-Jones C., Rybizki J., Fouesneau M., Demleitner M., Andrae R., «Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 1.47 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3», 2021, *The Astronomical Journal*, Volume 161, Issue 3, id.147, 24 pp.
97. Andrae R., Fouesneau M., Creevey O., Ordenovic Ch., Mary N, Burlacu A., Chaoul L., Jean-Antoine-Piccolo A., Kordopatis G., Korn A., Lebreton Y., Panem C., Pichon B., Thévenin F., Walmsley G., Bailer-Jones C., «Gaia Data Release 2. First stellar parameters from Apsis», 2018, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 616, id.A8, 29 pp.
98. Gigoyan K., Mickaelian A., Kostandyan G., «Revised and updated catalogue of the First Byurakan Survey of Late-Type Stars: second edition», 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 489, Issue 2, p.2030-2037
99. Gaia Collaboration , Eyer L., Rimoldini L., Audard M., Anderson R., Nienartowicz K., Glass F., Marchal O., Grenon M., Mowlavi N., Holl B., Clementini G., Aerts C., Mazeh T., Evans D., Szabados L., Brown A., Vallenari A., Prusti T., de Bruijne J., «Gaia Data Release 2.

Variable stars in the colour-absolute magnitude diagram», *Astronomy & Astrophysics*, Volume 623, id.A110, 20 pp.

100. Gaia Collaboration, Babusiaux C., van Leeuwen F., Barstow M., Jordi C., Vallenari A., Bossini D., Bressan A., Cantat-Gaudin T., van Leeuwen M., Brown A., Prusti T., de Bruijne J., Bailer-Jones C., Biermann M., Evans D., Eyer L., Jansen F., Klioner S., Lammers U.,..., «Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell diagrams», 2018, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 616, id.A10, 29 pp.

101. Huxor A., Grebel E., «Tracing the tidal streams of the Sagittarius dSph, and halo Milky Way features, with carbon-rich long-period variables», 2015, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 453, Issue 3, p.2653-2681

102. Marigo P., Girardi L., Bressan A., Rosenfield Ph., Aringer B., Chen Y., Dussin M., Nanni A., Pastorelli G., Rodrigues Th., Trabucchi M., Bladh S., Dalcanton J., Groenewegen M., Montalbán J., Wood P., «A New Generation of PARSEC-COLIBRI Stellar Isochrones Including the TP-AGB Phase», 2017, *The Astrophysical Journal*, Volume 835, Issue 1, article id. 77, 19 pp.

103. Gaia Collaboration, Babusiaux C., van Leeuwen F., Barstow M., Jordi C., Vallenari A., Bossini D., Bressan A., Cantat-Gaudin T., van Leeuwen M., Brown A., Prusti T., de Bruijne J., Bailer-Jones C., Biermann M., Evans D., Eyer L., Jansen F., Klioner S., Lammers U.,..., «Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell diagrams», 2018, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 616, id.A10, 29 pp.

104. Lebzelter T., Mowlavi N., Marigo P., Pastorelli G., Trabucchi M., Wood P., Lecoeur-Taïbi I., «A new method to identify subclasses among AGB stars using Gaia and 2MASS photometry», 2018, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 616, id.L13, 8 pp.

105. Soszynski I., Udalski A., Kubiak M., Szymanski M. K., Pietrzynski G., Zebrun K., Szewczyk O., Wyrzykowski L., Ulaczyk K., «The Optical Gravitational Lensing Experiment. Miras and Semiregular Variables in the Large Magellanic Cloud», 2005, *Acta Astronomica*, Vol.55, pp.331-348

106. Girardi L., Groenewegen M., Hatziminaoglou E., da Costa L., «Star counts in the Galaxy. Simulating from very deep to very shallow photometric surveys with the TRILEGAL code», *Astronomy and Astrophysics*, Volume 436, Issue 3, June IV 2005, pp.895-915
107. Elgueta S., Graczyk D., Gieren W., Pietrzyński G., Thompson I., Konorski P., Pilecki B., Villanova S., Udalski A., Soszyński I., Suchomska K., Karczmarek P., Górski M., Wielgórski P., «The Orbital and Physical Parameters, and the Distance of the Eclipsing Binary System OGLE-LMC-ECL-25658 in the Large Magellanic Cloud», 2016, *The Astronomical Journal*, Volume 152, Issue 2, article id. 29, 7 pp.
108. Groenewegen M., Nanni A., Cioni M., Girardi L., de Grijs R., Ivanov V., Marconi M., Moretti M., Oliveira J., Petr-Gotzens M., Ripepi V., van Loon J. Th., «The VMC Survey. XXXVII. Pulsation periods of dust-enshrouded AGB stars in the Magellanic Clouds», *Astronomy & Astrophysics*, Volume 636, id.A48, 31 pp.
109. Percy J., «Understanding Variable Stars», Cambridge University Press, 2007. xxi, 350 p.
110. Sear B., Ivezić Ž., Lupton H. et al., «Exploring the Variable Sky with the Sloan Digital Sky Survey», 2007, *Astron. J.*, Vol.134, pp.2236-2251
111. Tammann G., Sandage A., Reindl B., «New Period-Luminosity and Period-Color Relations of Classical Cepheids: I. Cepheids in the Galaxy», *Astron. Astrophys.*, 404, 423-448, 2003.
112. Whitelock P., Feast M., van Leeuwen F., «AGB variables and the Mira period-luminosity relation», 2008, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, Vol.386, pp.313-323
113. Wozniak P., Williams S., Vestrand W. et al., «Identifying Red Variables in the Northern Sky Variability Survey», *Astron. J.*, 128, 2965-2976, 2004.
114. Akerlof C., Amrose S., Balsano P. et al., «Rotse All-Sky Surveys for Variable Stars. I. Test Fields», 2000, *Astron. J.*, Vol.119, pp.1901-1913

115. Drake. A. , Djorgovski. S., Mahabal A. et al., «First Results from the Catalina Real-Time Transient Survey», 2009, *Astrophys. J.*, Vol.696, pp.870-884
116. Pojmanski G., «The All Sky Automated Survey.Catalog of Variable Stars.I. 0h-6h quarter of the Southern Hemisphere», 2002, *Acta Astron.*, Vol.52, pp.397-427
117. Palaversa L., Sesar B., Ivezić Z., «Variable stars from the LINEAR survey», *Information Bulletin on Variable Stars*, No. 6065, #1:
118. Ferraz-Mello S., «Estimation of Periods from Unequally Spaced Observations», 1981, *Astron. J.*, Vol.86, pp.619-624
119. Alksnis A., Balklavs A., Dzervitis U. et al., « General catalog of galactic carbon stars by C. B. Stephenson. Third edition», 2001, *Baltic Astronomy*, Vol.10, pp.1-318
120. Benn D., «Algorithms + Observation = VStar», 2012, *JAVSO*, Vol.40, pp.852-866
121. Feast M., Glass I., Whitelock P., Catchpole R., «A period-luminosity-colour relation for Mira variables», 1989, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 241, p.375-392
122. Grady J., Belokurov V., Evans N., «Age gradients throughout the Galaxy with long-period variables», 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 483, Issue 3, p.3022-3035
123. Grady J., Belokurov V., Evans N., «Age demographics of the Milky Way disc and bulge», 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 492, Issue 3, p.3128-3142
124. Hughes Sh., Wood P, «Long-Period Variables in the Large Magellanic Cloud. II. Infrared Photometric Spectral Classification, AGB Evolution, and Spatial Distribution», 1990, *Astronomical Journal* Vol.99, p.784
125. Soszynski I., Dziembowski W., Udalski A., Kubiak M., Szymanski M., Pietrzynski G., Wyrzykowski L., Szewczyk O., Ulaczyk K., «The Optical Gravitational Lensing Experiment. Period--Luminosity Relations of Variable Red Giant Stars», 2007, *Acta Astronomica*, v.57, pp. 201-225

126. Saio H., Wood P., Takayama M., Ita Y, «Oscillatory convective modes in red giants: a possible explanation of the long secondary periods», 2015, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 452, Issue 4, p.3863-3868
127. Lebzelter T., Trabucchi M., Mowlavi N., Wood P., Marigo P., Pastorelli G., Lecoœur-Taïbi I., «Period-luminosity diagram of long period variables in the Magellanic Clouds. New aspects revealed from Gaia Data Release 2», 2019, Astronomy & Astrophysics, Vol. 631, id.A24, 18 pp
128. Wood P., Alcock C., Allsman R., Alves D., Axelrod T., Becker A., Bennett D., Cook K., Drake A., Freeman K., Griest K., King L., Lehner M., Marshall S., Minniti D., Peterson B., Pratt M., Quinn P., Stubbs C., Sutherland W.,..., «MACHO observations of LMC red giants: Mira and semi-regular pulsators, and contact and semi-detached binaries», 1999, Asymptotic Giant Branch Stars, IAU Symposium #191, Edited by T. Le Bertre, A. Lebre, and C. Waelkens. ISBN: 1-886733-90-2 LOC: 99-62044. p. 151
129. Nicholls C., Wood P., Cioni M., Soszyński I., «Long Secondary Periods in variable red giants», 2009, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 399, Issue 4, pp. 2063-2078
130. Groenewegen M., Whitelock P., «A revised period-luminosity relation for carbon Miras», Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 281, Issue 4, pp. 1347-1351.
131. Knapp G., Pourbaix D., Platais I., Jorissen A., «Reprocessing the Hipparcos data of evolved stars. III. Revised Hipparcos period-luminosity relationship for galactic long-period variable stars», 2003, Astronomy and Astrophysics, v.403, p.993-1002
132. Whitelock P., «Asymptotic Giant Branch variables in the Galaxy and the Local Group», 2012, Astrophysics and Space Science, Volume 341, Issue 1, pp.123-129
133. Law D., Majewski S., «The Sagittarius Dwarf Galaxy: A Model for Evolution in a Triaxial Milky Way Halo», 2010, The Astrophysical Journal, Volume 714, Issue 1, pp. 229-254



134. Fraser O., Hawley S., Cook K., Keller S., «Long-Period Variables in the Large Magellanic Cloud: Results from MACHO and 2MASS», 2005, The Astronomical Journal, Volume 129, Issue 2, pp. 768-775
135. Samus N., Kazarovets E., Durlevich O., Kireeva N., Pastukhova E., «General catalogue of variable stars: Version GCVS 5.1», 2017, Astronomy Reports, Volume 61, Issue 1, pp.80-88