



РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване
на научна и образователна степен „Доктор“
по професионално направление 4.1 „Физически науки“
и специалност 01.04.02 „Астрофизика и звездна астрономия“

Автор: ас. Асен Славчев Мутафов,
Научен ръководител: Проф. д-р Евгети Христов Семков
Институт по астрономия с НАО при БАН
Тема: „Затъмнителни променливи от UX Ori тип“

Рецензент: Проф. д.физ.н. Цветан Борисов Георгиев,
Нов български университет, назначен в научно жури
със заповед No..186/26.04.2023 г. на Директора на ИА с НАО

Представените документи съответстват на изискванията на Закона за развитието на академичния състав и Правилника за неговото прилагане, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за замане на научни длъжности в БАН, както и на Правилника на ИА с НАО. Представени са дисертация, автореферат и справка за научна дейност, които покриват всички научни и наукометрични критерии.

Професионалният опит на ас. Мутафов обхваща работа със системите на 4 телескопи, заедно с техните апаратури, както и обработка на данни чрез съвременен софтуер. Ас. Мутафов е завършил ФзФ на СУ по специалността „Астрономия“ през 1996г. След срока на редовната докторантура в ИА той е асистент от 2022 г.

Научните публикации на ас. Мутафов в NASA/SAO ADS към юни 2023 г. са 30. Дисертацията се базира на 4 публикации – по една в AIP Confer. Ser, BlgAJ, XI SBAC и RAA. Първата и четвъртата са цитирани по веднаж. Броят на съавторите е по 4, а ас. Мутафов първи съавтор в четирите публикации. Той е докладвал на конференции 4 пъти и е участвал с постери в други татква 6 пъти. В дисертацията са представени резултати от изследвания на необикновените протозвезди GM Ser и V1180 Cas.

Фундаментален проблем в науката, и в частност в астрономията, е произходът и еволюцията на Слънчевата система. Затова екстремално младите обекти – протозвезди – се изучават интензивно. Те са обекти с възраст до няколко милиона години. В техните недра още не са започнали термоядрени реакции. Тяхното лъчение, често силно променливо, се дължи на гравитационното свиване на протозвездата. Понякога се регистрира

повишаване на яркостта поради повишен темп та акреция. Прого-звездите показват специфично фотометрично поведение и спектрални особености. След достигане до Главната последователност (ГП) те остават в равновесно състояние като звезди. Техните спектрални и фотометрични характеристики стават други. Процесът на звездообразуване включва и формиране на около звездни протопланетни дискове.

Дисертационният труд се състои от основен текст с увод, три глави и заключение (стр. 3 – 85), плюс основни резултати и приноси. Съдържа и 8 таблици и 44 илюстрации. Библиографията включва 434 източници.

Уводът представя обектите на изследването. Протозвездите, при които се наблюдава увеличаване на блясъка, биват два типа, според прототипите си – FU Ori и EX Lupi. Други протозвезди, за които са характерни временни спадове на блясъка, са тези от тип UX Ori. Това са Ae/Be звезди на Хербиг с маси 1–2 M_{\odot} , емисионни линии и силна променливост. Спадовете на блясъка достигат 2.5 mag, лъчението посинява, а поляризацията се увеличава. Предполага се, че това се дължи на поглъщане от бучки или нишки прах, преминаващи пред зрителния лъч. Целта на дисертацията е на базата на криви на блясъка за дълъг период от време да бъде точно класифициран типът на променливостта и да се изяснят физическите механизми, които я инициират.

Глава 1 представя основните характеристики и променливост на прого-звездите. Тези от тип T Tauri, с маси 1–2 M_{\odot} и сродните с тях Ae/Be звезди, на Хербиг, с маси 2–8 M_{\odot} и с емисионни линии в спектъра, са два типа протозвезди преди ГП. Те показват различни видове фотометрична променливост, с различни амплитуди и периоди. UX Orionis е прототип на такива звезди с междинна маса, $M \geq 1,5 M_{\odot}$. По-нататък са описани и илюстрирани основните типове променливост на протозвездите – FU Ori (фуори), EX Lupi (ексори) и UX Ori (уксори).

Глава 2 представя наблюдения и обработка на данните, проведени през времето от юни 2008 година до февруари 2022 г. Ас. Мутафов е работил с телескопите в НАО „Рожен“ – 2 м Ричи-Кретиен-Куде, 50/70 см Шмит и 60 см Касегрен, както и с 1,3 м Ричи-Кретиен телескоп в обсерваторията „Скинакас“ към университета в Крит, Гърция. Всички CCD изображения са получени със стандартни UBVRIc филтри. Характеристиките на CCD камерите са обобщени в Таблица 1. Чрез пакета DAOPHOT в IDL е извършвана апертурна звездна фотометрия, като са използвани вторичните звездни стандарти, създадени или контролирани в полето на всеки обект. В таблица 5 се вижда, че стандартната грешка за звезди от 12–16 V mag е около 0.02 mag. Координати и фотометрия за вторичните VRI стандарти около звездата V1180 Cas са дадени в Таблица 7, а карта – на Фигура .30. Изтъквам, че е извършена

сложна и голяма по обем работа по добив и обработка на данни, съответстваща напълно на съвременната практика.

Глава 3 представя резултатите и тяхната интерпретация.

Протозвездата GM Ser се намира в младия звезден куп Trumpler 37, на възраст ~ 4 млн. г., член на асоциацията Цефей OB2. Мисията Gaia дава отстояние 826 pc. Масата на протозвездата е $\sim 2.1 M_{\odot}$, радиусът е $3.6 R_{\odot}$, а спектралният клас е G7V-K0V. Силният инфрачервен ексцеси може да се обясни с наличието на ярък масивен околзвезден диск. Той съдържа фрагментиран прх, предизвикващ затъмнителни спадове в блясъка. Опитите за определяне на периодичност дават различни резултати.

Ас. Мутафов и колегите му са провели многоцветни фотометрични наблюдения за времето от юни 2008 г. до октомври 2020 г. Последната им част, за времето от август 2014 г. до октомври 2020 г., е публикувана от Mutafov et al. (2022). Съответните криви на блясъка на Фигура 37 показват продължаваща силна променливост, наблюдавана и в предишни проучвания. Регистрирани са 9 дълбоки минимума на блясъка. На Фигура 38 са показани 3 диаграми цвет-величина. Многоцветните фотометрични данни показват типичното за Uxor обръщане на цветовете при минимумите на блясъка. Това потвърждава модела на отражение от прахообразния материал: Наблюдаваното обръщане на цвета е причинено от дифузната светлина от малки пращинки. Нивото на обръщане е на ~ 14.5 mag.

Протозвездата V1180 Cas е променлива, със силна H α емисия. Тя е свързана с тъмния облак Lynds 1340 в района на звездиообразуване в Касиопея, на отстояние 600 pc. Спектралният тип е K7, с $T_{\text{eff}} = 4060$ K, а светимостта е $L \sim 0.07 L_{\odot}$. Еквивалентните ширини на линията H α варират от 300 до 900 Å и свидетелстват за годишен темп на акреция на маса няд $1.6 \times 10^{-7} M_{\odot}$. Амплитудата на променливост е ~ 6 mag в Ic лъчи. Такава голяма амплитуда съответства на известните еруптивни протозвезди, но при тях я при отслабване на блясъка, лъчение почервенява.

Ас. Мутафов и колегите му са провели многоцветни фотометрични наблюдения. Те са публикувани в Mutafov et al. (2019a) за времето от септември 2011 г. до април 2018 г. и в Mutafov et al. (2022) за времето от април 2018 г. до февруари 2022 г. Съответните VRI криви на блясъка са показани на Фигура 43, а фотометричните диаграми – на Фигура 44. Данните показват силна фотометрична променливост с амплитудни 1--5 mag, непоказващи периодичност. За дълъг период от време тези криви на блясъка са такива, както при други протозвезди с малка маса. Фотометричните данни показват типичното за UXors посиняване на лъчиет в минимума на блясъка. Интерпретацията е както в предишния случай. На Фигура 44 се вижда, че нивото на обръщане е около 19 mag.

От есента на 2020 г. при V1180 Cas има промяна. Регистрирани са две увеличения на блясъка – през септември 2020 г. и през юли/август 2021 г. Увеличаването на блясъка изглежда се дължи на повишена ак-реция, защото лъчението посинява. При протозвездите могат да се наблюдават два и повече различни променливости, напр. увеличаване на блясъка поради засилена акреция и намаляване на блясъка поради повишена екстинкция. Многоцветна фотометрия позволява да се различават двата ефекта. Протозвездите от тип UX Ori са млади звезди с големи и средни маси. Наскоро колективът на проф. Семков, с участието на ас. Мутафов, откри такива звезди с малка маса и късни спектрални класове (Mutafov et al. (2022)).

Заключението систематизира резултатите, изтъкнати по-горе, в 9 точки.

Основните научни приноси на ас. Мутафов са получени чрез изследване на фотометричната променливост на 2 протозвезди – GM Ser и V1180 Cas, от тип UX Ori. Промеивостта и посиняването на лъчението и в двата случая се обяснява с екстинкция от фрагменти от околосвездния облак. Обаче във втория случай се наблюдават и увеличения с посиняване на лъчението поради усилване на акрецията. Третият съществен принос са калибрираните 8 вторични VRI стандарти около протозвездата V1180 Cas. Изтъква се, че фуорте е ексорите образуват физическа последователност. Смятам, че резултатите и съдържанието на дисертацията са на съвременен ниво.

Като **забележка** смятам, че на диаграмите цвят – величина във Фигури 38 и 44 би било добре, за сравнение и удобство на читателя, да бъдат начертани главни последователности за нулева звездна възраст. Питам къде примерно биха се разполатали те?

Накрая изтъквам, че е извършена е голяма по обем и сложност научна работа, допринасяща за зяснаване на природата на протозвездите. На базата на гореизложеното и на съответствието между дисертационния труд с изискванията на Правилника към Закона за развитие-то на академичния състав, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за замане на научни длъжности в БАН, както и на Правилника на ИА с НАО при БАН, **предлагам Научното жури да препоръча на Научния съвет на ИА с НАО да присвои на ас. Асен Мутафов научната и образователна степен „Доктор“** в научна област 4. Природни науки, математика и информатика, Професионално направление 4.1. Физически науки, научна специалност „Астрофизика и звездна астрономия“.

10 юни 2023 г.

Рецензент:

(Проф. Цветан Б. Георгиев)