

Янко Маринов Николов

Спектрални и спектрополяриметрични изследвания на Ве рентгенови двойни звезди

Институт по Астрономия с Национална Астрономическа
Обсерватория
Българска Академия на Науките

Автореферат на дисертация за получаване на научна и образователна степен
“Доктор”
по специалност 01.04.02 “Астрофизика и звездна астрономия”

Научен ръководител:
проф. д-р Радослав Заманов

София 2019

Заштитата на дисертационния труд ще се състои на 2019г. от часа в зала на бул. "Цариградско шосе" №72. Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на ИА с НАО, БАН и на адрес: <http://www.astro.bas.bg/dis/YNIKOLOV/>

Съдържание

| | |
|---|----|
| 1 Увод | 2 |
| 2 Междузвездна екстинкция до Ве рентгенови двойни звезди | 3 |
| 3 Отрязване на диска при Ве рентгенови двойни звезди | 8 |
| 3.1 Обекти: параметри на системите | 8 |
| 3.2 Околозвезден диск | 11 |
| 3.2.1 Разделяне на пиковете в различни линии | 11 |
| 3.2.2 Размер на диска | 12 |
| 3.3 Отрязване на диска | 12 |
| 4 Апаратура за спектрополяриметрични наблюдения в НАО Рожен | 15 |
| 5 Спектрополяриметрични наблюдения на Ве рентгенови двойни звезди | 26 |
| 5.1 LSI+61 ⁰ 303 | 27 |
| 5.2 MWC 148 | 27 |
| 5.3 MWC 656 | 30 |
| 5.4 LSI +59 79 | 33 |
| 5.5 X Per | 34 |
| 6 Основни резултати и приноси | 36 |
| 6.1 Основни резултати и приноси | 36 |
| 6.2 Публикации по дисертацията | 37 |
| 6.3 Цитати | 37 |
| 6.4 Участия на конференции | 38 |
| 6.5 Участие в докторантски школи | 38 |
| 6.6 Изнесени семинари и доклади | 38 |
| 6.7 Благодарности | 40 |
| 7 Библиография | 41 |

Глава 1

Увод

Рентгеновите двойни звезди са близки двойни системи, при които съществува пренос на вещества от оптичния компаньон към компактния обект. Първата такава открита система е Sco X-1 от Giacconi et al., (1962). Делят се на два класа: массивни (HMXBs) и нискомассивни (LMXBs) рентгенови двойни. При нискомассивните рентгенови двойни звезди, звездата донор е с маса по-малка или от порядъка на $1 M_{\odot}$ и спектален клас A или по-късен от A. Масата на звездата донор при массивните рентгенови двойни звезди е по-голяма от $10 M_{\odot}$. В зависимост от оптичния си компонент HMXBs се делят на два подкласа: Ве рентгенови двойни звезди и HMXBs с донор гигант или свръхгигант от спектрален клас O или B. Около 300 рентгенови двойни звезди има открити в нашата Галактика (187 LMXBs и 114 HMXBs или 62% и 38%)(Chaty, 2013; Liu et al., 2006,2007). Излъчването на рентгенови лъчи при массивните рентгенови двойни звезди се дължи на наличие на компактен обект. Видът на наблюдаваното рентгеново излъчение се определя от:

- темп на пренос на маса от звездата донор
- магнитното поле на компактния обект
- рентгеновото нагряване на акреционния диск.

Около компактния обект най-често се формира акреционен диск. При неутронна звезда със силно магнитно поле ($\sim 10^{12}$ G), когато веществото от акреционния диск достигне до няколко радиуса на неутронната звезда, веществото се отклания по магнитните силови линии и попада в полярните области на звездата. При несъвпадение на магнитната и ротационната ос ще се наблюдават рентгенови пулсации, ако лъчат излъчен от магнитните полюси е насочен към наблюдателя. Когато магнитното поле на неутронната звезда е сравнително слабо ($\sim 10^{10}$ G), веществото от диска може да се приближи близко до повърхността на неутронната звезда. Нестабилности в излъчващата област могат да доведат до възникване на бързи флукутации или квазипериодични осцилации.

Глава 2

Междузвездна екстинкция до Be рентгенови двойни звезди

За оценка на $E(B - V)$ използваме междузвездената К I $\lambda = 7699 \text{ \AA}$ линия, както и междузвездните абсорбционни ивици на 6613 \AA , 5797 \AA и 5780 \AA .

Използваме данните от Таблица 2 от Munari & Zwitter (1997) за да извлечем корелацията между еквивалентната ширина на $K I$ (7699 \AA) и $E(B - V)$, която се изразява чрез следното уравнение:

$$E_{(B-V)} = -0.00427 + 3.585 W_{7699} + 1.765 W_{7699}^2 \quad K I 7699 \quad (2.1)$$

За връзка между екстинкцията и еквивалентната ширина на различни DIBs ивици използваме корелации, получена от Puspitarini et al. (2013):

$$E_{(B-V)} = 5.1 W_{6613} + 0.0008 \quad DIB 6613.6 \quad (2.2)$$

$$E_{(B-V)} = 6.3 W_{5797} + 0.0203 \quad DIB 5797.0 \quad (2.3)$$

$$E_{(B-V)} = 2.3 W_{5780} + 0.0086 \quad DIB 5780.3, \quad (2.4)$$

където W_{7699} , W_{6613} , W_{5797} и W_{5780} са в \AA .

В Таблица 2.2 са показани стойностите на $E(B-V)$ за всяка линия/ивица, пресметнати чрез горните уравнения. В Таблица 2.3 са дадени средната стойност на $E(B-V)$ и $1-\sigma$ стандартно отклонение.

MWC 148 (HD 259440) се състои от B0Vpe звезда и компактен обект, най-вероятно черна дупка с маса $\approx 4 M_\odot$ (Aragona et al., 2010). За тази звезда Friedemann (1992) получава $E(B-V)=0.85$. Ние измерваме по-ниска стойност: $E(B - V) = 0.764 \pm 0.055$.

LSI+61⁰303 се състои от B0.5Ve звезда и най-вероятно наutronна звезда с маса $\approx 1.6 M_\odot$ (Zamanov et al. 2017). За този обект Hutchings & Crampton (1981) публикуват $E(B-V) = 0.93$, Howarth (1983) получава $E(B-V) = 0.75 \pm 0.1$, а Steele et al. (1998) оценят $E(B - V) = 0.70 \pm 0.40$, използвайки Na I D₂ и $E(B - V) =$

Таблица 2.1: Еквивалентни ширини на междузвездните абсорбционни K I линии и междузвездните абсорбционни ивици на 6613 Å, 5797 Å и 5780Å.

| Object | EW7699 [Å] | EW6613 [Å] | EW5797 [Å] | EW5780 [Å] |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| MWC 148 | 0.181 ± 0.011 | 0.160 ± 0.011 | 0.140 ± 0.007 | 0.292 ± 0.006 |
| LSI+61°303 | 0.194 ± 0.008 | 0.177 ± 0.005 | 0.157 ± 0.016 | 0.367 ± 0.016 |
| MWC 656 | 0.067 ± 0.017 | 0.055 ± 0.006 | 0.045 ± 0.004 | 0.111 ± 0.015 |
| 4U 2206+54 | 0.134 ± 0.015 | 0.083 ± 0.036 | 0.087 ± 0.011 | 0.265 ± 0.060 |
| γ Cas | — | — | 0.008 ± 0.003 | 0.034 ± 0.005 |
| LS V +44 17 | 0.230 ± 0.007 | 0.202 ± 0.007 | 0.166 ± 0.006 | 0.386 ± 0.010 |
| V725 Tau | 0.258 ± 0.008 | 0.193 ± 0.006 | 0.181 ± 0.018 | 0.451 ± 0.012 |
| X Per | 0.103 ± 0.010 | 0.068 ± 0.014 | 0.059 ± 0.008 | 0.079 ± 0.014 |
| V420 Aur | 0.105 ± 0.008 | 0.078 ± 0.009 | 0.072 ± 0.010 | 0.170 ± 0.008 |
| LSI +59 79 | 0.149 ± 0.010 | 0.110 ± 0.012 | 0.094 ± 0.013 | 0.247 ± 0.032 |

Таблица 2.2: Междузвездно почервеняване E(B-V), оценено за еквивалентната ширина на всяка една линия/ивица.

| Object | E(B-V) 7699 [mag] | E(B-V)6613 [mag] | E(B-V)5797 [mag] | E(B-V)5780 [mag] |
|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| MWC 148 | 0.704±0.043 | 0.819±0.054 | 0.802±0.038 | 0.731±0.014 |
| LSI+61°303 | 0.760±0.031 | 0.910±0.025 | 0.894±0.090 | 0.917±0.040 |
| MWC 656 | 0.236±0.059 | 0.286±0.006 | 0.274±0.022 | 0.279±0.037 |
| 4U 2206+5 | 0.515±0.056 | 0.428±0.182 | 0.508±0.060 | 0.662±0.150 |
| γ Cas | --- | --- | 0.075±0.014 | 0.085±0.012 |
| LS V +44 17 | 0.903±0.029 | 1.033±0.036 | 0.943±0.034 | 0.965±0.024 |
| V725 Tau | 1.038±0.031 | 0.990±0.033 | 1.025±0.097 | 1.127±0.031 |
| X Per | 0.384±0.038 | 0.353±0.071 | 0.355±0.044 | 0.199±0.035 |
| V420 Aur | 0.397±0.030 | 0.401±0.048 | 0.424±0.056 | 0.426±0.019 |
| LSI +59 79 | 0.574±0.037 | 0.567±0.061 | 0.548±0.073 | 0.611±0.081 |

0.65 ± 0.25 , като използват дифузни междузвездни ивици. За LS I+61⁰303 ние получаваме стойност $E(B - V) = 0.870 \pm 0.074$.

MWC 656 се състои от B1.5-B2IIIe звезда и черна дупка (Casares et al. (2005)). За тази звезда Williams et al. (2010) публикува ниска стойност на $E(B-V)=0.02$. Casares et al. (2014) получават $E(B-V)=0.24$. За MWC 656 получаваме $E(B-V) = 0.269 \pm 0.019$, стойност малко по-висока от тази публикувана от Casares et al. (2014).

4U 2206+54 се състои от звезда донор от спектрален клас O9.5Vep и неутронна звезда (Ribó et al. 2006). За тази звезда Reig & Fabregat (2015) дават стойност на $E(B - V) = 0.51 \pm 0.03$. Нашият резултат е близък до цитирания по-горе: $E(B - V) = 0.547 \pm 0.066$.

γ Cas има $E(B-V) = 0.07$ получена от 2200 Å extinction bump и от разположението си в Галактиката (Beeckmans & Hubert 1980; Harmanec 2002). Chevalier & Illovaisky (1998) дават $E(B-V) = 0.05$. Нашият резултат е $E(B-V) = 0.080 \pm 0.007$.

LS V +44 17 се състои от B0.2Ve звезда и наutronна звезда (Reig et al. 2005). За тази звезда има две стойности на екстинкцията $E(B - V) = 0.65 \pm 0.05$ (Reig et al. 2005) и $E(B - V) = 0.91 \pm 0.03$ (Reig & Fabregat 2015). Ние получаваме по-висока стойност от публикуваните: $E(B - V) = 0.961 \pm 0.054$.

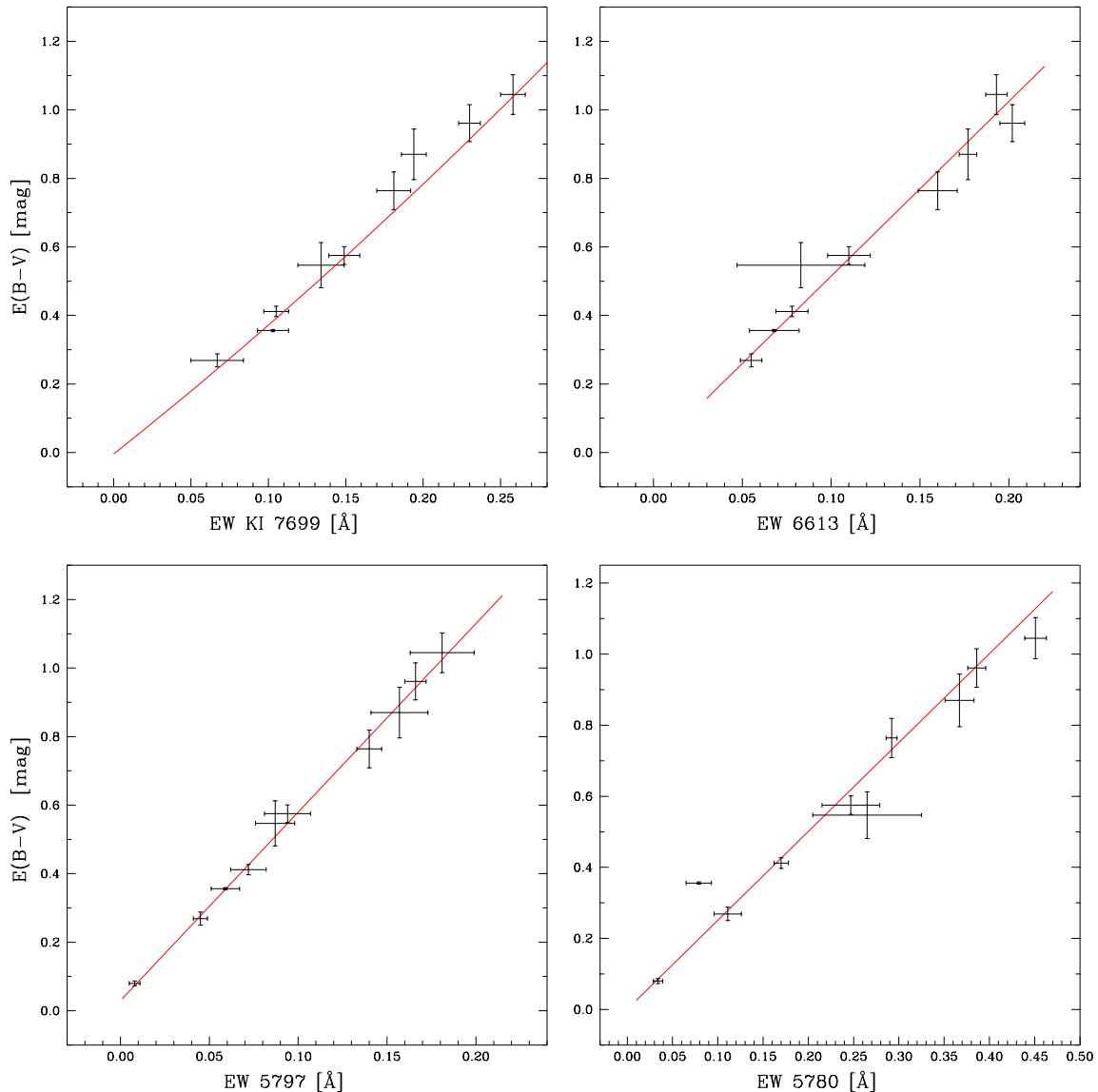
V725 Tau се състои от звезда донор B0IIIe (Janot-Pacheco et al. 1987) и неутронна звезда. За тази звезда Reig et al. (2015) дават $E(B - V) = 0.77 \pm 0.04$. Почервяняването към тази звезда е получено от 2200 Å feature и има стойност $E(B - V) \approx 0.75$ (Giovannelli et al. 1981). Ние получаваме по-висока стойност за екстинкцията $E(B - V) = 1.045 \pm 0.058$.

X Per се състои от звезда донор от спектрален клас B0Ve (Lyubimkov et al. 1997) и неутронна звезда. Оценяваме екстинкцията на $E(B - V) = 0.356 \pm 0.003$, стойност близка до $E(B - V) = 0.35$, получена от Viotti et al. 1982. Нашият резултат е базиран на средната стойност на три линии. За този обект DIB на $\lambda 5780$ дава по-ниска стойност и не е използвана при пресмятане на средната стойност (виж таблица 2.1 и таблица 2.2).

V420 Aur съдържа звезда от спектрален клас B0IVpe (Everall et al. 1993). До тази звезда екстинкцията е оценана на $E(B - V) = 0.42 \pm 0.05$ (Everall et al. 1993; Chevalier & Illovaisky 1998). Ние получаваме близка стойност $E(B - V) = 0.412 \pm 0.015$.

LS I +59 79 е звезда от спектрален клас B1/2Vnne (McCuskey et al. 1974). Позицията на LS I+59 79 е много близко до X-ray източника 1RXS J013326.9+592946 и γ -ray източника 3FGL J0133.3+5930. Все още не е потвърдено окончателно дали това е двойна система с X-ray или γ -ray характеристики, което би говорило за наличие на акреция върху компактен обект. Включихме измервания до този обект, за да спомогнем бъдещи проучвания. За LS I+59 79 измерихме стойност $E(B - V) = 0.575 \pm 0.026$.

За илustrация на получените резултати на фигура 2.1 са показани изчислена средна междузвездна екстинкция $E(B-V)$ спрямо еквивалентната ширина на



Фигура 2.1: Изчислена средна междузвездна екстинкция $E(B-V)$ спрямо еквивалентната ширина на линия KI $\lambda 7699$ Å и ивици DIB $\lambda 6613$ Å, DIB $\lambda 5797$ Å и DIB $\lambda 5780$ Å. Непрекъснатата линия отразява уравненията: 2.1; 2.2; 2.3 и 2.4, съответно.

Таблица 2.3: Средна стойност на междузвездна екстинкция до 9 Be/X-гау двойни звезди.

| Object | E(B-V) [mag] | Reference | E(B-V) (this work) [mag] |
|--------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|
| MWC 148 | 0.85 | Friedemann(1992) | 0.764 ± 0.055 |
| LSI+61°303 | 0.65 | Steele et al. (1998) | 0.870 ± 0.074 |
| MWC 656 | 0.24 | Casares et al.(2012) | 0.269 ± 0.019 |
| 4U 2206+54 | 0.51 | Reig & Fabregat (2015) | 0.547 ± 0.066 |
| γ Cas | 0.05 | Chevalier & Ilovaisky (1998) | 0.080 ± 0.007 |
| LS V +44 17 | 0.91 | Reig & Fabregat (2015) | 0.961 ± 0.054 |
| V725 Tau | 0.77 | Reig et al. (2015) | 1.045 ± 0.058 |
| X Per | 0.35 | Viotti et al. (1982) | 0.356 ± 0.003 |
| V420 Aur | 0.42 | Everall et al. (1993) | 0.412 ± 0.015 |
| LSI +59 79 | — | — | 0.575 ± 0.026 |

линия KI $\lambda 7699$ Å и ивици DIB $\lambda 6613$ Å, DIB $\lambda 5797$ Å и DIB $\lambda 5780$ Å. Непрекъсната линия отразява уравненията: 2.1; 2.2; 2.3; 2.4 съответно. Вижда се, че в рамките на грешките отделните уравнения добре описват средните стойности на E(B-V), представени в таблица 2.3.

Измерване на екстинкцията, чрез предложената методика дава добри резултати за звезди от ранен спектрален клас, понеже в спектрите на тези звезди има сравнително малко на брой абсорбционни линии. Как стои въпросът, когато имаме звезда от късен спектрален клас? Приложихме този начин за определяне на екстинкцията за да определим екстинкцията до повторната нова RS Oph (Zamanov et al., 2018). RS Oph е симбиотична повторно нова звезда, която показва периодични избухвания през около 15-20 години. RS Oph се състои от звезда донор, която е гигант от спектрален клас M (Dobrzycka & Kenyon 1994; Anupama & Mikołajewska 1999) и масивно ($1.2\text{--}1.4 M_{\odot}$) въглерод-кислородно бяло джудже (Mikołajewska & Shara 2017). За оценка на еквивалентната ширина EW на DIB 6613 от спектъра на RS Oph изваждаме спектър на звезда от същия спектрален клас, към който спектър допълнително сме прибавили горещ компонент, за да отчетем собеностите на спектъра на RS Oph. За екстинкцията до RS Oph се получава: $E(B - V) = 0.69 \pm 0.07$. Стойността, която се получава, е близка до стойността $E(B - V) = 0.73 \pm 0.10$, получена от Snijders (1987) на базата на UV спектри.

Глава 3

Отрязване на диска при Be рентгенови двойни звезди

В тази глава се разглежда взаимодействието между компактния обект и диска на звездата, при което част от диска се “изрязва” при орбиталното движение на компактния обект. Изследваните рентгенови двойни звезди са LSI+61°303, MWC 148 и MWC 656. Анализа се състои основно на базата на спектралните наблюдения с високо спектрално разрешение. Донорите на маса на тези обекти са емисионни Be звезди.

3.1 Обекти: параметри на системите

Ексцентрицитета на орбитата на LSI+61°303 е $e = 0.537$, който е получена на базата на радиалната скорост на първичната компонента (Casares et al. 2005; Aragona et al. 2009). За първичната компонента Grundstrom et al. (2007) намират, че е звезда от спектрален клас B0V с радиус $R_1 = 6.7 \pm 0.9 R_\odot$. Очаква се звезда от спектрален клас B0V да има средна стойност за масата $M_1 \approx 15 M_\odot$ (Hohle et al. 2010). Приемаме стойност за $v \sin i = 349 \pm 6 \text{ km s}^{-1}$ (Hutchings & Crampton 1981, Zamanov et al. 2013).

Орбиталният период на MWC 148 $P_{orb} = 315^{+6}_{-4} \text{ d}$ е получен чрез рентгенови наблюдения (Aliu et al. 2014), което е съответствие с предишните резултати от $321 \pm 5 \text{ d}$ (Bongiorno et al. 2011). За този обект Aragona et al. (2010) получават $T_{eff} = 27500 - 30000 \text{ K}$, $\log g = 3.75 - 4.00$, $M_1 = 13.2 - 19.0 M_\odot$, и $R_1 = 7.8 \pm 1.8 R_\odot$. За изчисленията в параграф 3.2.2, използваме $e = 0.83$, периастъра е във фаза 0.967 (Casares et al. 2012), $v \sin i = 230 - 240 \text{ km s}^{-1}$ (Moritani et al. 2015).

MWC 656 се състои от Be звезда и черна дупка (Casares et al. 2014). За орбиталния период използваме $P_{orb} = 60.37 \pm 0.04 \text{ d}$, получен чрез оптична фотометрия (Williams et al. 2010). Ексцентрицитетът $e = 0.10 \pm 0.04$ се оценява на базата на измерване на радиалните скорости, а $v \sin i = 330 \pm 30 \text{ km s}^{-1}$

Таблица 3.1: Размер на диска при H_α

| Date-obs yyyymmdd.hhmm | $R_{disc}(H\alpha)$ R_\odot (a) | $R_{disc}(H\alpha)$ R_\odot (b) | $R_{disc}(H\alpha)$ R_\odot (c) |
|---------------------------|---|---|---|
| LSI+61 ⁰ 303 | | | |
| 20140217.1923 | 33 ^a | 32 ^b | 36 ^c |
| 20140314.1746 | 34 ^a | 33 ^b | 33 ^c |
| 20150805.0009 | 29 ^a | 31 ^b | 34 ^c |
| MWC 148 | | | |
| 20140113.1857 | 156 ^a | 165 ^b | 180 ^c |
| 20140217.2031 | 205 ^a | 208 ^b | 190 ^c |
| 20140218.1826 | 226 ^a | 211 ^b | 178 ^c |
| 20140313.2002 | ... | 201 ^b | 176 ^c |
| 20140314.1855 | ... | 189 ^b | 172 ^c |
| 20140315.1833 | ... | 193 ^b | 160 ^c |
| MWC 656 | | | |
| 20150705.2259 | ... | 213 ^b | 174 ^c |
| 20150804.0017 | ... | 216 ^b | 162 ^c |
| 20150804.2229 | ... | 213 ^b | 156 ^c |

Note:(a)-Пресметнато като е използвано ΔV_α и уравнение 3.5; (b)-Пресметнато като е използвано ΔV_β и уравнение 3.5; (c)-Пресметнато като е използвано W_α и уравнение 3.6.

(Casares et al. 2014). За първичната компонента, Williams et al. (2010) дават $T_{eff} = 19000 \pm 3000$ K, $\log g = 3.7 \pm 0.2$, $M_1 = 7.7 \pm 2.0$ M_\odot , $R_1 = 6.6 \pm 1.9$ R_\odot . Casares et al. (2014) считат, че донорът на маса е гигант (B1.5-2 III) с маса в диапазона $M_1 = 10 - 16$ M_\odot . За звезда от спектрален клас B1.5-2 III се очаква да има радиус в диапазона $R_1 \approx 8.3 - 8.8$ R_\odot (Straizys & Kuriliene 1981). От най-новите стойности за светимостта (Hohle et al. 2010), такива звезди имат маси в диапазона $M_1 \approx 8.0 - 10.0$ M_\odot и радиуси $R_1 \approx 9.5 - 10$ R_\odot . Използваме $R_1 \approx 10$ R_\odot за пресмятанията в параграф 3.2.2.

Таблица 3.2: Размер на диска при $H\beta$; $H\gamma$; HeI5876 и FeII

| Date-obs yyyyymmdd.hhmm | $R_{disc}(H\beta)$ R_\odot | $R_{disc}(H\gamma)$ R_\odot | $R_{disc}(HeI5876)$ R_\odot | $R_{disc}(FeII)$ R_\odot |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| LSI+61°303 | | | | |
| 20140217.1923 | 19 | ... | 16 | ... |
| 20140314.1746 | 19 | ... | 16 | ... |
| 20150805.0009 | 18 | ... | 19 | ... |
| MWC 148 | | | | |
| 20140113.1857 | 52 | 49 | 32 | 39 |
| 20140217.2031 | 66 | 54 | 29 | 55 |
| 20140218.1826 | 66 | 59 | 29 | 52 |
| 20140313.2002 | 63 | 52 | 29 | 50 |
| 20140314.1855 | 60 | 56 | 27 | 50 |
| 20140315.1833 | 60 | 50 | 25 | 50 |
| MWC 656 | | | | |
| 20150705.2259 | 63 | 42 | ... | 51 |
| 20150804.0017 | 64 | 46 | ... | 66 |
| 20150804.2229 | 63 | 40 | ... | 74 |

3.2 Околозвезден диск

3.2.1 Разделяне на пиковете в различни линии

В своя статия Hanuschik et al. (1988) изследва спектрално извадка от ВЕ звезди. В зависимост от формата на H_α линията, Hanuschik et al. (1988) разделят ВЕ звездите на два спектрални класа. Профилите на линията H_α в клас 1 имат симетрична двойнопикова структура, клас 2 се характеризира с асиметричен остър единичен пик (или доминиращ пик с много по-слаб вторичен пик) с асиметрични крила. При някои звезди се наблюдава дълбоко централно поглъщане, което се дължи на силно самопоглъщане в обвивката, като причините за това са високите стойности на наклона на обвивката, спрямо лъча на зрение. Тези звезди са отделени като отделен подклас на клас 1. За тези ВЕ звезди, разделянето на пиковете в различни линии следва приблизително зависимостите, посочени по-долу (Hanuschik et al., 1988). По-голямото разделяне на пиковете в H_β и H_γ емисионни линии показва, че тези линии се формират по-близко до звездата. При някои звезди се наблюдават симетрични профили на H_β и H_γ и асиметричен профил на H_α , което показва, че асиметрията се поражда във външните области на околозвездата обвивка.

$$\Delta V_\beta \approx 1.8 \Delta V_\alpha \quad (3.1)$$

$$\Delta V_\gamma \approx 1.2 \Delta V_\beta \approx 2.2 \Delta V_\alpha \quad (3.2)$$

$$\Delta V_{\text{FeII}} \approx 2.0 \Delta V_\alpha \quad (3.3)$$

$$\Delta V_{\text{FeII}} \approx 1.1 \Delta V_\beta, \quad (3.4)$$

Където уравнение 3.4 се получава чрез комбиниране на уравнения 3.1 и 3.3.

За LSI+61°303 имаме: $\Delta V_\beta = 1.30 \pm 0.04 \Delta V_\alpha$ и $\Delta V_{HeI5876} = 1.38 \pm 0.13 \Delta V_\alpha$. Съотношението $\Delta V_\beta / \Delta V_\alpha$ е значително под средната стойност за ВЕ звездите (виж уравнение 3.1).

За MWC 148 получаваме $\Delta V_\beta = 1.78 \pm 0.06 \Delta V_\alpha$, $\Delta V_\gamma = 1.07 \pm 0.03 \Delta V_\beta$, и $\Delta V_{\text{FeII}5316} = 1.12 \pm 0.03 \Delta V_\beta$, $\Delta V_{HeI5876} = 1.47 \pm 0.10 \Delta V_\beta$. Използвани са само три спектъра за H_α (получени на 2014-01-13, 2014-02-17, и 2014-02-18), когато двета пика в H_α са видими. Стойността на $\Delta V_\beta / \Delta V_\alpha \approx 1.78$ е много подобна на стойността 1.8, която е характерна за ВЕ звездите. Отношението $\Delta V_{\text{FeII}5316} / \Delta V_\beta \approx 1.07$ е подобно на коефициента 1.1 за ВЕ звезди, стойността на $\Delta V_\gamma / \Delta V_\beta \approx 1.07$ има отново подобна стойност на коефициента 1.2 за ВЕ звездите.

За MWC 656 получаваме $\Delta V_\beta = 1.72 \pm 0.18 \Delta V_\alpha$, $\Delta V_\gamma = 1.22 \pm 0.04 \Delta V_\beta$, $\Delta V_{\text{FeII}5316} = 1.01 \pm 0.10 \Delta V_\beta$, където всичките три отношения са подобни за съответните стойности (уравнения 3.1, 3.2, 3.4) за ВЕ звездите. Сравнението на разстоянието между пиковете на различните емисионни линии показва, че при MWC 148 и MWC 656 имат околозвезден диск, който е подобен на този при нормалните ВЕ звезди. Отклонение от зависимостите при ВЕ звездите се наблюдава само при

LSI+61⁰303. При тази звезда областта на излъчване на диска в $H\alpha$ е само 1.7 пъти по-голям от областта на излъчване на диска в $H\beta$, докато при нормалните ВЕ звезди е 3.3 пъти по-голяма. Това вероятно е още една индикация, че външните части на диска се отразват от компактния обект като резултат от сравнително краткия орбитален период.

3.2.2 Размер на диска

За профили с ротационно доминиране разделянето на пиковете може да се разглежда като размери на външния радиус (R_{disc}) на излъчващия диск (Huang 1972).

$$\left(\frac{\Delta V}{2v \sin i} \right) = \left(\frac{R_{disc}}{R_1} \right)^{-j}, \quad (3.5)$$

където $j = 0.5$ имаме при Кеплерово въртене, $j = 1$ при запазване на ъгловия момент, R_1 е радиуса на първичната компонента, а $v \sin i$ е проекцията на ротационната скорост. Когато двата пика на емисионните линии са видими, може да изчислим радиуса на диска, като използваме уравнение 3.5. Пресметнатите размери на диска при различни емисионни линии са дадени в таблици 3.1 и 3.2.

В линията $H\beta$ двата пика са видими във всички спектри, получени от 2.0 м телескоп в обсерваторията Рожен. Използваме тази възможност да оценим $R_{disc}(H\alpha)$ като са използвани ΔV_β ; отношението $\Delta V_\beta / \Delta V_\alpha$ (както е получено в параграф 3.2.1) и уравнение 3.5. Стойността на $R_{disc}(H\alpha)$, изчислени по този начин са дадени в Table 3.1 и са обозначени с ^(b).

Размера на диска и W_α са свързани (виж Hanuschik 1989; Grundstrom & Gies 2006). Това изразява факта, че когато размера на диска R_{disc} нараства, нараства и W_α . Радиусът на диска се изчислява като се използва следната формула:

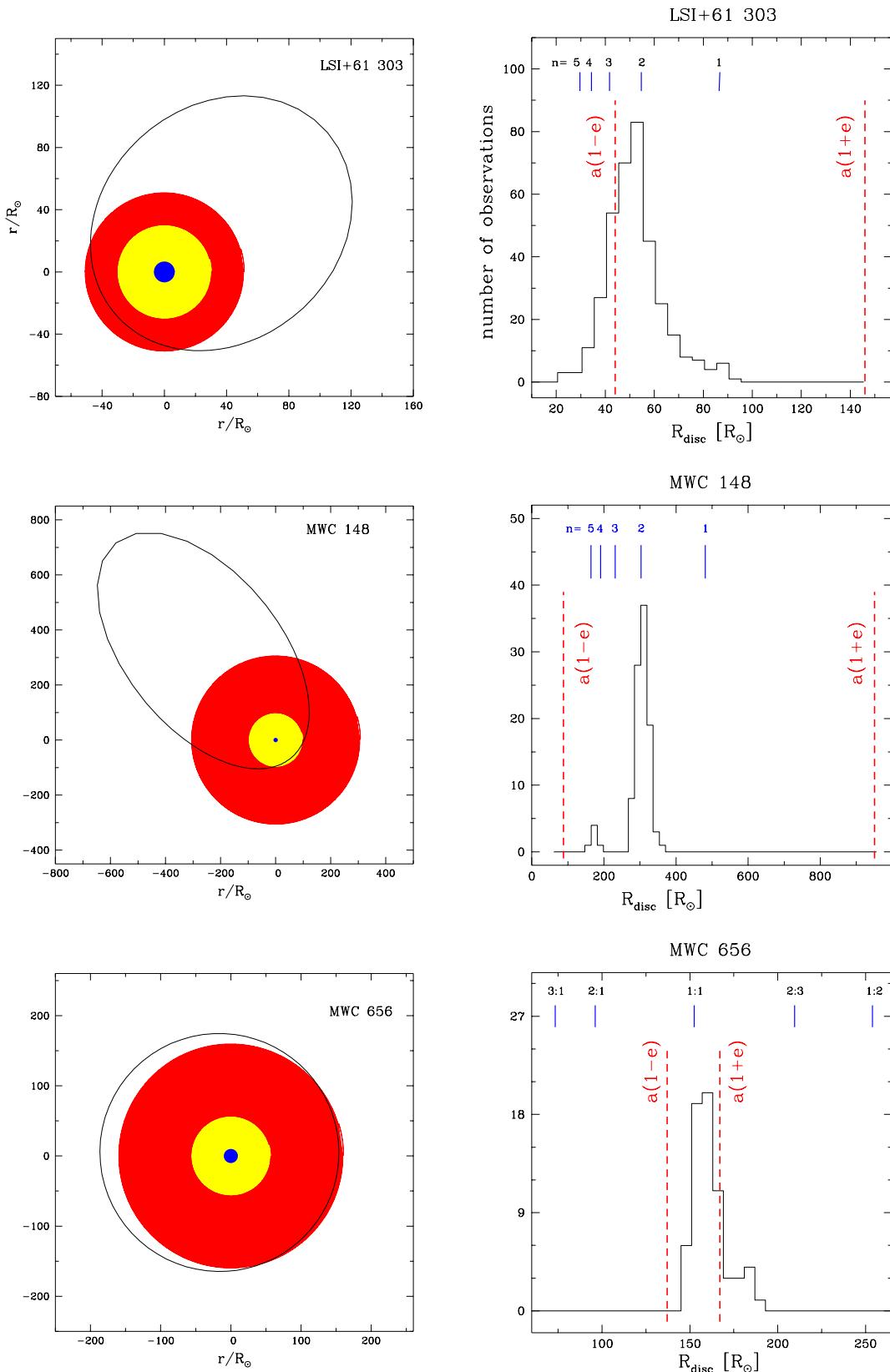
$$\frac{R_{disc}}{R_1} = \epsilon 0.467 W_\alpha^{1.184}, \quad (3.6)$$

където ϵ е безразмерен параметър (виж Zamanov et al. 2013), за който използваме $\epsilon = 0.9 \pm 0.1$.

Размерите на дисковете пресметнати чрез уравнение 3.6 са дадени в таблица 3.1 и са означени с ^(c). $R_{disc}/\epsilon R_1 = 8.7 \pm 1.9$ (за LSI+61⁰303), $R_{disc}/\epsilon R_1 = 43 \pm 5$ (за MWC 148), и $R_{disc}/\epsilon R_1 = 18.0 \pm 1.1$ (за MWC 656), съответно.

3.3 Отрязване на диска

Орбитата на компактния обект, средния размер на $H\alpha$ диск, средния размер на $H\beta$ диск, и ВЕ звездата са представени на фигура 3.1 (вляво). Координатите X и Y са представени в слънчеви радиуси. Хистограмите на размера на $H\alpha$ диска,



Фигура 3.1: Орбитата на компактния обект и околозвездният диск на LSI+61°303, MWC 148 и MWC 656. С червено е означен размерът на диска в $H\alpha$, жълтото показва размера в $H\beta$, синият кръг посочва размера на донора на маса. Хистограми на размера на диска са показани вдясно. Вертикалните пунктирани линии (червени) показват разстоянието между компонентите при периастър и апоастър. Резонансите $n:m$ са показани в синьо, като за LSI+61°303 и MWC 148 са дадени само тези при $m=1$.

пресметнати чрез уравнение 3.6, са представени на фигура 3.1 (вдясно). За LSI+61⁰303 използваме нашите данни и публикуваните данни, взети от Paredes et al. (1994), Steele et al. (1996), Liu & Yan (2005), Grundstrom et al. (2007), McSwain et al. (2010) и Zamanov et al. (1999, 2013). Използваме спектри за MWC 148 и MWC 656, получени от Рожен и Liverpool Telescope.

Във всичките три звезди, разпределението за стойностите R_{disc} имат много добре изразен пик. Тенденциите за потока на емисията от диска да се групира при определени нива е свързана с отрязването на диска при определени радиуси на диска и зависи от орбитата на компактния обект. (Coe et al., 2006). Okazaki & Negueruela (2001) предлагат, че тези ограничаващи радиуси се определят от най-близкото преминаване на спътника в системи с висок эксцентричитет и чрез резонанси между орбиталния период и периодите на въртене на диска при нискоексцентрични системи.

Резонансните радиуси се дават чрез:

$$R_{n:m}^{3/2} = \frac{m (G M_1)^{1/2}}{2 \pi} \frac{P_{orb}}{n}, \quad (3.7)$$

където G е гравитационната константа, n е цяло число периоди на въртене на диска, а m е цяло число орбитални периода. Важните резонанси не са само с отношение $n : 1$, но и също с отношение $n : m$ като цяло.

За LSI+61⁰303 оценихме разстоянията между компонентите $a(1 - e) \approx 44 R_\odot$ и $a(1 + e) \approx 146 R_\odot$ съответно за периастър и апоастър. Размерът на диска е $R_{disc} \sim a(1 - e)$ и никога не се приближава до $a(1 + e)$. Резонансите, които съответстват на размера на диска са между 5:1 и 1:1, а пикът в хистограмата съответства на резонанс с отношение 2:1.

За MWC 148 оценяваме $a(1 - e) \approx 88 R_\odot$ и $a(1 + e) \approx 951 R_\odot$ за периастър и апоастър. На фигура 3.1 е очевидно, че $a(1 - e) < R_{disc} < a(1 + e)$. Резонансът със съотношение 2:1 е най-близо до пика на разпределението. Размерът на диска при тази звезда може да има бимодално разпределени (вторичен пик с по-малък интензитет изглежда се появява близо до 4:1 резонансен радиус).

За MWC 656 пресмятаме $a(1 - e) \approx 137 R_\odot$ и $a(1 + e) \approx 167 R_\odot$ съответно за периастър и апоастър. На фигура 3.1 се вижда, че резонанс със съотношение 1:1 е много близък до пика на разпределение и $a(1 - e) \lesssim R_{disc} \lesssim a(1 + e)$. Размерът на диска рядко надвишава $a(1 + e)$.

При тези три обекта имаме три различни ситуации:

- При LSI+61⁰303 неutronната звезда пресича диска при периастър, но не навлиза много надълбоко в диска;
- При MWC 148 по време на периастър компактния обект навлиза в най-вътрешните части на диска;
- При MWC 656 черната дупка акретира вещества от най-външните части на диска.

Глава 4

Апаратура за спектрополяриметрични наблюдения в НАО Рожен

За получаване на спектрополяриметрични наблюдения използваме инструмент FoReRo2, монтиран на 2.0m телескоп в НАО Рожен. Последователността на получаване на спектри е следната: разполага се процеп във фокалната равнина на телескопа, след него светлината преминава през $\lambda/2$ пластиината, призмата на Уоластон, която разделя спона на две части. Тези два светлинни спона преминават през гризма и получените спектри са фокусирани от камерен обектив върху матрицата на CCD камерата. Заради разделяне на светлинния спон на два спона от призмата на Уоластон (разположена в паралелния спон след колиматора), получаваме два спектъра на изследвания обект, в които електричният вектор има взаимноперпендикулярни равнини на трептене. За обработка на получените наблюдения се използват скриптове, разработени за астрономичния софтуер IRAF. Примерното им използване е демонстрирано в Допълнение 1 от дисертацията.

При обработка на спектрополяриметрични наблюдения следваме следната последователност:

- изваждане на bias
- извлечане на едномерни спектри
- калибровка по дължина на вълната
- прилагане на Beam swapping техника
- корекция за инструментална поляризация
- корекция за хроматизъм на $\lambda/2$ пластиината
- корекция на позиционен ъгъл

Първите три стъпки са стандартни при обработката на спектри. Прилагането на Beam swapping техника коригира инструменталната поляризация на елементите разположени след $\lambda/2$ пластина.

Beam swapping техниката е методика на обработка на поляриметрични наблюдения. Детайлно описание на методиката има в статията на Bagnulo et al. (2009). Същността на метода е следната: когато имаме инструмент, който никога не е перфектен, имаме следното съотношение:

$$\frac{f^{\parallel} - f^{\perp}}{f^{\parallel} + f^{\perp}} = \frac{k_{\parallel}(I + Q) - k_{\perp}(I - Q)}{k_{\parallel}(I + Q) + k_{\perp}(I - Q)}, \quad (4.1)$$

където k_{\parallel} и k_{\perp} са коефициенти, които отчитат несъвършенствата на наблюдателната апаратура. Когато апаратурата се завърти спрямо входящата светлина на 90° , местата на двета лъча се разменят. Математически това изглежда така:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left[\left(\frac{f^{\parallel} - f^{\perp}}{f^{\parallel} + f^{\perp}} \right)_{0^\circ} - \left(\frac{f^{\parallel} - f^{\perp}}{f^{\parallel} + f^{\perp}} \right)_{90^\circ} \right] = \\ & = \frac{1}{2} \left[\frac{k_{\parallel}(I + Q) - k_{\perp}(I - Q)}{k_{\parallel}(I + Q) + k_{\perp}(I - Q)} - \frac{k_{\parallel}(I - Q) - k_{\perp}(I + Q)}{k_{\parallel}(I - Q) + k_{\perp}(I + Q)} \right], \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\frac{(k_{\parallel} + k_{\perp})^2 IQ - \overbrace{(k_{\parallel} - k_{\perp})^2 IQ}^0}{(k_{\parallel} + k_{\perp})^2 I^2 - \overbrace{(k_{\parallel} - k_{\perp})^2 Q^2}^0} = \frac{Q}{I}. \quad (4.3)$$

В случая се пренебрегват членовете в уравнението от втори порядък, тъй като $k_{\parallel} \simeq k_{\perp} \simeq 1.0$ и получаваме израза 4.3 за степента на поляризация.

Приложение на метода

Beam swapping техниката включва два метода на обработка на данни: метода на разликите (The “Difference” Method) и метода на отношенията (The “Ratio” Method). С подробности двете методики са разгледани в статията на Bagnulo et al. (2009). При обработка на нашите наблюдения е използван “Difference” метод. Стоксовите параметри $P(\lambda)_Q$ и $P(\lambda)_U$ за този метод се получават по следния начин:

$$\begin{aligned} P(\lambda)_Q = & \frac{1}{4} \left[\left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{0^\circ} - \left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{45^\circ} \right] \\ & + \frac{1}{4} \left[\left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{90^\circ} - \left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{135^\circ} \right] \end{aligned} \quad (4.4)$$

За определяне на параметъра $U(\lambda)$ използваме следната формула:

$$P(\lambda)_U = \frac{1}{4} \left[\left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{22.5^\circ} - \left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{67.5^\circ} \right] \\ + \frac{1}{4} \left[\left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{112.5^\circ} - \left(\frac{f(\lambda)^{\parallel} - f(\lambda)^{\perp}}{f(\lambda)^{\parallel} + f(\lambda)^{\perp}} \right)_{157.5^\circ} \right] \quad (4.5)$$

Полагаме $P(\lambda)_Q = \frac{Q(\lambda)}{I(\lambda)}$, $P(\lambda)_U = \frac{U(\lambda)}{I(\lambda)}$ и степента на поляризация се пресмята чрез:

$$P(\lambda)_L = \sqrt{P(\lambda)_Q^2 + P(\lambda)_U^2}. \quad (4.6)$$

Позиционният ъгъл се пресмята по следния начин (Bagnulo et al., 2009):

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{U}{Q} + \Theta_0, \quad (4.7)$$

където Θ_0 е:

$$\Theta_0 = \begin{cases} 0 \text{ deg} & \text{if } Q > 0 \text{ and } U \geq 0 \\ 180 \text{ deg} & \text{if } Q > 0 \text{ and } U < 0 \\ 90 \text{ deg} & \text{if } Q < 0 \end{cases}$$

$$\Theta_0 = \begin{cases} 45 \text{ deg} & \text{if } Q = 0 \text{ and } U > 0 \\ 135 \text{ deg} & \text{if } Q = 0 \text{ and } U < 0. \end{cases}$$

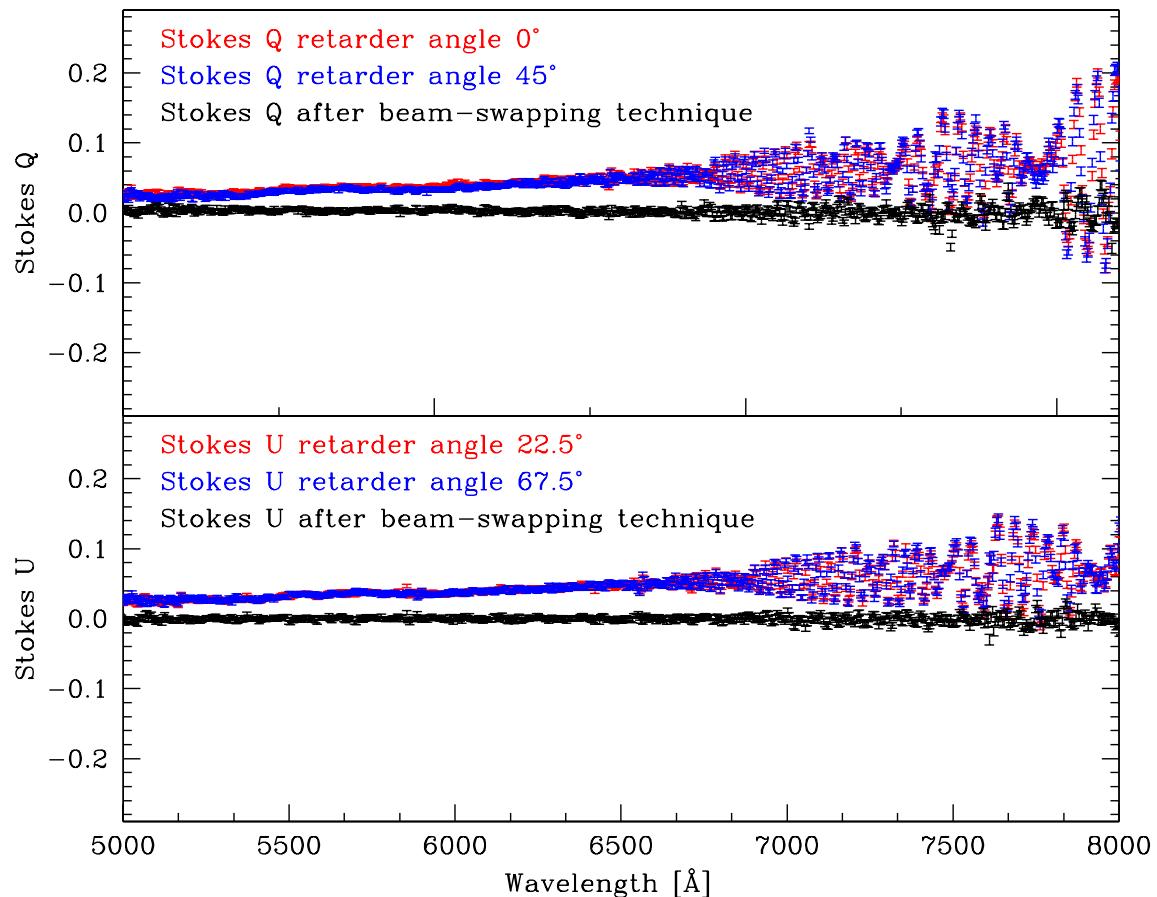
За характеризиране на качеството на обработка на поляриметрични наблюдения се използват така наречените нулеви параметри за двета метода. Нулевите параметрите представляват разлика между стойностите на параметрите на Стокс между първата и втората двойка ъгли на $\lambda/2$ пластината.

На фигура 4.1 са представени Стокс $Q(\lambda)$ и $U(\lambda)$ на звезда с нулева степен на поляризация HD212311, получени за ъгли на $\lambda/2$ пластината 0° и 45° за $Q(\lambda)$ и 22.5° и 67.5° за $U(\lambda)$, както и след прилагане на beam swapping техника само с тези два ъгъла. Понеже звездата има нулева степен на поляризация, се вижда как комбинирането на ъгли на $\lambda/2$ пластината 0° ; 45° ; 22.5° и 67.5° води до това Стоксовите параметри $Q(\lambda)$ и $U(\lambda)$ да са много по-близки до нула, както се очаква за такъв поляриметричен стандарт.

Некомпенсирана инструментална поляризация остава на елементите, разположени преди $\lambda/2$ пластината. Това налага използването на звезди с нулева степен на поляризация, с които коригираме за остатъчната инструментална поляризация. За корекция на инструменталната поляризация използваме следните уравнения:

$$q_{corr}(\lambda) = q_{obs}(\lambda) - q_{zpol}(\lambda), \quad (4.8)$$

$$u_{corr}(\lambda) = u_{obs}(\lambda) - u_{zpol}(\lambda), \quad (4.9)$$



Фигура 4.1: Стокс $Q(\lambda)$ и $U(\lambda)$ на звезда с нулева степен на поляризация HD212311, получени за ъгли на $\lambda/2$ пластицата 0° и 45° , 22.5° и 67.5° , както и след прилагане на beam swapping техника.

където $q_{zpol}(\lambda)$ и $u_{zpol}(\lambda)$ са стоксовите параметри на нулевия поляриметричен стандарт.

Корекцията за хроматизъм на $\lambda/2$ пластицата се прави като се използва функция, която зависи от дължината на вълната. От наблюдаваните позиционни ъгли на звездите с висока степен на поляризация изваждаме съответните

им стойности на дължина на вълната $\lambda \approx 5500\text{\AA}$. Така се получават “приравнени” позиционни ъгли за различните стойности. Събират се медианно всички стойности, с които разполагаме и получените данни се фитират с полином от висока степен. Получената функция $achrom(\lambda)$ има вида, представен на фигура 4.2 а. На фигура 4.2 б е представен позиционния ъгъл на LSI +5979 преди и след корекция за хроматична оберация. Корекцията се прави като се използват следните уравнения:

$$q_{achrom}(\lambda) = \cos[2achrom(\lambda)]q_{corr}(\lambda) + \sin[2achrom(\lambda)]u_{corr}(\lambda), \quad (4.10)$$

$$u_{achrom}(\lambda) = -\sin[2achrom(\lambda)]q_{corr}(\lambda) + \cos[2achrom(\lambda)]u_{corr}(\lambda), \quad (4.11)$$

От получените стойности за $q_{achrom}(\lambda)$ и $u_{achrom}(\lambda)$ се пресмятат степента на поляризация - $P_{achrom}(\lambda)$ и позиционният ъгъл - $\Theta_{achrom}(\lambda)$.

Чрез наблюденията на стандартни звезди с нулева степен на поляризация коригираме инструменталната поляризация. Стандартните звезди с висока степен на поляризация са нужни от една страна да се сравнят стойностите, които се получават, с каталожните стойности на степента на поляризация. Наблюденият позиционен ъгъл е отместен спрямо каталожния и това е последната корекция, която трябва да се извърши. Отместването може да се дължи както на неточно позициониране на инструмента FoReRo2, така и на отместване на нулпункта на $\lambda/2$ пластината. Корекция за позиционния ъгъл се прави със следните уравнения:

$$q_\lambda = P_{achrom}(\lambda)\cos[2(\Theta_{achrom}(\lambda) - \Delta\Theta)], \quad (4.12)$$

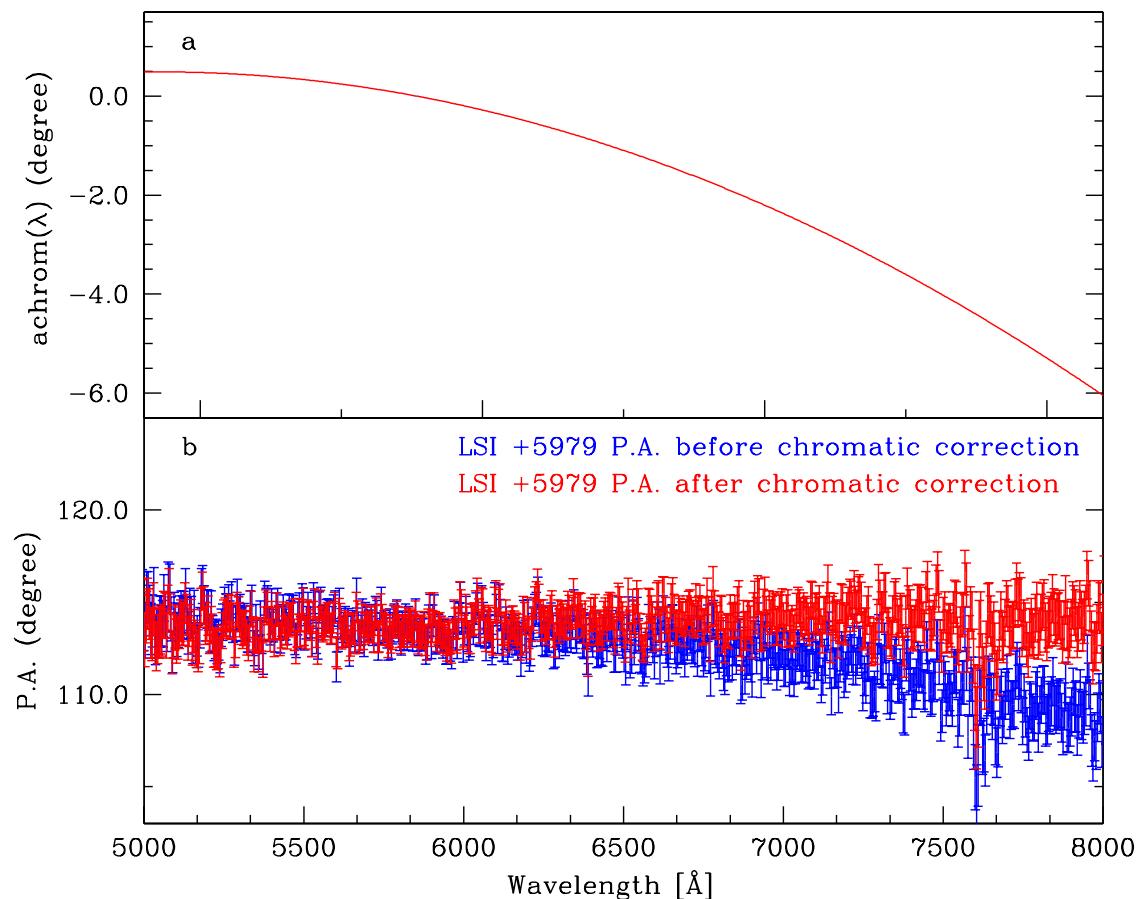
$$u_\lambda = P_{achrom}(\lambda)\sin[2(\Theta_{achrom}(\lambda) - \Delta\Theta)], \quad (4.13)$$

$$\Theta_\lambda = \Theta_{achrom}(\lambda) - \Delta\Theta, \quad (4.14)$$

където q_λ и u_λ са параметрите на Стокс. Θ_λ е позиционният ъгъл, коригиран за отместването, а $\Delta\Theta$ е разликата между наблюдаваните и каталожни стойности.

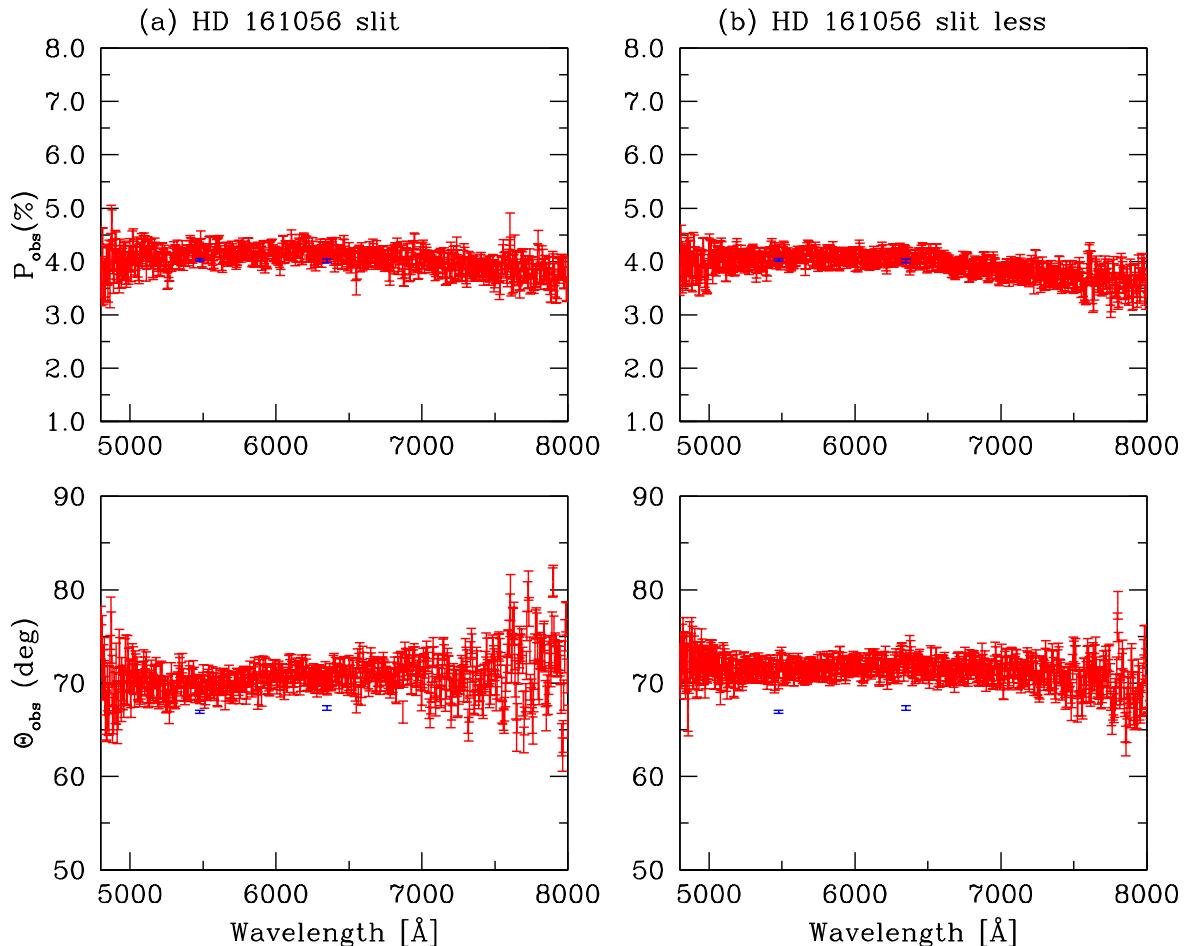
Има два начина, по които са получени спектрополяриметрични наблюдения - с и без процеп. Има разлика между резултатите, получени с процеп, преди и след алуминизацията на главното огледало.

Преди алуминизация на главното огледало на 2.0m телескоп няма разлика при наблюденията с и без процеп. На фигура 4.3 са представени наблюденията на стандартна звезда с висока степен на поляризация - HD 161056 с процеп (a) и без процеп (b), получени преди алуминизацията на главното огледало. Сините стойности представляват каталожните стойности на степента на поляризация и позиционния ъгъл (Schmidt et al., 1992). И в двата случая на наблюдение стойностите, които получаваме, съвпадат с каталожните стойности. Отместването от позиционния ъгъл $\Delta\Theta$ използваме като корекция във формули 4.12, 4.13 и 4.14



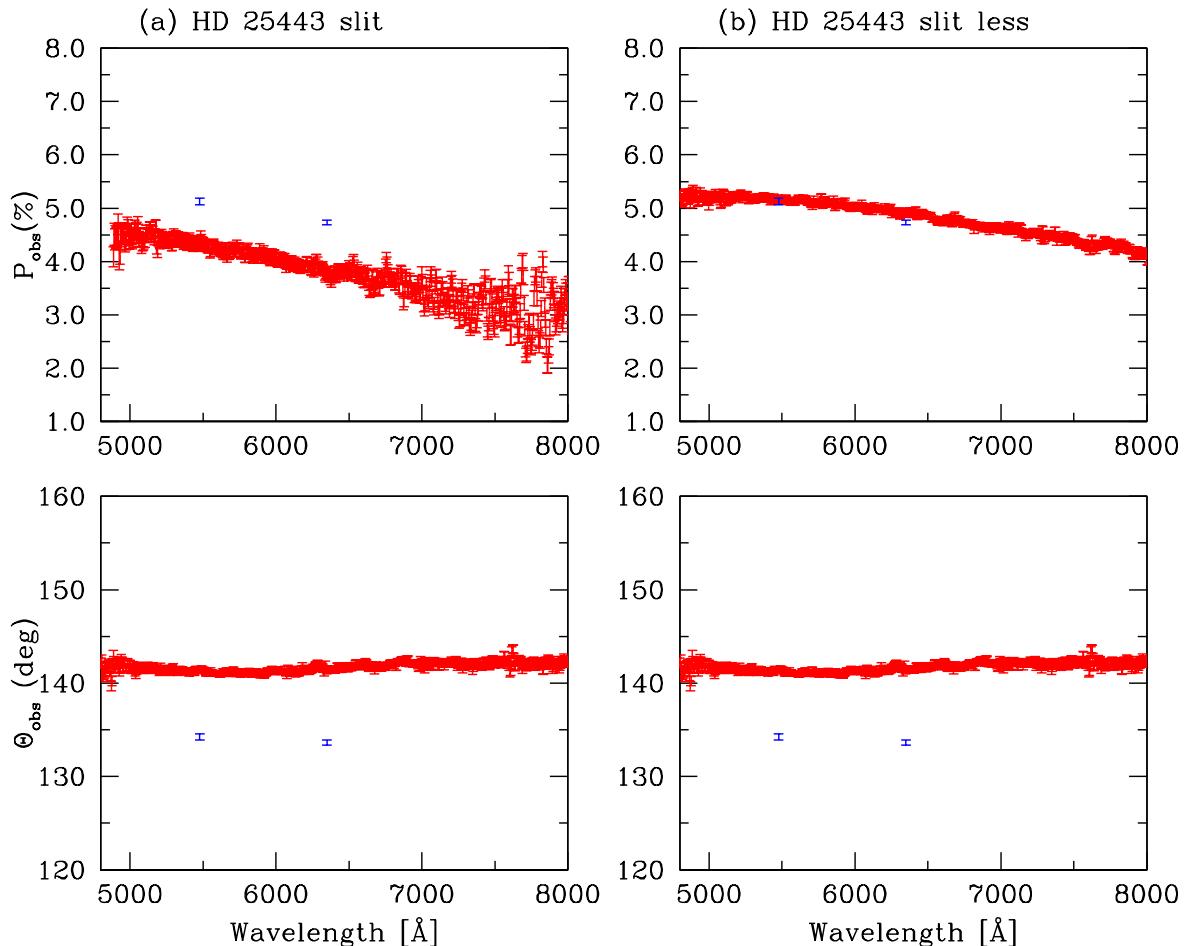
Фигура 4.2: Корекционна функция за хроматизъм на $\lambda/2$ пластиината-а, позиционен ъгъл преди и след корекция за хроматизъм - б.

След алуминизацията на главното огледало на 2.0m телескоп има съществена разлика при наблюденията с и без процеп. На фигура 4.4 са представени наблюденията на стандартна звезда с висока степен на поляризация - HD 25443 с процеп (а) и без процеп (б) след алуминизацията на главното огледало. Сините точки представляват каталожните стойности на степента на поляризация и позиционния ъгъл (Schmidt et al., 1992; Turnshek et al., 1990). В случая на



Фигура 4.3: Стандартна звезда с висока степен на поляризация - HD 161056. На фигурата са представени наблюдения с процеп (а) и без процеп (б). Сините точки представляват стойностите на степента на поляризация и позиционния ъгъл във филтри V и R.

наблюдения с процеп, резултатите, които се получават, силно се различават от каталожните стойности. При безпроцепните наблюдения имаме добро съвпадение с каталожните стойности. Методиката на обработка на данни преди и след алюминизацията е една и съща. Разликата идва от това, че при наблюдения с процеп има инструментална поляризация, която не може да се коригира правилно с наблюдения на стандартна звезда с нулева степен на поляризация.



Фигура 4.4: Стандартна звезда с висока степен на поляризация - HD 25443. На фигурата са представени наблюдения с процеп (а) и без процеп (б). Сините точки представляват стойностите на степента на поляризация и позиционен ъгъл във филтри V и R съответно.

За всички стандартни звезди с нулева степен на поляризация, които сме наблюдавали в период от около 3 години, на фигура 4.5 е представена Q - U диаграма на средните стойности на наблюдаваните Стоксови параметри \bar{Q} и \bar{U} в интервал от дължина на вълната между 5500 Å и 7500 Å. С червено са отбелязани наблюденията с процеп преди алуминизацията на главното огледало. Със синьо са отбелязани наблюденията с процеп след алуминизация на главното огледало.

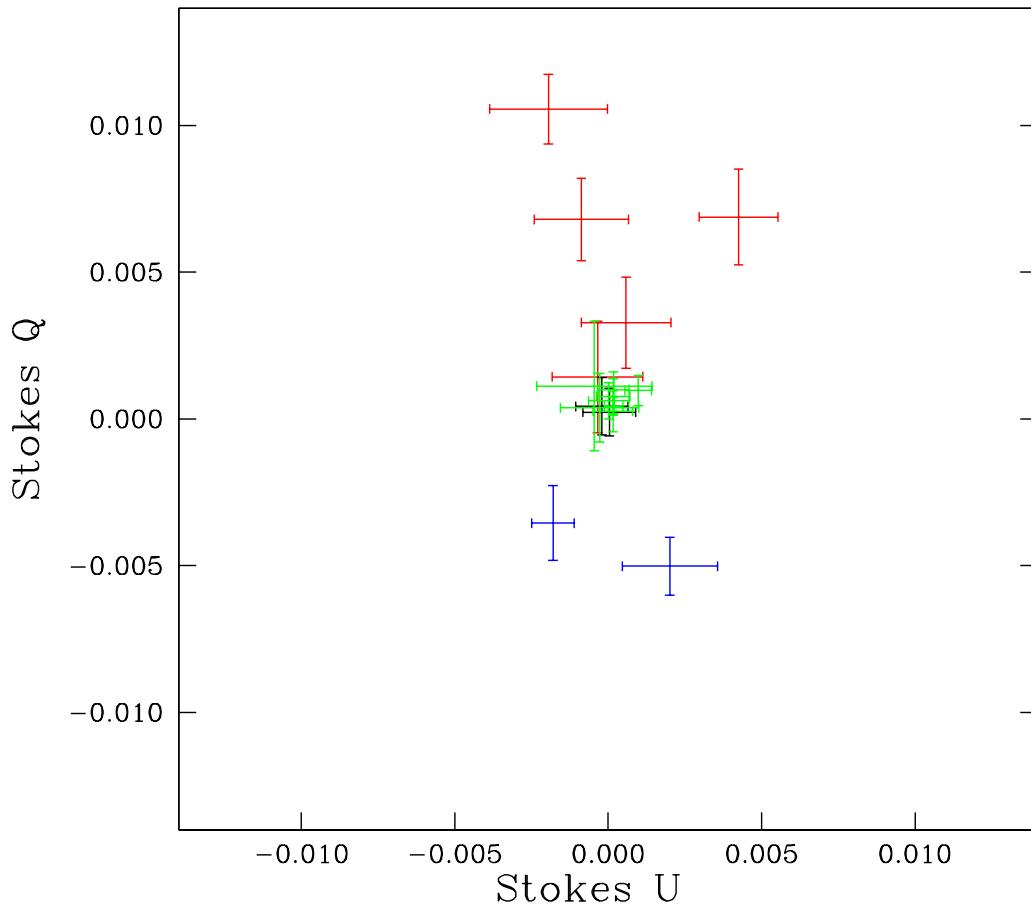
ледало. С черно и зелено са отбелязани безпроцепните наблюдения, съответно преди и след алуминизацията на главното огледало. От графиката се вижда, че стойностите на Стоксови параметри Q и U на спекрите, получени без процеп, са разположени много по-близко до нулата. Със стойностите, получени с процеп след алуминизацията на главното огледало на 2.0m телескоп (оцветени в синьо), не можем правилно да коригираме за инструментална поляризация. Във всички останали случаи методиката работи.

Основният извод, който може да се направи в момента, при наличие на кома на телескопа от недобра юстировка след алуминизация на главното огледало на 2.0m телескоп, единствения начин, при който може да се компенсира правилно инструменталната поляризация е безпроцепни спектрополяриметрични наблюдения. Предимствата са по-кратки експозиции, повече сигнал, по-лесно центриране на обекта в маската. Недостатът е влошената спектрална разделителна способност, в сравнение със спектрополяриметричните наблюдения, получени с процеп.

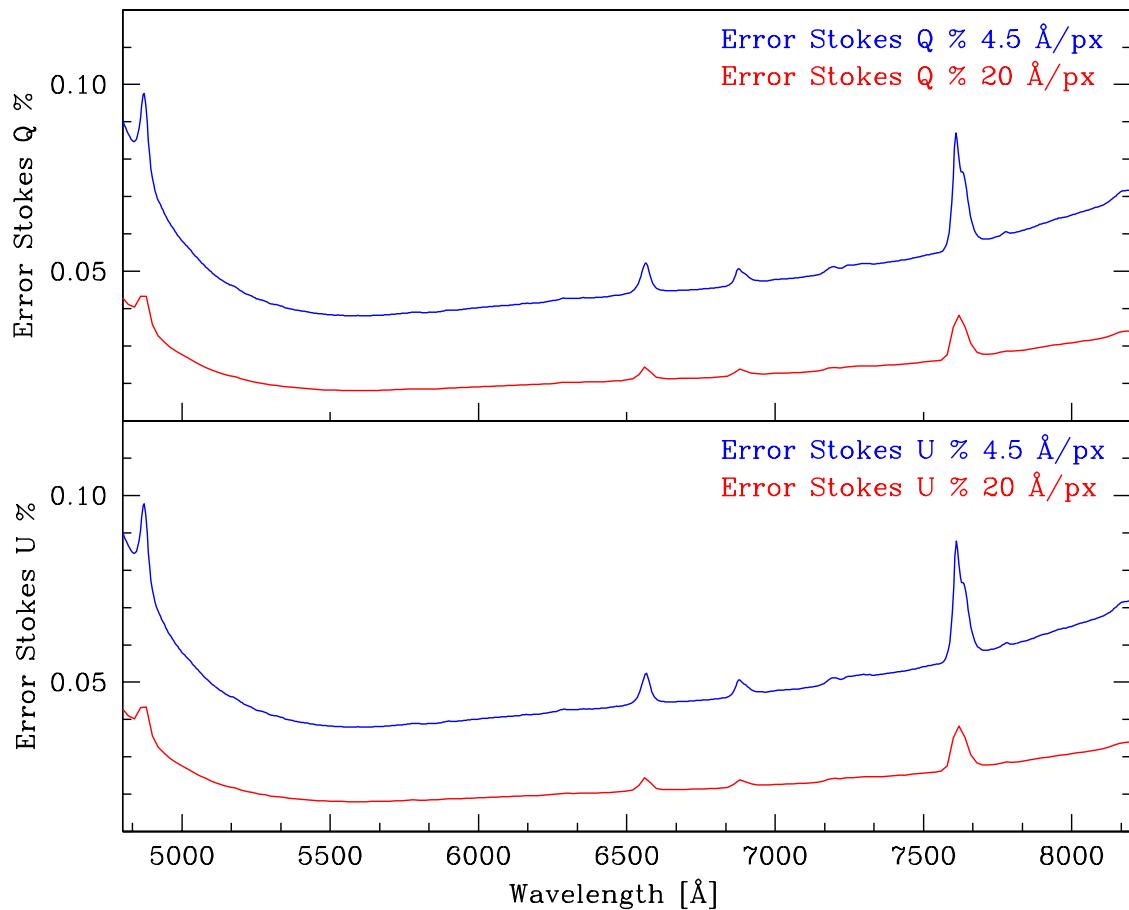
Възможностите на инструмента за спектрополяриметрични наблюдения се определят от следните ограничения:

- спектрална разделителна способност
- времева разделителна способност
- точност на спектрополяриметричните наблюдения.

В момента единствената техника, която работи е безпроцепна спектрополяриметрия. Безпроцепната спектрополяриметрия намалява спектрална разделителна способност в сравнение с използването на спектрополяриметрия с процеп. Времевата разделителна способност се определя от яркостта на обекта и точността, която искаме да постигнем. За илюстрация на възможностите на спектрополяриметрични наблюдения с FoReRo2 на фигура 4.6 са представени грешките в Стоксови параметри Q и U при дисперсия $4.5 \text{ \AA}/\text{px}$ и $20 \text{ \AA}/\text{px}$ за звездата HD 21447 (Turnshek et al., 1990). Звезда е с нулева степен на поляризация и звездна величина $V = 5.09^m$ (Oja, 1993), наблюдавана в нощта на 06/07 декември 2018 г. като пълното време за експонация за 8-те ъгъла на $\lambda/2$ пластината е 160s.



Фигура 4.5: На фигурата са представени средните стойности на наблюдаваните Стоксови параметри \bar{Q} и \bar{U} за звезди с нулева степен на поляризация в интервал от дължина на вълната между 5500 Å и 7500 Å. С червено и черно са отбелязани получените наблюдения преди алуминизацията на главното огледало, съответно с и без процеп. Със синьо и зелено са отбелязани получените наблюдения след алуминизацията на главното огледало, съответно с и без процеп.



Фигура 4.6: Грешки в Стоксови параметри Q и U за звездата HD 21447 ($V = 5.09^m$) при дисперсия $4.5 \text{ \AA}/\text{px}$ и $20 \text{ \AA}/\text{px}$.

Глава 5

Спектрополяриметрични наблюдения на Ве рентгенови двойни звезди

Възникване на линейна поляризирана светлина при Ве рентгенови двойни звезди се дължи на диска около звездата донор. Когато неполяризираната светлина се разсейва от свободни електрони (Томпсъново разсейване) в диска на звездата, разсияната светлина е линейно поляризирана. Наблюдаваната поляризация от обектите е векторна сума от собствената за тях поляризация и междузвездна поляризация. За да получим стойности на собствената поляризация при обектите, е необходимо да се извади векторно междузвездната поляризация. Изследване на зависимостта на степента на поляризация от дължината на вълната за междузвездна поляризация има отразени в няколко статии (Serkowski, 1971, 1973; Serkowski et al., 1975). Емпиричният закон, описващ междузвездната поляризация, носи името на Серковски и има следния вид:

$$P_{ISP}(\lambda) = P_{max} \exp(-K \ln^2 \frac{\lambda_{max}}{\lambda}), \quad (5.1)$$

където : $P_{ISP}(\lambda)$ е в проценти и е за дължина на вълната λ . P_{max} е максималната степен на поляризация за дължина на вълната λ_{max} . Първоначално за стойността на параметъра К Серковски приема $K=1.15$ (Serkowski, 1973;), което е осреднена стойност за голям брой звезди. Тази стойност на параметъра К добре описва наблюденията в диапазон между 3600 Å и 10000 Å. Параметърът P_{max} се асоциира с поляризационните свойства на праховите зърна на междузвездната среда и тяхната колонкова плътност, докато параметърът λ_{max} е свързан с размера на тези прахови зърна (Coyne et al., 1974; Serkowski et al., 1975). Изследвайки 105 звезди в интервала от дължини на вълната между 0.36 μm и 2.0 μm Whittet et al. (1992), намират следната линейна зависимост между параметрите K и λ_{max} :

$$K = 0.01 \pm 0.05 + (1.66 \pm 0.09)\lambda_{max} \quad (5.2)$$

като стойността на λ_{max} е в μm.

На Фиг. 5.1 са представени стойностите за параметрите K и λ_{max} за различните

обекти. Представените грешки за обектите са в интервал 3σ . Непрекъснатата червена линия отразява уварнение 5.2, като двете непрекъснати черни линии са грешките на уравнението в интервал 3σ . На фигурата се забелява, че има рязко отклонение от тази зависимост при обектите MWC 656, X Per, LSI+61⁰303 и за някои стойности за LSI + 59 79. Това показва наличието на вътрешна поляризация при тези обекти. Стойността за MWC 148 е много близко до стойността, описана от учавнение 5.2, но при тази звезда имаме деполяризиращ ефект в линията H_α , което също е доказателство за наличието на присъща за звездата поляризация.

На базата на анализ на около 5500 звезди, Fosalba et al. (2002) намира корелация между $P(\%)$ и $E(B-V)$:

$$P(\%) \approx 3.5E(B - V)^{0.8} \quad (5.3)$$

5.1 LSI+61⁰303

За да определим присъщите на системата степен на поляризация и позиционен ъгъл, трябва да познаваме Стоксовите компоненти Q_λ и U_λ на междузвездната среда. Компонентите в закона на Серковски за междузвездната среда са $P_{peak} = 2.20 \pm 0.18\%$, $K = 0.92 \pm 0.1$, позиционният ъгъл е $\theta = 126.5 \pm 3.7$ (Nagae et al., 2009). От тях определяме Стоксовите компоненти Q_λ и U_λ на междузвездната среда. За да определим Стоксовите параметри, присъщи на системата (q_{int} и u_{int}) на LSI+61⁰303, използваме уравненията:

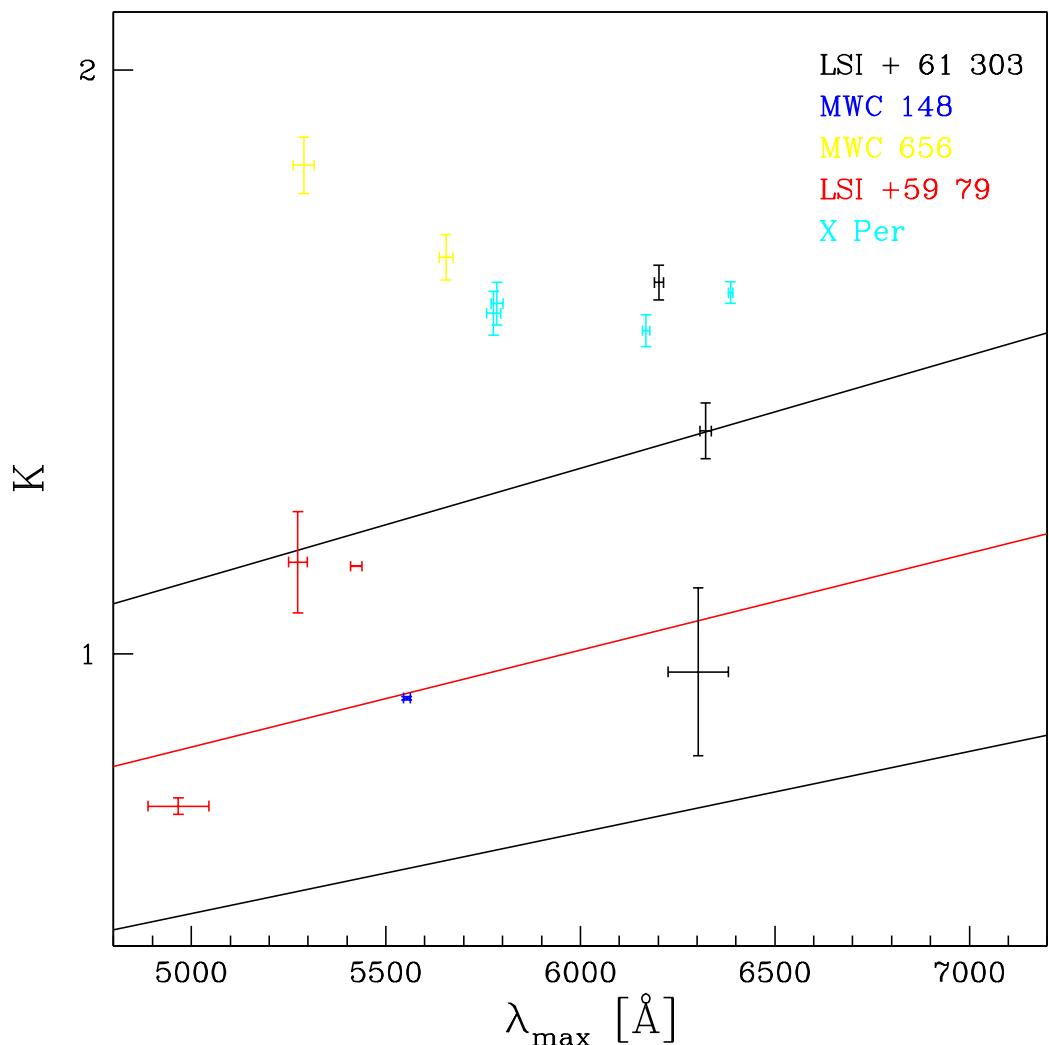
$$q_{obs}(\lambda) = q_{int}(\lambda) + P_{ISP}(\lambda) \cos 2\theta_{ISP}, \quad (5.4)$$

$$u_{obs}(\lambda) = u_{int}(\lambda) + P_{ISP}(\lambda) \sin 2\theta_{ISP}, \quad (5.5)$$

където q_{obs} и u_{obs} са наблюдаваните Стоксови параметри. P_{ISP} и θ_{ISP} са съответно степен на поляризация и позиционен ъгъл на междузвездната поляризация. След това пресмятаме степента на поляризация $P_{int}\%$ и позиционния ъгъл θ_{int} на LSI+61⁰303. Стойностите, които получаваме за LSI+61⁰303 са близки до тези, публикувани от Nagae et al. (2006, 2009). На фигура 5.2 са представени собствените степен на поляризация и позиционен ъгъл на LSI+61⁰303, след корекция за междузвездна поляризация, като са използвани уравнения 5.4 и 5.5.

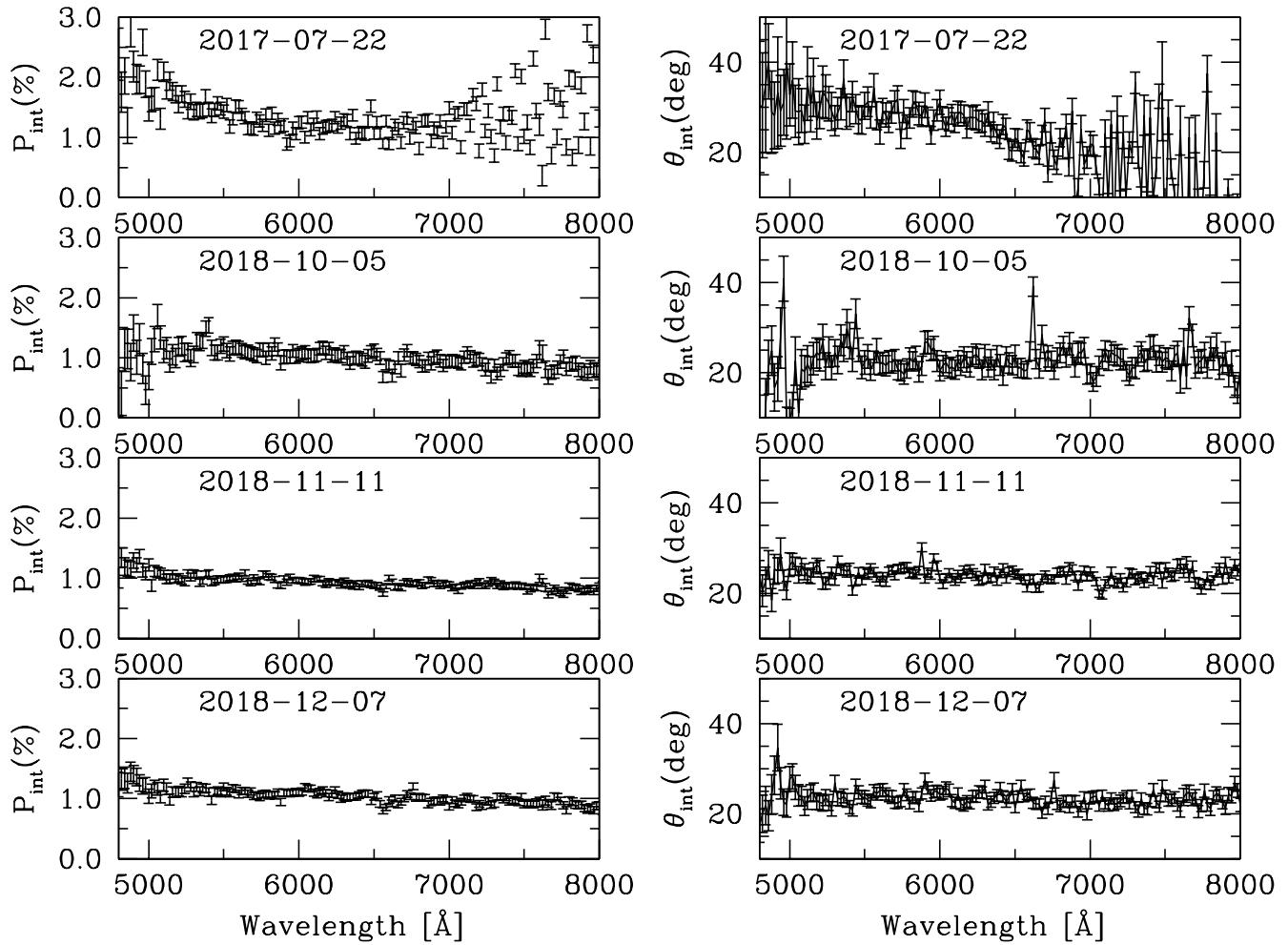
5.2 MWC 148

На базата на изследване на поляризирана светлина от звезди в околността на MWC 148 включващо 28 звезди разположени на ъглово отстояние до три градуса около MWC 148, Yudin (2014) получава следните стойности за параметрите



Фигура 5.1: Връзката между параметрите K и λ_{max}

на междузвездната среда: $p_{is} \approx 2\%$ и $\Theta_{is} \approx 165^0$. Интересно е да се отбележи, че изследването му включва звезди до разстояние 1.5 кpc. След векторно изваждане на стойностите за междузвездна поляризация, се получава стойнос-



Фигура 5.2: Степен на поляризация и позиционен ъгъл на LSI+61⁰303 след корекция за междузвездна поляризация

тите за вътрешноприсъща поляризация до обекта: $p_{cs} \approx 1.5 - 2\%$ и $\Theta_{cs} \approx 165^0$ (cs=circumstellar, Yudin, 2014). Разстоянието до обекта според Gaia Data Release 2 е $2.555^{+0.333}_{-0.266}$ кpc, което навежда на мисълта, че може да се очаква по-висока стойност за междузвездната поляризация. Екстинкцията до MWC 148 е $E(B-V) = 0.764 \pm 0.055$, като просметнатата чрез тази ексинкция поляризация, която се дължи на междузвездната среда е $P(\%) = 2.82 \pm 0.16$. Като използваме тази стойност за оценка на междузвездната поляризация до MWC 148 и поради факта, че позиционните ъгли на вектора на поляризация на междузвездната среда и

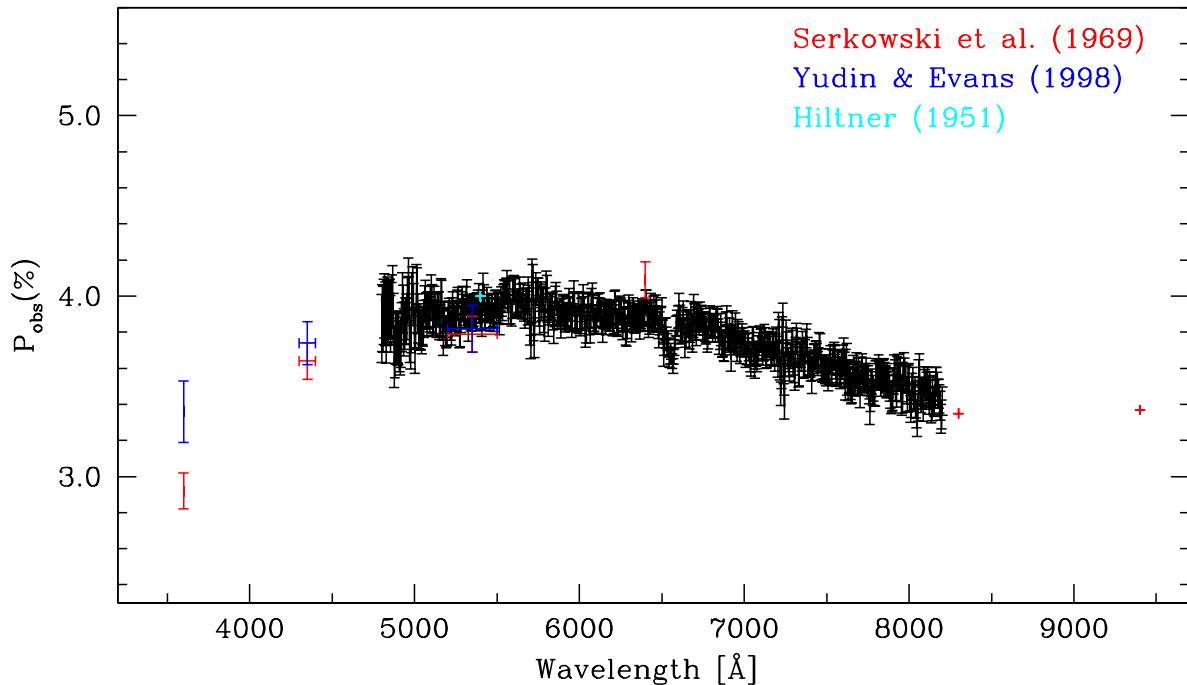
вътрешно-присъщата поляризация на обекта са много близки, това ни позволява да вадим стойностите на p_{obs} и p_{is} като числа. На базата на тези допускания, получаваме за присъщата поляризация за обекта стойност: $p_{cs} \approx 1\%$. Наблюдава се деполяриращ ефект в линията H_α , което е индикация за присъствие на собствена за обекта поляризация.

Поляриметрични наблюдения на MWC 148 има посочени в работите на: Hiltner (1951); Serkowski et al. (1969) и Yudin & Evans (1998). Coyne et al. (1974) дават стойности за $\lambda_{max} = 6200 \text{ \AA}$ и $P_{max} = 4.05\%$. На фигура 5.3 са представени получените от нас данни, сравнени с публикуваните по-рано в литературата. В рамките на грешката имаме добро съвпадение в областта на ефективната дължина на вълната на филтър V. Има загатнати възможности за краткосрочна променливост в степента на поляризация в рамките на часове от Yudin & Evans (1998). Краткосрочната променливост говори за промени близко до самата звезда, докато дългосрочната променливост е индикация за глобално преразпределение на веществото на по-далечни разстояния от звездата. Интерес представляват бъдещи изследвания на тази звезда и особено тези, съсредоточени около линията H_α , което би ни дало възможност да изследваме по-точно компонентите на междузвездната поляризация до обекта.

5.3 MWC 656

Изследване за междузвездната поляризация до MWC 656 правим чрез изследване на степента на поляризация и позиционен ъгъл на звезди, разположени на ъглово отстояние до 10 градуса около MWC 656 и разстояние сравнимо с обекта. В таблица 5.1 са представени данни за степен на поляризация и позиционен ъгъл на звезди в околността на MWC 656. Разстоянията до звездите са взети от Gaia DR2 каталог. Данните за степен на поляризация и позиционния ъгъл са взети от каталога на Heiles (2000). Средните стойности за степен на поляризация и позиционен ъгъл за MWC 656, представени в таблицата са за интервала от дължини на вълната между 5000\AA и 6000\AA . Стойностите са осреднени за трите наблюдения, които имаме.

В околността на MWC 656 няма много звезди на подобно разстояние, затова сме взели разстояние от 3σ и 5σ съответно. Оценката за позиционния ъгъл при тези двете извадки от звезди е сходна, като в случая отклонението от средната стойност е голямо. Отклонението от средната стойност на поляризацията при тези звезди също е голяма. Затова изборът ни за оценка на междузвездната поляризация до MWC 656 е чрез уравнение 5.3, като стойността за екстинкцията до MWC 656 е взета от таблица 2.3. $E(B-V) = 0.269 \pm 0.019$ и от тук получаваме $P(\%) = 1.22 \pm 0.07$. За позиционен ъгъл, използваме стойността на позиционния ъгъл на звезди до разстояние 3σ . За трите наблюдения на MWC 656 се забелязва малка промяна в наблюдаваните $P_{obs}(\%)$ и Θ_{obs} , което е показателно за наличие на вътрешна поляризация при обекта. В таблица 5.2 са показани



Фигура 5.3: Сравнение на получените данни за степен на поляризация на MWC 148 с публикувани по-рано данни в литературата.

стойности за оценката на вътрешната поляризация при MWC 656, на базата на горните съображения.

За да пресметнем орбиталната фаза на системата използваме период от $P_{orb} = 60.37 \pm 0.04$ дни (Williams et al., 2010). В таблица 5.3 са показани стойности за орбиталната фаза, степента на поляризация, позиционния ъгъл и $EW(H\alpha)$. Системата загатва за променливост, която зависи от орбиталната фаза. Голямата грешка при \overline{P}_{int} , се дължи на грешката при $\overline{\Theta}_{isp}$, с която пресмятаме Стоксовите параметри на междузвездната среда. По-показателно за променливост е $\overline{\Theta}_{obs}$, какъвто случай имаме също и при X Per. MWC 656 също показва променливост в $EW(H\alpha)$, което също изглежда да има връзка с вътрешноприсъщата степен на поляризация при системата. MWC 656 е перспективен обект за изследване с инструмента FoReRo2.

Таблица 5.1: Степен на поляризация и позиционен ъгъл за звезди в околността на MWC 656 .

| Object | Distance pc | $\overline{P}(\%)$ (a) | $\overline{P.A.}$ (deg.) (b) |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| MWC 656 | 2237.43^{+184}_{-158} | 0.56 ± 0.04 | 34.2 ± 4.3 |
| Object | Брой с разстояние звезди | \overline{r} pc | $\overline{P}(\%)$ $\overline{P.A.}$ (deg.) |
| до 3σ около MWC 656 | 9 | 2558.11 ± 317.798 | 1.722 ± 0.745 |
| до 5σ около MWC 656 | 19 | 2445.89 ± 562.602 | 1.974 ± 0.896 |

Note: (a) $\overline{P}(\%)$ за интервала от дължини на вълната между 5000\AA и 6000\AA ;
 (b) $\overline{P.A.}$ (deg.) за интервала от дължини на вълната между 5000\AA и 6000\AA

Таблица 5.2: Вътрешна поляризация при MWC 656.

| P_{obs} (%) (a) | Θ_{obs} (deg.) (a) | P_{is} (%) (b) | Θ_{is} (deg.) (b) | P_{int} (%) (c) | Θ_{int} (deg.) (c) |
|----------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
| 0.51 ± 0.08 | 35.5 ± 7.6 | 1.22 ± 0.07 | 46.8 ± 12.4 | 0.78 ± 0.19 | 144 ± 14.5 |
| 0.59 ± 0.05 | 37.7 ± 1.8 | 1.22 ± 0.07 | 46.8 ± 12.4 | 0.68 ± 0.19 | 144 ± 12.6 |
| 0.57 ± 0.04 | 29.5 ± 2.2 | 1.22 ± 0.07 | 46.8 ± 12.4 | 0.82 ± 0.25 | 148 ± 12.6 |

Таблица 5.3: Степен на поляризация и орбитална фаза на MWC 656.

| Date-obs yyyy-mm-dd | P_{obs} (%) | Θ_{obs} degree | Orb. phase | $EW(H\alpha)$ \AA | P_{is} (%) |
|------------------------|------------------|--------------------------|------------|-------------------------------|-----------------|
| 2017-07-20 | 0.51 ± 0.08 | 35.5 ± 7.6 | 0.06 | -22.94 ± 0.53 | 0.78 ± 0.19 |
| 2018-10-07 | 0.59 ± 0.05 | 37.7 ± 1.8 | 0.41 | -20.21 ± 0.59 | 0.68 ± 0.19 |
| 2018-11-11 | 0.57 ± 0.04 | 29.5 ± 2.2 | 0.99 | -24.90 ± 0.58 | 0.82 ± 0.25 |

Таблица 5.4: Степен на поляризация и позиционен ъгъл за звезди в околността на LSI +59 79.

| Object | Distance pc | $\overline{P}(\%)$ (a) | $\overline{P.A.}$ (deg.) (b) |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| LSI +59 79 | 2515.52^{+210}_{-180} | 4.04 ± 0.18 | 108.9 ± 2.2 |
| <hr/> | | | |
| Object | Брой с разстояние звезди | \overline{r} pc | $\overline{P}(\%)$ $\overline{P.A.}$ (deg.) |
| до 1σ около LSI +59 79 | 22 | 2652.45 ± 130.100 | 3.84 ± 0.83 |
| до 3σ около LSI +59 79 | 78 | 2554.56 ± 367.877 | 3.85 ± 1.19 |

Note: (a) $\overline{P}(\%)$ за интервала от дължини на вълната между 5000Å и 6000Å;
 (b) $\overline{P.A.}$ (deg.) за интервала от дължини на вълната между 5000Å и 6000Å

5.4 LSI +59 79

Изследване за междузвездната поляризация до LSI +59 79 правим чрез изследване на степента на поляризация и позиционен ъгъл на звезди разположени на ъглово отстояние до 10 градуса около и разстояние сравнимо с обекта. В таблица 5.4 са представени данни за степен на поляризация и позиционен ъгъл на звезди в околността на LSI +59 79. Разстоянията до звездите са взети от Gaia DR2 каталог. Данните за степен на поляризация и позиционен ъгъл са взети от каталога на Heiles (2000). Средните стойности за степен на поляризация и позиционен ъгъл за LSI +59 79, представени в таблицата са за интервала от дължини на вълната между 5000Å и 6000Å. Стойностите са осреднени за петте наблюдения, които имаме.

Оценката чрез E(B-V) до LSI +59 79 дава за $P(\%) = 2.25 \pm 0.08$, докато чрез фитиране на наблюдения със закона на Серковски се получава $P(\%) = 3.97 \pm 0.02$. Анализът на междузвездната поляризация чрез изследване на близко разположени звезди показва, че доминиращия компонент на наблюдаваната поляризация се дължи на междузвездната поляризация. Позиционните ъгли на звездите са сравнително еднородно ориентирани, като за LSI +59 79 имаме леко отклонение от общия тренд. В таблица 5.5 са представени резултатите за вътрешноприсъщата на LSI +59 79 степен на поляризация и позиционен ъгъл. Използвани са оценки за степен на поляризация и позиционен ъгъл за междузвездната среда съответно за звезди до разстояние 1σ (първи ред, колонка (b)) и 3σ (втори ред, колонка (b)). В колонка (a) са посочени наблюдаваните

Таблица 5.5: Вътрешна поляризация при LSI +59 79 .

| P_{obs} (%) (a) | Θ_{obs} (deg.) (a) | P_{is} (%) (b) | Θ_{is} (deg.) (b) | P_{int} (%) (c) | Θ_{int} (deg.) (c) |
|----------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
| 4.04 ± 0.18 | 108.9 ± 2.2 | 3.84 ± 0.83 | 103.7 ± 6.7 | 0.71 ± 0.85 | 144.4 ± 7.0 |
| 4.04 ± 0.18 | 108.9 ± 2.2 | 3.85 ± 1.19 | 102.3 ± 7.8 | 0.90 ± 1.20 | 145.4 ± 8.1 |

Note: (a) наблюдавани спечен на поляризация и позиционен ъгъл; (b) степен на поляризация и позиционен ъгъл за междузвездната среда съответно за звезди до разстояние 1σ и 3σ ; (c) вътрешноприсъщи за LSI +59 79 степен на поляризация и позиционен ъгъл.

степен на поляризация и позиционен ъгъл, като това са усреднени стойности от петте наблюдения в диапазона от дължина на вълната между 5000\AA и 6000\AA . В колонка (c) са представени резултатите за вътрешноприсъщите степен на поляризация и позиционен ъгъл. Получаваме стойности за P_{int} между $P_{int}=0.71 \pm 0.85$ и $P_{int}=0.90 \pm 1.20$. Грешката в случая по абсолютна стойност е по-висока от получения резултат и това се дължи най-вече на голямото отклонение от средната стойност за степента на поляризация на междузвездната среда, която използваме за оценка на грешката при съответните пресмятания.

5.5 X Per

Наблюденията на X Per обхващат периода от 2015-11-11 до 2018-12-07. За това време са получени седем наблюдения като в тях се забелязва промяна на наблюдаваните степен на поляризация $P_{obs}(\%)$ и позиционен ъгъл Θ_{obs} .

В таблица 5.6 са представени средните стойности за наблюдаваните $\overline{P_{obs}}$ и $\overline{\Theta_{obs}}$ и собствените за системата $\overline{P_{int}}$ и $\overline{\Theta_{int}}$. Средните стойности на представените величини са в интервал от дължина на вълната между 5000\AA и 6000\AA . В последната колонка са представени данни за $EW(H\alpha)$. В таблица 5.6 се забелязват промени в наблюдаваните $\overline{P_{obs}}$ и $\overline{\Theta_{obs}}$. Използваме данни за междузвездната среда, публикувани от Roche et al.(1997) за да пресметнем Стоксовите параметри $q_{int}(\lambda)$ и $u_{int}(\lambda)$, присъщи на системата, както и $P_{int}(\lambda)$ и $\Theta_{int}(\lambda)$.

Съществува корелация между $\overline{P_{int}}$ и $EW(H\alpha)$. Чрез фитиране на данните с уравнение от вида $y=a+bx$, получихме следната зависимост:

$$P_{int}(\%) = (-0.031821 \pm 0.000139)EW(H\alpha). \quad (5.6)$$

От получената зависимост може да се направи извода, че областта, в която се формира $H\alpha$ линията е същата, която води до това да се наблюдава поляризирана светлина от X Per.

Таблица 5.6: Степен на поляризация, позиционен ъгъл и $\text{EW}(H\alpha)$ на X Per.

| Date-obs yyyy-mm-dd | P_{obs} (%) | Θ_{obs} degree | P_{int} (%) | Θ_{int} degree | $\text{EW}(H\alpha)$ \AA |
|------------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 2015-11-11 | 0.71 ± 0.10 | 26.5 ± 4.4 | 1.15 ± 0.11 | 167.3 ± 2.6 | -37.7 ± 1.4 |
| 2016-11-02 | 0.81 ± 0.13 | 36.6 ± 4.5 | 0.89 ± 0.12 | 170.9 ± 4.0 | -34.0 ± 1.8 |
| 2018-02-16 | 0.92 ± 0.06 | 49.3 ± 2.3 | 0.48 ± 0.07 | 175.9 ± 1.8 | -17.5 ± 0.6 |
| 2018-10-05 | 0.82 ± 0.06 | 43.7 ± 2.5 | 0.68 ± 0.06 | 169.7 ± 2.4 | -20.5 ± 1.2 |
| 2018-10-07 | 0.92 ± 0.05 | 46.2 ± 2.1 | 0.59 ± 0.07 | 173.1 ± 2.7 | -20.8 ± 0.6 |
| 2018-11-11 | 0.92 ± 0.07 | 42.7 ± 2.1 | 0.69 ± 0.07 | 174.2 ± 2.4 | -20.8 ± 0.6 |
| 2018-12-07 | 0.89 ± 0.05 | 37.7 ± 1.9 | 0.80 ± 0.06 | 173.4 ± 1.7 | -20.0 ± 0.4 |

Глава 6

Основни резултати и приноси

6.1 Основни резултати и приноси

Основните резултати и приноси от дисертацията са:

- Определена е междузвездната екстинкция до 9 Ве рентгенови двойни звезди чрез използване на междузвездната К I линия и междузвездните DIB ивици на 5997Å, 5780Å и 6613Å.
- Определен е размерът на диска при Ве звездите в системите LSI+61°303, MWC 148 и MWC 656. При LSI+61°303 неутронната звезда пресича диска при периастър, но не навлиза много надълбоко в диска; при MWC 148 по време на периастър компактния обект навлиза в най-вътрешните части на диска; при MWC 656 черната дупка акретира вещества от най-външните части на диска. Хистограмите при трите звезди показват, че размерът на диска е отрязан от компактния обект по време на орбиталното му движение.
- Изследван е инструментът FoReRo2 в спектрополяриметричен режим на наблюдения. Описани са възможностите на инструмента. Дискутирана е методиката на обработка на спектрополяриметрични наблюдения и са написани скриптове за обработка на този тип наблюдения. Анализът на инструмента FoReRo2 в режим на спектрополяриметрични наблюдения показва, че с него може да се получава наблюдателен материал с научна стойност.
- Получени са спектрополяриметрични наблюдения на X Per, LSI+61°303, MWC 148, MWC 656 и LSI+5979. Предимство на нашите наблюдения е, че за разлика от поляриметрията, може да изследваме W_α , която е свързана с размера на диска.

- Оценена е междузвездната поляризация до MWC 656 и LSI+5979. Анализирани са причините за възникване на междузвездна поляризация. Оценена е вътрешноприсъщата поляризация при X Per, LSI+61°303, MWC 148, MWC 656 и LSI+5979. При LSI+61°303 и LSI+5979 не се наблюдава променливост по време на нашите наблюдения. При X Per и MWC 656 се наблюдава корелация между вътрешноприсъщата поляризация на обектите и $EW(H_\alpha)$.

6.2 Публикации по дисертацията

Резултати от дисертацията са отразени в следните публикации:

1. Nikolov, Y. M.; Golev, V.; Borisov, G.; Zamanov, R. K.; Tasheva, A.; Boeva, S., 2018, A&AT, 30, 40N - Spectropolarimetric observations of the Be/X-ray binary star LSI+61 303
2. Nikolov, Y. M.; Zamanov, R. K.; Stoyanov, K. A.; Martí J., 2017, BlgAJ, 27, 10N - Interstellar extinction toward Be/X-ray binary stars
3. Zamanov, R. K.; Stoyanov, K. A.; Martí J.; Latev, G. Y.; Nikolov, Y. M.; Bode, M. F.; Luque-Escamilla, P. L., 2016, A&A, 593A, 97Z - Optical spectroscopy of Be/gamma-ray binaries
4. Zamanov, R. K.; Boeva, S.; Latev, G. Y.; Martí J.; Boneva, D.; Spassov, B.; Nikolov, Y.; Bode, M. F.; Tsvetkova, S. V.; Stoyanov, K. A., 2018, MNRAS, 480, 1363Z - The recurrent nova RS Oph: simultaneous B- and V- band observations of the flickering variability
5. Nikolov, Y. M.; Zamanov, R. K.; Stoyanov, K. A., Ac.A. - Spectropolarimetric observations of the recurrent nova RS Oph, submitted.

6.3 Цитати

Забелязани са следните цитирания на статия 2016A&A...593A..97Z

1. Xing, Yi; Wang, Zhongxiang; Takata, Junpei, 2017, ApJ, 851, 92X - Superorbital Modulation at GeV Energies in the γ -Ray Binary LS I + 61 303
2. Li, Jian; Torres, Diego F.; Cheng, K.-S.; de Oña Wilhelmi, Emma; Kretschmar, Peter; Hou, Xian; Takata, Junpei, 2017, ApJ, 846, 169L - GeV Detection of HESS J0632+057
3. Malacaria, C.; Kollatschny, W.; Whelan, E.; Santangelo, A.; Klochkov, D.; McBride, V.; Ducci, L., 2017, A&A, 603A, 24M - Optical spectroscopy of the Be/X-ray binary V850 Centauri/GX 304-1 during faint X-ray periodical activity

4. Monageng, I. M.; McBride, V. A.; Coe, M. J.; Steele, I. A.; Reig, P., 2017, MNRAS, 464, 572M - On the relationship between circumstellar disc size and X-ray outbursts in Be/X-ray binaries

Забелязано е следното цитиране на статия 2018MNRAS.480.1363Z

1. Ilkiewicz, Krystian; Mikolajewska, Joanna; Miszalski, Brent; Gromadzki, Mariusz; Monard, Berto; Amigo, Pia, 2019arXiv190202621I LMC S154: the first Magellanic symbiotic recurrent nova

6.4 Участия на конференции

- 1) „Spectropolarimetric observations of Be/X-ray binary stars“, постер, представен на EWASS 2018, 3 – 6 April 2018, Liverpool, United Kingdom.
- 2) „Spectropolarimetric observation of RS Oph“, доклад, представен на XI Bulgarian - Serbian Astronomical Conference 14-18 May 2018, Belogradchik, Bulgaria.
- 3) “Spectropolarimetric observation of polarimetric standard stars”, постер, представен на XII годишна конференция на Съюза на астрономите в България, 5-8 октомври 2017г. гр., Ивайловград.
- 4) “Spectropolarimetric Observation of the Be/X-ray binary star LSI +61° 303 ”, постер, представен на X Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, June 2016, Belgrade, Serbia
- 5) „Определяне на междузвездната екстинция до избрани рентгенови-двойни звезди“, доклад, представен на XI годишна конференция на Съюза на астрономите в България, 14- 16 юли, 2016г., Кърджали.

6.5 Участие в докторантски школи

- 1) OPTICON Awareness conference and SREAC 7, Септември 2016, Охрид, Македония.
- 2) Училище за докторанти „The current and future observing facilities: a guided tour“, Белград, Сърбия, 2-7 септември 2018г.

6.6 Изнесени семинари и доклади

В чужбина:

- 1) Изнесен семинар на тема: „Bulgarian National Astronomical Observatory Rozhen and its opportunities from students training to top science research“, 24 октомври 2018 г., обсерваторията в град Арма, Северна Ирландия.
- 2) Изнесен доклад на тема „Optical spectropolarimetric observation of Be/X-ray stars“ на докторантско училище „The current and future observing facilities: a guided tour“, проведено в град Белград, 2-7 септември 2018г., Сърбия.

Изнесени доклади пред специализираното научно звено:

- 1) Изнесен доклад на тема: „Спектрополяриметрични наблюдения на рентгенови двойни звезди“, Копривщица, 26-27 юни, 2018г., работна среща на Институт по Астрономия с НАО.
- 2) Изнесен доклад на тема: „Спектрополяриметрични наблюдения на массивни рентгенови двойни звезди“, на работен семинар на Институт по Астрономия с НАО, проведена във Велинград, 26-29 ноември 2018г.
- 3) Изнесен доклад на тема: „Спектрополяриметрични наблюдения на стандартни звезди“, на работен семинар на Институт по Астрономия с НАО, проведена на Витоша, 9-10 ноември 2017г.

Работни посещения в чужбина

- 1) 16 септември – 9 октомври 2017г., обсерватория в град Арма, Северна Ирландия.
- 2) 14-31 октомври 2018г., обсерватория в град Арма, Северна Ирландия.

6.7 Благодарности

На първо място дължа признателност и благодарности към научния си ръководител проф. дфн. Радослав Заманов, както за наученото от него, така и за подкрепата, която ми е оказвал в точните моменти, в които съм имал нужда. Специални благодарности имам към Кирил Стоянов, който често ми беше като енциклопедия по въпросите за рентгеново двойните звезди и не само. Наблюденията с ESpeRo са негово дело. Благодаря и за гостоприемството в обсерваторията Арма и наученото от Галин Борисов и Ставро Бануло. Двамата имат най-голям принос в усвояването на методиката за обработка на спектрополяриметрични наблюдения. Доц. Валери Голев допринесе с познанията си при ключовото разрешаване на проблема за картите на междузвездна поляризация при LSI + 59 79 и MWC 656. Наученото от него много ценя. Полезни бяха и дискусиите с проф. Таню Бонев и Пламен Николов, които много допринесаха да има функциониращ инструмент в поляриметричен режим на наблюдения. Безценни са дискусиите, които сме провели, както по време на тестове на инструмента, така и във всеки един момент, в който съм имал някакви въпроси. Валери Маринков и Румен Богдановски допринесаха с това да има функционираща $\lambda/2$ пластина. От всеки от наблюдалите, с които съм работил заедно на 2.0м телескоп по време на 14 годишната ми служба като оператор, съм научавал по нещо както за телескопа, така и за обектите, които са изследвали. Благодарности имам и към Георги Латев и Светлана Боева, за съдействие при оформяне на дисертацията и помош при участие в различни научни форуми. Посещението ми в обсерваторията в град Арма и част от средствата по техническото обезпечаване на докторантурата са осигурени от Програмата за подпомагане на млади учени и докторанти – 2017 г., договор № ДФНП – 17-5 / 24.07.2017 г. на тема: „Спектрополяриметрични изследвания на Ве-рентгенови двойни звезди“. Изследванията са частично финансиирани от договор КП-06-H28/2 от 08.12.2018 г., договор DN 08-1/2016г. и договор DN 18/13 от 12.12.2017 г., Фонд Научни Изследвания.

Представените изследвания в дисертацията, касаещи спектрополяриметричните изследвания на Ве рентгенови двойните звезди, са частично финансиирани по Национална програма “Млади учени и постдокторанти“, Министерство на образованието и науката, одобрена с РМС № 577 от 17 август 2018 година.

Глава 7

Библиография

- Aliu, E., Archambault, S., Aune, T., et al. 2014, ApJ, 780, 168
- Anupama, G. C., & Mikołajewska, J. 1999, A&A, 344, 177
- Aragona, C., McSwain, M. V., Grundstrom, E. D., et al. 2009, ApJ, 698, 514
- Aragona, C., McSwain, M. V., & De Becker, M. 2010, ApJ, 724, 306
- Bagnulo, S., Landolfi, M., Landstreet, J. D., et al. 2009, PASP, 121, 993
- Bagnulo, S., Fossati, L., Kochukhov, O., & Landstreet, J. D. 2013, A&A, 559, A103
- Beeckmans, F., & Hubert-Delplace, A. M. 1980, A&A, 86, 72
- Bongiorno, S. D., Falcone, A. D., Stroh, M., et al. 2011, ApJl, 737, L11
- Casares, J., Ribó, M., Ribas, I., et al. 2005, MNRAS, 364, 899
- Casares, J., Ribó, M., Ribas, I., et al. 2012, MNRAS, 421, 1103
- Casares, J., Negueruela, I., Ribó, M., et al. 2014, Nature, 505, 378
- Chaty, S. 2013, Advances in Space Research, 52, 2132
- Chevalier, C., & Illovaisky, S. A. 1998, A&A, 330, 201
- Coe, M. J., Reig, P., McBride, V. A., Galache, J. L., & Fabregat, J. 2006, MNRAS, 368, 447
- Coyne, G. V., Gehrels, T., & Serkowski, K. 1974, AJ, 79, 581
- Dobrzycka, D., & Kenyon, S. J. 1994, AJ, 108, 2259
- Everall, C., Coe, M. J., Norton, A. J., Roche, P., & Unger, S. J. 1993, MNRAS, 262, 57
- Fosalba, P., Lazarian, A., Prunet, S., & Tauber, J. A. 2002, ApJ, 564, 762
- Friedemann, C. 1992, Bulletin d'Information du Centre de Donnees Stellaires, 40, 31
- Giacconi, R., Gursky, H., Paolini, F. R., & Rossi, B. B. 1962, Physical Review Letters, 9, 439

- Giovannelli, F., Ferrari-Toniolo, M., Giangrande, A., et al. 1981, SSRv, 30, 407
- Grundstrom, E. D., & Gies, D. R. 2006, ApJl, 651, L53
- Grundstrom, E. D., Caballero-Nieves, S. M., Gies, D. R., et al. 2007, ApJ, 656, 437
- Harmanec, P. 2002, Exotic Stars as Challenges to Evolution, 279, 221
- Hanuschik, R. W. 1986, A&A, 166, 185
- Hanuschik, R. W., Kozok, J. R., & Kaiser, D. 1988, A&A, 189, 147
- Hanuschik, R. W. 1989, Ap&SS, 161, 61
- Heiles, C. 2000, AJ, 119, 923
- Hohle, M. M., Neuhäuser, R., & Schutz, B. F. 2010, Astronomische Nachrichten, 331, 349
- Howarth, I. D. 1983, MNRAS, 203, 801
- Huang, S.-S. 1972, ApJ, 171, 549
- Hutchings, J. B., & Crampton, D. 1981, PASP, 93, 486
- Janot-Pacheco, E., Motch, C., & Mouchet, M. 1987, A&A, 177, 91
- Liu, Q. Z., van Paradijs, J., & van den Heuvel, E. P. J. 2006, A&A, 455, 1165
- Liu, Q. Z., van Paradijs, J., & van den Heuvel, E. P. J. 2007, A&A, 469, 807
- Liu, Q. Z., & Yan, J. Z. 2005, NewA, 11, 130
- Lyubimkov, L. S., Rostopchin, S. I., Roche, P., & Tarasov, A. E. 1997, MNRAS, 286, 549
- McCuskey, S. W., Pesch, P., & Snyder, G. A. 1974, AJ, 79, 597
- McSwain, M. V., Grundstrom, E. D., Gies, D. R., & Ray, P. S. 2010, ApJ, 724, 379
- Mikołajewska, J., & Shara, M. M. 2017, ApJ, 847, 99
- Moritani, Y., Okazaki, A. T., Carciofi, A. C., et al. 2015, ApJl, 804, L32
- Munari, U., & Zwitter, T. 1997, A&A, 318, 269
- Nagae, O., Kawabata, K. S., Fukazawa, Y., et al. 2006, PASJ, 58, 1015
- Nagae, O., Kawabata, K. S., Fukazawa, Y., et al. 2009, AJ, 137, 3509
- Oja, T. 1993, A&As, 100, 591
- Okazaki, A. T., & Negueruela, I. 2001, A&A, 377, 161
- Paredes, J. M., Marziani, P., Marti, J., et al. 1994, A&A, 288
- Puspitarini, L., Lallement, R., & Chen, H.-C. 2013, A&A, 555, A25
- Reig, P., Negueruela, I., Fabregat, J., Chato, R., & Coe, M. J. 2005, A&A, 440, 1079
- Reig, P., & Fabregat, J. 2015, A&A, 574, A33

- Ribó, M., Negueruela, I., Blay, P., Torrejón, J. M., & Reig, P. 2006, A&A, 449, 687
- Schmidt, G. D., Elston, R., & Lupie, O. L. 1992, AJ, 104, 1563
- Serkowski, K., Gehrels, T., & Wisniewski, W. 1969, AJ, 74, 85
- Serkowski, K. 1971, Contributions from the Kitt Peak National Observatory, 554, 107
- Serkowski, K. 1973, Interstellar Dust and Related Topics, 52, 145
- Serkowski, K., Mathewson, D. S., & Ford, V. L. 1975, ApJ, 196, 261
- Snijders, M. A. J. 1987, Ap&SS, 130, 243
- Steele, I. A., Coe, M. J., Fabregat, J., et al. 1996, A&As, 120, 213
- Steele, I. A., Negueruela, I., Coe, M. J., & Roche, P. 1998, MNRAS, 297, L5
- Straizys, V., & Kuriliene, G. 1981, Ap&SS, 80, 353
- Viotti, R., Ferrari-Toniolo, M., Giangrande, A., Persi, P., & Baratta, G. B. 1982, Be Stars, 98, 423
- Turnshek, D. A., Bohlin, R. C., Williamson, R. L., II, et al. 1990, AJ, 99, 1243
- Whittet, D. C. B., Martin, P. G., Hough, J. H., et al. 1992, ApJ, 386, 562
- Williams, S. J., Gies, D. R., Matson, R. A., et al. 2010, ApJl, 723, L93
- Yudin, R. V., & Evans, A. 1998, A&As, 131, 401
- Yudin, R. V. 2014, MNRAS, 445, 1761
- Zamanov, R. K., Martí, J., Paredes, J. M., et al. 1999, A&A, 351, 543
- Zamanov, R. K., & Martí, J. 2000, IAU Colloq. 175: The Be Phenomenon in Early-Type Stars, 214, 731
- Zamanov, R., Stoyanov, K., Martí, J., et al. 2013, A&A, 559, A87
- Zamanov, R., Stoyanov, K., Martí, J. 2016, BlgAJ, 24, 40 (arXiv:1509.04191)
- Zamanov, R. K., Boeva, S., Latev, G. Y., et al. 2018, MNRAS, 480, 1363

This work has made use of data from the European Space Agency (ESA) mission Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), processed by the Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Funding for the DPAC has been provided by national institutions, in particular the institutions participating in the Gaia Multilateral Agreement.