

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

SEÇİLMİŞ A VƏ F SPEKTRAL SİNİFLİ ULDUZLARDA QEYRİ-STASİONARLIQ VƏ KİMYƏVİ TƏRKİB

İxtisas: 2108.01 – Astrofizika və ulduz astronomiyası

Elm sahəsi: Astronomiya

İddiaçı: **Günay Məhərrəm qızı Hacıyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının “Ulduz atmosferləri fizikası və maqnetizm” şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

Astronomiya elmləri doktoru, dosent
Zahir Ağamurad oğlu Səmədov

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Əliqulu Mustafa oğlu Xəlilov

Rəsmi opponentlər:

AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Əyyub Salah oğlu Quliyev

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Abdulkərim İdris oğlu Asvarov

Astronomiya üzrə fəlsəfə doktoru
Günəl Rüstəm qızı Bahəddinova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.39 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri

AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru
Namiq Sərdar oğlu Cəlilov

Dissertasiya şurasının elmi katibi

Astronomiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Orxan Vəqif oğlu Xəlilov

Elmi seminarın sədri:

Astronomiya elmləri doktoru, dosent
Canməmməd Nizam oğlu Rüstəmov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. İfratnəhəng və nəhəng ulduzlar artıq müəyyən nüvə təkamülü mərhələsini keçmiş, Hersşprung-Ressel diaqramında baş ardıcılığı tərk etmişlər. Onların mərkəzində hidrogen yanır qurtarmış, helium, karbon, azot və daha ağır elementlərin nüvə sintezi reaksiyaları başlamışdır.

Ulduzun mərkəzində gedən istilik nüvə reaksiyaları nəticəsində hidrogendən ağır elementlər yaranır. Təkamülün müəyyən mərhələsində ulduz xarici qatını atır (tədricən və ya partlayışla). Bu proses nəticəsində ulduzlararası mühit ağır elementlərlə zənginləşir. Sonrakı mərhələdə isə artıq kimyəvi tərkibcə ağır elementlərlə zəngin olan ikinci nəsil ulduzlar yaranır. Beləliklə, bizim Qalaktikanın təkamülünü öyrənmək məqsədilə ulduzların əsas parametrlərinin (effektiv temperaturu, səthdə ağırlıq qüvvəsinin təcili, kimyəvi tərkibi, kütləsi, radiusu, yaşı) təyini müasir praktiki və nəzəri astrofizikanın ən aktual problemlərindən biridir.

İfratnəhənglər bizim Qalaktikanın, eləcə də digər qalaktikaların ən parlaq ulduzlarındandırlar. Bu ulduzlar cavandır və əsasən qalaktika müstəvisində yerləşirlər. Bizim Qalaktikanın spiral quruluşunun, forma və ölçülərinin, Qalaktikalara qədər məsafənin təyin edilməsində bu ulduzlardan geniş istifadə edilir. Qalaktikada kimyəvi elementlərin paylanması öyrənilməsi və alınmış nəticələr qalaktikaların kimyəvi təkamül modellərinin dəqiqləşdirilməsində mühüm əhəmiyyətə malikdir. Müəyyən edilmişdir ki, nəhəng və ifratnəhəng ulduzlar onların daxilində baş verən fiziki proseslər nəticəsində pulsasiya edir və fasiləsiz olaraq maddə itirir. Qeyd edək ki, belə geniş atmosfərə malik ulduzlarda güclü maddə itkisi və pulsasiya qeyri-müntəzəm olaraq baş verir. Nəhəng və ifratnəhənglərdə baş verən pulsasiya haqqında müşahidələrdən alınmış məlumatlar və yaxud onların atmosferində baş verən irimiqyaslı qeyri-müntəzəm proseslərin izahı həm müşahidə, həm də nəzəri cəhətdən olduqca müxtəlifdir. Ona görə belə ulduzların spektrlərində müşahidə olunan hidrogenin Balmer seriyasının H_α , H_β , H_γ , H_δ və digər elementlərin, məsələn: HeI ,

dublet $NaI D$, Fe və s. spektral xətlərinin araşdırılması müasir astrofizikada mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Dissertasiya işində spektral xüsusiyyətlərinə və kimyəvi tərkibinə görə bir-birindən fərqlənən ifratnəhəng, nəhəng və kimyəvi tərkibinə görə standart olan baş ardıcılıq ulduzları seçilmişdir. Bu ulduzlardan yüksək qalaktik enliklərdə yerləşən 89 Her (F2 Ibe) və Post-AGB HD 161796 (F3 Ib) ulduzlarının seçilməsi, müqayisəli şəkildə öyrənilməsi astrofizikada mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Alınmış nəticələrdən ulduzların və bizim Qalaktikanın təkamülünün öyrənilməsində, həmçinin nəzəri modellərin qurulmasında istifadə oluna bilər.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Dissertasiya işinin obyekti və predmeti A və F spektral sinifli seçilmiş ifratnəhəng ulduzların ŞAR-ın 2 metrlik teleskopunda müntəzəm müşahidələrinin aparılması və alınmış spektral materialların işlənməsi, alınmış spektrlərdə müşahidə olunan H_{α} , H_{β} , dublet $NaI D$ və s. xətlərinin profillərinin formasının və bu xətlərdə bəzi spektral parametrlərin dəyişməsinə əsasən ulduzların atmosferində baş verən qeyristasionar proseslərin öyrənilməsi, həmçinin ulduzların atmosfer parametrlərinin və kimyəvi tərkibinin təyin olunması, alınmış nəticələrin Günəşin və başqa ulduzların kimyəvi tərkibi ilə müqayisəli şəkildə öyrənilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri

1. 89 Her (F2 Ibe) ifratnəhəng ulduzunun ŞAR-ın 2 metrlik teleskopunda uzun zaman intervalında alınmış spektrləri əsasında dublet $NaI D$ xətləri profillərinin və bu xətlərin əsas spektral parametrlərinin uzunmüddətli dəyişkənlik səbəblərinin öyrənilməsi.

2. ϕ Cas (F0 Ia), HD 207260 (A2 Iae), HD 161796 (F3 Ib), 44 Cyg (F5 Iab) ulduzlarının spektrində H_{α} , H_{β} , dublet $NaI D$ və s. xətlərin profillərinin və bu xətlərin bəzi spektral parametrlərinin zamandan asılı olaraq dəyişməsinin aşkar edilməsi.

3. Seçilmiş ulduzların atmosfer parametrlərinin və kimyəvi tərkibinin model üsulu ilə təyin olunması, alınmış nəticələrin ulduzların müasir kimyəvi təkamül nəzəriyyəsinin mülahizələri ilə müqayisə edilməsi.

Tədqiqat üsulları. Ulduzların təbiəti, daxilində gedən qeyri-stasionar proseslər və onların təkamülü haqqında əsas məlumatlar onların keyfiyyətli, yüksək ayırdetmə ilə alınmış spektrlərindən alınır. Spektrlərdə müşahidə olunan elementlərin xətləri (məsələn: hidrogenin Balmer seriyası H_α , H_β , H_γ , H_δ , dublet $NaI D$, HeI , Fe və s.) ulduz atmosferi adlanan xarici qatın fiziki şəraiti və kimyəvi tərkibi haqqında geniş məlumat verir. Qeyd olunan elementlərin xətlərində ekvivalent enin (W_λ) və şüa sürətinin (V_r) periodik dəyişməsinə öyrənmək məqsədilə “Scargle” metodu tətbiq olunmuşdur¹.

Ulduz atmosferlərində kimyəvi elementlərin miqdarını dəqiq təyin etmək üçün daha mükəmməl və müasir üsullardan istifadə etmək lazımdır. Odur ki, bu işdə kimyəvi elementlərin miqdarı ən dəqiq üsul olan Model üsulu ilə təyin edilmişdir. Bu üsuldən istifadə etdikdə ulduzları xarakterizə edən bir sıra fotometrik və spektral kəmiyyətlərin hesablanmış və ölçülmüş qiymətləri müqayisə olunur. Mikroturbulentliyi analiz etmək və kimyəvi elementlərin miqdarını təyin etmək üçün spektral xətlərin ekvivalent enlərinin müşahidədən ölçülmüş qiymətlərindən istifadə olunur. Ulduzların atmosfer parametrlərinin təyində, həmçinin parallaks üsulu da tətbiq olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

1. 89 Her (F2 Ibe) ulduzunun 1975-2017-ci illərdə alınmış spektrlərinə əsasən dublet $NaI D$ xəttinin profillərində udulma komponentlərinin şüa sürəti və ekvivalent eninin 5000 günlük periodla dəyişməsi haqqında tapılmış nəticə.

2. HD 207260 (A2 Iae) ifratnəhəng ulduzunun 2018-ci ildə alınmış spektrlərinə əsasən H_α xəttinin udulma komponentinin şüa sürəti və ekvivalent eninin, həmçinin şüalanma komponentinin şüa sürətinin qiymətinin zamandan asılı olaraq 35-40 günlük kvaziperiodla sinxron dəyişməsi haqqında alınmış nəticə.

3. HD 161796 (F3 Ib) ifratnəhəng ulduzu spektrlərində $NaI D2$

¹Antokhin, I., The enigmatic WN8 stars: intensive photometry of four southern stars on time scales from 30 min to 3 months./ I.Antokhin, J.Bertrand, R.Lamontagne, A.F.J.Moffat. // The Astronomical Journal, - 1995. vol.109, - p.817-834.

($\lambda 5889.953\text{\AA}$) xətti profilinin spektral parametrlərinin (ekvivalent eni və şüa sürəti) 62 günlük periodla dəyişməsi haqqında alınmış nəticə.

4. ϕ Cas (F0 Ia) ifratnəhəng ulduzunun spektrlərində ulduz atmosferinin döyünməsini sübut edən hidrogenin Balmer seriyası (H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_8 , H_9 , H_{10} və H_{11}) xətlərinin profillərində ekvivalent eninin (W_λ) və şüa sürətinin (V_r) dəyişməsi haqqında alınmış analizin nəticələri.

5. HD 80290 (F3 V), HD 138917 (F0 IV), HD 224014 (F8 I), HD 9544 (F5 V), HD 9896 (F3 V) ulduzlarının atmosfer parametrlərinin təyini.

6. HD 80290, HD 224014, Post-AGB HD 161796 ulduzlarının atmosferlərində mikroturbulentliyin analizi, metallığın təyini və alınmış nəticələrin Günəşin metallığı ilə müqayisəsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi

1. İlk dəfə olaraq 89 Her ifratnəhəng ulduzunun 1975-2017-ci illərdə alınmış spektrləri əsasında dublet $NaI D$ xətlərinin profillərində udulma komponentlərinin şüa sürəti və ekvivalent eninin dəyişməsində 5000 günlük period aşkar edilmişdir.

2. HD 161796 ifratnəhəng ulduzu spektrində dublet $NaI D$ ($\lambda 5889.953\text{\AA}$) xəttinin şüa sürəti və ekvivalent eninin zamandan asılı olaraq 62 günlük periodla dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Parlaqlıq əyrisi² xəttin ekvivalent eninin dəyişməsi ilə sinxron, şüa sürəti əyrisi ilə əks fazada dəyişir.

3. İlk dəfə olaraq ϕ Cas ulduzunda bizim tərəfimizdən aparılan müşahidələrdən alınmış aşağıdakı nəticələr sübut edir ki, qeyd olunan dəyişmələr ulduz atmosferinin döyünməsi nəticəsində baş verir: ϕ Cas ifratnəhəng ulduzunun spektrlərinə əsasən hidrogenin Balmer seriyası və dublet $NaI D$ xətləri öyrənilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, H_β , H_γ və H_δ xətlərinin ekvivalent eni dəyişir $\Delta W \approx 1.2 \text{\AA}$ (təqribən 1.4 dəfə). Həmçinin, H_α , H_β və H_γ xətlərinin profillərinin yarıməninə görə təyin olunmuş şüa sürəti də dəyişir.

²Ferro, A.A. Periodicity and pulsational mode of five bright yellow supergiants //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, - 1985. vol.216, №3, - p.571-587.

Bu dəyişmənin amplitudu uyğun olaraq $\Delta V_r \approx -19 \text{ km/s}$, -20 km/s və -19 km/s -dir. Tapılmışdır ki, H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_8 xətlərin ulduz atmosferində yarandığı laylar uyğun olaraq -38 km/s , -12 km/s , -4 km/s , -2 km/s , -8 km/s sürəti ilə ulduzun mərkəzindən müşahidəçiyə tərəf hərəkət edərək genişlənir. Lakin, H_9 , H_{10} və H_{11} xətlərin effektiv yarandığı laylar isə əksinə, müşahidəçidən ulduzun mərkəzinə tərəf uyğun olaraq $+8 \text{ km/s}$, $+6 \text{ km/s}$ və $+1 \text{ km/s}$ sürət ilə hərəkət edərək sıxılırlar.

4. İlk dəfə olaraq, HD 207260 ifratnəhəng ulduzunun 2018-ci ildə alınmış spektrlərinə əsasən aşkar olunmuşdur ki, P Cyg tipli H_α xətti profilində udulma və şüalanma komponentinin şüa sürəti, həmçinin udulma komponentinin ekvivalent eninin qiyməti sinxron dəyişir və bu dəyişmə 35-40 günlük kvaziperiodla baş verir.

5. İlk dəfə olaraq model üsulu ilə HD 80290, HD 138917, HD 9544, HD 9896 ulduzlarının effektiv temperaturu (T_{eff}) və səthlərində ağırlıq qüvvəsinin təcili ($\log g$) təyin edilmiş və bu ulduzların atmosfer modelləri hesablanmışdır.

6. İlk dəfə olaraq, HD 80290, HD 224014 ulduzlarının atmosferlərində mikroturbulent hərəkət sürəti (ζ_t) təyin edilmişdir.

7. İlk dəfə aşkar edilmişdir ki, HD 80290 ulduzunda metallıq Günəşdəki kimidir.

Tədqiqatın praktiki və nəzəri əhəmiyyəti

1. ŞAR-ın 2 metrlik teleskopunda 89 Her, HD 207260, HD 161796 və s. ifratnəhəng və nəhəng ulduzların yüksək ayırdetməli bircins eşelle spektrləri alınmışdır. Bu materiallardan istifadə etməklə digər müəlliflər alternativ üsullarla həmin ulduzları tədqiq edə bilirlər.

2. 89 Her ulduzunun 1975-2017-ci illərdə alınmış spektrlərində dublet $\text{NaI } D$ udulma xətlərinin profilləri öyrənilmişdir. İlk dəfə tapılmışdır ki, qeyd olunan xətlərin şüa sürəti və ekvivalent eni 5000 günlük periodla dəyişir. Spektral qoşa sistemin modeli çərçivəsində 5000 günlük perioda əsasən qoşa sistemin orbital elementlərinin parametrləri hesablanmışdır.

Bizim tərəfimizdən 89 Her ulduzunun qoşalığı haqqında tapılmış 5000 günlük period bu ulduzun təkamülünün müəyyən olunmasında və nəzəri modelinin yenidən qurulmasında istifadə

oluna bilər.

3. HD 207260, HD 195593, HD 164613, HD 80290, HD 138917, HD 224014, HD 9544, HD 9896, Post-AGB HD 161796 proqram ulduzların spektrlərində müşahidə olunan hidrogenin Balmer seriyası, həmçinin bütün elementlərin xətləri cəmləndirilmiş və bu xətlərin spektral parametrləri təyin olunmuşdur. Bu ölçmələr əsasında məlumatlar bazası yaradılmışdır. Gələcəkdə qeyri-stasionar proseslərin öyrənilməsində və kimyəvi tərkibin təyində istifadə oluna bilər.

4. HD 80290, HD 138917, HD 224014, HD 9544, HD 9896 ulduzlarının atmosfer modelləri hesablanmışdır. Bu modellərdən nəzəri astrofizikanın bir sıra tədqiqatlarında istifadə etmək olar.

5. Dissertasiyada ifratnəhəng və nəhəng ulduzlarda baş verən qeyri-stasionar proseslər, həmçinin kimyəvi tərkib üçün alınan nəticələr gələcəkdə ulduzların və bizim Qalaktikanın təkamülünün öyrənilməsində nəzəri tədqiqatlar üçün zəngin məlumat bazası ola bilər.

Dissertasiya işinin etibarlılığı. Müşahidə materialları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin N.Tusi adına ŞAR-ın 2 metrlik teleskopunda CCD kameranın tətbiqi ilə alınmışdır. Müşahidələrin aparılması və spektral ölçmələr müasir cihaz və proqramlarla həyata keçirilmişdir. Standart ulduzların atmosfer parametrləri və kimyəvi tərkibi üçün alınmış nəticələr istifadə olunan nəzəri modellərin düzgün seçilməsini sübut edir. Alınan nəticələrin əksəriyyəti tamamilə yenidir, bəzi nəticələr isə başqa müəlliflər tərəfindən alınan nəticələrlə yaxşı uyğunluq təşkil edir və onları tamamlayır. Bütün bunlar alınan nəticələrin dürüst və etibarlı olmasını təmin edir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işi yerinə yetirilərkən onun əsas nəticələri ŞAR – ın elmi seminarlarında, Ukraynada keçirilən beynəlxalq elmi konfranslarda, həmçinin Respublika daxilində keçirilən yerli və beynəlxalq konfranslarda dəfələrlə geniş müzakirə olunmuşdur:

1. Gənc tədqiqatçıların III beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, Qafqaz Universiteti, 17-18 aprel 2015.

2. Beynəlxalq elmi konfrans: “Gənc alimlərin astronomiya

məktəbi”, Ukrayna, Jitomir, 20-22 may 2015.

3. Gənc tədqiqatçıların IV beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, Qafqaz Universiteti, 29-30 aprel 2016.

4. Fizikada Müasir İstiqamətlər, Bakı Dövlət Universiteti, Beynəlxalq Konfrans, 20-22 Aprel 2017.

5. Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı (Fevral məruzələri-2018) III beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransının materialları, Bakı, 12-14 fevral 2018.

6. Gənc tədqiqatçıların II beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, Qafqaz Universiteti, 27-28 aprel 2018.

7. Ulduzlar və planetlər fizikası: Atmosferlər, Aktivlik, Maqnit sahələri mövzusunda beynəlxalq elmi konfrans, Şamaxı, 16-20 sentyabr 2019.

8. İdarəetmə və Optimallaşdırmada Sənaye texnologiyalarının tətbiqi üzrə VII Beynəlxalq Konfrans, Bakı, 26-28 avqust 2020.

9. Dahi Azərbaycanlı alim Lütfi Zadənin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş konfrans, Şamaxı, Azərbaycan, 4 avqust 2021.

10. 7-ci Beynəlxalq Konfrans FMİ-2021: Fizikada Müasir İstiqamətlər, Bakı, 15-17 dekabr 2021.

Dissertasiya işində alınmış elmi nəticələr ulduz astrofizikası istiqamətində çalışan institut və rəsədxanalarda, Bakı Dövlət Universitetinin Astrofizika kafedrasında, Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Batabat Astrofizika Rəsədxanasında, Xüsusi Astrofizika Rəsədxanasında (Rusiya FR), Kırım Astrofizika rəsədxanasında (Ukrayna), Moskva Dövlət Universiteti P.K.Şternberq adına Dövlət Astronomiya İnstitutunda və s. istifadə oluna bilər.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat: Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi N. Tusi adına ŞAR-ın “Ulduz atmosferləri fizikası və maqnetizm” şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi: Müşahidə materiallarının alınması və işlənməsi, hesablamalar, nəticələrin alınması, təhlili, məqalələrin tərtibində iddiaçının və həmmüəlliflərin payı bərabərdir.

Nəşrlər. Dissertasiya işinə daxil olan əsas nəticələr 15 elmi məqalə və 8 məruzə tezisi şəklində çapdan çıxmışdır. Dissertasiyanın mövzusunə aid olan işlər bir sıra nüfuzlu xarici və yerli jurnallarda, müxtəlif beynəlxalq və yerli konfransların materiallarında nəşr olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, 3 fəsil, nəticələr, 153 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

Dissertasiyanın ümumi həcmi: 169309 işarə, titul səhifəsi – 450 işarə, mündəricat – 2543 işarə, giriş – 13 293 işarə. I Fəsil-26 695 işarə, II Fəsil-76681 işarə, III Fəsil 46288 işarə. Nəticə –3808 işarə. İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı – 26035 işarə.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı, ulduzlara dair indiyədək görülmüş elmi işlərin qısa məzmunu və müşahidə obyektlərinin seçilməsi əsaslandırılmış, işin məqsədi şərh olunmuş, işdə elmi yenilik, alınmış elmi nəticələrin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti qeyd olunmuş, həmçinin işin aprobeiasiyasının harada aparılması göstərilmiş, nəşrlər və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar sadalanmış və dissertasiyanın quruluşu təsvir edilmişdir.

Birinci fəsildə istifadə olunan cihazlar və alınmış müşahidə materiallarının işlənməsi metodikası təsvir olunmuşdur. Tədqiq etdiyimiz ulduzların spektral müşahidələri müasir spektroskopiya mərhələsi 2000–2020-ci illərdə ŞAR-ın 2 metrlik teleskopunda CCD matrisalı spektroqraf ilə aparılmışdır. Bu mərhələdə proqram ulduzlarının spektrləri Kude və Kasseqren eşelle spektrometrləri ilə alınmışdır. Ulduzların alınan müşahidə materialları DECH paket proqramı vasitəsilə işlənmişdir.

1.1. paraqrafında Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının 2 metrlik teleskopunun parametrləri və 2000-ci il tarixinədək istifadə olunan müşahidə cihazları haqqında geniş məlumat verilib.

1.2. paraqrafında spektral müşahidələrin klassik spektroskopiyası (fotoqrafik lövhə), Kude və Kasseqren spektroqrafı, həmçinin spektral müşahidələrin müasir işıqqəbulediciləri (CCD–ışıqqəbuledici), eşelle difraksiya qəfəsləri

haqqında məlumat verilir.

1.3 və 1.4 paraqraflarında tədqiq olunan HD 207260, HD 7927, HD 195593, 89 Her, HD 80290, HD 138917, HD 9544, HD 9896, HD 224014, Post-AGB HD 161796 ulduzlarının spektrlərinin DECH paket proqramı vasitəsi ilə emalı, ulduzların spektral xətlərinin ekvivalent enlərinin və şüa sürətinin ölçülməsi metodikası geniş şərh olunub. Həmçinin bu bölmədə Scargle metodundan istifadə etməklə periodikliyin öyrənilməsində istifadə olunan statistik spektral Furye analizi barəsində qısa məlumat verilib.

İkinci fəsildə ümumi halda ifratnəhəng ulduzlara dair görülmüş elmi işlər təqdim olunmuşdur. Müasir dövrdə bu sahədə ulduz astrofizikasında olan problemlər sadalanmışdır. Bundan əlavə konkret olaraq seçilmiş 89 Her, HD 161796, ϕ Cas, 44 Cyg, HD 207260 ifratnəhəng ulduzlarının tədqiqinə dair qısa məlumat verilmişdir. Sonra isə alınmış spektrlər əsasında qeyd olunan ifratnəhəng ulduzların analizindən alınmış hesablamaların nəticələri göstərilmişdir.

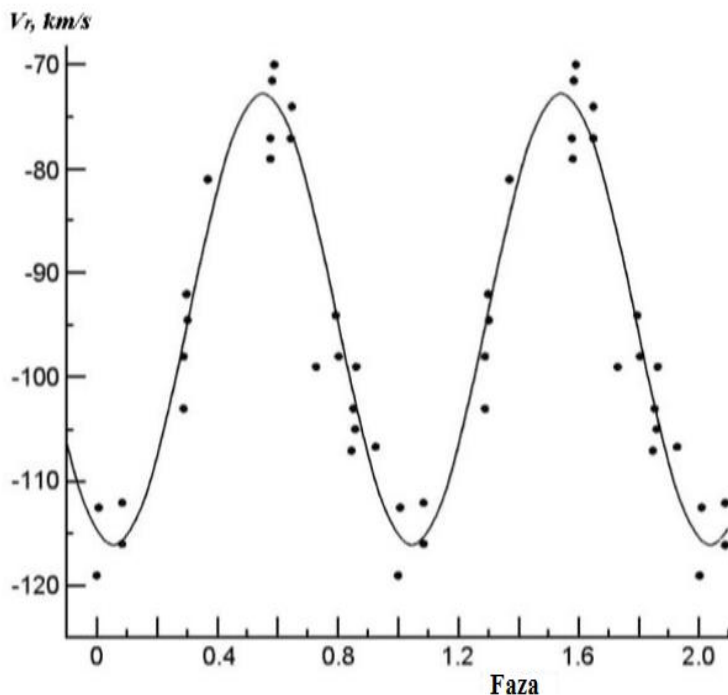
2.1 paraqrafında ifratnəhəng ulduzlar və onların atmosferinin xarakterik xüsusiyyətləri qeyd edilmişdir. Onların müşahidələrdən və elmi ədəbiyyatlardan indiyədək bizə məlum olan əsas xüsusiyyətləri verilmişdir. Bu ulduzların Hersşprung-Rassel diaqramında yeri göstərilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, bütün ifratnəhəng ulduzlar Günəşlə müqayisədə çox böyük kütləyə, işıqlığa və radiusa malikdirlər. Onların seyrək və qeyri-stasionar atmosferi vardır. Maraqlı faktlardan biri də odur ki, ifratnəhənglərin əksəriyyəti ulduzətrafı örtüklə əhatə olunmuşdur. Ulduzların atmosferlərində baş verən qeyri-stasionar proseslər, ulduzun döyünməsi, maddə itkisi və s. spektral xətləri xarakterizə edən parametrlərin qiymətlərində və profillərin formasında özünü qabarıq şəkildə göstərir. Həmçinin qeyd olunur ki, ifratnəhəng ulduzların uzunmüddətli və ardıcıl müşahidələri əsasında aparılan elmi tədqiqat işləri atmosferi xarakterizə edən parametrlərin dəyişmə səbəblərinin, eyni zamanda qeyri-stasionar proseslərin xarakteristikalarının və təbiətinin öyrənilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

2.2. və 2.2.1 bəndlərində 89 Her (F2 Ibe) ulduzunun tədqiq olunmasının aktuallığı və müxtəlif müəlliflər tərəfindən onun öyrənilməsinin qısa tarixi xronikası verilmişdir. Ulduzun bu günə qədər məlum olan əsas parametrləri və onun atmosfer quruluşunu təsvir edən modellər haqqında məlumat verilir.

Görülən işlərdə qısa zaman intervalında əldə edilmiş müşahidə məlumatlarına əsasən, fotosfer xətlərinin şüa sürətlərinin, eləcə də 89 Her ulduzunun fotometrik parametrlərinin uyğun olaraq 63.5, 285 və 65.2, 283 gün müddətində dəyişməsi qeyd olunur. Təqdim olunmuş bu işlərdə, faktiki olaraq bütün asılılıqlarda atmosferdə baş verən dəyişkənliklərin olduqca böyük, uzunmüddətli periodik proseslərlə əlaqəli olması göstərilir.

Qeyd olunur ki, uzun müddət ərzində əldə olunmuş müşahidə məlumatları (> 15000 gün) 89 Her ulduzunun atmosferindəki uzunmüddətli periodik dəyişkənlikləri müəyyən etmək üçün unikal imkanlar yaradır.

89 Her ifratnəhəng ulduzunun 2004-2017-ci illərdə dublet *NaI D2* $\lambda 5890\text{\AA}$ və *NaI D1* $\lambda 5896\text{\AA}$ xətlərinin müşahidələrdən alınmış profillərində udulma komponentində ölçülən şüa sürətlərinin və ekvivalent enin təhlili əsasında ilk dəfə onun qoşalığını təsdiq edən nəticə alınmışdır. Qeyd edək ki, dublet natrium *NaI D* xəttinin udulma profili mürəkkəb quruluşa malikdir. Qoşa sistemin orbital hərəkətinin müxtəlif fazalarında aparılan müşahidələrdə xəttin profili iki, üç və bəzən də dörd komponentdən ibarət olur. Təəssüf ki, müşahidələrdən üçüncü və xüsusən də dördüncü komponent üçün çox az məlumat var. Ona görə işdə əsasən yalnız ikinci komponentin parametrlərinin qiymətləri təhlil olunur. Həmçinin, 1975-1986-cı illərdə klassik metodla 103a-F fotoplastinkası vasitəsi ilə alınmış spektrlərin analizindən alınmış nəticələr də verilmişdir. Qeyd olunur ki, 1975-ci il tarixində dublet natrium xəttinin profilində dörd udulma komponenti müşahidə olunur. Burada birinci komponent udulma nəticəsində ulduzlararası mühitdə yaranıb, qalan komponentlər isə ulduz və ulduzətrafi örtükdə yaranıb. 1985-1986-cı illərdə alınmış spektrlərdə isə dublet natrium xətti profilində yalnız iki komponent müşahidə olunur.



Şəkil 2.2.1. 89 Her ulduzunun dublet NaI D xətti profilində ikinci komponentin şüa sürətlərinin faza ayrısı, $P = 5000$ gün. Başlanğıc tarix: JD 2453949.58, $V_r = -119$ km/s.

89 Her ulduzunun 2004-2017-ci illərdə dublet NaI D2 xəttinin müşahidədən ölçülmüş şüa sürətlərinə (V_r) Scargle metodundan istifadə etməklə statistik spektral Furye analizi tətbiq olunmuşdur. Şüa sürətləri üçün ilk dəfə $P=5000\pm300$ günlük periodik dəyişmə tapılmışdır. Bu period 89 Her ulduzunun görünməyən komponent ətrafında hərəkətini xarakterizə edir.

Spektral – qoşa sistemin modeli çərçivəsində bu qoşa sistemin orbital parametrləri hesablanmışdır: $\gamma=-94.2\pm0.1$ km/s (kütlə mərkəzinin sürəti); $e=0.298\pm0.008$ (ellipsin eksentristeti); $f_1=0.201$ (kütlə funksiyası); $K=21$ km/s, şüa sürətinin (V_r) dəyişmə amplitudu ($\Delta V_r/2$); $asini=9.1a.v.$ (orbitin böyük yarımoxu), i -baxış şüası ilə orbit müstəvisi arasında bucaq; Şüa

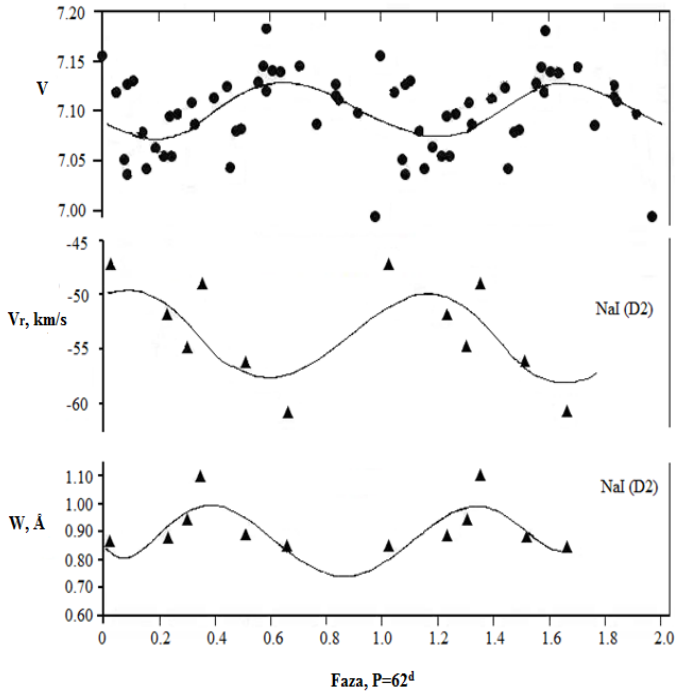
sürətlərinin V_r faza əyrisi $MinRV=JD2453949.58$, $V_r = -119$ km/s, $P=5000$ gün verilənləri ilə qurulmuşdur (şəkil 2.2.1).

II fəslin 2.3 və 2.3.1 bəndlərində HD 161796 (F3 Ib) ulduzunun bu günə qədər məlum olan əsas parametrləri və onların atmosfer quruluşunu təsvir edən modellər haqqında məlumat verilir. Qeyd olunur ki, HD 161796 ulduzu özünü döyünəndəyişən ulduz kimi aparır. Bu ulduzda parlaqlıq, şüa sürəti, spektral xətlərin intensivliyi, xəttin profillərinin forması və başqa parametrləri qeyri - müəyyən və olduqca kiçik amplitudla dəyişir. Ulduzun spektrində müşahidə olunan hidrogenin Balmer seriyasının H_α , H_β , H_γ və H_δ xətlərinin ekvivalent eni və mərkəzi dərinliyi (R_λ) hesablanmışdır. Həmçinin, müşahidə olunan bütün FeI və $FeII$ xətləri cəmləndirilmiş, onların ekvivalent enləri (W_λ) və xətlərin mərkəzi dərinlikləri (R_λ) təyin edilmişdir. Xəttin ekvivalent eni bir qayda olaraq təqdim olunmuş proqram əsasında ölçülmüşdür. Lakin profilləri qonşu xətlərlə güclü təhrif olunmuş bəzi blendalı xətlərin ekvivalent enləri xüsusi metodla ölçülmüşdür. Bu məqsədlə profilləri qonşu xətlərlə təhrif olunmamış blendasız xətlərin ekvivalent enlərindən istifadə edərək xəttin ekvivalent eninin (W_λ) xəttin dərinliyindən (R_λ) asılılığı qrafiki qurulmuşdur. Blendalı xəttin dərinliyini bilərək bu qrafikdən istifadə etməklə həmin xətlərin ekvivalent eni təyin olunmuşdur.

HD 161796 ulduzu spektrində müşahidə olunan H_α , H_β , H_γ , H_δ və FeI və $FeII$ xətlərinin ekvivalent eninin hesablanması, bu ulduzun atmosferini xarakterizə edən fundamental parametrlərinin və kimyəvi tərkibinin təyin olunmasında, həmçinin nəzəri modelinin qurulmasında mühüm rol oynayır və praktiki olaraq istifadə olunur.

2.3.2 bəndində HD 161796 ulduzunun 2004-2010-cu illərdə alınmış spektrində dublet $NaI D2$ və $NaI D1$ xətlərinin profilləri tədqiq olunmuşdur. Məlumdur ki, bu xətlər əsasən ulduzlararası xətlər adlanır, yəni ulduzlararası mühitdə formalaşır. Ona görə də bu xətlərin profili simmetrik olmalıdır. Bu xətlərin qeyri-simmetrik olması həmin xətlərin formalaşmasında başqa mənbələrin də təsirinin olduğunu sübut edir. Alınmış nəticələr göstərdi ki, dublet $NaI D$ xətlərinin formalaşmasında ulduzdan başqa ulduzun ətrafında olan örtüyün və ulduzətrafı mühitin də əlavəsi vardır. Alınmış bütün

eşelle spektrlərində natrium dublet xətlərinin profillərinin qırmızı qanadında asimetriya müşahidə olunur. Ona görə də asimetriyanı aşkar etmək üçün xəttin profili qaus profili ilə müqayisə olunmuşdur. Tədqiq olunan xətlərin ekvivalent eni (W_λ) və şüa sürətinin (V_r) zamandan asılı olaraq 62 günlük periodla dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Alınmış nəticələr parlaqlıq əyrisi² (V) ilə müqayisə olunmuşdur (şəkil 2.3.1).



Şəkil 2.3.1. HD 161796 ulduzu spektrində dublet $NaI \lambda 5889.953 \text{ \AA}$ xəttinin şüa sürəti və ekvivalent enin qiymətinin fazadan asılı olaraq dəyişməsi, $P = 62^d$. Başlanğıc dövr JD2444701.8008.

Müqayisədən aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. Müəyyən edilmişdir ki, dublet natrium ($NaI \text{ D2, } \lambda 5889.953 \text{ \AA}$) xəttinin ekvivalent eninin qiyməti və parlaqlıq əyrisi sinxron dəyişir.

2. Dublet natrium xəttinin şüa sürətinin dəyişməsi parlaqlıq əyrisinin dəyişməsi ilə antifazada baş verir.

3. Hesablamalardan alınan nəticələr deməyə əsas verir ki, bu dəyişkənliklər ulduzun döyünməsi və ulduzla ulduzətrafi örtüyün qarşılıqlı təsiri nəticəsində baş verir.

2.4 paraqrafında 44 Cyg (F5 Iab) ifratnəhəng ulduz atmosferinin müxtəlif müəlliflər tərəfindən təyin olunmuş atmosfer və fotometrik parametrləri, kimyəvi tərkibi, həmçinin onların atmosfer quruluşunu təsvir edən modellər haqqında məlumat verilir. 2004-cü ildə bu ulduzun ŞAR -ın 2 metrlik teleskopunda alınmış spektrlər əsasında müşahidə olunan hidrogenin Balmer seriyasının H_α , H_β , H_γ və H_δ xətlərinin ekvivalent eni və mərkəzi dərinliyi (R_λ) hesablanmışdır. Həmçinin müşahidə olunan bütün FeI və $FeII$ xətləri cəmləndirilmiş (təqribən 150 xətt), onların ekvivalent eni (W_λ) və mərkəzi dərinlikləri (R_λ) təyin edilmişdir.

2.5 paraqrafında ϕ Cas ifratnəhəng ulduzunun spektrlərində Balmer seriyasının H_α -dan H_{12} -yə qədər xətlərində dəyişkənlik öyrənilmişdir. Lakin, Balmer seriyası xətlərindən fərqli olaraq tədqiq olunan dublet $NaI D$ xətlərinin profillərində dəyişkənlik aşkar edilməmişdir. Qeyd olunan xətlərin spektral parametrləri: W_λ , V_r və R_λ təyin edilmişdir.

Tapılmışdır ki, H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_8 xətlərinin atmosferdə yarandığı laylar uyğun olaraq -38 km/s, -12 km/s, -4 km/s, -2 km/s, -8 km/s sürəti ilə ulduzun mərkəzindən müşahidəçiyə tərəf hərəkət edərək genişlənir. Lakin, H_9 , H_{10} və H_{11} xətlərinin aktiv yarandığı laylar isə əksinə, müşahidəçidən ulduzun mərkəzinə tərəf uyğun olaraq $+8$ km/s, $+6$ km/s və $+1$ km/s sürəti ilə hərəkət edərək sıxılır. Tərəfimizdən alınmış bu nəticə ulduzun döyünməsinə sübut edən müşahidə faktıdır.

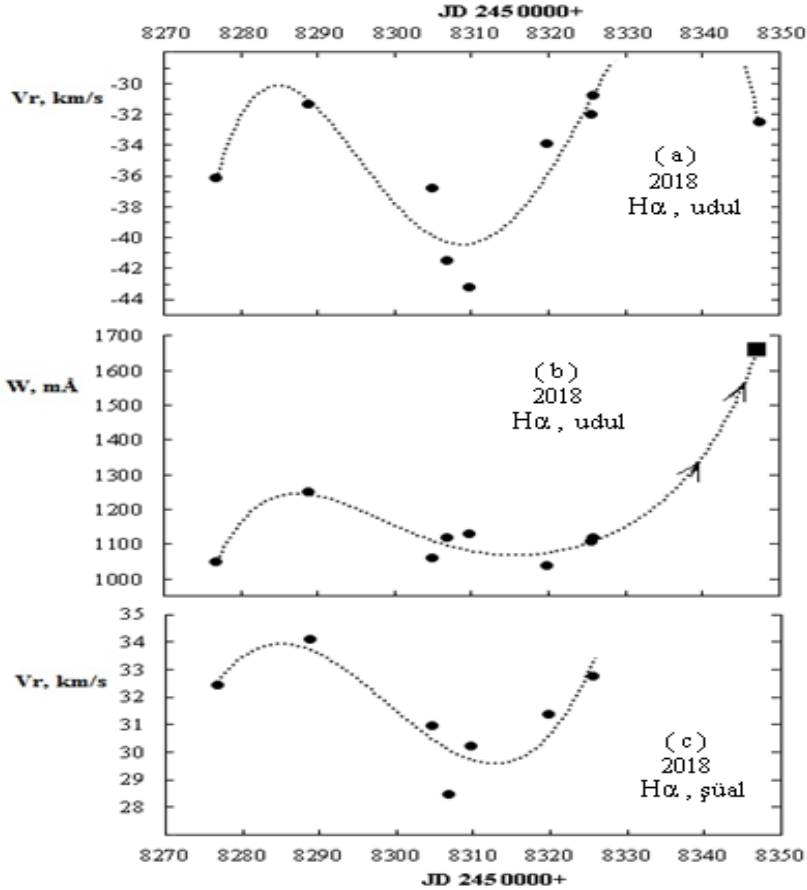
2.6 paraqrafında HD 207260 (A2 Iae) ifratnəhəng ulduz atmosferinin parametrləri, kimyəvi tərkibi haqqında məlumat verilir. Ulduzun maqnit sahəsinin tədqiq olunması və $+2000$ Qs qədər kəskin dəyişməsi qeyd olunur.

HD 207260 ulduzunun 2018-ci ildə alınmış spektrlərinə əsasən H_α xətti profilinin dəyişməsi araşdırılmış, xəttin şüa sürəti və ekvivalent eni təyin olunmuşdur. Aşkar olunmuşdur ki, H_α

xəttinin profili iki formada müşahidə olunur:

a) tam udulma profili;

b) normal P Cyg tipli profil: udulma və qırmızı qanadda şüalanma komponenti.



Şəkil 2.6.1. HD 207260 ifratnəhəng ulduzu spektrində müşahidə olunan H_α xətti profilinin udulma və şüalanma komponentinin şüa sürəti, həmçinin udulma komponentinin ekvivalent eninin zamandan asılı olaraq dəyişməsi. (b)-də oxla qeyd olunan dördbucaqlı ekvivalent enin sıçrayışla dəyişməsinə göstərir. Bu hal H_α xətti profilinin tam udulmada olduğu hala uyğundur.

HD 207260 ulduzunun H_α xəttinin profili əsasən P Cyg tipli profil formasında müşahidə olunur. Lakin, şüalanma komponenti bəzən tamamilə yoxa çıxır və H_α xətti profili tam udulmada müşahidə olunur. H_α xətti profilinin forması, komponentlərin şüa sürəti və ekvivalent eni 70 gün ərzində və daha qısa zaman intervalında dəyişir. 16.08.2018-ci il tarixində HD 207260 ulduzunun spektrində H_α xətti profilində qırmızı qanadda müşahidə olunan şüalanma komponenti tamamilə yoxa çıxır və H_α xətti profili tam udulmada müşahidə olunur. Bu zaman H_α xəttinin ekvivalent eni sıçrayışla artaraq (təqribən $\Delta W \approx 540 \text{ mÅ}$) maksimum qiymət alır, $W = 1662 \text{ mÅ}$. Bu hal şəkil 2.6.1 (b) -də oxla qeyd olunmuşdur. Xəttin şüa sürətində isə kəskin dəyişkənlik müşahidə olunmur.

Tapılmışdır ki, H_α xətti profilinin udulma və şüalanma komponentinin şüa sürəti, həmçinin udulma komponentinin ekvivalent eninin qiyməti sinxron dəyişir. Bu dəyişmə 35-40 günlük kvaziperiodla baş verir (şəkil 2.6.1).

Üçüncü fəsildə seçilmiş A-F spektral sinifli ulduzların atmosfer parametrləri: effektiv temperaturu, ağırlıq qüvvəsinin təcili təyin edilmişdir. Bu iki parametrdən istifadə etməklə ulduzların atmosferlərinin modelləri hesablanmışdır və kimyəvi tərkib təyin edilmişdir. Təkamül əyriləri əsasında bəzi ulduzların təkamül parametrləri: kütləsi, radiusu, işıqlığı hesablanmışdır.

3.1 paragrafında effektiv temperatur və ağırlıq qüvvəsinin təcilinin təyininin model və parallaksın tətbiqi üsulları şərh edilmişdir.

Model üsulu bir sıra spektral və fotometrik kəmiyyətlərin müşahidədən ölçülmüş qiymətləri ilə nəzəri hesablanmış qiymətlərinin müqayisəsinə əsaslanır və ulduzların atmosfer parametrlərinin təyininin ən dəqiq üsuludur³.

Əsasən spektral kəmiyyətlər kimi hidrogenin Balmer seriyasının spektral xətlərinin profillərindən (və ya ekvivalent

³Leonid, S.L. Accurate fundamental parameters for A-, F- and G-type Supergiants in the solar neighbourhood/ S.L. Leonid, L.L. David, I.R. Sergey // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, -2010. vol.402, №2, -p. 1369-1379.

enlərindən), fotometrik kəmiyyətlər kimi isə UBV və $uvby\beta$ fotometrik sistemlərdə təyin olunan Q və $[c_1]$ indekslərindən istifadə olunur. UBV fotometrik sistemdə Q indeksi $Q = (U - B) - 0.72 (B - V)$ kimi, $uvby\beta$ fotometrik sistemində isə $[c_1]$ indeksi $[c_1] = c_1 - 0.2(b - y)$ kimi təyin olunur. Bu indekslər ulduzlararası fəzada udulmanın təsirindən azaddırlar. Qeyd edək ki, UBV fotometrik sistemdə əsasən iki rəng göstərici təyin olunur: $(U - B)$ ultrabənövşəyi, $(B - V)$ əsas rəng göstəriciləri, $uvby\beta$ fotometrik sistemində $b - y$, $u - v$, $v - b$ rəng göstəriciləri, $c_1 = (u - v) - (v - b)$ təyin olunan indeksdir. Sonralar $uvby\beta$ fotometrik sisteminə β kəmiyyəti daxil edilmişdir. Bu kəmiyyət H_β xəttinin intensivliyini xarakterizə edir.

Ulduzların atmosfer parametrlərini təyin etmək üçün həmçinin parallaks üsulundan istifadə olunmuşdur. Qeyd edək ki, parallaksın tətbiqi üsulu ulduzların effektiv temperaturu və ağırlıq qüvvəsi təcilinin təyində yeni üsul hesab olunur. Bu üsul atmosfer modellərinin seçilməsindən asılı deyil. Parallaks üsulu məlum

$$\begin{aligned} \log g - \log M/M_\odot - 0.4BC - 4\log T_{eff} = \\ -10.50 + 2\log \pi'' + 0.4m_v - 0.4A_v \end{aligned} \quad (1)$$

riyazi ifadənin tətbiqinə əsaslanır. (1) düsturunda sağ tərəf verilən ulduz üçün müşahidədən tapılır. Bərabərliyin sol tərəfi T_{eff} və $\log g$ parametrlərinin qiymətlərindən asılıdır. A_v -ulduzlararası mühitdə udulma kəmiyyəti, m_v -görünən ulduz ölçüsü, π - tədqiq olunan ulduzun illik parallaksı, BC -bolometrik düzəliş, M -ulduzun kütləsi, $M_\odot$ -Günəşin kütləsidir. T_{eff} və $\log g$ -nin qiymətindən istifadə edərək təkamül əyrilərindən $M/M_\odot$ tapılır. BC parametri ulduz atmosferi modellərindən istifadə etməklə tapılır. $M/M_\odot$ və BC parametrlərinin qiymətlərindən istifadə edərək (1) bərabərliyinin ödənildiyi T_{eff} və $\log g$ qiymətləri seçilir və bərabərliyin sol tərəfi hesablanır. Bu üsulun tətbiqində istifadə olunan ulduzun illik parallaksı- π , görünən ulduz ölçüsü m_v , ulduzlararası mühitdə udulma kəmiyyəti- A_v ulduz kataloqlarından götürülür.

Yuxarıda qeyd olunan kriteriyalar və parallaksın qiymətindən istifadə etməklə təyin olunan T_{eff} və $logg$ cütləri $logg \div T_{eff}$ diaqramında qeyd olunur. Müxtəlif kriteriyalara əsasən diaqramda qurulmuş xətlər nəzəri olaraq eyni nöqtədə kəsişməlidirlər. Kəsişmə nöqtəsinin koordinatları isə axtarılan $logg \div T_{eff}$ parametrlərinin qiymətini verərdi. Lakin praktikada ilkin məlumatlarda müəyyən xətlər olduğu üçün xətlər bir neçə nöqtədə kəsişə bilər. Ona görə də ulduzun effektiv temperaturu (T_{eff}) və ağırlıq qüvvəsi təcilinin ($logg$) qiyməti üçün kəsişmə nöqtələrinin orta qiyməti, yəni həndəsi mərkəzinin koordinatları seçilir. Diaqramda kəsişmə nöqtələrinin müxtəlifliyi T_{eff} və $logg$ üçün alınmış qiymətlərin dəqiqliyini xarakterizə edir.

3.2 paraqrafında mikroturbulent hərəkət sürətinin model üsulu ilə təyin olunması şərh olunmuşdur. Müşahidəçilərə məlumdur ki, xətlərin profillərinin genişlənməsinə səbəb olan bütün mexanizmlərin nəzərə alınmasına baxmayaraq ulduzların spektrlərində spektral xətlərin nəzəri hesablanmış ekvivalent enləri, müşahidədən alınmış ekvivalent enlərin qiymətləri ilə üst-üstə düşür. Bu ziddiyyəti aradan qaldırmaq üçün belə qəbul olunur ki, ulduz atmosferlərində atomların istilik hərəkətləri ilə yanaşı qeyri-istilik hərəkətləri də mövcuddur, belə hərəkətlər turbulent hərəkətlər adlanır.

Beləliklə, turbulent hərəkət sürəti astrofizikaya spektral xətlərin müşahidə və nəzəri hesablanmış profillərini üst-üstə salmaq üçün daxil edilmişdir. Ulduz atmosferində şərti olaraq böyük miqyasda baş verən makroturbulent və kiçik miqyaslı mikroturbulent hərəkət sürətləri bir-birindən fərqləndirilmişdir. Mikroturbulentlik spektral xətlərin həm profilinin formasını, həm də ekvivalent enin qiymətini dəyişir. Makroturbulent hərəkət sürəti isə ulduzların öz oxu ətrafında fırlanmasına oxşar olaraq ancaq spektral xətlərin profillərini genişləndirir, ekvivalent enlərinin qiymətini isə dəyişmir.

Ulduz atmosferlərində mikroturbulent hərəkət sürətinin təyini astrofizikanın mühüm məsələlərindən biridir. Model üsulu ilə ulduz atmosferlərində kimyəvi elementlərin təyini spektral xətlərin nəzəri hesablanmış qiymətlərinin müşahidədən ölçülmüş qiymətləri ilə

müqayisəsinə əsaslanır. Odur ki, model üsulu ilə kimyəvi tərkibin təyininə mikroturbulentliyin nəzərə alınması mütləqdir.

Mikroturbulent hərəkət sürəti (ξ_t) spektral xətlərin Dopler eninə görə təyin olunur.

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{2RT}{M} + \xi_t^2} \quad (2)$$

A və F spektral sinifli ulduzlarda ionlaşmış dəmir *FeII* xətləri çox müşahidə olunur. Zəif *FeII* xətləri atmosferin dərin qatlarında yarandığı üçün bu xətlərdə Lokal Termodinamik Tarazlıqdan (LTT) kənaraçıxma zəifdir⁴. Ona görə də bu tip ulduzların atmosferində mikroturbulent hərəkət sürətinin təyin olunmasında zəif *FeII* xətlərindən istifadə olunur. Mikroturbulent hərəkət sürətinin seçilmiş bir neçə qiymətlərinə uyğun verilmiş elementin bir neçə miqdarı hesablanır. Sonra isə təyin olunmuş elementin miqdarının spektral xəttin ekvivalent enindən asılılıq qrafiki qurulur. Elementin miqdarının ($\log\epsilon$) spektral xəttin ekvivalent enindən (W_λ) asılı olmadığı qrafikdəki ξ_t ulduzun atmosferində mikroturbulent hərəkət sürətinin qiyməti kimi qəbul olunur.

3.3 paraqrafında ulduz atmosferlərinin kimyəvi tərkibinin təyin olunması metodikası verilmişdir³.

Kimyəvi tərkibi təyin etmək üçün spektral xətlərin ekvivalent enlərinin (W_λ) müşahidədən ölçülmüş və modeldən hesablanmış qiymətlərini müqayisə edirik. Elementin miqdarına ($\log\epsilon$) müxtəlif qiymətlər veririk. Bundan sonra elementə məxsus spektral xətlərin ekvivalent enlərini hesablayıb müşahidədən ölçülən ekvivalent enlərlə müqayisə edirik, sonra nəzəri və müşahidədən alınmış ekvivalent enlərin üst-üstə düşdüyü hala uyğun elementin miqdarı ($\log\epsilon$) təyin olunur.

⁴ Боярчук, А.А. Атмосфера Канопуса I. Модель атмосферы и распределения микротурбулентности / А.А. Боярчук, С.Л. Любимков // Астрофизика, -1982. т. 18, - с.375-385.

Ulduz atmosferlərinin kimyəvi tərkibini digər elementlərin atomlarının tam konsentrasiyasının hidrogen atomlarının konsentrasiyasına nisbəti təyin edir:

$$\log \varepsilon(x) = \log \frac{N(x)}{N(H)} + 12 \quad (3)$$

burada $N(x)$ verilən elementin atomlarının, $N(H)$ hidrogen elementinin atomlarının tam konsentrasiyasıdır, bütün ionlaşma dərəcələri nəzərə alınır. Bu şkalada hidrogenə $\log \varepsilon(H)=12$ miqdarı uyğundur. Astrofizikada çox vaxt $\left[\frac{Fe}{H}\right]$ parametrindən istifadə olunur. Bu parametr ulduzun metallığı adlanır. Bu onunla izah olunur ki, ulduzların əksəriyyətinin spektrində ən çox müşahidə olunan Fe xətləridir.

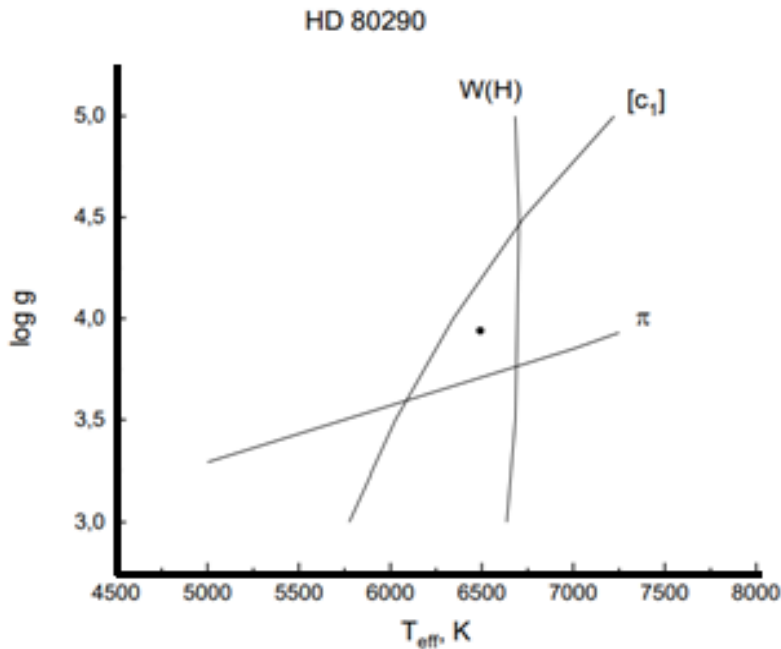
$$\left[\frac{Fe}{H}\right] = \log \varepsilon_*(Fe) - \log \varepsilon_{\odot}(Fe) \quad (4)$$

Ona görə də dəmir xətlərinə görə aparılmış hesablamalar başqa metallara görə aparılmış hesablamalardan çox dəqiqdir, həmçinin dəmir xətləri üçün atom verilənləri başqa metalların xətlərindən daha yaxşı öyrənilmiş və daha dəqiqdir. Həmçinin, ulduzların təkamülünün sakit mərhələsində Fe atomları termonüvə reaksiyalarında iştirak etmir, atmosferdə dəmirin ilkin miqdarı saxlanılır, dəyişmir. Dəmirin miqdarı ulduzun yarandığı andakı miqdarla eyni olur. Qeyd olunan bu səbəblərdən ulduz atmosferlərində metallıq dəmir xətlərinə əsasən təyin olunur. $[Fe/H]=0$ olduqda metallıq normal hesab olunur. Dissertasiya işində HD 80290, HD 224014 ulduzlarının atmosfer parametrləri: effektiv temperaturu (T_{eff}), ağırlıq qüvvəsinin təcili (g), atmosferdə mikroturbulent hərəkət sürəti (ζt) təyin edilmişdir. Təyin etdiyimiz atmosfer parametrləri əsasında kimyəvi tərkib hesablanmışdır.

3.4 paragrafının bəndlərində HD 80290, HD 207260, HD 164613, HD 138917, HD 224014, HD 9544, HD 9896, Post-AGB HD 161796 ulduzlarının müşahidəsi, xarakteristikaları haqqında ümumi məlumat verilmişdir. Bu ulduzların müşahidədən alınmış

spektrləri öyrənilmiş və atmosfer parametrləri təyin olunmuşdur. HD 224014 ulduzunun isə kimyəvi tərkibi də təyin olunmuşdur.

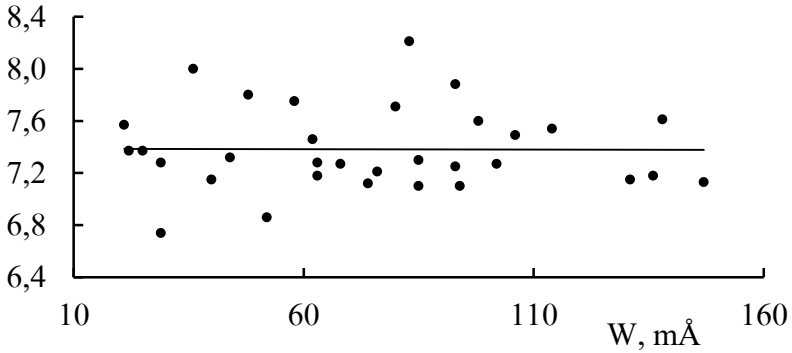
3.4.1 bəndində şəkil 3.4.1-də HD 80290 ulduzu üçün $\log g - T_{eff}$ diaqramı göstərilmişdir. Diaqramda $[C_1]$ fotometrik indeksinin və hidrogenin Balmer seriyasının spektral xətlərinin müşahidədən ölçülmüş və nəzəri hesablanmış qiymətlərinin müqayisəsi, həmçinin parallaksın tətbiqi əsasında qurulmuş xətlər göstərilmişdir. Bu xətlərin kəsişmə nöqtələrinin ədədi ortası ulduzun effektiv temperaturunu və səthində ağırlıq qüvvəsinin təcilini təyin edir: $T_{eff}=6490\pm 200$ K, $\log g=3.95\pm 0.2$.



Şəkil 3.4.1. HD 80290 ulduzu üçün $\log g - T_{eff}$ diaqramı

$\log \epsilon(\text{Fe II})$

HD 80290

 $\xi_t = 1,5 \text{ km/s}$ **Şəkil 3.4.2. Mikroturbulent hərəkət sürətinin təyini**

Şəkil 3.4.2-də nümunə olaraq HD 80290 ulduzunun atmosferində mikroturbulent hərəkət sürətinin təyini göstərilmişdir. Mikroturbulent hərəkət sürətinin $\xi_t = 1.5 \text{ km/san}$ qiymətində dəmir elementinin (*FeII*) xətlərinə əsasən təyin olunmuş miqdarları ilə həmin xətlərin ekvivalent enləri arasında korrelyasiya olmadığına görə HD 80290 ulduzu üçün $\xi_t = 1.5 \text{ km/san}$ qəbul edilir.

Cədvəl 3.4.1-də bir sıra F spektral sinifli ulduzlarının təyin etdiyimiz T_{eff} , $\log g$ parametrləri verilmişdir.

Cədvəl 3.4.1.**Program ulduzlarının T_{eff} , $\log g$ parametrləri**

Ulduzun adı	Sp	T_{eff}	$\log g$
HD 80290	F3 V	$6490 \pm 200 \text{ K}$	3.95 ± 0.2
HD 138917	F0 IV	$7200 \pm 200 \text{ K}$	3.25 ± 0.2
HD 224014	F8 I	$5450 \pm 200 \text{ K}$	0.1 ± 0.2
HD 9544	F5 V	$6700 \pm 200 \text{ K}$	3.75 ± 0.2
HD 9896	F3 V	$6800 \pm 200 \text{ K}$	4.00 ± 0.2

3.4.5 bəndində nümunə olaraq cədvəl 3.4.2-də bəzi elementlərin HD 224014 (F8 I) ulduzunda miqdarı, cədvəl 3.4.3-də isə həmin elementlərin miqdarlarının Günəşdəki miqdarla^{5,6,7} fərqi:

$$[el/H] = lg\varepsilon_*(el) - lg\varepsilon_{\odot}(el) \quad (5)$$

təqdim olunur.

Cədvəl 3.4.2.

HD 224014 (F8 I) ulduzunun spektrində tədqiq olunmuş xətlərin siyahısı və həmin xətlərə əsasən elementlərin miqdarı

Xətt (λ , Å)	$E_{həy}$ (eV)	log gf	W, mÅ	log ε
CI				
4775.89	7.46	-2.30	51	8.05
5800.60	7.95	-2.34	15	7.95
6010.68	8.64	-1.94	6	7.82
6413.55	8.77	-2.00	10	8.17
6587.61	8.54	-1.00	105	8.15
6671.85	8.85	-1.65	11	7.94
7087.83	8.65	-1.44	23	7.90
7108.93	8.64	-1.59	32	8.19
7111.47	8.64	-1.08	54	7.96
7115.17	8.64	-0.93	75	8.00
7476.18	8.77	-1.57	24	8.16
				logε(C)=8.03±0.13

⁵ Scott, P. The elemental composition of the Sun I. The intermediate mass elements Na to Ca/ P. Scott, N. Grevesse, M. Asplund [et al.] // Astronomy and Astrophysics, -2015. vol.573, №A25, - p. 1-19.

⁶ Scott, P. The elemental composition of the Sun. II. The iron group elements Sc to Ni / P. Scott, M. Asplund, N. Grevesse[et al.]// Astronomy and Astrophysics, - 2015. vol.573, №A26, - p. 1-33.

⁷ Grevesse, N. The elemental composition of the Sun III. The heavy elements Cu to Th / N. Grevesse, P. Scott, M. Asplund [et al.] // Astronomy and Astrophysics, - 2015. vol.573, №A27, - p. 1-23.

Cədvəl 3.4.2-nin ardı

Xətt (λ , Å)	$E_{\text{həy}}$ (eV)	log gf	W, mÅ	log ϵ
NI				
7442.30	10.33	-0.38	80	8.58
7468.31	10.33	-0.19	100	8.55
				log ϵ(N)=8.57$\pm$0.02
OI				
6155.97	10.74	-1.01	16	8.88
6156.78	10.74	-0.69	24	8.74
				log ϵ(O)=8.81$\pm$0.1
NaI				
5682.63	2.09	-0.70	281	6.54
6160.75	2.10	-1.26	280	6.83
				log ϵ(Na)=6.69$\pm$0.21
AlI				
5557.06	3.13	-2.11	12	6.38
7836.13	4.00	-0.49	107	6.62
				log ϵ(Al)=6.50$\pm$0.17
SiI				
5754.22	4.93	-1.84	44	7.13
5772.15	5.06	-1.36	94	7.14
6527.20	5.85	-1.07	120	7.74
6848.58	5.84	-1.53	8	7.24
7034.90	5.85	-0.62	90	7.11
7405.77	5.59	-0.31	217	7.35
7424.61	5.59	-1.61	19	7.11
				log ϵ(Si)=7.26$\pm$0.23
SI				
4694.11	6.50	-1.77	140	7.39
4695.44	6.50	-1.92	39	7.33
6052.66	7.84	-0.83	84	7.38

Cədvəl 3.4.2-nin ardı

Xətt (λ , Å)	$E_{\text{həy}}$ (eV)	log gf	W, mÅ	log ϵ
SI				
6757.15	7.84	-0.45	152	7.39
				logϵ(S)=7.37$\pm$0.03
ScI				
5671.82	1.44	0.54	23	3.17
				logϵ(ScI)=3.17
ScII				
5318.35	1.35	-1.87	290	3.11
5357.20	1.50	-2.11	214	3.26
5552.22	1.45	-2.09	110	2.75
				logϵ(ScII)=3.04$\pm$0.26
TiI				
4299.63	0.82	-0.43	269	5.13
4639.36	1.73	0.03	85	4.96
4639.94	1.73	-0.08	62	4.73
4650.01	1.73	-0.56	17	4.62
5035.90	1.45	0.41	75	4.75
5219.70	0.02	-2.11	28	4.59
5460.50	0.05	-2.68	22	5.10
5739.48	2.24	-0.47	24	5.11
5739.98	2.23	-0.69	10	4.92
6258.10	1.44	-0.39	51	4.69
				logϵ(Ti)=4.86$\pm$0.21
CrI				
4042.24	2.53	-1.21	66	5.93
4257.35	3.00	-1.26	22	5.91
4261.34	2.90	-0.53	39	5.33
4381.11	2.70	-1.50	8	5.39

Cædvæl 3.4.2-nin ardi

Xætt (λ , Å)	E _{høy} (eV)	log gf	W, mÅ	log ϵ
CrI				
4410.30	3.00	-1.22	31	5.98
4458.54	3.00	-0.41	39	5.29
4569.52	3.11	-0.74	10	5.13
4646.21	1.03	-1.63	129	5.13
4633.26	3.11	-1.18	30	6.01
4637.76	2.53	-0.72	77	5.43
4697.84	3.35	-0.64	16	5.43
4767.86	3.54	-1.03	6	5.59
4775.13	3.54	-1.12	4	5.52
5177.40	3.41	-0.62	10	5.33
5287.18	3.42	-0.93	14	5.68
5390.38	3.35	-0.99	17	5.76
5648.26	3.81	-0.77	3	5.38
5694.74	3.84	-0.26	14	5.39
5719.82	3.00	-1.51	5	5.41
				log ϵ(Cr)=5.53$\pm$0.28
MnI				
4070.27	2.18	-1.09	109	5.1
4452.99	2.93	-0.64	179	5.64
4671.68	2.88	-1.68	20	5.48
4727.48	2.91	-0.47	92	5.52
5388.50	3.36	-1.37	10	5.28
5457.46	2.15	-2.89	8	5.52
6013.49	3.06	-0.48	23	5.05
				log ϵ(Mn)=5.37$\pm$0.23

Cədvəl 3.4.2-nin ardı

Xətt (λ , Å)	E_{hay} (eV)	log gf	W, mÅ	log ϵ
FeII				
6446.41	6.20	-2.02	88	7.48
6179.39	5.54	-2.60	69	7.28
6084.10	3.19	-3.85	259	7.21
6113.32	3.21	-4.20	208	7.30
6482.20	6.19	-1.84	133	7.54
6369.46	2.88	-4.29	223	7.30
5627.49	3.37	-4.06	151	7.20
5161.18	2.84	-4.55	276	7.57
5100.85	5.89	-1.92	186	7.58
				log ϵ(Fe)=7.39$\pm$0.16
CoI				
4068.54	1.95	-1.11	99	4.99
4110.53	1.04	-1.82	186	5.13
4570.02	3.62	-0.40	8	4.71
4727.94	0.43	-3.33	34	5.02
5094.95	2.03	-2.12	7	4.71
5287.79	4.03	-0.33	5	4.83
7417.38	2.03	-1.98	28	5.05
				log ϵ(Co)=4.92$\pm$0.17
NiII				
4009.98	3.62	-1.17	94	6.48
4017.57	3.69	-0.53	113	5.99
4023.99	3.69	-0.81	118	6.23
4551.22	4.15	-0.86	20	5.89
4600.36	3.58	-0.40	220	6.14
4715.76	3.53	-0.30	226	6.00
4752.42	3.64	-0.60	90	5.83

Cədvəl 3.4.2-nin ardı

Xətt (λ, Å)	$E_{\text{həy}}$ (eV)	log gf	W, mÅ	logϵ
NiI				
4814.60	3.58	-1.62	26	6.17
4832.69	3.78	-0.95	95	6.33
4841.97	4.15	-1.20	10	5.91
4918.36	3.82	-0.08	294	6.32
4930.80	3.83	-1.56	26	6.36
4952.28	3.59	-1.69	38	6.43
4980.17	3.59	-0.36	197	5.98
5606.80	3.88	-1.70	16	6.28
6025.75	4.22	-1.53	24	6.59
6116.18	4.07	-1.08	41	6.24
6327.60	1.67	-3.21	41	5.92
6370.35	3.53	-1.80	50	6.50
				logϵ(Ni)=6.19±0.23
ZnI				
6362.34	5.77	0.15	75	4.52
				logϵ(Zn)=4.52
ZrI				
4241.69	0.65	0.14	7	2.38
4027.20	0.62	-0.23	9	2.87
				logϵ(ZrI)=2.63±0.35
ZrII				
4071.09	0.99	-1.66	162	2.53
4110.06	0.75	-1.40	230	2.28
4264.92	1.66	-1.41	62	2.40
				logϵ(ZrII)=2.40±0.13

Cədvəl 3.4.2-nin ardı

Xətt (λ, Å)	$E_{həy}$ (eV)	log gf	W, mÅ	log ϵ
LaI				
5377.05	2.29	-0.43	23	1.35
				log ϵ(La)=1.35
SmII				
4123.95	0.48	-0.69	80	0.75
4256.39	0.38	-0.15	232	0.73
4265.08	0.18	-1.04	64	0.66
				log ϵ(Sm)=0.71$\pm$0.05

**Cədvəl 3.4.3.
HD 224014 (F8 I) ulduzunda və Günəşdə elementlərin
miqdarının fərqi**

Element	log ϵ	log $\epsilon_{\odot}$	$\Delta \log \epsilon =$ log ϵ-log $\epsilon_{\odot}$
C	8.03	8.43	-0.4
N	8.57	7.83	0.74
O	8.81	8.69	0.12
Na	6.69	6.21	0.48
Al	6.50	6.43	0.07
Si	7.26	7.51	-0.25
S	7.37	7.13	0.24
Sc	3.04	3.16	-0.12
Ti	4.86	4.93	-0.07
Cr	5.53	5.62	-0.09
Fe	7.39	7.47	-0.08
Mn	5.37	5.42	-0.05
Co	4.92	4.93	-0.01
Ni	6.19	6.20	-0.01
Zn	4.52	4.56	-0.04

Cədvəl 3.4.3-ün ardı

Element	$\log \epsilon$	$\log \epsilon_{\odot}$	$\Delta \log \epsilon = \log \epsilon - \log \epsilon_{\odot}$
Zr	2.40	2.59	-0.19
La	1.35	1.11	0.24
Sm	0.71	0.95	-0.24

3.4.7 bəndində Post - AGB ulduzlarına nümunə olaraq HD 161796 ulduzunun atmosferində 25 elementin miqdarı hesablanmışdır. Aşkar edilmişdir ki, ulduzun atmosferində elementlərin miqdarı Günəşlə müqayisədə azdır. Lakin *Ca*, *Sc*, *Mn*, *Zn*, *Y*, *Zr*, *Ba* və *Sm* elementlərinin miqdarı Günəşdəkindən kəskin fərqlənir, orta hesabla $\Delta \log \epsilon \leq -0.55 \text{ dex}$ azdır. Post-AGB ulduzlarının statusuna uyğun olaraq dəmirin miqdarının $[Fe/H] = -0.36$ Günəş və I tip məskunlaşmış normal ifratnəhəng ulduzlarla müqayisədə az olması, həmçinin kükürdün dəmirə nəzərən miqdarının ($[S/Fe] = 0.48$) I tip məskunlaşmış normal ifratnəhəng ulduzlara nəzərən yüksək olması bu ulduzun qalaktika müstəvisində deyil, qalaktika diskinin qalın hissəsində və yaxud qalaktikanın halosunda yaranmasını göstərir.

Dissertasiyada aşağıdakı elmi nəticələr alınmışdır:

1. İlk dəfə olaraq 89 Her (F2 Ibe) ifratnəhəng ulduzunun optik diapazonda aparılmış çoxillik müşahidələrinə əsasən dublet *NaI D* xətti profillərində udulma komponentlərinin şüa sürəti və ekvivalent eninin dəyişməsində 5000 günlük period aşkar edilmişdir. Spektral qoşa sistem modeli çərçivəsində 5000 günlük perioda əsasən sistemin orbital parametrləri hesablanmışdır.

2. HD 161796 (F3 Ib) ifratnəhəng ulduzunun spektrində dublet *NaI D₂* ($\lambda 5889.953 \text{ \AA}$) xəttinin şüa sürəti və ekvivalent eninin zamandan asılı olaraq 62 günlük periodla dəyişməsi aşkar edilmişdir. Alınmış nəticələrin parlaqlıq əyrisi² ilə müqayisəli analizindən xəttin ekvivalent eninin parlaqlıq əyrisi (V) ilə sinxron, şüa sürətinin isə parlaqlıq əyrisi ilə əks fazada dəyişməsi

müəyyən olunmuşdur.

H_α və dublet $NaID$ xətlərinin qeyd olunan parametrlərinin əks fazada dəyişməsi digər müəlliflər⁸ tərəfindən Böyük Magellan Dumanlığında olan RM_1-667 ifratnəhəng ulduzunda da tapılıb. Bütün bunlar deməyə əsas verir ki, ifratnəhəng ulduzların bəzi qrupları təkamül prosesinin bəzi mərhələlərində, ulduzların təkamülü nöqtəyi nəzərindən qısa zaman anlarında oxşar təkamül yolları keçir.

3. HD 207260 (A2 Iae) ifratnəhəng ulduzunun 2018-ci ildə alınmış spektrlərinə əsasən H_α xəttinin profillərinin öyrənilməsi nəticəsində aydın olmuşdur ki, H_α xəttinin profili P Cyg tipli profildir, udulma və qırmızı qanadda müşahidə olunan şüalanma komponentindən ibarətdir. Komponentlərin şüa sürəti və ekvivalent eni zamandan asılı olaraq dəyişir.

İlk dəfə tapılmışdır ki, H_α xətti profilinin udulma və şüalanma komponentinin şüa sürəti, həmçinin udulma komponentinin ekvivalent eninin qiyməti sinxron dəyişir və bu dəyişmə 35-40 günlük kvaziperiodla baş verir.

4. ϕ Cas (F0 Ia) ifratnəhəng ulduzunun yüksək dispersiyalı spektrlərinə əsasən hidrogenin Balmer seriyası, dublet $NaI D2$ $\lambda 5889.97\text{\AA}$ və $NaI D1$ $\lambda 5895.93\text{\AA}$ xətləri öyrənilmişdir.

Aşkar edilmişdir ki, H_β , H_γ və H_δ xətlərinin ekvivalent eni dəyişir, $\Delta W \approx 1.2\text{\AA}$ (təqribən 1.4 dəfə). Həmçinin, H_α , H_β və H_γ xətlərinin profillərinin yarıməninə görə təyin olunmuş şüa sürəti də dəyişir və bu dəyişmənin amplitudu uyğun olaraq $\Delta Vr \approx -19$ km/s, -20 km/s və -19 km/s-dir. Hesablamalar nəticəsində aydın olmuşdur ki, profilin mərkəzinə görə təyin olunmuş şüa sürəti profilin yarıməninə görə təyin olunmuş qiymətindən orta hesabla $\Delta Vr = 14$ km/s qədər kiçikdir. Müşahidədən alınmış bu nəticə xəttin effektiv formalaşdığı laylara nisbətən, atmosferin yuxarı qatlarında ulduz küləyinin sürətinin zəiflədiyini sübut edir.

Tapılmışdır ki, H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_8 xətlərinin atmosferdə

⁸Gopka, V. Preliminary Study of Red Supergiant RM_1-667 in the Large Magellanic Cloud / V.Gopka, A.Shavrina, S.Vasilyeva [et al.] //Odessa, Astronomical Publications, - 2012. vol.25, - p.64-65.

yarandığı laylar uyğun olaraq -38 km/s , -12 km/s , -4 km/s , -2 km/s , -8 km/s sürəti ilə ulduzun mərkəzindən müşahidəçiyə tərəf hərəkət edərək genişlənir. Lakin, H_9 , H_{10} və H_{11} xətlərinin effektiv yarandığı laylar isə əksinə, müşahidəçidən ulduzun mərkəzinə tərəf uyğun olaraq $+8 \text{ km/s}$, $+6 \text{ km/s}$ və $+1 \text{ km/s}$ sürəti ilə hərəkət edərək sıxılır.

İlk dəfə bizim tərəfimizdən müşahidələrdən alınmış bu nəticələr sübut edir ki, qeyd olunan dəyişmələr ulduz atmosferinin döyünməsi nəticəsində baş verir.

5. HD 80290, HD 138917, HD 224014, HD 9544, HD 9896 proqram ulduzlarının effektiv temperatur (T_{eff}) və səthlərində ağırlıq qüvvəsinin təcili ($\log g$) təyin edilmişdir. T_{eff} , $\log g$ parametrləri bu ulduzların spektral və işıqlıq siniflərinə uyğundur.

6. Aşkar edilmişdir ki, HD 80290, HD 224014, Post-AGB HD 161796 tədqiq olunan ulduzların atmosferində mikroturbulent hərəkət sürəti (ξ_t), atmosferin sıxlığından (yəni ağırlıq qüvvəsi təcilindən - $\log g$) asılıdır. Atmosferi seyrək olan ulduzlarda mikroturbulent hərəkət sürəti böyükdür. Həmçinin tədqiq etdiyimiz HD 80290, HD 224014 ulduzlarda metallığın Günəşdəki kimi olması aşkar edilmişdir. Bu onu göstərir ki, bu ulduzlar və Günəş eyni metallıqlı maddədən yaranmışlar.

7. Tədqiq etdiyimiz HD 224014 hipernəhəng, ulduzunda karbon elementinin miqdarı Günəşdə olan miqdardan azdır, azot və natrium elementlərinin miqdarı isə çoxdur. Alınmış bu nəticə ulduzların müasir kimyəvi təkamül nəzəriyyəsinin mülahizələrini praktiki olaraq təsdiq edir.

8. Qalaktika müstəvisindən uzaqda müşahidə olunan, yüksək enlikdə yerləşən F spektral sinifli ifratnəhəng HD 161796 ulduzunda metallığın Günəşdə olan miqdardan az olması müəyyən olunmuşdur. Ona görə də belə mülahizə irəli sürmək olar ki, HD 161796 ulduzu Qalaktika müstəvisində deyil, Qalaktika halosunda yaranmışdır.

DISSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ MƏQALƏLƏRİN SİYAHISI

1. Həsənova, Ə.R. HD 161796 (F3 Ib) ulduzunun atmosfer parametrlərinin təyini / Ə.R.Həsənova, Ə.M.Xəlilov, G.M.Hacıyeva // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – Bakı: – 2015. c.35, №5, – s. 153-157.
2. Гасанова, А.Р. Линии водорода и дублета NaID в спектре сверхгиганта ϕ Cas (F0 Ia)/ А.Р.Гасанова, А.М.Халилов, Г.М.Гаджиева, Х.Н.Адыгозелзаде // Azərbaycan Astronomiya Jurnalı, – Bakı: – 2015. c.10, №1, – s. 35-42.
3. Səmədov, Z.A. Post-AGB HD161796 (F3 Ib) ulduzu atmosferinin tədqiqi / Z.A.Səmədov, Ə.R.Həsənova, Ü.R.Qədirova, Ə.M.Xəlilov, G.M.Hacıyeva // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – Bakı: – 2016. c.36, №5, – s. 148-154.
4. Халилов, А.М. Исследование спектральных линий дублета натрия NaD в спектре звезды HD 161796 (F3 Ib) / А.М.Халилов, А.Р.Гасанова, Г.М.Гаджиева // Azərbaycan Astronomiya Jurnalı, – Bakı: – 2016. c.11, №3, – s. 25-32.
5. Səmədov, Z.A. 44 Cyg (F5 Iab) ulduzunun atmosferi: fundamental parametrlər, kimyəvi tərkib / Z.A.Səmədov, Ə.M.Xəlilov, Ə.R.Həsənova, Ü.R.Qədirova, G.M.Hacıyeva // AMEA-nın xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, – Bakı: – 2018. c.38, №5, – s. 188-193.
6. Hacıyeva, G.M. 44 Cyg (F5 Iab) və HD161796 (F3 Ib) ulduzların spektral tədqiqi // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – Bakı: – 2019. c.39, №2, – s. 188-195.
7. Khalilov, A.M. Radial velocity Variations of the NaID Lines for the High-Latitude Supergiant Star 89 Her / Aligulu Khalilov, Aziza Hasanova, Gunay Hajiyeva // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Ukraine: – 2019. July. vol.35,

- №3. – p. 143–151, DOI:10.3103/S0884591319030024.
8. Hacıyeva, G.M. v Cep (A2 Iae) ulduzunun atmosferi: kimyəvi tərkib // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – Bakı: – 2020. c.40, № 2, – s. 199-205.
 9. Khalilov, A.M. Periodical Variations of radial velocities and profiles of the sodium lines in the spectrum of the supergiant 89 Her (F2 Ibe) / A.M. Khalilov, A.R. Hasanova, G.M. Hacıyeva // Astronomical Journal of Azerbaijan, – Baku: – 2020. vol.15, № 2, – p.71-74.
 10. Samedov, Z.A. HD 207260 (A1ae) star atmosphere: fundamental parameters, the abundance of elements / Z.A.Samedov, G.M.Hacıyeva, A.M.Khalilov, S.Sh.Rajabova, N.H.Samedova // Astronomical Journal of Azerbaijan, – Baku: – 2021. vol.16, № 2, – p. 80-86.
 11. Samedov, Z.A. The fundamental parameters of the star HD 164613 (F2 II) / Zahir Samedov, Gunay Hacıyeva, Zamina Aliyeva, Ulker Rustam // 7th International Conference MTP-2021: Modern Trends In Physics, – Baku: – 2021. December 15-17. vol.2, – p. 63-66.
 12. Samedov, Z.A. Metallicity of the star HD 80290 (F3V) / Zahir Samedov, Gunay Hacıyeva, Zamina Aliyeva, Nargiz Samedova // Astronomy & Astrophysics (CAUCASUS), – Georgia: – 2022. №5, – p. 65-70.
 13. Hacıyeva, G.M. HD 138917 (F0 IV) ulduzunun fundamental parametrləri // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, – Bakı: – 2022. c.42, №5, – s. 159-161.
 14. Khalilov, A. M. Radial Velocity Variations of the H α and NaI D Lines for the High-Latitude Supergiant Star 89 Her / Aligulu Khalilov, Gunay Hacıyeva, Aziza Hasanova, Aynura Hasanova // Acta Astronomica, – Poland: – 2022.vol.72, №4, – p. 297-313.
 15. Hacıyeva, G.M. HD 207260 (A2 Iae) ifratnəhəng ulduzu spektrində H α xətti profilinin dəyişməsi / G.M.Hacıyeva, Ə.M.Xəlilov, A.B.Həsənova // Azərbaycan Milli Elmlər

Akademiyasının xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – Bakı: – 2023. c.43, №2, – s. 124-128.

Müəllifin dissertasiya mövzusu üzrə dərc olunmuş elmi işlərinin siyahısında nömrəsi 3, 5, 10, 11, 12 olan həmmüəllifli elmi məqalələrdə iddiaçı müşahidə materiallarının emal olunmasında, hesablamalarda, nəticələrin müzakirəsində və məqalələrin tərtibində iştirak etmişdir. Siyahıda nömrəsi 1, 2, 4, 7, 9, 14, 15 olan həmmüəllifli elmi məqalələrdə müşahidə materiallarının alınmasında, emal olunmasında, hesablamalarda, nəticələrin alınmasında, təhlilində, mətnin tərtibində iddiaçının və həmmüəlliflərin payı bərabərdir.

Hacıyeva Günay Məhərrəm qızı ŞAR-da işə başladığı 2015-ci il tarixindən etibarən, müşahidəçi astronom kimi ŞAR-ın 2 metrlik teleskopunda dissertasiya işində tədqiq olunan ulduzlar üçün müşahidə materiallarının alınmasında fəal iştirak etmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi "14" *iyun* 2024-cü il tarixində saat 14:00 -da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.39 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəhəri, AZ1143, H.Cavid prospekti 117.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat "10" *may* 2024 - cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 07.05. 2024

Kağızın formatı: A5

Həcmi: 36 803

Tiraj: 100