

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на научната  
и образователна степен "доктор"

**Автор:** ас. Янко Маринов Николов – редовен докторант в Института по  
астрономия с Национална астрономическа обсерватория към БАН

**Тема:** "Спектрални и спектро-поляриметрични  
изследвания на Ве рентгенови двойни звезди"

**Рецензент:** Проф. д. физ. н. Цветан Борисов Георгиев,  
Нов български университет

Дисертацията заема общо 132 страници, вкл. увод и глави 2 – 5, представящи изследвания и резултати, глава 6, съдържаща скриптове на IRAF и последователности на използването им, написани от докторанта и глава 7, съдържаща основните резултати и приноси на дисертацията. Основният текст заема 108 стр., вкл. 61 илюстрации и 21 таблици. Библиографията обхваща 190 цитирани източници. Изследванията са проведени чрез оригинални наблюдения с 2 м телескоп Националната астрономическа обсерватория Рожен (НАО), както и по данни от 2.2 м телескоп Liverpool и от мисията Gaia на ESA.

Дисертацията се основава на 7 колективни публикации в периода 2016-2019 г.: две в ATel и по една в A&AT, BgAJ, A&A., MNRAS, и A&A. В три от публикациите (3, 4, 9) дисертантът е първи съавтор. Статията в A&A от 2016 г. е цитирана 4 пъти, а статията в MNRAS от 2018 г. – веднъж. Авторът е докладвал 5 пъти на конференции, 3 от които – международни. Той е участвал в 2 докторантски школи – в 2017 г. и 2018 г., по 2 седмици в Обсерватория Арма, в Северна Ирландия.

Изследванията, отразени в дисертацията касаят необикновени астрономични обекти – рентгенови двойни звезди, отличаващи се със силно и променливо рентгеново лъчение. Това са близки помежду си и обменящи си маса звездни двойки, състоящи се от донор на маса – звезда от ранен спектрален клас и компактен обект – неутронна звезда или черна дупка. Когато компактният обект е бяло джудже, системата не се отличава със силно рентгеново лъчение и се смята за катаклизмична двойна звезда.

Според масата на донора се различават ниско-масивни и масивни системи. При ниско-масивните донорът е звезда от спектрален клас А или по-късен, с маса около и под 1  $M_{\odot}$ . При масивните донорът е звезда от спектрален клас О или В, с маса около и над 10  $M_{\odot}$ . В нашата галактика са намерени около 300 рентгенови двойни, около 40% от които са масивни. Масивните рентгенови двойни се делят на такива при които донорът е ОВ звезда от главната последователност и такива, при които донорът е Ве звезда.

В последния и най-интересен случай, високата ротационна скорост,  $\approx 70\%$  от критичната, както и нерадиалните пулсации, формират мощен звезден вятър. Последният на свой ред образува дисковидна мъглявина около Ве звездата. Компактният обект, обикаляйки около Ве звездата, акретира към себе си вещество от нейния диск. Когато темпът на акреция е достатъчно висок, плътността и температурата на акретираното върху компактният обект вещество (главно водород) стават достатъчно високи. Тогава

настъпва термоядрена реакция, пораждаща мощно рентгеново лъчение. Обикновено такава рентгеново избухване става когато акреторът е най-близо до донора и това индикира орбиталния период.

Когато акреторът е неутронна звезда със силно магнитно поле ( $\sim 10^{12}$  G), ситуацията е по-сложна. На разстояние няколко звездни радиуса йонизираното акретирано вещество се устремява по магнитните силови линии и пада върху полярните области на акретора. Когато магнитната ос гледа към наблюдателя се регистрира допълнителна рентгенова променливост, напр. квази-периодични осцилации. Освен това рентгеновото лъчение нагрява диска на донора и модулира цялото лъчение от системата. Изобщо, характеристиките на наблюдаваното рентгеново лъчение се определят от темпа на акреция, от магнитното поле на акретора и от рентгеновото нагряване на диска.

В уводната Глава 1 е описан предметът на изследването – Ве рентгенови двойни звезди. Представен е сценарият на образуване, класификацията и основните наблюдателни характеристики на тези обекти.

В Глава 2 най-напред са представени практическите предпоставки за изследването. Наблюденията са извършени с 2 м телескоп на НАО чрез ешелния спектрограф с висока разделителност ESpeRo. Ве звездите имат малък брой абсорбционни линии. Поради това те са подходящи за определяне и взимане предвид на междузвездните екстинкция и поляризация. В периода 2014 – 2016 г. са наблюдаван 10 такива обекти (Таб.2.1). Представени са еквивалентните ширини (с оценки на стандартните грешки) на 4 междузвездни линии и ивици за 10-те обекти – 9 Ве рентгенови двойни и 1 заподозряна такава двойна (Таб. 2.2). По литературни данни за екстинкцията до тези обекти и оригинални данни за еквивалентните ширини на линиите (Таб. 2.3) са построени съответните линейни зависимости (Фиг.2.2). Определените чрез тези зависимости средни екстинкции към обектите потвърждават и уточняват съответните литературни данни (Раздел 2.4, Таб. 2.4). Разработената методика е приложена успешно и за сложния случай на повторната нова RS Orphiuchi, съдържаща червен гигант и въглеродо-кислородно бяло джудже. Определена е екстинкция  $E(B-V) = 0.69$  и спектрален клас на червения гигант M2 III.

В началото на Глава 3 са описани изследвания на отрязването (изрязването) на диска на Ве звездата. Движейки се по орбитата си компактният обект преминава през диска на Ве звездата, смущавайки неговата структура. По тази задача са изследвани 3 обекти – LSI+61°313, MWC 148 и MWC 656. Наблюденията с висока разделителност са проведени с ешелния спектрограф към 2 м телескоп на НАО през 2015–2018 г. (Таб. 3.1). Спектрите са обработени по стандартен начин, с IRAF процедури. Типичната грешка на еквивалентната ширина е 10%, а на лъчевата скорост – 20 km/s. Систематизирани са и са допълнени данните за трите обекти. От тях първият е източник на  $\gamma$  лъчи, вторият е идентифициран като променлив TeV източник, а третият е единственият известен такъв, съдържащ черна дупка със звездна маса.

По-нататък в Глава 3 е представена същинската част на проведените спектрални изследвания. Методиката и получените резултати са описани подробно. Получени са и са анализирани двойно-пикови емисионни профили на спектралните линии H $\alpha$ , H $\beta$  и H $\gamma$  (Фиг. 3.1, Таб. 3.2, 3.3). Получени са оценки на радиусите на дисковете по няколко индикатори (Таб. 3.4, 3.5). На Фиг. 3.2 са съпоставени определените еквивалентна ширина W $\alpha$  на емисионната линия H $\alpha$  и разстоянието между нейните пикове. Резултатите са представени на фона на разпределението на такива данни за 132 Ве звезди. По тези си параметри изследваните обекти попадат сред нормалните Ве звезди.

Основните резултати за трите изследвани обекти са дадени на Фиг. 3.3. Фигурите са оразмерени схеми на пространствените структури на двойните системи, вкл. орбита на компактния обект, размери на H $\alpha$  и H $\beta$  диска, както и размер на Ве звездата. Загубата на маса и гравитационните сили следва да ускоряват въртенето на Ве звездите. По-нататък чрез наличните параметри се оценяват ротационните периоди на трите Ве звезди. Те се оказват около 0.9 d, т.е. тези звезди са наистина бързи ротатори (Фиг. 3.4). Накрая в Глава 3 се дискутират орбиталните параметри на изследваните системи. Изтъкват се следните основни резултати (Стр. 41): При LSI+61 $^{\circ}$ 313 неутронната звезда при периастер пресича диска без да навлиза дълбоко в него; При MWC 148 неутронната звезда при периастер навлиза много дълбоко в диска; При MWC 656 черната дупка се движи по почти кръгова орбита, акретирайки вещество от най-външните части на диска и фактически определяйки размера на диска.

В Глава 4 са представени за първи път у нас изследвания на възможностите за спектро-поляриметрични изследвания с фокалния редутор FoReRo към 2 м телескоп на НАО. Описани са подробно апаратурата и специалните калибровки на отделните оптични елементи. Методиката на обработка на спектрите е описана подробно в Допълнение 1 (Глава 6), където са приведени и IRAF скриптовете, написани от дисертанта.

Глава 5 е посветена на спектро-поляриметрични изследвания на Ве рентгенови двойни звезди. Поляризираното лъчение от тези системи произхожда от диска около звездата донор. Неполяризираната светлина взаимодейства с електрони от диска чрез Томпсъново разсейване и продължава пътя си. Ако източникът на лъчението е сферично симетричен спрямо наблюдателя, тогава се регистрира частично поляризирана светлина. Това става когато дискът е видим под ъгъл се наблюдава в емисиите на Балмеровата серия (Фиг.5.1) . Съответни примерни спектри са обработени и представени стандартно (Таб.5.1).

За да се определи собствената поляризация на източника от наблюдаваната поляризация се изважда векторно междузвездната поляризация. Последната може да бъде и по-голяма от собствената. Междузвездната поляризация се дължи на подредени продълговати прахови частици с парамагнитни свойства. Отбелязани са три основни механизми за подреждането им. Междузвездната поляризация има пик в оптичната област и следва емпиричния закон на Серковски (Формула 5.1). Поради важноста на правилното изваждане на междузвездната поляризация, на определянето на параметрите на закона на Серковски е отделено специално внимание (Раздели 5.2.1, 5.2.2; Таб.5.2). Накрая са представени корекционни зависимости между степента на междузвездната поляризация или цветовия ексцес (по литературни данни) и разстоянието до обекта (по данни от Gaia).

В Глава 5 са представени резултати от спектро-поляриметрични наблюдения на 5 обекта – LSI +61 $^{\circ}$ 313, MWC 148, MWC 656, LSI +59 79 и X Per. При LSI+61 $^{\circ}$ 313 е тествана цялата методика. При MWC 148 са определени степента на поляризация, позиционният ъгъл и поляризацията в H $\alpha$ . При MWC 656 са определени междузвездната поляризация и вътрешната поляризация. И при LSI +59 79 са определени междузвездната поляризация и вътрешната поляризация. За X Per са определени степента на поляризация, позиционният ъгъл, междузвездната поляризация и вътрешната поляризация. Получените данни са в добро съответствие с други такива, когато такива има. Тези изследвания са пионерски у нас и разширяват съществено амплото на НАО.

Нямам забележки по научното съдържание на дисертацията. Могат да се намерят някои недоредактираности на текста, но те не са съществени.

Основните резултати от дисертационния труд могат да бъдат обединени в пет групи, както следва.

- (1) Чрез наблюдения на междузвездната линия K I и 3 междузвездни DIB ивици на е определена междузвездната екстинкция до 9 Ве рентгенови двойни звезди. (Глава 2, Публ.4).
- (2) Определени са размерите на дисковете при Ве звездите на системите LSI+61°313, MWC 148 и MWC 656. Разкрити са конфигурациите на системите и е определено доколко дълбоко компактните обекти проникват в дисковете. (Глава 3, Публ.4).
- (3) Изследван е и е калибриран инструментът FoReRo 2 в спектро-поляриметричен режим. Написани са скриптове за обработката на спектри от инструмента. Показано е, че с този инструмент могат да бъдат получавани оригинални научни резултати. (Глави 4, 5 и 6).
- (4) Проведени са спектро-поляриметрични наблюдения на 5 обекта -- LSI+61°313, MWC 148, MWC 656, LSI +59 79 и X Per. Реализирано е предимството да се определя достатъчно точно еквивалентната ширина  $W_d$ , която дава информация за размера на диска. (Глава 4, Публ. 2, 3, 5).
- (5) Оценена е собствената поляризация на изброените по-горе системи, която се е оказала непроменлива при LSI +59 79 и LSI +61 303. При X Per и MWC656 е намерена корелация между собствената поляризация и  $W_d$ . (Глава 5, Публ. 1, 5).

Отразените в дисертацията съвременни спектрални и спектро-поляризационни изследвания са високо-технологични и са описани достатъчно подробно. Личният принос на автора следва да бъде изтъкнат в два аспекта.

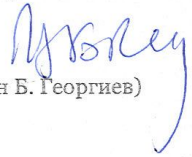
- (I) Дисертантът е провел високо-професионални спектро-фотометрични наблюдения и съвременна числена обработка на изображения. Той е достигнал до нови факти и зависимости за Ве рентгеновите двойни звезди.
- (II) Дисертантът е изследвал и използвал за първи път у нас сложна апаратура и методика за спектро-поляризационни изследвания и я е въвел изследователската практика на НАО. С нея той отново е получил оригинални научни резултати.

В резултат на гореизложеното заключавам, че научните и образователни цели на дисертацията са изпълнени и преизпълнени. Множество научни приноси са публикувани. Несъмнено дисертантът обладава дълбоки знания и практически умения, вкл. във въвеждането в експлоатация на нова сложна апаратура и в публикуването на резултати в престижни списания. Смятам, че дисертацията и съпътстващите я публикации удовлетворяват напълно изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, правилниците към него и специфичните изисквания на Института по астрономия с НАО.

В заключение, давам изцяло ПОЛОЖИТЕЛНА ОЦЕНКА на дисертационния труд и убедено препоръчвам на членовете на почитаемото Научно жури да присъдят научната и образователна степен „доктор“ на ас. Янко Маринов Николов.

27 май 2019 г.

Рецензент:  
(Проф. Цветан Б. Георгиев)



4

Page 4