

А.С. Нодяров

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

e-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com

HD 328990 BE ЖҰЛДЫЗЫНЫҢ ФОТОМЕТРИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСІ

Біз HD 328990 классикалық Be-типті жұлдызының 2016–2025 жылдар аралығын қамтитын ASAS-SN шолуының архивтік деректері негізінде фотометриялық талдауын ұсынамыз. V және g диапазондарындағы ұзақ мерзімді жарық қисығы шамамен 0.2 жұлдыздық шамадағы ең үлкен және ең кіші мәндер арасындағы айырмашылықпен сипатталатын төмен амплитудалық айнымалылықты көрсетеді. Lomb–Scargle периодограмма талдауы $P_{\text{orb}} \approx 176.3$ тәулікке жуық айқын периодты сигналды анықтайды, бұл фаза бойынша тұрғызылған жарық қисығымен де расталады. Фазалық қисық айтарлықтай шашыраңқы болса да, әлсіз, бірақ қайталанатын фотометриялық модуляциялардың болуы квазипериодты құбылыстың бар екенін көрсетеді. Жұлдыздың классикалық Be жұлдызы ретінде жіктелуін ескере отырып, байқалған айнымалылықты жұлдыз маңындағы диск құрылымындағы өзгерістермен немесе ықтимал қосжұлдыз серігінің әсерінен туындайтын динамикалық процестермен түсіндіруге болады. Бақылау нәтижелері басқа Be жұлдыздарында да байқалатын фотометриялық сипаттармен сәйкес келеді және жұлдыз маңындағы зат, жылдам айналатын B-типті жұлдыздардағы айнымалылық механизмдерінің күрделілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: эмиссиялық сызықты жұлдыздар, екілік жүйе, Be жұлдыздар, айнымалы жұлдыздар, деректерді талдау.

A.S. Nodyarov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com

Photometric variability of the be star HD 328990

We present a photometric analysis of a classical Be-type star HD 328990 using archival data from the ASAS-SN survey covering the period from 2016 to 2025. The long-term light curve in the V and g bands reveals low-amplitude variability, with a peak-to-peak magnitude difference of approximately 0.2 mag. A Lomb–Scargle periodogram analysis identifies a significant periodic signal at $P_{\text{orb}} \approx 176.3$ days, which is further supported by the phase-folded light curve. Although the folded light curve exhibits substantial scatter, the presence of weak but recurrent photometric modulations suggests the existence of a quasi-periodic phenomenon. Given the star's classification as a classical Be object, we interpret the observed variability as a result of structural changes within the circumstellar disk or dynamical effects induced by a possible binary companion. Our findings are consistent with typical photometric behavior observed in other Be stars and highlight the complex nature of variability mechanisms in rapidly rotating B-type stars with circumstellar material.

Key words: emission line stars, binary system, Be stars, variable stars, data analysis.

А.С. Нодяров

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

e-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com

Фотометрическая переменность Be звезды HD 328990

Мы представляем фотометрический анализ классической звезды Be типа HD 328990 с использованием архивных данных обзора ASAS-SN, охватывающего период с 2016 по 2025 год. Долгосрочная кривая блеска в полосах V и g показывает переменность с низкой амплитудой, с разницей между пиками примерно в 0.2 звездной величины. Анализ периодограммы Ломба–Скаргла выявляет значительный периодический сигнал при $P_{\text{orb}} \approx 176.3$ дня, что дополнительно подтверждается фазово-сложенной кривой блеска. Хотя сложенная кривая блеска демонстрирует значительный разброс, наличие слабых, но повторяющихся фотометрических модуляций предполагает существование квазипериодического явления. Учитывая классификацию звезды

как классического объекта Ве, мы интерпретируем наблюдаемую переменность как результат структурных изменений в пределах околозвездного диска или динамических эффектов, вызванных возможным двойным компаньоном. Наши выводы согласуются с типичным фотометрическим поведением, наблюдаемым у других звезд Ве, и подчеркивают сложную природу механизмов переменности у быстро вращающихся звезд В-типа с околозвездным материалом.

Ключевые слова: звезды с эмиссионными линиями, двойная система, звезды Ве, переменные звезды, анализ данных.

Кіріспе

Классикалық Ве жұлдыздары – бұл В-типті, аса алып емес жұлдыздар, оларды жылдам айналуы, спектрлеріндегі эмиссиялық сызықтар және айқын инфрақызыл артылу (IR excess) ерекшелейді.

Спектрінде эмиссиялық сызықтары бар алғаш жұлдыз – γ Кассиопея – шамамен 150 жыл бұрын визуалды спектроскопия әдісімен ашылған. 19-ғасырдың соңына қарай ондаған жарық жұлдыздардың спектрінде әрі жарық, әрі қара сызықтар болатыны анықталды [1]. Бастапқыда бұл жұлдыздарды басқа жұлдыздардан ерекшелендіретін жалғыз қасиет – спектрлеріндегі сызықтық эмиссия болды. Осы жұлдыздар жеке Ве жұлдыздар класына біріктірілді [2]. Бұл авторлар құрамында бірнеше О-типті жұлдыздар мен В-типті жұлдыздар бар 90 ыстық эмиссиялық сызықты жұлдыздың тізімін жариялаған. Кейінірек олардың көбінің жарықтылығы бас тізбекке жуық екендігі және айналу жылдамдығының жоғары екендігі анықталды. Уақыт өте келе Ве жұлдызы дегеніміз – айналасында газды дискі бар В-типті жұлдыз екендігі де белгілі болды [3].

Ве жұлдыздарының басым бөлігі жалғыз жұлдыздар деп есептеліп келген, және олардың қосжұлдыз болуы мүмкін деген болжам 1970-жылдарға дейін қарастырылмаған. Қазіргі таңда ыстық жұлдыздардың көпшілігі кемінде жұп болып пайда болады деп есептелетіндіктен [4], Ве жұлдыздарының елеулі бөлігі қосжұлдыз жүйелерінің мүшелері болуы мүмкін деген тұжырым табиғи көрінеді.

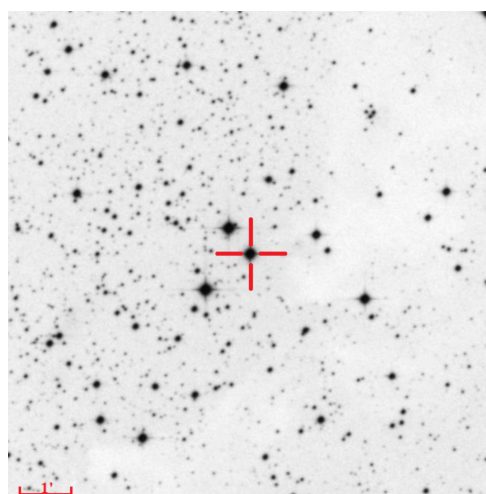
Бұл зерттеудің нысаны, оңтүстік жартышарда орналасқан HD 328990 ($\alpha=16:50:25.38$, $\delta=-46:09:19.08$, $V=10^m.71$, GAIA EDR3 арақашықтық $D \sim 2.41$ крс, [5]) жұлдызы. Бұл нысан туралы нақты ғылыми зерттеу жұмыстары жасалмаған, алайда кейбір жалпылама ғылыми жұмыстарда және мәліметтер базаларында ескерілген (1-сурет).

[6] авторлар жариялаған жұмысында галактиканың белгілі бір аймағында ($l=335^\circ$ және $b=6^\circ$) орналасқан ОВ типке жататын жұлдыздар-

дың тізімі және кейбір мәліметтері келтірілген. Соның ішінде осы жұмыстың зерттеу нысаны болып табылатын HD 328990 жұлдызы да бар, онды оның А0е спектрлік класына жататындығы $V=10^m.61$ шамаға ие екендігі көрсетілген.

[7] жұмыс авторлары 430 классикалық Ве жұлдыздарына TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) мәліметтер базасынан алынған мәліметтер негізінде фотометриялық талдау жүргізген. Соның нәтижесінде HD 328990 жұлдызының спектрдегі энергияның таралуы (SED) классикалық Ве жұлдызына тән сипаттамалармен сәйкес келмейді, бұл жүйеде екі жұлдыздық компоненттің (мүмкін, салқын алып және негізгі тізбектің соңғы В немесе ерте А спектрлік типті жұлдызы) бар екенін меңзейді.

Бұл нысанның барлық зерттеулері оның табиғатына, эволюциясына қатысты айтарлықтай мәліметтер бермегендіктен, HD 328990 егжей-тегжейлі зерттеуді қажет етеді. Атап айтқанда, жұлдызды материяның қасиеттері, іргелі параметрлері, спектрлік энергияның таралуы (SED) және жарық қисығы жеткіліксіз зерттелген. Бұл жұмыста біз HD 328990 жұлдызының жарқырау қисығын тұрғызып, оның орбиталды периодына баға береміз.



1-сурет – Сандық аспан шолуынан (Digital Sky Survey-DSS) алынған $10' \times 10'$ аймақтағы HD 328990 жұлдызының көрінісі.

Әдістеме

Қазіргі уақытта Ве класына жататын қосжұлдыздарды анықтау үшін бірнеше әдіс қолданылуда, көбінесе фотометриялық және спектроскопиялық әдістер. Тұрақты фотометриялық өзгерістер тұтылмалы жүйелерде бақыланады, алайда мұндай Ве қосжұлдыздары өте сирек кездеседі. Келесі құбылыстар бақыланса оларды спектроскопиялық жолмен анықтауға болады:

1. жұтылу және сәуле шығару жылдамдықтарының тұрақты түрде өзгерісі. Мысалы: ζ Tau, γ Cas [8].

2. эмиссиялық сызықтардағы (әдетте H α сызығында) ең жоғары қарқындылық коэффициенттерінің тұрақты өзгеруі (V/R өзгерістері). Мысалы: π Aqr [9].

3. құрама спектрлер (сирек). Мысалы: AX Mon.

Спектроскопиялық әдістерді қолданудағы қиындықтарға шағын амплитудалы сәулелік жылдамдықтың өзгерістері, сәулелік жылдамдық қисығының ортасындағы ұзақ мерзімді апериодтық трендтер, екіден көп құрамдас бөліктердің болуы және орбиталық период пен V/R периоды арасындағы ықтимал өзара әсерлерін жатқызуға болады [10].

Сонымен қатар, кейбір Ве қосжұлдыздары интерферометрия әдісімен де зерттеліп, ашылған немесе расталған [10].

Осы жұмыста негізінен фотометриялық әдісті қолданамыз. Жұмыс барысында талдау жасап, есептеулер жүргізу үшін Python бағдарламасы және периодтарды анықтау үшін сол бағдарламадағы Lomb-Scargle периодаграммасы қолданылады.

Периодограммалар уақыттық қатарлар деректерінен мерзімді сигналдарды алу үшін есептеледі. Периодограмманы есептеу Фурье түрлендіруін есептеуге ұқсайды, онда кіріс деректер уақыт аймағынан жиілік аймағына түрленеді. Үміткер жиіліктегі қуат сол жиіліктегі деректердегі қайталанатын сигналдың күшін көрсетеді. Периодограмма коды екі маңызды нәтижені қайтарады: периодограмманың өзі (жиілік функциясы ретіндегі спектрлік қуат) және осы шыңдардың кездейсоқ пайда болуының сәйкес ықтималдығы бар периодограммадағы шыңдар кестесі. Периодограммалар деректерден кез келген мерзімді сигналды анықтау және шығару құралы ретінде пайдаланылады.

Lomb–Scargle (L–S) әдісі – біркелкі емес дискреттелген уақыттық қатарлардағы период-

тық сигналдарды анықтауға арналған спектралдық талдау әдісі. Бұл әдіс бастапқыда Дж.Д. Скаргл [11] және Н. Р. Ломб [12] тарапынан дамытылған, және классикалық Фурье түрлендіруінің жалпыланған түрі ретінде қарастырылады.

Ломб–Скаргл (L–S) Дискретті Фурье түрлендіруінің (DFT) бір түрі екенін айттық, тек мұнда уақыттық қатар синусоидалық функциялардың сызықтық комбинациясына жіктеледі. Синусоидалық функциялар базисі деректерді уақыт аймақтарынан жиілік аймақтарына түрлендіреді. DFT әдістері көбінесе уақыттық қатардағы мәліметтер біркелкі интервалмен алынған деген жорамалға негізделеді, алайда астрофизикалық бақылауларда бұл сирек орындалады.

ASAS-SN (All Sky Automated Survey for SuperNovae) деректеріндегі g -диапазондағы жұлдыз шамаларын V -диапазонына түрлендіру үшін, әдетте, фотометриялық жүйелер арасындағы эмпирикалық қатынастарға негізделген түстік түрлендіру теңдеуі қажет. ASAS-SN бақылауларында Pan-STARRS1 (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System) жүйесінің g -филтрі қолданылады, сондықтан түрлендіру қолда бар түс көрсеткішіне (мысалы, $g-r$) немесе жұлдыздың спектрлік энергия таралуына (SED) қатысты жасалған болжамдарға сәйкес жүргізіледі. Жұлдыздың спектралдық классына негізделіп, орташа түс көрсеткішін ($g-r$) алуға болады және соған сәйкес (1) өрнекті жазуға болады;

$$V \approx g - 0.5784 \cdot (g - r) - 0.0038 \quad (1)$$

мұндағы, V , g , r – сәйкес сол жолақтардағы жұлдыздық шамалар.

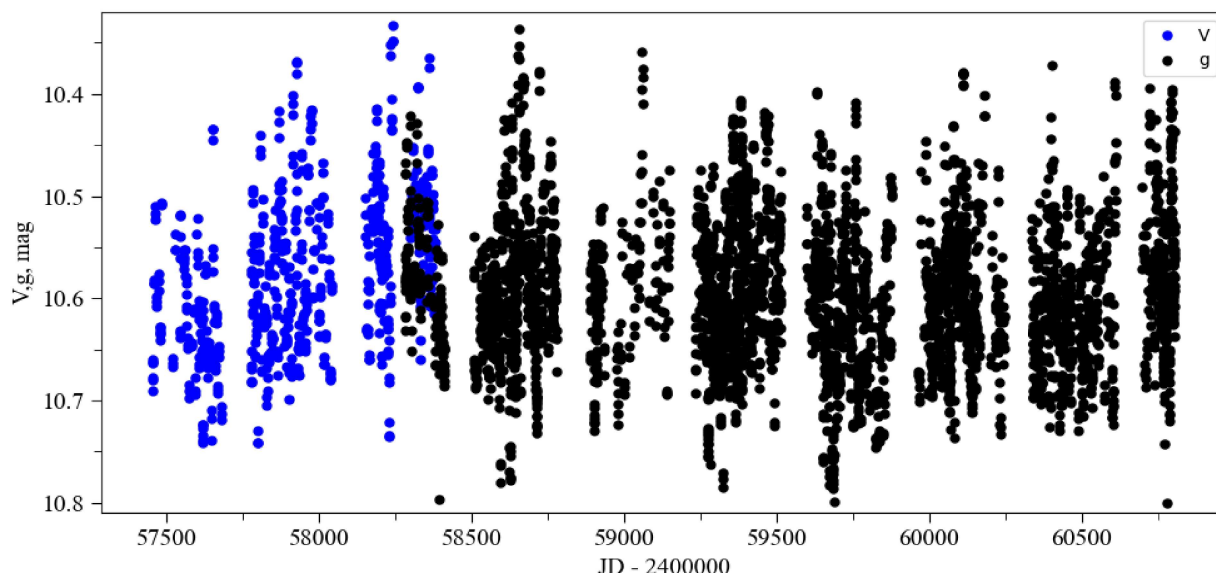
Осы жоғарыда айтылған әдістерді алдағы, осыған ұқсас басқа да нысандарды зерттеуге қолдануға болады. Біздің соңғы жарияланған бірнеше мақалаларда фотометриялық және спектроскопиялық әдістер кеңінен қолданылған болатын [13-14].

Нәтижелер және талқылаулар

HD 328990 жұлдызының 2-суретте көрсетілген V және g (2016 жылдың наурыз және 2025 жылдың мамыр аралығындағы бақылау мәліметтері) жолақтардағы жарқырау қисығы ASAS SN [15] мәліметтер базасынан алынған бақылаулар неізінде тұрғызылды. Көлденең ось – Юлиан күні ($JD - 2400000$), яғни уақыт шкаласы. Тік осьте – V және g жолақтардағы жұлдыздың жұл-

дыздық шамалары. Осы жарқырау қисығынан жұлдыздың жарқырауының негізі өзгерістері 10.4 және 10.8 шамалар арасында өзгеретінін байқауға болады. Сонымен қатар квази-периодты (қайталанбалы) флуктуациялар байқалады,

алайда бұл период тұрақты емес немесе күрделі модуляцияға ұшыраған. Кейбір уақыттарда жарқыраудың кенет төмендеуі байқалады – бұл жұлдызаралық шаң немесе сыртқы әсердің болуымен түсіндіріледі.



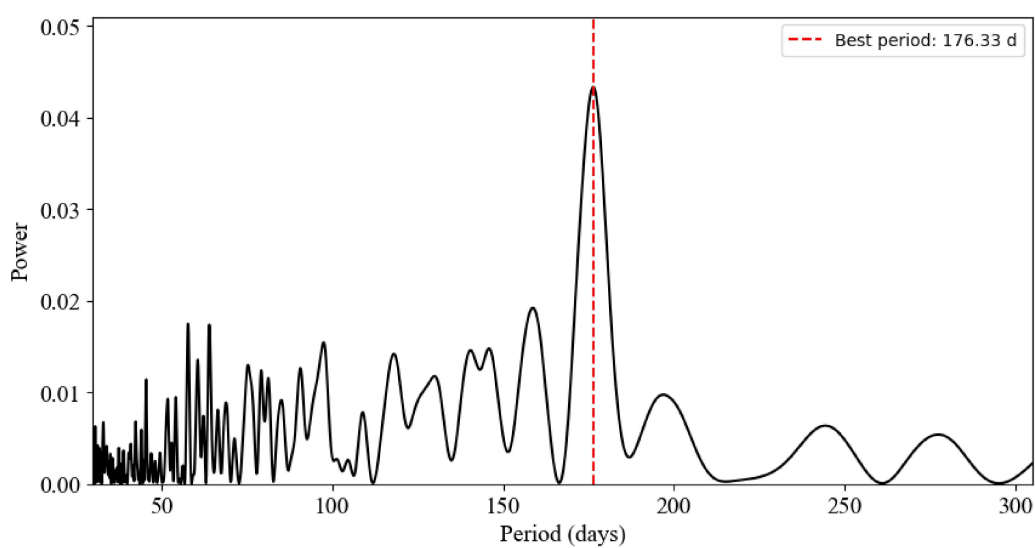
2-сурет – HD 328990 жұлдызының жарқырау қисығы

Lomb–Scargle әдісі арқылы орындалған көрінетін жарықтық өзгерістерінің периодограмма-лық талдауы қуат спектрінде анық шыңды көрсетеді, бұл шың 176 күндік (қызыл үзік сызық) кезеңдерге сәйкес келеді (3а-суретті қараңыз). Мұнда x өсі бойынша күнмен берілген период және y өсі бойынша нормаланған қуат көрсетілген. Жарқырау қисығы мен периодограмма жұлдыздың күрделі, бірақ қайталанбалы фотокасиеттері бар екенін көрсетеді. 176 күндік период – ықтимал орбиталық немесе құрылымдық цикл, әрі бұл жүйе бейтарап дискісі бар, күрделі динамикаға ие айнымалы жұлдыз болуы мүмкін. Осы периодқа негізделген фазалық қисықтар ~ 0.5 шама амплитудасына ие және нүктелердің шашыраңқы түрде орналасқанын көруге болады (3б-суретті қараңыз). X өсі фазалық цикл, яғни жұлдыздың бір толық период ішіндегі жарық өзгерісінің үлгісін ал Y өсі жұлдыз жарықтығының өзгерісін көрсетеді. Егер жүйе нақты түрде екі компоненттен тұратын қос жұлдыз болса, онда мұндай фазалық қисық симметриялы және таза болар еді. Бірақ бұнда мұндай айқын сим-

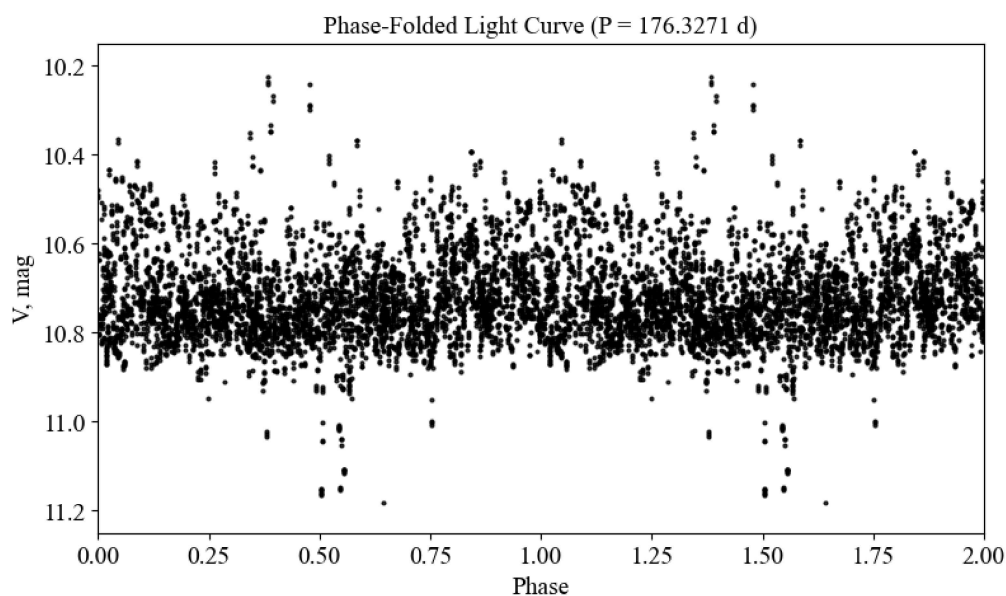
метрия байқалмайды яғни жүйе күрделірек болуы мүмкін. Анықталған период орбиталық период болуы мүмкін, бірақ жарық модуляциясы геометриялық, құрылымдық, немесе шаңға байланысты болуы ықтимал.

Жоғарыда келтірілген фотометриялық талдау нәтижелеріне және әдебиеттерге жасалған шолуларға негізделіп осы зерттеу нысанын ыстық және суық компоненттерден тұратын екілік жүйе деп болжам жасауға болады. Алайда фазалық қисықтан айқын периодтылық байқалмайды, яғни бұл бізге жүйенің күрделілігін көрсетеді.

[7] жұмыс авторлары осы жүйеде тек стохастикалық айнымалылық байқалады, және бұл айнымалылық негізінен төмен жиіліктермен сипатталады. Айнымалылықтың амплитудасы – шамамен 10% (ең үлкен және ең кіші жарықтылық арасындағы айырма) – осы спектрлік типке жататын, A0e, классикалық Ве жұлдыздарына қарағанда әлдеқайда жоғары деп болжам жасайды. Алайда осы тұжырымға сәйкес, ешқандай зерттеу нәтижелер мен дәлелдер келтірмейді.



а)



б)

3-сурет – HD 328990 жұлдызының жарқырау қисығына жүргізілген
периодаграммалық талдау нәтижелері.

а) Фурье талдау әдісіне негізделген қуат спектрі; б) Фазалық жарқырау қисығы

HD 328990 жұлдызының айнымалылығын және басқа да параметрлерін көрсететін басқа зерттеу жұмыстары жасалмағанын әдебиеттерге шолудан байқауға болады, яғни бұл нысан әлі де тыңғылықты зерттеуді қажет етеді.

Қорытынды

Біз Ве классикалық типке жататын HD 328990 жұлдызының фотометриялық бақылауларын

ұсындық. Осы зерттеудің негізгі нәтижелері Фурье түрлендіруге негізделген қуат спектрінде осы объектінің мүмкін болатын орбиталды периодының анықталуы болып табылады. Python бағдарламасында жүргізілген, Ломб-Скаргл әдісіне негізделген периодаграммалық талдау нәтижелер зерттеу нысанының $P_{orb} = 176.33$ күн екенін және күрделі жүйе екенін көрсетті.

Жүйенің эволюциясы мен табиғаты, орбиталық периоды мен еңкею бұрышы, сондай-ақ

оның жұлдыз маңындағы қабығы тәрізді бірқатар қасиеттерін анықтау үшін жоғары сигнал/шуыл қатынасына ие, жоғары ажыратымдылықтағы ірі телескоптарда жүргізілетін спек-

троскопиялық және көп түсті фотометриялық бақылаулар қажет. Сондықтан да, HD 328990 жұлдызы болашақта мұқият зерттеуді қажет етеді

Әдебиеттер

1. Campbell W. W. Stars whose spectra contain both bright and dark hydrogen lines // *Astrophysical Journal*, 2, 177-183 (1895). – 1895. – Т. 2.
2. Merrill P. W., Humason M. L., Burwell C. G. Discovery and Observations of Stars of Class Be // *Astrophysical Journal*, 61, 389-417 (1925) % T. – 1925. – Т. 61.
3. Struve O. On the origin of bright lines in spectra of stars of class B // *Astrophysical Journal*, vol. 73, p. 94. – 1931. – Т. 73. – С. 94.
4. Preibisch T. et al. Multiplicity of the young O-and B-type stars in the Orion Nebula cluster // *IAU Symp.* – 2000. – Т. 200. – С. 106.
5. Gaia Collaboration et al. VizieR online data catalog: Gaia DR3 part 1. Main source (Gaia collaboration, 2022) // *VizieR Online Data Catalog.* – 2022. – Т. 1355. – C. I/355. DOI: 10.26093/cds/vizier.1355
6. Dachs J. et al. UBV-Hbeta photometry of luminous stars between $l = 335^{\circ}$ and $l = 6^{\circ}$. – 1982.
7. Labadie-Bartz J. et al. Classifying Be star variability with TESS. I. The southern ecliptic // *The Astronomical Journal.* – 2022. – Т. 163. – №. 5. – С. 226. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ac5abd>
8. Nemravová J. et al. Properties and nature of Be stars-29. Orbital and long-term spectral variations of γ Cassiopeiae // *Astronomy & Astrophysics.* – 2012. – Т. 537. – C. A59. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201117922>
9. Zharikov S. V. et al. Doppler tomography of the circumstellar disk of π Aquarii // *Astronomy & Astrophysics.* – 2013. – Т. 560. – C. A30. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322114>
10. Miroshnichenko A. S. Binaries among Be stars // *Bright Emissaries: Be Stars as Messengers of Star-Disk Physics.* – 2016. – Т. 506. – С. 71.
11. Scargle J. D. Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data // *Astrophysical Journal*, Part 1, vol. 263, Dec. 15, 1982, p. 835-853. – 1982. – Т. 263. – С. 835-853.
12. Lomb N. R. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data // *Astrophysics and space science.* – 1976. – Т. 39. – С. 447-462.
13. Nodyarov A. S. et al. Toward Understanding the B[e] Phenomenon. IX. Nature and Binarity of MWC645 // *The Astrophysical Journal.* – 2022. – Т. 936. – №. 2. – С. 129. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac87a1>
14. Nodyarov A. S. et al. Properties of Galactic B[e] Supergiants. X. Refined Orbit and Fundamental Parameters of the HD 327083 Binary System // *The Astrophysical Journal.* – 2024. – Т. 968. – №. 2. – С. 52. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad4a63>
15. Kochanek C. S. et al. The all-sky automated survey for supernovae (ASAS-SN) light curve server v1. 0 // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific.* – 2017. – Т. 129. – №. 980. – С. 104502. <https://doi.org/10.1088/1538-3873/aa80d9>

Авторлар туралы мәлімет:

Нодяров Атилхан Султанмуратович (корреспонденция авторы) – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың Электроника және астрофизика кафедрасы PhD докторы, оқытушы (Алматы, Қазақстан, e-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com)

Сведения об авторе:

Нодяров Атилхан Султанмуратович (корреспондент-автор) – PhD, преподаватель кафедры электроники и астрофизики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com)

Information about authors:

Atilkhan Nodyarov (corresponding author) – PhD, lecturer of the Department of Electronics and Astrophysics of al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com)

Қарастырылуға 27.05.25 түсті.

Қабылданды 03.06.25.