

А.Ж. Ақниязова\* , З.Ж. Жаңабаев , Ә. Бақытқызы 

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

\*email: [aigerimakniyazova@gmail.com](mailto:aigerimakniyazova@gmail.com)

## **V[e] ТИПТІ ҚОСАРЛАНҒАН ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН БЕЙСЫЗЫҚ ФРАКТАЛ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ АРҚЫЛЫ СИПАТТАУ**

Қос жұлдыздар табиғатта өте кең таралған, сондықтан оларды зерттеу жұлдыздардың табиғатын түсіндіру үшін де, жұлдыздардың пайда болуы мен эволюциясын зерттеу үшін де өте маңызды болып келеді. Қос жұлдыздар – гравитациялық күш арқылы бір жүйеге біріккен жұлдыздар. Бұндай жүйелердің компоненттері ортақ масса центрінің айналасындағы орбиталарын айналып жүреді. Өлшемдері мен кеңістіктегі орбиталарының орналасуына және бізден қашықтығына байланысты қос жұлдыздарды әр түрлі әдістермен зерттейді. Соңғы жылдары қосарланған жұлдыздардың физикалық қасиеттері мен параметрлерін түсіндіру үшін V[e] типті жұлдыздарды зерттеу өте кең қызығушылық тудыруда. Сондықтан бұл жұмыста зерттеу нысаны ретінде V[e] типті қос жұлдыздар (3Pup, MWC728, MWC645, BD+23 3183) таңдап алынды. Астрономия саласындағы объектілердің физикалық қасиеттерінің әртүрлілігі және өлшемдірінің өз мәніне бейсызық тәуелді болуы фракталдық талдауды қажет етеді. Сол себепті қос жұлдыздар иерархиялы бейсызық фрактал заңдылықтары көмегімен зерттелді. Қос жұлдыздар қасиеттерін сипаттау үшін әмбебап физикалық модель құрылып, қосарланған жұлдыздардың эволюциясын зерттеу үшін иерархиялы бейсызық фрактал теңдеуі ұсынылды. Теориялық есептеулерден және бақылау мәліметтерінен негізгі және қосалқы жұлдыздардың қуат спектрлерінің қатынастары анықталды. Бейсызық фрактал заңдылықтарының көмегімен алынған теориялық мәліметтер бақылау мәліметтерін сипаттауға болатындығы көрсетілді. Жұлдыздардың фракталдық құрылымын қуат спектрі заңдылықтарымен сипаттауға болатыны анықталды.

**Түйін сөздер:** Қос жұлдыз, бейсызық фрактал, жұлдыздардың V[e] классификациясы, қуат спектрі

**А.Ж. Ақниязова\*, З. Ж. Жанабаев, А. Бақытқызы**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г.Алматы

\*email: [aigerimakniyazova@gmail.com](mailto:aigerimakniyazova@gmail.com)

### **Описание свойств двойных звезд типа V[e] по нелинейным фрактальным закономерностям**

Двойные звезды очень распространены в природе, поэтому их изучение очень важно, как для объяснения природы звезд, так и для изучения образования и эволюции звезд. Двойные звезды — это звезды, объединенные в одну систему силой гравитации. Компоненты таких систем вращаются вокруг общего центра масс. В зависимости от их размеров и положения их орбит в пространстве, а также их удаленности от нас двойные звезды изучаются разными методами. В последние годы большой интерес вызывает изучение звезд класса V[e] для выяснения физических свойств и параметров двойных звезд. Поэтому в качестве объектов исследования в данной работе были выбраны двойные звезды класса V[e] (3Pup, MWC728, MWC645, BD+23 3183). Многообразие физических свойств объектов в области астрономии и нелинейная зависимость их размеров от их значений требуют фрактального анализа. Поэтому для изучения двойных звезд использовались иерархические нелинейные фрактальные модели. Создана универсальная физическая модель для описания свойств двойных звезд и предложено иерархическое нелинейное фрактальное уравнение для изучения эволюции двойных звезд. Из теоретических расчетов и наблюдательных данных были определены соотношения между спектрами мощности главных и второстепенных звезд. Показано, что теоретические данные, полученные с помощью нелинейных фрактальных законов, могут быть использованы для описания наблюдательных данных. Выяснилось, что фрактальная структура звезд может быть описана законами спектра мощности.

**Ключевые слова:** Двойная звезда, нелинейный фрактал, классификация звезд B[e], спектр мощности

**A.Zh. Akniyazova\*, Z.Zh. Zhanabaev, A.Bakytkyzy**  
Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty  
\*email: [aigerimakniyazova@gmail.com](mailto:aigerimakniyazova@gmail.com)

### Description of the properties of B[e] binary stars according to nonlinear fractal laws

Binary stars are very common in nature, so their study is very important both for explaining the nature of stars and for studying the formation and evolution of stars. Binary stars are stars united into one system by the force of gravity. The components of such systems rotate around a common center of mass. Depending on their size and the position of their orbits in space, as well as their distance from us, binary stars are studied by different methods. In recent years, the study of class B[e] stars has attracted great interest in order to explain the physical properties and parameters of binary stars. Therefore, B[e] class binary stars (3Pup, MWC728, MWC645, BD+23 3183) were chosen as objects of study in this work. The variety of physical properties of objects in the field of astronomy and the nonlinear dependence of their sizes on their values require fractal analysis. Therefore, hierarchical nonlinear fractal models were used to study binary stars. A universal physical model has been created to describe the properties of binary stars and a hierarchical nonlinear fractal equation has been proposed to study the evolution of binary stars. From theoretical calculations and observational data, the ratios between the power spectra of the main and secondary stars were determined. It is shown that theoretical data obtained with the help of nonlinear fractal laws can be used to describe observational data. It turned out that the fractal structure of stars can be described by the laws of the power spectrum.

**Key words:** Binary star, non-linear fractal, B[e] star classification, power spectrum

### Кіріспе

Қос жұлдыз – гравитациялық түрде байланысқан және жалпы масса центрінен тұйық орбиталары арқылы айналып жүретін жұлдыздардың жүйесі. Қос жұлдыздар - әлемде өте кең таралған аспан объектілері. Біздің Галактикамыздағы барлық жұлдыздардың жартысына жуығы қос жүйелерге жатады [1-4].

Қос жұлдыздар туралы анықталған мәліметтер қазіргі астрономияның және оның басқа бөлімдерімен өзара байланысты фундаменталды деректер болып табылады. Бұл деректерді үздіксіз толықтыру және нақтылау астрономиядағы ең маңызды міндет болып табылады [5].

Қос жұлдыздарды 200 жылдан астам уақыт бойы зерттегеніне қарамастан, олардың пайда болу механизмдері, периодтардың таралуы мен массалық қатынасы және жұлдыздардың әртүрлі топтарындағы қос жүйелердің қасиеттеріндегі статистикалық айырмашылықтары әлі де түсініксіз болғандықтан бұл жүйелерді зерттеу және оларды анықтау өзекті мәселелердің бірі болып табылады [6, 7]. Сондай ақ, астрофизика саласында B[e] феномені бар жұлдыздар үшін жоғарыда аталған мәселелердің шешімін табу үлкен қызығушылық тудыруда. Келесі жұмыстарда [8-10] B[e] типті қос жұлдыздардың орбиталды қасиеттері мен олардың

айнымалылығы фотометриялық әдіс көмегімен және спектроскопиялық бақылау нәтижесінде анықталған.

Бұл жұмыста біз B[e] типті қос жұлдыздар жүйелерін бейсызық фрактал заңдылықтарының көмегімен анықтаймыз. Бұл жұмыста қосарланған жұлдыздардың эволюциясын зерттеу үшін иерархиялы бейсызық фрактал теңдеуін ұсынамыз. Ұсынылған теңдеу жұлдыздардың спектрлерін модельдеу мақсатында қолданылды.

### Зерттеу нысаны

Бұл жұмыста зерттеу нысаны ретінде Lpup, MWC728, MWC645, BD+233183 қос жұлдыздарды қарастырдық. B[e] типті жұлдыздардың ішінен қосарлылығы анықталған объектілер болғандықтан, осы жұлдыздардың спектрлік мәліметтері LESIA Медон обсерваториясында жұмыс істейтін BeSS (<http://basebe.obspm.fr>) және PolarBase деректер базасынан алынды [11-14].

3Pup (HD 62623, HR 2996) нысаны B[e] құбылысы байқалатын объектілер ішіндегі ең жарық ( $V \approx 4.0$  mag) болып табылады. 3Pup спектрлік зерттеулерінің ең алғашқы жоғары ажыратымдылықта ( $R = 60\,000\text{--}70\,000$ ) 3682-ден 8863 Å-ге дейінгі диапазон аралығында табылған сызықтар тізімі Chentsov E. жұмысында көрсетілген [15]. Ажыратымдылығы  $R = 60\,000$

болған кездегі 3Pup спектрлік атласын 3920 Å - ден 6920 Å-ге Ключкова В. Г. өз жұмысында көрсеткен [16]. Спектрдің 7280 Å-ден 7340 Å-ге дейінгі және 8480 Å-ден 8680 Å-ге дейінгі толқын ұзындығы аралығында  $R = 15\,000\text{--}18\,000$  ажыратымдылықпен Aret А. жұмысында зерттелген [17]. 3Pup FS CMa тобына жататын, өте ерте кезеңдегі масса алмасу әсерінен жұлдыз маңы қабығы пайда болған қос жұлдыздар жүйесі болып табылады [18]. Периоды  $137.4 \pm 0.1$  күнге тең шеңберлі орбита арқылы екі жұлдыздың қоғалысы жүзеге асады. Мирошниченко А.С. жұмысында анықталған 3Pup объектісінің негізгі параметрлері:  $M_2 = 8.8 \pm 0.5 M_\odot$  және  $M_1 = 0.7 \pm 0.25 M_\odot$ ,  $T_{eff} = 8500 \pm 500 K$ , жарықтылығы [18]  $\log(L/L_\odot) = 4.1 \pm 0.1$ .

MWC728 арақашықтықтары шамамен 1 кпк біріншісі B5 және екіншісі G8 типті жұлдыздардан тұратын, орбиталық периоды 27.5 күн болатын қосарлы жүйе болып табылады [19]. Орбитасы шеңберлі және орбита жазықтығы 13-15 градусқа еңкейген. Қосарлылығы орбиталық қозғалысы арқылы анықталған FS CMa тобының ішіндегі екінші жұлдыз болып табылады.

V[e] құбылысы байқалатын MWC645 эмиссиялық сызықтары бар жұлдызының оптикалық және жақын инфрақызыл спектроскопиясы мен фотометриясының нәтижелері қазіргі уақытқа дейін жақсы зерттелген [20]. Фотометриялық және спектроскопиялық мәліметтерді, сонымен қоса Gaia EDR3 базасындағы қашықтығын ( $D=6.5 \pm 0.9$  кпс) қолдана отырып, әр компоненттің үлестері анықталған. Олардың беткі температурасы мен жарықтылығы есептелген ( $18000 \pm 2000 K$  және  $4250 \pm 250 K$ ),  $\log(l/l_e) = 4.0 \pm 0.5$  және  $3.1 \pm 0.3$  сәйкесінше ыстық және суық компоненттер үшін.

BD+23 3183 (IRAS 17449+2320) Күннен 1 кпс арақашықтықта ең жақын орналасқан V[e] құбылысы байқалатын A0 типті қос жұлдыз. BD+233183 жұлдызында V[e] құбылысы Мирошниченко А.С. жұмысында жоғары ажыратымдылықта алынған спектрлер көмегімен анықталып, A0V классификациясына еңгізілген болатын [21]. Сонымен қоса, V[e] құбылысының бар екендігі  $R = 13000 - 18000$  ажыратымдылықта FEROS спектрлері арқылы Aret et al. жұмысында көрсетілген [17]. BD+23 3183 қос жүйесінің эффективті температурасы  $9350 \pm 400 K$  тең [21].

Балмер сызықтарында және Fe II сызықтарының профильдерінде байқалатын орталық сәулеленуге байланысты қос шыңы бар кең жолақты жұтылу аймағы шетінен көрінетін

айналмалы дискінің болуын көрсетеді. Сонымен қатар, [OI] эмиссия сызықтары кең және төбесі тегіс болып келеді. Мұндай профильдер үш компонент әсерінен туындауы мүмкін. Соның ішінде екі компоненті айналу жылдамдығына ие ( $V = 27 \pm 0.5$  және  $15 \pm 0.5 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ ). BD+23 3183 жұлдызы HR диаграммасының бас тізбегінде немесе оның аяғында орналасқан, массасы  $2 - 3 M_\odot$  тең қосарлы жүйе болып табылады [22].

## Зерттеу әдісі

### Бейсызық фрактал

Түскен фотонның энергиясына тәуелді процестердің әртүрлі сипаты толқындық сандар кеңістігінің фракталдығымен ескеріледі. Бұл құрылымдар өте ретсіз болғанымен, өзіндік ұқсастық қасиеті бар, яғни оларды фракталдық және мультифракталдық объектілер ретінде қарастыруға болады. Сондықтан жұтылу спектрінің күрделі құрылымын жұлдыздардың фракталдық қасиеттері тұрғысынан сипаттауға болады.

Ашық жүйелер физикасы тұрғысынан бейсызық динамика масштаб инварианттылығымен, фракталдылықпен, белгілі бір фазалық қатынастармен, хаустық және т.б. қасиеттермен сипатталуы керек. Сол себепті де, аталған қасиеттерді сипаттайтын әмбебап физикалық модель құру қажеттілігі туындады. Жұлдыздар эволюциясындағы қуат спектрінің өзгеру заңдылықтарын зерттеу арқылы модель құрылды. Қуат спектрі - заряд тасымалдаушылардың корреляциялық таралу функциясының спектрлік тығыздығымен анықталады. Астрономиядағы объектілердің физикалық қасиеттерінің әртүрлілігі олардың өлшемдерінің өз мәніне бейсызық тәуелді болғандықтан, фракталдық талдауды қажет етеді. Берілген параметрге тәуелді өлшемнің эволюциясын зерттеу мақсатында, фракталдық өлшем процестің өзіне байланысты бейсызық функция ретінде қарастырылды. Бейсызық фракталдық өлшем анықтамасы бойынша,  $E_i(\omega, \gamma)$  фотон энергиясы үшін [23-25]:

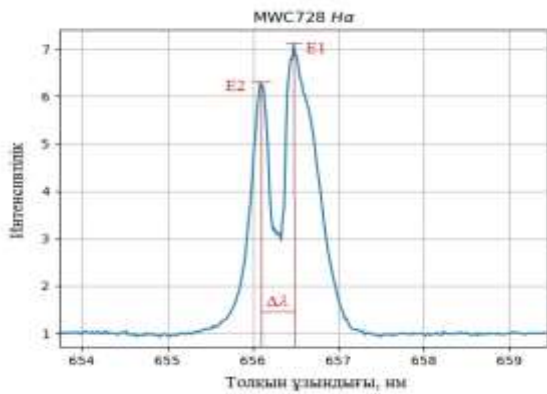
$$E_{i+1}(\omega, \gamma) = E_0 \left( \left| 1 - \frac{E_i(\omega, \gamma)}{\hbar \omega} \right| \right)^{-\gamma} \quad (1)$$

мұндағы,  $E_i(\omega, \gamma)$  – бейсызық фракталдық өлшем (қуат спектрі үшін),  $\hbar \omega$  – белгілі  $\omega$  жиіліктегі фотон энергиясы;  $\gamma = D - d$  – фракталдық өлшемділік пен топологиялық өлшемділік айырмасы. [23] – жұмыста (1) формула нейрондық

желілерге қолданылған. Бұл формула астрономия саласында жеке объекттердің (жеке жұлдыз) қуат спектрларын сипаттауға мүмкіндік береді. Галактикадағы қосарланған объекттерді, яғни қосарланған жұлдыздарды сипаттауда (1) компьютерлік өңдеулер үшін формуланы иерархиялы түрде жазамыз:

$$E_{i+1}(\omega, \gamma) = E_0 \left( 1 - \frac{\alpha \cdot E_0 \left( \left| 1 - \frac{E_i(\omega, \gamma)}{\hbar\omega} \right| \right)^{-\gamma}}{\hbar\omega} \right)^{-\gamma}, \quad (2)$$

мұндағы,  $\alpha$  – жұтылу коэффициенті. Түскен фотон  $\hbar\omega$  энергиясының диссипациясы корреляцияның спектрлік функциясымен сипатталады. Температура  $\alpha = ctg\left(\frac{\hbar\omega}{2kT}\right)$  формуласымен ескеріледі [26].



Сурет 1 - MWC728 жұлдызының  $H_\alpha$  сызығы [19]

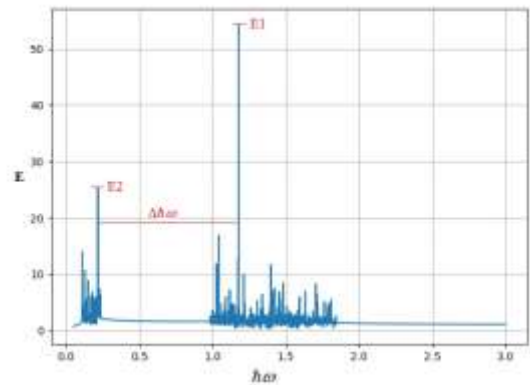
1-суретте көрсетілгендей, жеке жұлдыз үшін қуат спектрінің максимум мәні қосарланған жұлдыз қуат спектрінің максимум мәнінен көбірек. Бұл құбылыс, қосарланған жұлдыздар бір-бірімен тығыз әсерлесетіндігінің көрінісі және жұтылу немесе шағылу процесстерінің орын алатынын айтуға болады. Сондай-ақ,  $\alpha = 1/2$  мәні екі қосарланған жұлдыз үшін арнайы алынған. 1-суретте қосарланған объектінің екі компонентін байқауға болады:  $E_1$  – қосарланған жұлдыз жүйесіндегі негізгі компонент,  $E_2$  – әсерлесуші компонент. Сондай-ақ, энергетикалық спектрде (қуат спектрінде) фракталдық қисықтардың қасиеттері бар екені мәлім.  $E_2/E_1$  қатынасы (2) формула бойынша қуат спектрлерінің заңдылықтарын сипаттауға мүмкіндік береді.

Сандық есептеулер үшін  $\gamma=0.465$  алынды. Информациялық энтропия критеріінің өз ұқсас мәні – Әлемнің ұлғаюына сәйкес фракталдық өлшемділіктің бөлшек мәні [25].

### Нәтижелер мен талқылау

Қосарланған жұлдыздар жүйесінің қасиеттерін зерттеу үшін (2) формула қолданылды. Ең алдымен, бақылаудан алынған спектрлік мәліметтерден Бальмер сериясынан  $H_\alpha$  сызығы тандап алынды. 1-суретте көрсетілгендей, алынған спектр екі негізгі компоненттен ( $E_1$  және  $E_2$ ) тұрады [19].

Бақылаудан алынған мәліметтерді теориямен салыстыру үшін (2) формула көмегімен қосарланған жұлдыздар үшін қуат спектрінің графигі алынды. Алынған мәлімет 2-суретте бейнеленген.



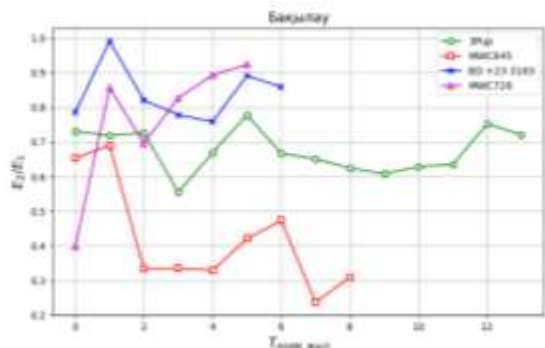
Сурет 2 – Қосарланған жұлдыз үшін қуат спектрінің көрінісі, параметрлер мәні:  $E_0 = 1$ ,  $\alpha = 1/2$ ,  $\gamma = 0.465$

Бақылау және теориялық мәліметтерден  $E_2/E_1$  қатынасын қосарланған жұлдыздар үшін есептеп, келесідей салыстырулар жүргізілді.

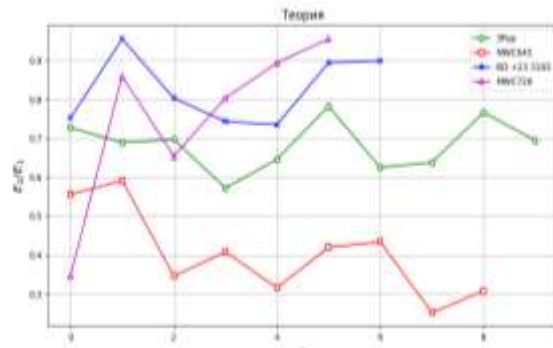
$\alpha$  мәні жұлдыздардың спектрлері бақылған  $T$  жылмен сәйкес келеді. Бұл 3 және 4 суретте көрсетілген графиктер қосарланған жұлдыздардың уақыт бойынша өзгерісін бейсызық фрактал көмегімен құрылған модель бойынша анықтауға болатынын көрсетеді. 3-суретте 3Pup, MWC645, BD +23 3183 және MWC728 жұлдыздарының  $H_\alpha$  сызығындағы  $E_2/E_1$  қатынасының мәндері есептелген. Орташа алғанда 2006 жылдан бастап 2018 жылға дейінгі бақылған спектрлік мәліметтер алынған. Ең алғашқы бақылған 2006 жылды 0-ге теңестіріп, жыл бойынша нормалау жасаймыз. Тура осы заңдылықты пайдалана отырып  $\alpha$  бойынша

нормалау жасалынды. 4-суретте (2) – формула бойынша  $0.4998 \leq \alpha \leq 0.5001$  мәндерінде флукуация берілу арқылы  $\alpha$  қатынасының мәндері есептелген. Графиктерден көрініп тұрғанымыздай, статистикалық қателіктер

болғанымен өзгеріс динамикасы ұқсас болып келеді. Егер 3 және 4 суреттердегі мәндердің өз максимумдарына қатынасын қарастырсақ, универсал заңдылық байқалуы мүмкін.



**Сурет 3** – В[e] қосарланған жұлдыздары үшін  $E_2/E_1$  мәнінің нормаланған жыл бойынша өзгерісі (Бақылау мәліметтері)



**Сурет 4** – В[e] қосарланған жұлдыздары үшін  $E_2/E_1$  мәнінің нормаланған  $\Delta\alpha$  бойынша өзгерісі (Теория мәліметтері)

### Қорытынды

Қос жұлдыздардың физикалық қасиеттерін, олардың пайда болу механизмдерін, эволюциясын, физикалық параметрлерін анықтау үшін иерархиялық бейсызық фрактал формуласы

жақсы нәтиже көрсетті. 3Pup, MWC645, BD +23 3183 және MWC728 қос жұлдыздары үшін polarbase және BeSS деректер базасынан спектрлік мәліметтері алынып зерттеулер жүргізілді. Бейсызық фрактал формуласының көмегімен бақылау мәліметтері сипатталды.

### Әдебиеттер

- 1 Dorn-Wallenstein T.Z., Levesque E. M. Stellar population diagnostics of the massive star binary fraction //The Astrophysical Journal. – 2018. – Т. 867. – №. 2. – С. 125.
- 2 Raghavan D. et al. A survey of stellar families: multiplicity of solar-type stars //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2010. – Т. 190. – №. 1. – С. 1.
- 3 Sana H. et al. Binary interaction dominates the evolution of massive stars //Science. – 2012. – Т. 337. – №. 6093. – С. 444-446.
- 4 Moe M., Di Stefano R. Mind your Ps and Qs: the interrelation between period (P) and mass-ratio (Q) distributions of binary stars //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2017. – Т. 230. – №. 2. – С. 15.
- 5 Han Z.W. et al. Binary population synthesis //Research in Astronomy and Astrophysics. – 2020. – Т. 20. – №. 10. – С. 161.
- 6 Duchêne G., Kraus A. Stellar multiplicity //Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2013. – Т. 51. – С. 269-310.
- 7 Wells M.A., Prša A. Building and Calibrating the Binary Star Population Using Kepler Data //The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2021. – Т. 253. – №. 1. – С. 32.
- 8 Miroshnichenko A.S. et al. Recent Progress in Finding Binary Systems with the B [e] Phenomenon //Galaxies. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 36.
- 9 Richardson N.D. et al. Outbursts and stellar properties of the classical Be star HD 6226 //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2021. – Т. 508. – №. 2. – С. 2002-2018.
- 10 Miroshnichenko A.S. et al. Binariness among objects with the Be and B [e] phenomena //Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. – 2020. – Vol. 50, no. 2. – P.513-517.
- 11 Neiner C. The BeSS database: a fruitful professional-amateur collaboration //arXiv preprint arXiv:1811.05261. – 2018.
- 12 Neiner C. et al. The Be star spectra (BeSS) database //The Astronomical Journal. – 2011. – Т. 142. – №. 5. – С. 149.
- 13 Petit P. et al. PolarBase: a database of high-resolution spectropolarimetric stellar observations //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 2014. – Т. 126. – №. 939. – С. 469.

- 14 Petit P. et al. The PolarBase archive of stellar spectra //Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun. – 2022. – C. 206.
- 15 Chentsov E. L., Klochkova V. G., Miroshnichenko A. S. Spectral variability of the peculiar A-type supergiant 3Pup //Astrophysical Bulletin. – 2010. – T. 65. – C. 150-163.
- 16 Klochkova V.G., Sendzikas E.G., Chentsov E.L. Spectral atlas of A-type supergiants //Astrophysical Bulletin. – 2015. – T. 70. – C. 99-108.
- 17 Aret A., Kraus M., Šlechta M. Spectroscopic survey of emission-line stars–I. B [e] stars //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2016. – T. 456. – №. 2. – C. 1424-1437.
- 18 Miroshnichenko A.S. et al. Properties of Galactic B [e] Supergiants. V. 3 Pup–Constraining the Orbital Parameters and Modeling the Circumstellar Environments //The Astrophysical Journal. – 2020. – T. 897. – №. 1. – C. 48.
- 19 Miroshnichenko A.S. et al. Toward understanding the B [e] phenomenon. V. Nature and spectral variations of the MWC 728 binary system //The Astrophysical Journal. – 2015. – T. 809. – №. 2. – C. 129.
- 20 Nodyarov A.S. et al. Toward Understanding the B [e] Phenomenon. IX. Nature and Binarity of MWC645 //The Astrophysical Journal. – 2022. – T. 936. – №. 2. – C. 129.
- 21 Miroshnichenko A.S. et al. Toward understanding the B [e] phenomenon. II. New galactic FS CMa stars //The Astrophysical Journal. – 2007. – T. 671. – №. 1. – C. 828.
- 22 Condori C.A. H. et al. The study of unclassified B [e] stars and candidates in the Galaxy and Magellanic Clouds //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2019. – T. 488. – №. 1. – C. 1090-1110.
- 23 Zhanabaev Z.Zh., Kozhagulov Y.T. A Genetic Model for Scale-Invariant Neural Networks // Journal of Neuroscience and Neuroengineering. – 2013. – Vol. 2. – P. 1-5.
- 24 Zhanabaev Z.Z., Grevtseva T.Y. Physical fractal phenomena in nanostructured semiconductors //Reviews in Theoretical Science. – 2014. – T. 2. – №. 3. – C. 211-259.
- 25 Zhanabaev Z.Z., Ussipov N.M., Khokhlov S.A. Scale-invariant and wave nature of the Hubble parameter //Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – T. 18. – №. 2 (36). – C. 81-89.
- 26 Landau L.D., Lifshitz E.M. Statistical Physics: Volume 5. – Elsevier, 2013. – T. 5.

## References

1. T.Z. Dorn-Wallenstein, and Emily M. Levesque, The Astrophysical Journal 867, 2, 125 (2018).
2. D. Raghavan et al, The Astrophysical Journal Supplement Series 190, 1, 1 (2010).
3. Sana, Hugues, et al, Science 337, 6093, 444-446 (2012).
4. Maxwell Moe, , and Rosanne Di Stefano, The Astrophysical Journal Supplement Series 230, 2, 15 (2017).
5. Han, Zhan-Wen, et al, Research in Astronomy and Astrophysics 20, 10, 161 (2020).
6. Duchêne, Gaspard, and Adam Kraus, Annual Review of Astronomy and Astrophysics 51, 269-310 (2013).
7. Wells, Mark A., and Andrej Prša, The Astrophysical Journal Supplement Series 253, 1, 32 (2021).
8. A.S. Miroshnichenko et al, Galaxies 11, 1, 36 (2023).
9. Noel D.Richardson, et al, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 508, 2, 2002-2018 (2021).
10. A.S. Miroshnichenko, et al., Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 50, 2, 513-517 (2020).
11. Coralie Neiner, arXiv preprint arXiv:1811.05261 (2018).
12. Coralie Neiner, et al. The Astronomical Journal 142, 5, 149 (2011).
13. P. Petit, et al. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 126, 939, 469 (2014).
14. P.Petit, et al, The PolarBase archive of stellar spectra, Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, 2022.
15. E.L. Chentsov, V.G. Klochkova, and A.S. Miroshnichenko, Astrophysical Bulletin 65, 150-163 (2010).
16. V.G. Klochkova, E.G. Sendzikas, and E.L. Chentsov, Astrophysical Bulletin 70, 99-108 (2015).
17. A. Aret, M. Kraus, and M.v Šlechta, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 456, 2, 1424-1437 (2016).
18. A.S. Miroshnichenko, et al., The Astrophysical Journal 897, 1, 48 (2020).
19. A.S. Miroshnichenko, et al. The Astrophysical Journal 809, 2, 129 (2015).
20. A.S.Nodyarov, et al, The Astrophysical Journal 936, 2, 129 (2022).
21. A.S. Miroshnichenko, et al. The Astrophysical Journal 671, 1, 828 (2007).
22. C.A.H. Condori, et al. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 488, 1, 1090-1110 (2019).
23. Z.Zh Zhanabaev, Y.T. Kozhagulov, Journal of Neuroscience and Neuroengineering 2, 3, 267-271 (2013).
24. Z.Zh Zhanabaev, and T.Yu Grevtseva, Reviews in Theoretical Science 2, 3, 211-259 (2014).
25. Z.Zh Zhanabaev, N. Usipov, and S.A. Khokhlov, Eurasian Physical Technical Journal, 18, 2 (36), 81-89 (2021).
26. L. Landau, and E. Lifshitz, Statistical Physics: Volume 5, (Elsevier, 2013).