

Д.О. Ауельбекова*, А.Е. Амантаева, А.А.Хохлов
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: dianaauel11@gmail.com

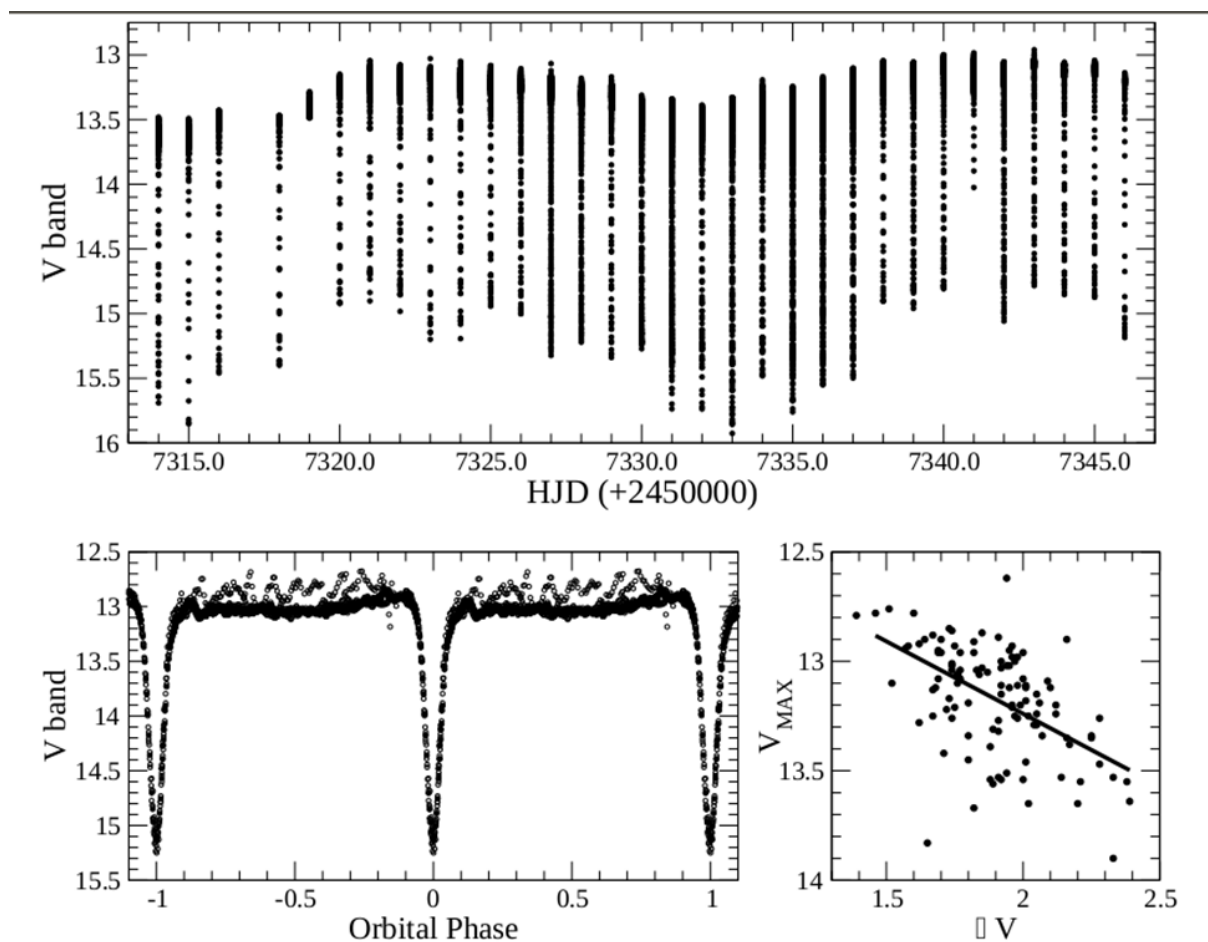
ТҰТЫЛМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДЫ МОДЕЛЬДЕУ 2MASS J02253615+2805508

Андатпа. Бұл мақалада жаңатәріздес 2MASS J02253615+2805508 катаклизмалық айнымалының фотометриялық зерттеулері келтірілген. Қос жүйе бастапқы және екінші жұлдыздардан, аккрециялық зат ағынынан, аккрециялық дискіден және оның шетіндегі ыстық дақтан тұратындығына негізделген жарқырау қисығы модельденді. Gaia миссиясының нәтижелерінен алынған жұлдызға дейінгі қашықтықты ескере отырып, $d=315$ (5) пк, жүйенің көлбеу бұрышы $i=77,2^\circ$, бастапқы және екінші жұлдыздардың массалары, $M_1=0,70 M_\odot$ және $M_2=0,42 M_\odot$, сәйкесінше, аккрециялық дискінің радиусы $R_{\text{disk}}=0,58 R_\odot$ анықталды.

Негізгі сөздер: фотометрия, жарқырау қисығы, катаклизмалық айнымалылар, жаңа тәріздес, модельдеу

Кіріспе. Катаклизмалық айнымалылар (CVs) - бұл өзара әсерлесуші қос жүйе, құрамында біріншітекті ретінде ақ ергежейліден (WD) тұратын және бас тізбектегі кеш спектралды класстағы (К-М типті) жұлдыздан немесе екіншітекті ретінде қоңыр ергежейліден тұрады [1]. Екіншітекті жұлдыз Рош қуысын толтырып және ақ ергежейлінің магнит өрісі жеткілікті деңгейде оған қарсы келуге күші жетпесе, екіншітекті жұлдыз ақ ергежейлінің айналасында аккрециялық диск құрай отырып, Лагранж L_1 ішкі нүктесі арқылы материяны тасымалдайды. Төмен және жоғары температура/тығыздық күйлері дискідегі жарылғыш ауысумен байланысты іс-әрекеттер көрсететін объектілерді жаңа ергежейлілер (DNe) деп атайды. Олардан өзге аккреция жылдамдығы жоғары $\geq 10^{-9} M_\odot$ болып келетін ұзақпериодты орбиталды периодқа ие катаклизмалық айнымалы ($P_{\text{orb}} > 3\text{h}$) жүйелер бар. Мұндай жүйелер жаңа тәріздес (NLs) деп аталады; олардың аккрециялық дискілері уақыттың көп бөлігінде жоғары күйде болады. Төмен шамаға ие оптикалық спектрлері бірконтурлы эмиссионды Бальмер сызықтарымен қоса тұтылуы жоғары еңкеюге ие жүйелер үшін де көк континуумды көрсетеді. Кейбір жағдайларда эмиссиялық сызықтар жұтылу элементтерімен қоршалған. Жаңа тәріздестердің ультракүлгін спектрінде аккрециялық дисктің сәулеленуі басым. Олар көбінесе P Cygni тәрізді және/немесе көкшіл жұтылу профильдері бар N_v , Si_{IV} және C_{IV} сияқты резонанстық сызықтарды көрсетеді. Бірнеше модельдер: штарковтық кеңейтулер - [2]; магниттік аккреция - [3]; дискіні толтыру кезіндегі аккреция - [4]; эмиссионды сызықтардың басым көзі ретінде кеңейтілген ашық дақ - [5]; [6]; және жел сәулеленуі - [7]; [8]; [9]; [10] жаңа тәріздестер сипаттамаларын түсіндіру үшін ұсынылды. Басқаларға қарағанда әлдеқайда жетілдірілген жел моделі жаңа тәріздестердің ультракүлгін спектрлеріндегі сутегі мен гелийдің рекомбинациялық сызықтарын, сондай-ақ Бальмер сызықтарының көгілдір өрістерінің рекомбинациялық континуумын қайта жаңғыртуға қабілетті. Бірақ бұл модель оптикалық аймақтағы бақыланатын He II сызықтарынан да күшті және коллизиялық қозудың үлкен үлесін ультракүлгін резонанс сызықтарына береді. Жаңа тәріздестердегі бірконтурлы Бальмер сызықтарының профильдері күрделі құрылымға ие болуы мүмкін екендігі туралы хабарланды ([12]; [13]; [14]). Жақында екі жаңа тәріздестер жүйесін жоғары өлшеммен жүргізген спектрлік зерттеу [15] Бальмер эмиссионды сызығының профильдерін екі түрлі аймақтан туындайтын екі компонентке бөлуге болатындығын көрсетеді. Тар, төмен жылдамдықты компоненттің көзі – екіншітекті жұлдыздың сәулеленген беті болып табылады. Кең компонент L_3 нүктесінің маңындағы шығу аймағынан келеді.

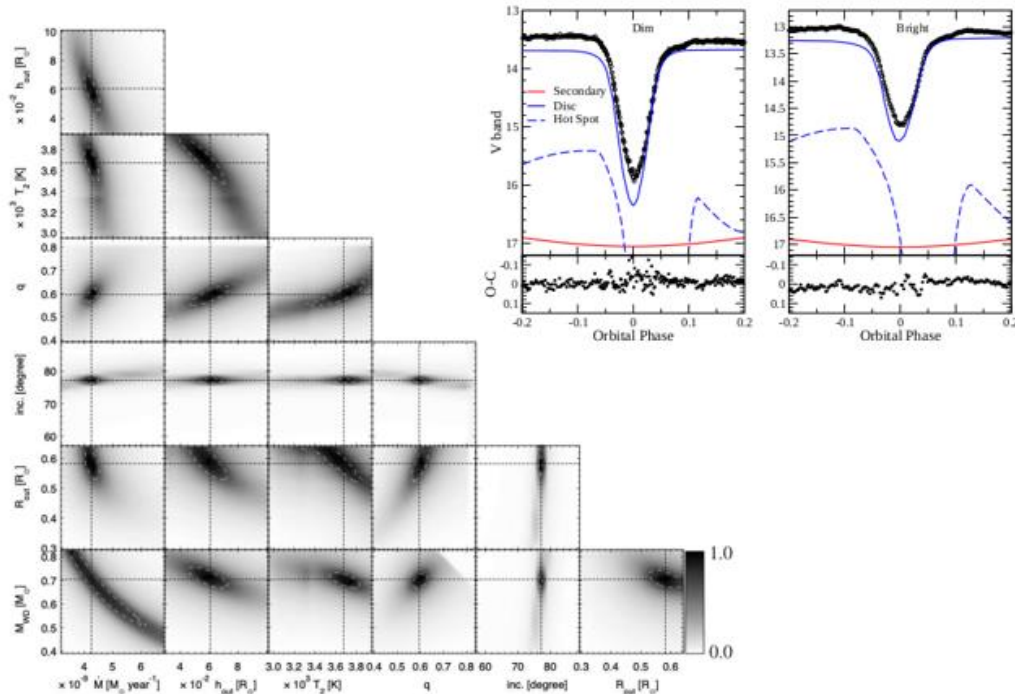
Модельдеу үшін жарқырау қисығының морфологиясы. AAVSO деректеріне негізделген шамамен ай сайынғы 2MASS J02253615 + 2805508 V диапазонындағы жарқырау қисығының көрінісі 1-суретте көрсетілген. Тұтылудан өзге, объект 12,8 - 13,7 шамалар аралығында ұзақ мерзімді айнымалылықты көрсетеді. Бір орбиталық кезеңнің масштабталуы төменгі сол жақ панельде екі түрлі жағдайда (қабаттасу) жылтырын өзгерткен кезде (толтырылған шеңберлер) және ол болмаған кезде (толтырылған шеңберлер; период ішінде жарқырау қисығы екі рет қайталанады) көрсетілген. Жылтырының өзгерісі кездейсоқ жағдайда пайда болады және жоғалады. Тұтылу тереңдігі (ΔV) объектінің жарықтығының (V) негізіне байланысты (1-суреттегі төменгі оң жақ панельді қараңыз). Бұл барлық ерекшеліктер, әдетте, өте белгілі, алайда жүйенің алынған параметрлері үлкен шашырандылықты көрсетеді. Жүйенің анықтамасын жақсарту үшін жасалған [16] құрал көмегімен біз жинақталған фотометриялық бақылауларды тұтылудың жарқырау қисықтарын талдау үшін пайдаландық. Қысқаша айтқанда, модельдеу негізі біріншітекті ақ ергежейлі, екіншітекті қызыл ергежейлі жұлдыз, аккрециялық материя ағыны, қалың аккреция дискісі және кеңейтілген ыстық нүкте/сызықты қамтиды.



1 сурет. Жоғарғы панель: AAVSO деректерінен құрастырылған 2MASS J02253615 + 2805508 ұзақ мерзімді жарқырау қисығы. Төменгі сол жақта: 2MASS J02253615 + 2805508 үшін орбиталық кезеңде бүктелген V диапазонды жарқырау қисығының мысалы. Деректер OAN-SPM-де төрт түн қатарынан жиналды. Жылтыр өзгерісі жарқырау қисығында ашық шеңберлермен көрсетілген, ал қарама-қарсы беті толтырылған шеңберлермен көрсетіледі. Әр түрлі орбиталық циклдар үшін тұтылудан тыс іс-әрекеттің айырмашылығы өте анық көрінеді. Төменгі оң жақ: Күн тұтылғаннан кейінгі максималды жарықтылық пен тұтылу тереңдігі арасындағы байланыс көрсетілген.

Ақ ергежейлі – [1] масса мен радиустың қатынасымен анықталған сфера. Екіншітекті бөлік өзінің Рош қуысын толтырады деп алынып, ал Рош қуысының формасы $\Phi(L_1)$ эквипотенциалына [1] арналған теңдеуі арқылы тікелей есептеледі. Жүйедегі әрбір компонент жазықтығы үшбұрыштармен қатарларға бөлінген. Біз әр үшбұрышты сәйкес температураға ие қара дене түрінде сәулеленеді деп аламыз. Айналаның қараңғылануы [17] және екіншітектінің біріншітектімен жарықтандырылуы да қосылған. Әрбір элементтің қарқындылығы өзіне сәйкес фильтрдің өткізу жолағымен ширатылып, элементтің беткі қабатын, бағдарлануын, жүйеге дейінгі қашықтықты және жұлдызаралық жұтылуды ескере отырып ағынға айналады. Жеке компоненттер мен қос жүйенің жарқырау қисықтары, көрінетін барлық сәулелену элементтерін біріктіру арқылы алынды.

Жаңа тәріздеске ұқсас объектілердің жарқырау қисығын модельдеудің мәліметтері [15] сипатталған. AAVSO деректерінің үлкен көлемін және өз бақылауларымызды қайта қарастырғаннан кейін, біз 2-суреттің жоғарғы оң жақ бұрышында ұсынылған 2MASS J02253615+2805508 екі түрлі тұтылудың мысалдарын таңдадық. Алайда, біз осы екі тұтылудың типтік мысалдары профильдерін ашық және күңгірт күйде бейнелейтінін және көптеген баламаларды AAVSO деректерінде әртүрлі дәуірлерде табылғанын айтылады. Сурет. 2-нің оң жақ панелінде ең кіші тұтылу тереңдігі бар тұтылу профилін ұсынылған (жүйе ашық болған кезде). Сол жақ панельдегі график, объектінің жарқырауының жалпы төмендеуі кезінде байқалған ең терең тұтылулардың біріне сәйкес келеді. Екеуі де сәйкес модельдермен жабдықталған. Таңдау 2MASS J02253615 + 2805508 жүйесінің параметрлерін анықтауға бағытталған, өйткені бұл 315 пк қашықтықта орналасқан жоғары еңкеюге ие жүйе. Сондай-ақ, $K_2 = V \sin(i) = 200\text{--}240 \text{ км с}^{-1}$ екінші орбиталық жылдамдық өлшемі бар. Сонымен қатар, стандартты стационарлық аккреция $T \approx R^{-3/4}$ диск температурасының радиалды профилін аккреция жылдамдығымен анықтайды деп болжаймыз $M \approx 10^{-9} - 10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$.



2-сурет. Оң жақ жоғарғы панель: тұтылу мысалдары (ашық шеңберлер) "ашық" (оң жақта) және "күңгірт" (сол жақта) күйіндегі және жарық қисығын модельдеу нәтижелері (қатты сызық). Жүйенің әртүрлі компоненттерінің жалпы ағынға қосқан үлесі атап өтілді. Тиісті О–С диаграммалары (минус есептелген) осы графиктің төменгі панельдерінде келтірілген. Сұр шкаланың сол жақ панельдері: жарқырау қисығының "күңгірт" күйдегі қателіктері. Қара нүктелі сызықтар параметрлердің ұқсас, жақын мәндерін белгілейді. Ақ ұзын нүктелі сызықтар 1σ параметр қателіктеріне сәйкес келеді.

Фотометрия нәтижелері. Негізгі параметрлері-бастапқы масса (M_{WD}), масса қатынасы ($q \equiv M_2/M_{WD}$), масса тасымалдау жылдамдығы (\dot{M}), жүйенің еңкеюі(i), аккрециялық дискінің сыртқы радиусы (R_{out}), сыртқы радиустағы дискінің биіктігі (h_{out}) және екіншінің ақ ергежейлінің температурасы 30,000 K болып таңдалды, ол әлдеқайда жоғары болуы мүмкін, өйткені негізгі сәулелену көзі аккрециялық дискінің ішкі бөлігі болып табылады. 18,000-35,000 K диапазонындағы ақ ергежейлі температураның өзгеруі тұтылу профиліне әсер етпейді. Біз $\phi \approx 0.12$ орбиталық фазада байқалған кішкене шыңды көбейту үшін, ашық және күңгірт жарқырау қисықтары үшін ыстық нүктенің параметрлерін (ұзындығы, ені және температурасы) тіркедік.

Модельдің ең жақсы сәйкестік мәндері 1-кестеде келтірілген. 2-суреттің сол жағындағы шаршы панельдердің бейнесі күңгірт жарықтық күйінде терең тұтылу үшін қол жеткізілген қателіктерді көрсетеді. Жарқырау қисығы жарқырауы жоғары күйінде жүйенің параметрлерімен бірдей, бірақ күңгірт күйге қарағанда масса тасымалдау жылдамдығының жоғары мәні бар. Біздің модельдегі жарық және күңгірт күйлердің, масса тасымалдау жылдамдығының өзгеруінен басқа, басты айырмашылығы: шетіндегі аккрециялық дискінің енімен байланысты. Жалпы алғанда, барлық байқалған оптикалық тұтылу қисықтарын осы екі параметрді өзгерте отырып, ең қолайлы мәндерді қолдана отырып, қателіктермен көбейтуге болады.

1-кесте. Модельдеу кезінде қолданылатын жүйе параметрлері

Бекітілген шамалар

Орбиталық период	200034,74 с
Арақашықтық	315 (5) пк
Жұлдызаралық жұтылу	0,10
Қоңыр ергежейлінің орбиталық жылдамдығы	221(29) км/с

Өзгеретін шамалар және олардың модельге ең жақсы сәйкестігі

Жүйенің еңкеюі	77,2 (5)
Ақ ергежейлі массасы	0,70 (3) M_{\odot}
Ақ ергежейлінің радиусы	0,011 R_{\odot}
Массалар қатынасы	0,60 (3)
Қоңыр ергежейлінің массасы	0,42 M_{\odot}
Қоңыр ергежейлінің температурасы	3675 (125) K
Қоңыр ергежейлінің радиусы	0,55 R_{\odot}
Дискінің сыртқы жиегінің радиусы	0,58 (4) R_{\odot}

Біздің модельдеріміздің күңгірт және жарық күйін қолдана отырып, жариялаған nIR J- және K-диапазондарының жарқырау қисықтарын таңдадық. Біздің модель Ni_g жарқырау қисығының байқалған формаларын сәтті шығаратынын анықтадық. Алайда есептелген ағын

бақылаудан шамамен 0,5 шамаға әлсіз. Толқын ұзындығы $\approx 3-5$ мкм үшін ИҚ ағындарының стандартты модельде асып кетуі бұрын [18] 12 жаңа тәріздестерде белгіленген болатын. Сондықтан біз толқын ұзындығының қысқа диапазонында пайда болатын ИҚ сәулеленуін артық мөлшерін жоққа шығармаймыз. Тұтылудың мөлшері мен формасы ультракүлгін, оптикалық және инфрақызыл диапазондарда әр түрлі.

REFERENCES

- [1] Warner B. Systematics of superoutbursts in dwarf novae //Astrophysics and Space Science. – 1995. – Т. 226. – №. 2. – С. 187-211.
- [2] Lin D. N. C., Williams R. E., Stover R. J. Stark-broadened emission lines in the accretion disks of cataclysmic variables //The Astrophysical Journal. – 1988. – Т. 327. – С. 234-247.
- [3] Williams R. E. Eclipse line profiles in cataclysmic variables-Evidence for absence of accretion disks //The Astronomical Journal. – 1989. – Т. 97. – С. 1752-1758.
- [4] Hellier C., Robinson E. L. PX Andromedae and the SW Sextantis phenomenon //The Astrophysical Journal. – 1994. – Т. 431. – С. L107-L110.
- [5] Dhillon V. S., Marsh T. R., Jones D. H. P. On the nature of SW Sex //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1997. – Т. 291. – №. 4. – С. 694-708.
- [6] Tovmassian G. et al. On the SW Sex-type eclipsing cataclysmic variable SDSS0756+ 0858 //The Astronomical Journal. – 2014. – Т. 147. – №. 3. – С. 68.
- [7] Honeycutt R. K., Schlegel E. M., Kaitchuck R. H. Evidence for a bipolar wind in the cataclysmic variable PG 1012-029 //The Astrophysical Journal. – 1986. – Т. 302. – С. 388-402.
- [8] Murray N., Chiang J. Wind-dominated optical line emission from accretion disks around luminous cataclysmic variable stars //Nature. – 1996. – Т. 382. – №. 6594. – С. 789-791.
- [9] Puebla R. E. et al. A Method for the Study of Accretion Disk Emission in Cataclysmic Variables. I. The Model //The Astrophysical Journal. – 2011. – Т. 736. – №. 1. – С. 17.
- [10] Matthews J. H. et al. The impact of accretion disc winds on the optical spectra of cataclysmic variables //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Т. 450. – №. 3. – С. 3331-3344.
- [11] Horne K., Lanning H. H., Gomer R. H. A first look at the eclipsing cataclysmic variable Lanning 10 //The Astrophysical Journal. – 1982. – Т. 252. – С. 681-689.
- [12] Mauche C. W. et al. Optical, iue, and rosat observations of the eclipsing nova-like variable v347 puppis (Ib 1800) //The Astrophysical Journal. – 1994. – Т. 424. – С. 347-369.
- [13] Thoroughgood T. D. et al. The masses of the cataclysmic variables AC Cancri and V363 Auriae //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2004. – Т. 353. – №. 4. – С. 1135-1150.
- [14] Hernandez M. S. et al. Structure of accretion flows in nova-like cataclysmic variables: RW Sextantis and 1RXS J064434. 5+ 334451 //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017. – Т. 470. – №. 2. – С. 1960-1970.
- [15] Zharikov S. et al. The accretion disk in the post period-minimum cataclysmic variable SDSS J080434. 20+ 510349.2 //Astronomy & Astrophysics. – 2013. – Т. 549. – С. A77.
- [16] Claret A., Hauschildt P. H., Witte S. New limb-darkening coefficients for PHOENIX/1D model atmospheres-I. Calculations for $1500 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 4800 \text{ K}$ Kepler, CoRot, Spitzer, uvby, UVRIJHK, Sloan, and 2MASS photometric systems //Astronomy & Astrophysics. – 2012. – Т. 546. – С. A14.
- [17] Hoard D. W. et al. Nova-like cataclysmic variables in the infrared //The Astrophysical Journal. – 2014. – Т. 786. – №. 1. – С. 68.

Д.О. Ауельбекова*, А.Е. Амантаева, А.А. Хохлов

Казахский национальный университет им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: dianaauel11@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ 2MASS J02253615+2805508

Аннотация. В данной статье приведены фотометрические исследования катаклизмической переменной 2MASS J02253615+2805508, которая относится к новоподобным. Проведено моделирование кривой блеска, на основе того, что двойная система состоит из первичной и вторичной звезд, потока аккреционного вещества, аккреционного диска и горячего пятна на его краю.

С учетом расстояния до звезды, взятого из результатов миссии Gaia, равного $d=315$ (5) пк, получены некоторые параметры системы, такие как наклон системы $i=77,2^\circ$, массы первичной и вторичной звезд, $M_1=0,70 M_\odot$ и $M_2=0,42 M_\odot$ соответственно, радиус аккреционного диска $R_{\text{disk}}=0,58 R_\odot$.

Ключевые слова: фотометрия, кривая блеска, катаклизмические переменные, новоподобные, моделирование.

D.O. Auyelbekova*, A.E. Amantayeva, A.A. Khokhlov
al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: dianaauel11@gmail.com

MODELLING OF AN ECLIPSING STAR 2MASS J02253615+2805508

Abstract. This article presents photometric studies of the cataclysmic variable 2MASS J02253615+2805508, which belongs to nova-like. The light curve is modeled based on the fact that the binary system consists of a primary and secondary star, an accretion material flow, an accretion disk, and a hot spot on its edge. Taking into account the distance to the star taken from the results of the Gaia mission, equal to $d=315$ (5) pc, some system parameters are obtained, such as the inclination of the system $i=77.2^\circ$, the masses of the primary and secondary stars, $M_1=0.70 M_\odot$ and $M_2=0.42 M_\odot$, respectively, the radius of the accretion disk $R_{\text{disk}}=0.58 R_\odot$.

Keywords: photometry, light curve, cataclysmic variables, nova-like, modeling