
Българска академия на науките
Институт по Астрономия
с Национална астрономическа обсерватория

**Спектрални и фотометрични прояви на активност свързани
с обособените околожвездни обвивки на избрани Ве звезди**

Любомир Христов Илиев

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ
за присъждане на образователна и научна степен "доктор"
в професионално направление 4. Природни науки, математика и информатика,
4.1 Физически науки (Астрофизика и звездна астрономия)

Научен консултант:
доц. д-р Васил Попов

Научно жури:

проф. дфн Диана Кюркчиева - *рецензия*
доц. дфн Даниела Кирилова - *мнение*
проф. дфн Цветан Георгиев - *рецензия*
доц. д-р Петко Недялков - *мнение*
доц. д-р Васил Попов - *мнение*

София, 2016 г.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от научния семинар на Институт по Астрономия с НАО, проведен на 18.07.2016 г.

Дисертационният труд съдържа 156 страници, включващи 42 фигури, 12 таблици и над 250 цитирани източника. Организиран е в 6 глави, допълнителна информация и библиография.

Дисертантът е на работа в ИА с НАО - БАН, отдел "Звезди и звездни системи".

Съдържание

1	Уводни коментари, цели и структура на дисертационния труд	4
2	Характерни прояви на спектрална активност при Ве звездите във видимия спектрален диапазон	5
2.1	Pleione	5
2.2	Ве звезди със стабилни обвивки	10
2.3	EW Lacertae и V 923 Aquilae	11
3	Спектрална активност на Ве звездите в близката инфрачервена спектрална област	15
4	Прояви на фотометрична активност при Ве звездите	17
4.1	Pleione	18
4.2	EW Lacertae	19
4.3	1 Delphini	20
5	Заключителна дискусия на основните резултати и приноси	22
5.1	Обща дискусия	22
5.2	Основни резултати и приноси	22
6	Abstract	27
	Публикации, на които се основава дисертационният труд	32
	Забелязани цитати	33
	Библиография	38

1 Уводни коментари, цели и структура на дисертационния труд

Дори бегъл преглед на процеса на натрупване на познания за Ве звездите, за техните основни наблюдателни прояви, за характеристиките на централната Ве звезда и на околост звездната обвивка показва, че той следва в общи линии закономерностите на развитие на всяка научно-емпирична теория. В частност този процес много добре се вписва в развитата от Т. Kuhn (1962) гносеологична система за структурата на научните революции. Логично може да се направи извода, че за развитието на общоприета парадигмална система конкретно в областта на изследване на Ве звездите и за достигане на критериите за пълнота на нормалната наука, ще е необходимо натрупването и осмислянето на нов, по-всеобхватен и по-прецизен фактологичен материал. В този смисъл като особено перспективно се очертава изследването във все по-дълбоки детайли на проявите на активност и развитието им в течение на времето при подходящо избрани типични Ве звезди.

Основната цел на настоящето изследване е да се проведе анализ на характерни прояви на активност при избрани Ве звезди, които са типични представители на оформените различни групи в множеството на звездите, свързани с проявите на Ве-феномена. Особено внимание е обърнато за проследяване на развиващите се с течение на времето процеси, доколкото до настоящия момент при изследването на Ве звездите са отразявани предимно моментни състояния или състояния в относително къс период от време. Постигането на пределно възможна прецизност на наблюдателните резултати беше постоянна цел, както при реализиране на наблюдателната програма, така и при обработката на получените наблюдения.

Дисертационният труд е оформен в 6 глави както следва:

Първа глава - *Общи характеристики на Ве-феномена*

Втора глава - *Наблюдателна програма, наблюдения и обработката им*

Трета глава - *Характерни прояви на спектрална активност при Ве звездите във видимия спектрален диапазон*

Четвърта глава - *Спектрална активност на Ве звездите в близката инфрачервена спектрална област*

Пета глава - *Прояви на фотометрична активност при Ве звездите*

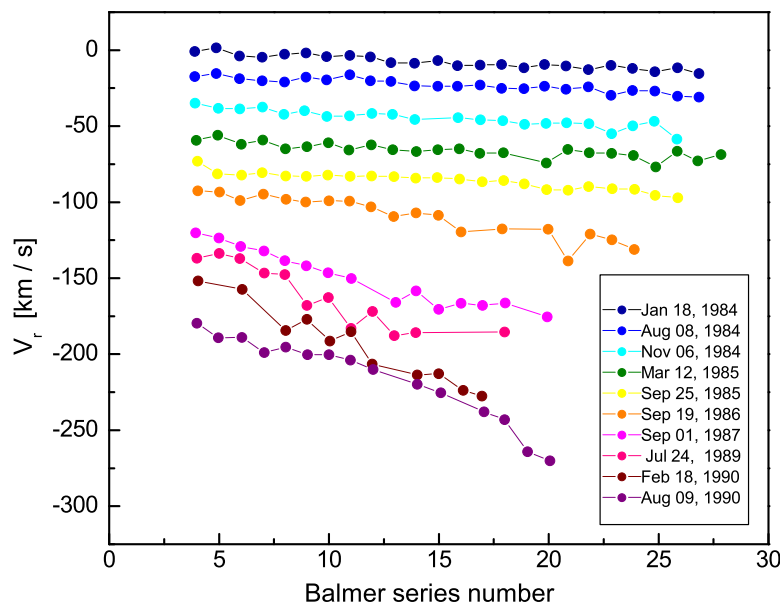
Шеста глава - *Заключителна дискусия на основните резултати и приноси*

2 Характерни прояви на спектрална активност при Ве звездите във видимия спектрален диапазон

Dachs (1986) посочва няколко общи прояви на Ве-феномена, които са представени във видимата спектрална област. Централната звезда при Ве звездите е, като правило, бърз ротатор. Влиянието на бързото въртене върху спектралните характеристики най-точно може да се изследва чрез наблюдения с високото спектрално разделение достигано във видимата спектрална област. Емисионните линии в спектрите на Ве звездите са най-изявени във видимата и близката инфрачервена област, поради факта, че са най-силно представени при линиите на неутралния водород, който съставлява основната част от материята в обособените околозвездни обвивки. Физическите условия в тези обвивки се характеризират с температури от около 10^4 K, и електронна плътност от порядъка на 10^{11} до 10^{12} cm⁻³, поради което за тях е възприет термина “студени околозвездни обвивки” (cool circumstellar envelopes - CCE).

2.1 Pleione

Нашето изследване бе съсредоточено върху няколко звезди, които са представители на различни характерни групи Ве звезди. На първо място това е звездата Pleione (HD23862, HIP17851), която е известна преди всичко с преходите между различни спектрални фази. За период от над 100 години звездата е показвала: спектър на звезда



Фигура 2.1: Развитие на Балмеровата прогресия при прехода на Pleione към емисионна спектрална фаза. Използвани са най-интензивните линии от Балмеровата серия. Данни от работата Iliev et al. (1989) (Фиг. 3.2 от дисертационния труд).

от нормален В спектрален клас, Ве-спектър с изключително силни емисии на линиите от Балмеровата серия на водорода и shell-спектър с по-слаби водородни емисии, но с насложени многобройни остри линии с произход в студена околостъждна обвивка.

Нашите изследвания на Pleione започнаха през 1984 г..

На Фиг. 2.1 са представени Балмерови прогресии в различни моменти. Измерванията бяха извършени с Осцилоскопичния компаратор в НАО “Рожен”. Може да се отбележи, че градиентът на Балмеровата прогресия се увеличава с приближаването към края на shell-фазата. Това доказва, че промените в Балмеровата прогресия са чувствителен инструмент и проследяването им може да се използва за изследване на процесите на спектрален фазов преход при Ве звезди от класа на Pleione.

При изследванията на началния етап на спектралната емисионна фаза на Pleione основно бяха проследени на промените в профила на $H\alpha$. Получените резултати показват, че през този етап отношение-

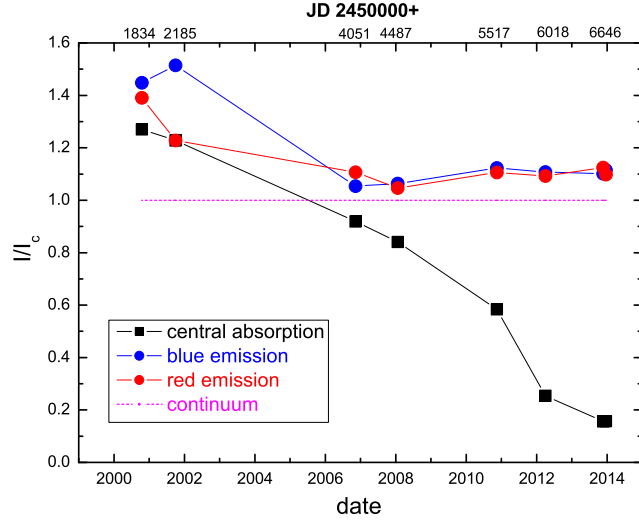
то V/R остава постоянно < 1 . Особено силен е червеният емисионен компонент през януари 1993 г.

За същия период може да се отбележи, че при линията $H\beta$ отношението V/R също е < 1 , каквото е и при линията $H\alpha$. В същото време при една от най-силно представените линии на еднократно йонизираното желязо при $5317\text{\AA}$, отношението V/R е > 1 . Според общоприетото схващане, емисиите на силните линии на $H\beta$ и $Fe II$ се образуват в най-вътрешните части на околозвездната обвивка. Така, различните стойности на отношението V/R означава, че условията в най-вътрешната област на обвивката при Pleione (и по-специално законът за радиалното разпределение на скоростта на веществото) се отличават съществено от условията в по-външните области на обвивката.

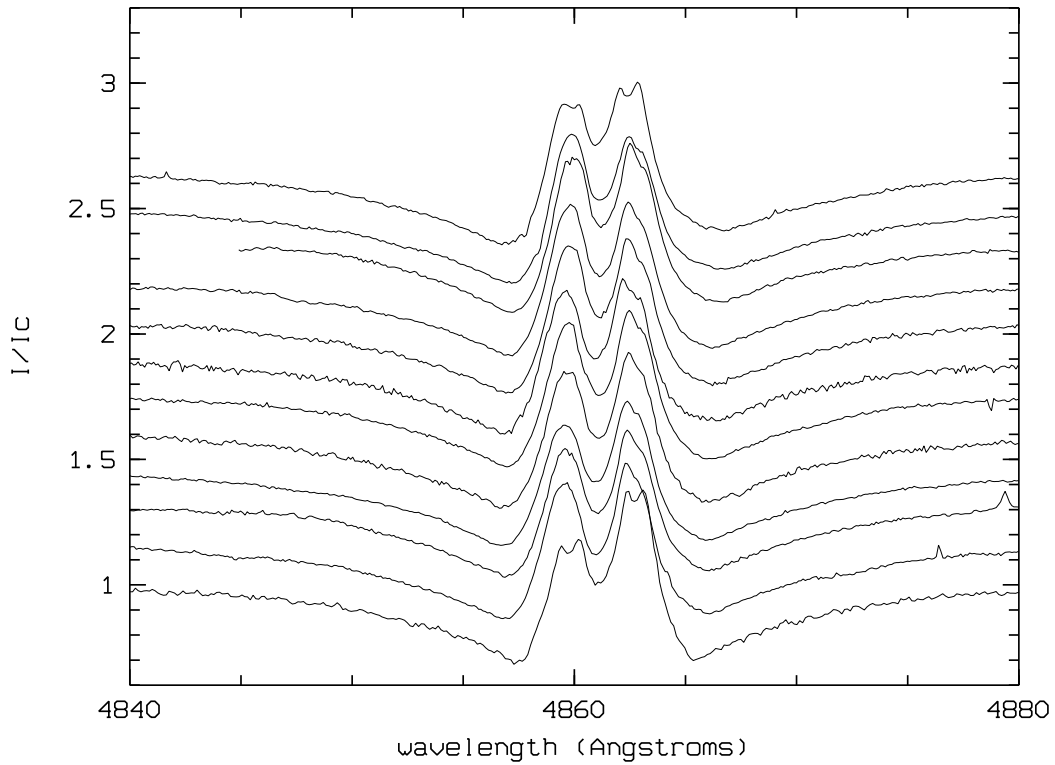
Изследването на еволюцията на спектралната Ве-фаза на Pleione продължиха и в нейния втори, заключителен етап. Може да се отбележи, че въпреки настъпилото отслабване на общата интензивност на емисията в линията $H\alpha$, отношението V/R остава < 1 , каквото е и през първата половина от Ве-фазата. Това съществено отличава Pleione от болшинството Ве звезди, при които промените в отношението V/R са най-честата проява на активност. Промяната на интензивността на V и R компонентите, както и на остатъчната интензивност на централната абсорбция, са отразени на Фиг. 2.2.

На Фиг. 2.3 са представени профилите на линията $H\beta$ за същия период. Доброто спектрално разделение на нашите наблюдения позволява да се наблюдават детайли от спектралните профили, които остават незабелязани при наблюдения с по-малко разделение. На някои от профилите са регистрирани двупикови емисионни компоненти, най-изявени при спектъра от 11.03.2003. Подобно раздвояване на емисионните пикове се регистрира за първи път за Pleione.

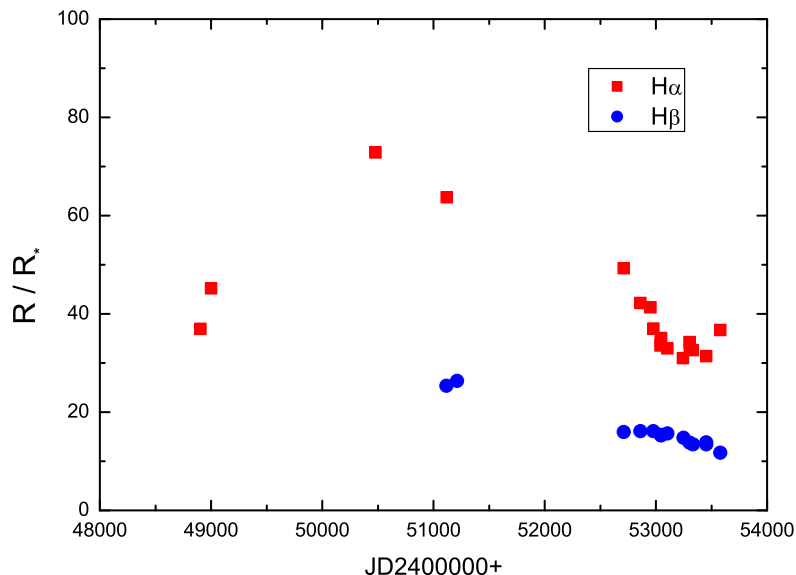
Бяха направени оценки на радиусите на емитиращите в $H\alpha$ и $H\beta$ области от околозвездната обвивка, които са представени на Фиг. 2.4. Резултатите показват, че развитието спектралната Ве-фаза при Pleione е свързано с увеличаване на размерите на емитиращата об-



Фигура 2.2: Промени на интензивността на емисионните компоненти и централното абсорбционно ядро от профила на линията $H\alpha$ в спектъра на Pleione. (Фиг. 3.8 от дисертационния труд)



Фигура 2.3: Вариации на линията $H\beta$ по време на постепенното отслабване на емисионната фаза на Pleione (Iliev et al. (2007)). (Фиг. 3.7 от дисертационния труд)



Фигура 2.4: Промени на размерите на емитиращите области от обособената околозвездна обвивка на Pleione в хода на последната спектрална Ве-фаза. (Фиг. 3.9 от дисертационния труд)

вивка. Може да се отбележи, че в началото на емисионната фаза при Pleione, размерите на емитиращата в $H\alpha$ област от околозвездната обвивка увеличава своите размери от 45 звездни радиуса през 1993 г. до над 73 звездни радиуса през 1998 г. Както се вижда от Фиг. 2.4 за периода от 2002 до 2005 г. радиусът на емитиращата в $H\alpha$ обвивка намалява от 49 до 32 звездни радиуса. Минимумът на размерите на емитиращата обвивка се достига към зимата на 2005 г. В същото време радиусът на емитиращата в $H\beta$ обвивка намалява от 26.3 до 13.46 звездни радиуса. Както от оценките по $H\alpha$, така и от оценките по $H\beta$ може да се направи извод, че размерите на емитиращата обвивка се променят постепенно и достигат своя максимум не в средата, а около първата третина на емисионната фаза.

Резултати от спектралните изследвания на Pleione във видимия спектрален диапазон са представени в Iliev et al. (1988), Iliev & Kovachev (1990), Iliev (2000), Iliev et al. (2007) и Nemravová et al. (2010).

2.2 Ве звезди със стабилни обвивки

Нашето изследване обхваща HD 179343 и 1 Delphini, две от звездите от групата на Stable Shell Stars, която е дефинирана от Gulliver (1982).

Същият автор отбелязва, че shell-линиите в спектъра на тези звезди са с асиметрична форма и много малки стойности на HWHM, което се утвърждава като характерен признак на звездите от цялата група звезди със стабилни обвивки.

При изследването на HD 179343 нашето основното внимание бе насочено за проследяване на промените в емисионния профил на линията $H\alpha$, за определяне на техният мащаб и времеви скали. Получените резултати показват, че отношението V/R е <1 през 2001 и 2003 г., но е >1 през 2005 г. През 2006 и 2007 г. отношението е ≈ 1 . Следва да се отбележи, че при наблюденията от 2003 г. емисията в линиите на $H\alpha$ и на $Fe II 5317\text{\AA}$ показват V/R отношения с различен знак. Средната интензивност на емисионните компоненти при $H\alpha$ варира с около 0.07 по относителна интензивност, което е доста над средната точност на измерванията от 0.01. Бяха направени оценки за размерите на емитиращите в съответните линии области от околозвездната обвивка. За $H\alpha$ те са средно $9.33 R_*$, а за $Fe II 5317$ - $3.18 R_*$. За периода на наблюденията не бяха отбелязани големи вариации размерите на емитиращите области.

Изследването на 1 Delphini покриват общ период от над 10 години. Получените данни показват, че интензивността на емисията в линията $H\alpha$ варира в рамките от 1.129 до 1.246 над нивото на континуума. Най-силна емисията е била през 2002 г. и 2005 г., а най-слаба е през ноември 2004 г. През периода на наблюденията отношението на интензивностите на синия и червения емисионни компоненти (V/R) се е променяла от <1 към >1 и обратно. Оценките на емитиращите обвивки, показват средна стойност от $2.3592 R_*$ за $H\alpha$ обвивката и $1.5964 R_*$ за $H\beta$ обвивката, като може да се направи заключение, че околозвездната обвивка при 1 Del е доста стабилна за периода на наблюденията.

От получените резултати от изследването на HD 179343 и 1 Delphini

може да се направи изводът, че звездите със стабилни обвивки всъщност се оказват спектрално променливи с малка амплитуда на вариациите. Наблюдаваните спектрални промени при двете най-типични Ве звезди със стабилни обвивки показват, че тези звезди не се различават толкова драстично от останалите Ве звезди, както е предполагал Gulliver (1982). Характерът на тези промени по-скоро доближава звездите от тази група до основната част от Ве звездите.

Резултати от изследването на HD 179343 и 1 Delphini са публикувани в работите Iliev & Kubát (2010) и Iliev & Kubát (2013).

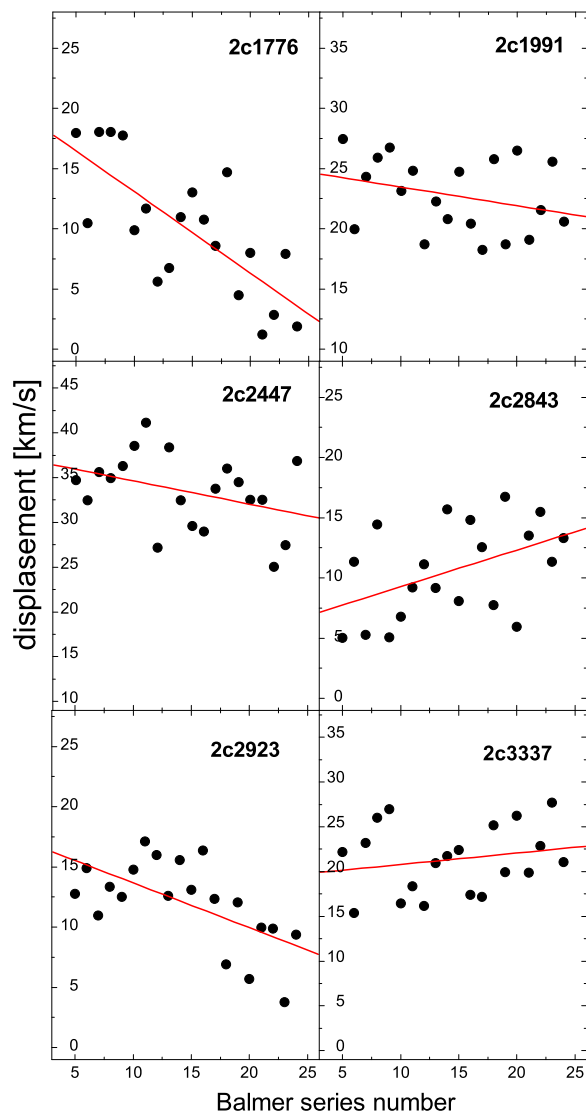
2.3 EW Lacertae и V 923 Aquilae

Звездата EW Lacertae е известна Be/shell звезда, която едновременно проявява много силна емисия на линиите от Балмеровата серия на водорода, съчетана с много интензивни линии на студената околостарезна обвивка. По своите характеристики звездата е много близка до групата на Ве звездите със стабилни обвивки. В същото време някои автори отбелязват наличието на квазициклически спектрални промени и по-специално на отношението V/R (Mon et al., 2013).

На Фиг. 2.5 са представени измененията на Балмеровата прогресия за EW Lac. Може да се отбележи, че по време на активните V/R промени (по Mon et al. (2013)) и Балмеровата прогресия претърпява значителни промени, както по величина на градиента, така и по знак. Наблюдението след този активен период отразява почти пълната липса на Балмерова прогресия.

Резултати от спектралните изследвания на EW Lac са представяни на научни форуми в страната и чужбина.

Звездата V923 Aquilae е известна Ве звезда с интензивен shell-спектър. Същевременно тя е и компонент от двойна звездна система. Изследването на промените в спектъра на тази звезда допринасят съществено за установяване на влиянието на взаимодействието между компонентите на двойната система върху развитието на характеристиките на Ве-феномена, в частност на спектралните прояви на обособената околостарезната обвивка. Koubský et al. (1989) правят подробно изс-



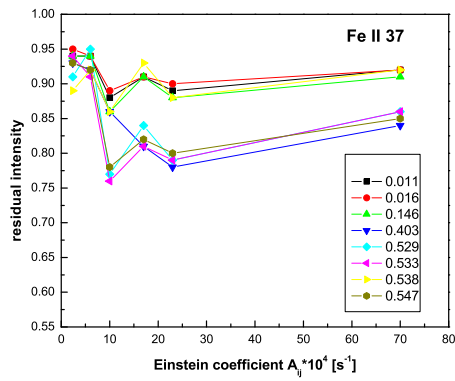
Фигура 2.5: Промени на Балмеровата прогресия при EW Lacertae при прехода от “активна” към “спокойна” фаза.(Фиг. 3.16 от дисертационния труд)

ледване на звездата. Авторите успяват да съберат спектрални наблюдения от 12 астрономически обсерватории по света, между които и НАО “Рожен”, които обхващат интервал от 60 години. При направения анализ на над 140 измервания на радиалните скорости на V923 Aql се установява наличието на няколко типа променливост. Те се различават, както по амплитуда, така и по тяхното характерно време. Анализът на измерените радиални скорости показва, че те се променят в интервал от -60 до $+20 \text{ km s}^{-1}$ и квазицикл от 5.75 години. След отделяне на дългопериодичната вариация на радиалните скорости, Koubský et al. (1989) успяват да установят периодична вариация с амплитуда 10 km s^{-1} и период от 214.756^d . Авторите смятат, че промените се дължат на движенията в двойна система, с първи компонент Ве звезда. Една от характерните спектрални особености на V923 Aquilae, която се отбелязва от различни автори, е променливата асиметрия на линиите в нейния shell-спектър. Нашите данни установяват изявена променливост на асиметрията на линиите на обвивката, свързана с орбиталната фаза на спектрално двойната система, описана от Koubský et al. (1989).

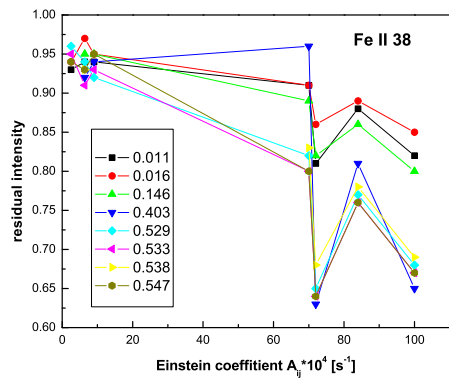
Доброто качество на спектрограмите позволява да се извърши пълно отъждествяване на линиите от най-добре представените мултиплети на Fe II. Установено бе, че някои от линиите в изследваните мултиплети променят чувствително интензивността си, като се групират в съответствие с фазата на двойната звездна система. Като правило това са по-силните спектрални линии. Линиите със различни стойности на коефициента A_{ij} показват различна чувствителност към наблюдаваните промени в околосвездната обвивка.

Тези резултати са представени на Фиг. 2.6. Наблюдаваните промени в остатъчната дълбочина на различните линии в зависимост от орбиталната фаза говори за установяване на дълготрайна структура на околосвездната обвивка с нетермален характер (Doazan (1982)).

Важна характеристика на Ве звездите, която носи информация за протичащите промени в околосвездната обвивка, е Балмеровата прогресия. На Фиг. 2.5 са представени резултати от измерването на



a.



b.

Фигура 2.6: Промени в интензивността на линиите от различни мултиплети на Fe II в shell-спектъра на V923 Aquilae в зависимост от орбиталната фаза. (Фиг. 3.18 от дисертационния труд)

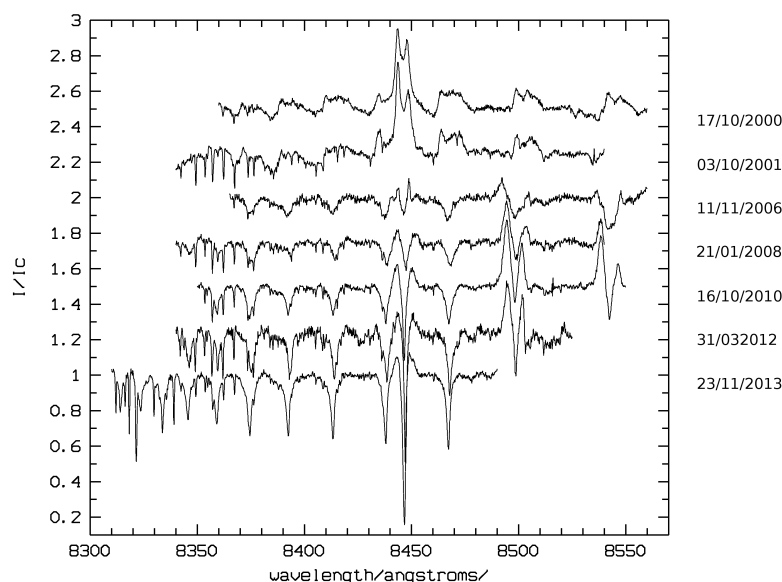
Балмеровата прогресия по спектрограми от Рожен и Ondřejov, групирани около орбитални фази 0 и 0.5. От получените резултати се вижда, че промените на Балмеровата прогресия не са свързани пряко с орбиталната фаза на звездата, а по-скоро са в зависимост от развитието на дългопериодичната циклична промяна на радиалната скорост.

Резултати от спектралните изследвания на V923 Aql са публикувани в работите Koubský et al. (1989) и Iliev (1993).

3 Спектрална активност на Ве звездите в близката инфрачервена спектрална област

Наблюдаваната активност в спектъра на Ве звездите в близката инфрачервена област допълва картината, основана на данни от видимата област, със съществени нови детайли и информация за различни области от обособените околозвездни обвивки. Наблюдателната програма на настоящето изследване в областта на близката инфрачервена спектрална област беше съсредоточена върху звезди с интензивни shell-спектри и обхващаше Pleione и звездите със стабилни обвивки HD179343, HD192954, HD193182 и HD195325. Pleione и представителите на групата на Ве звездите със стабилни обвивки представляват взаимно допълващи се типове на Ве звезди. Докато за Pleione е известно, че претърпява дълбоки промени на своя спектър и интегрален блясък, то звездите със стабилни обвивки се отличават с продължаващо с десетилетия състояние на липса на дълбоки промени. Основна цел на наблюденията беше областта около линията O I 8446 Å, която се оказа чувствителен индикатор на процесите на активност при Ве звездите. При възможност беше наблюдавана и областта на инфрачервения Ca II триплет. Основните резултати са представени в Iliev (2015).

Както може да се види от Фиг. 3.1, спектърът на Pleione в областта на O I 8446 Å се променя коренно по време на претърпяния последен преход между емисионна и shell спектрални фази. По време на Ве-

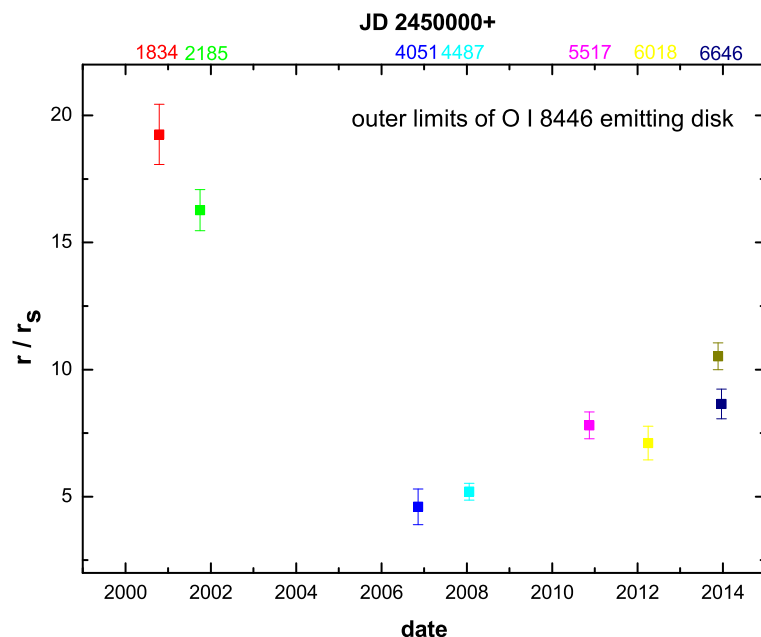


Фигура 3.1: Набор от спектри на Pleione в близката IR област. Наблюденията са от периода на спектрален фазов преход.(Фиг. 4.1 от дисертационния труд)

фазата в емисия е представена не само линията на кислорода, но и всички видими линии от Пашеновата серия на водорода до Pa 18. Емисиите в Пашеновите линии са толкова силни, че запълват изцяло абсорбционния фотосферен компонент. Трябва да се отбележи, че по същото време от линиите на Балмеровата серия на водорода само най-интензивната линия $H\alpha$ запълва изцяло абсорбционния си компонент. (Iliev et al. (2007)).

На Фиг. 3.2 е представено развитието на размерите на излъчващата в линията O I 8446 обвивка на Pleione. Външните размери на емитиращата в O I 8446 обвивка на Pleione намаляват от 17-18 звездни радиуса през 2000-2001 г. до около 5 звездни радиуса през 2007-2008 г.. След тази повратна точка емитиращата обвивка започва да нараства с по-бавни темпове.

Спектралните наблюдения в близката инфрачервена област на звездите от групата на Ве-звездите със стабилни обвивки бяха направени при същите условия, както и тези на звездата Pleione. Линията O I 8446 Å е представена в емисия при три от звездите със стабилни обвивки: HD 179343, HD 192954 и HD 193182. Направените оценки показаха, че размерите на емитиращите в близката инфрачервена

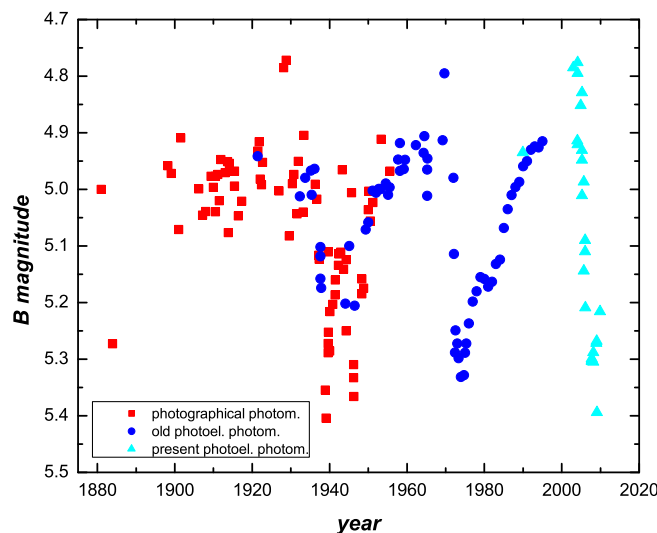


Фигура 3.2: Развитието на размерите на околозвездния газов диск на Pleione. Размерите на емитиращата обвивка са изчислени от емисионните компоненти на линията O I 8446Å. Представени са и оценките за стандартното отклонение на индивидуалните измервания. (Фиг. 4.3 от дисертационния труд)

област обвивки на 3 от Ве звездите със стабилни обвивки, са близки по стойност и са съответно: $6.53R_*$, $7.85R_*$ и $5.33R_*$. Те са подобни с регистрираните минимални стойности за размерите на емитиращата обвивка на Pleione. Последното може да бъде разгледано като аргумент в полза на твърдението, че сравнителната стабилност на обвивките при звездите от тази група се достига при минимални размери на околозвездната обвивка. При 1 Delphini линията O I 8446 е в абсорбция.

4 Прояви на фотометрична активност при Ве звездите

Фотометричната променливост на Ве звездите е едно от техните характерни качества. Звездите, включени в настоящето изследване, представят подходящи примери за това.



Фигура 4.1: Дълговременни фотометрични промени на Pleione във филтър В. Данни от Sharov & Lyutyi (1988, 1997) и настоящето изследване. (Фиг. 5.7 от дисертационния труд)

4.1 Pleione

Фотометричните наблюдения на звездата Pleione бяха извършени в НАО “Рожен” и АО Белоградчик на идентичните 60 см телескопи с идентични автоматизирани едноканални фотометри. Наблюденията са редуцирани със специално създаден за целта софтуерен пакет ELPHOT.

Фотометричните наблюдения на Pleione обхващат периода между 1989 и 2009 г. и прозвяват проследяване на промените, свързани с очаквания спектрален фазов преход на звездата. Резултатите са докладвани на национални и международни форуми.

Нашите наблюдения до началото на 2004 г. показват, че блясъкът на Pleione отбелязва слабо увеличение точно преди започване на процеса на рязко отслабване. Във филтър V блясъкът на звездата достига $5^m.002$, а в В - $4^m.77$. Подобно поведение може да се отбележи и за предишния Be-shell преход през 1972 г., (Фиг. 4.1). Макар това да не е коментирано от други автори, изглежда е повтарящ се характерен белег на фотометричното поведение на звездата при еднотипни преходи между спектрални фази.

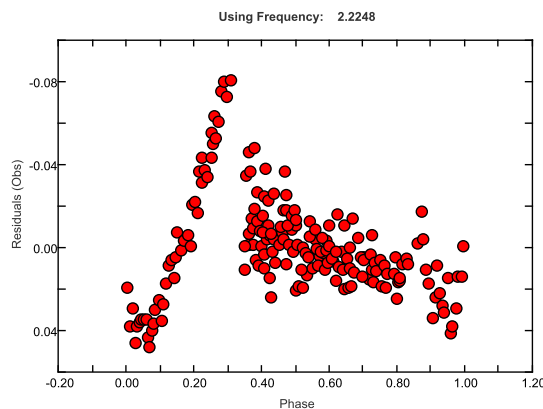
Наблюденията на блясъка на Pleione след 2004 г. показват процес на бързо намаляване на блясъка, подобен на наблюдавания през 1972-1973. Това намаление достига $0^m.3$ във V, $0^m.45$ в B и $0^m.55$ в U филтър. Започналото намаление на блясъка след 2004 съвпада с отслабването на емисията на водородните линии в спектъра на Pleione (Iliev et al. (2007)). Фотометричните промени на звездата разкриха връзка между тях и промените в спектъра на звездата при преход между различни спектрални фази. По фотометрични признаци бе възможно да се определи момента на начало на дисипация на околозвездната обвивка - 18 април 2009 г.

4.2 EW Lacertae

Be/shell звездата EW Lac е била изследвана фотометрично от няколко изследователи, но определянето на строга монопериодичност се е оказало невъзможно. Нашите фотометрични наблюдения на EW Lac бяха проведени в рамките на координирана международна наблюдателна кампания. Резултати от изследванията са публикувани в работите Iliev et al. (1984) и Stagg et al. (1988).

В рамките на настоящето изследване проведохме по-подробен анализ на хомогенния ред от роженски фотометрични наблюдения през 1983 г., състоящ се от над 180 индивидуални измервания. Чрез фурие-анализ на данните бе потвърдено наличието на честотите от работата на Stagg. et al. (1988). Освен това бяха отделени и други честоти с добро ниво на достоверност, като например 2.2248 s d^{-1} , което е много близка стойност до наблюдаваната от Pavlovsky et al. (1993). На Фиг 4.2 е показан Роженският ред от наблюдения във фотометричен филтър V, фазиран при честота 2.2248 s d^{-1} .

По Роженски наблюдения за първи път за звездата бе наблюдавана и цикличност с още по-малко характерно време. Тази късопериодична променливост беше особено ясно изразена при наблюденията от JD 2445624 (Iliev et al., 1984), когато EW Lac се намираше в локален фотометричен минимум. Направеният периодограмен анализ показва индикация за наличие на период около $0.^d016174$.



Фигура 4.2: Роженски наблюдения във филтър V на EW Lac фазирани при честота 2.2248. (Фиг. 5.5 от дисертационния труд)

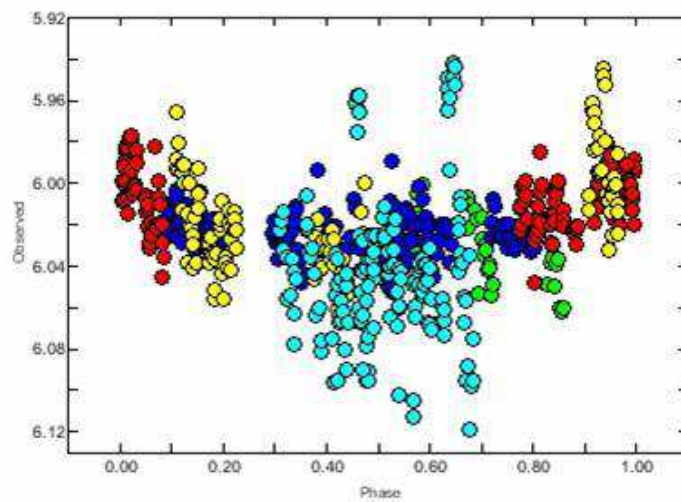
4.3 1 Delphini

Фотометричните наблюдения на звездата 1 Delphini бяха извършени в рамките на координираната кампания за наблюдения на Ве звезди през периода 1998-2005. Нашите оценки на блясъка на 1 Del, добре съвпадат с направените оценки на други автори, напр. с дадените от Nicolet (1978). Наблюденията ни обаче показват и наличие на променливост на блясъка на 1 Del, които са най-изразени във филтър V. Извършеният фурие-анализ на данните показва наличие на периодичност с период $P=0^d.831414$ и амплитуда от около $0^m.1$. Общата крива на блясъка, фазирана с този период е представена на Фиг. 4.3. Намереният период се отличава значително от ротационния период $P_{rot}=0^d.58583$, който е определен според дадената в работата на Roger et al. (2002) скорост на въртене на звездата.

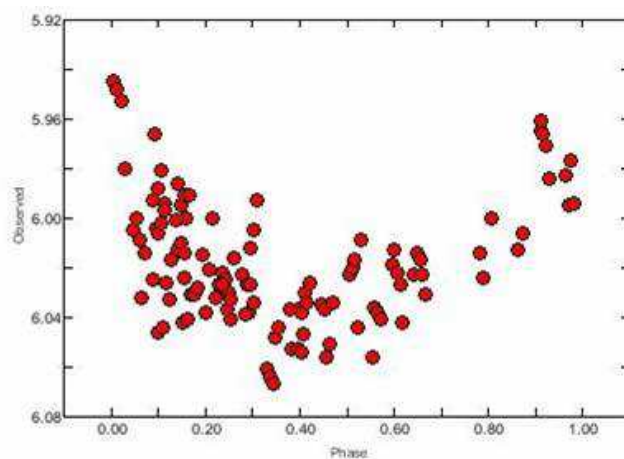
Отделно проведенният анализ на наблюденията от 2002 г. показва, че те добре се описват от цикличност с период от $0^d.161778$ и амплитуда от 85 mmag (Фиг. 4.4).

Резултати от изследванията са докладвани на 6th SREAC Meeting, 2009.

Фотометричното изследване на две от звездите от настоящето изследване, EW Lac и 1 Del, показва наличие на мултипериодичност на промяната на блясъка. Тя е с променлива амплитуда и променливо времетраене, което варира от няколко часа за EW Lac до няколко



Фигура 4.3: Всички наблюдения на 1 Del във филтър V фазиран с период $0^d.831414$. Различните цветове на точките съответстват на различни наблюдателни сезони. (Фиг. 5.10 от дисертационния труд).



Фигура 4.4: Наблюдения на 1 Del във филтър V през 2002. Данните са фазиран с период $0^d.161778$. (Фиг. 5.11 от дисертационния труд)

месеца при 1 Del.

5 Заключение на дискусията на основните резултати и приноси

5.1 Обща дискусия

Ве звездите са клас от ранни, недегенерирани, екстремно бързовъртящи се звезди, обкръжени от околосвездна обвивка с дискообразна форма. При тях се проявяват сложен комплекс от взаимосвързани и взаимообусловени процеси, които се реализират, както върху централната звезда, така и в обособената около нея обвивка. Към момента не съществува общоприета теория, обясняваща изчерпателно целия комплекс от наблюдаваните прояви на активност при Ве звездите и те все още представляват един нерешен проблем за съвременната астрофизика.

5.2 Основни резултати и приноси

Спектралните изследвания на Ве звездите във визуалната област исторически са първите, които довеждат до отделянето тези звезди в специфична група. Наблюдаваните в тази спектрална област характеристики имат определящо значение за разбирането на Ве феномена.

За настоящето изследване бяха избрани обекти, които са характерни представители на различни класове от голямата група на Ве звездите, които представят различни типове на активност във визуалната спектрална област.

Ве/shell звездата Pleione е известна с преходите между различни спектрални фази. Тези преходи са свързани с коренна промяна на характеристиките на нейния спектър. В рамките на направеното изследване бе установено:

1. За звездата за първи път бе отбелязана промяната на градиента на Балмеровата прогресия при отслабването на shell-спектъра в

периода 1987 - 1988 г., и преминаването към емисионна фаза.

2. Чрез CCD наблюдения с високо спектрално разделение, беше проследено развитието на емисионната Be-фаза на Pleione. За първи път беше отбелязано постепенното развитие на емисионната фаза. Общата интензивност на емисията се увеличава постепенно при развитието на емисионната спектралната фаза и достигна своя максимум през 1993 г., или само 4 години след края на предходната shell-фаза.
3. Установено бе, че развитието на размерите на емитиращите области в линиите $H\alpha$ и $H\beta$ също се извършва постепенно, и достига своя максимум през 1997 г.
4. Наблюденията с висока резолюция позволиха за първи път при Pleione да бъдат наблюдавани раздвоявания на върховете на емисионните компоненти в определени моменти от еволюцията на обособената околозвездна обвивка.
5. В настоящето изследване за първи път за Pleione бяха определени моментите на преход между отделните спектрални фази съгласно различни признаци: интензивност на емисиите във видимия и близкия IR спектрални региони, размери на емитиращите области от обвивката, фотометрични промени. Установено бе, че началните моменти, определени по различни признаци, приети от различни автори, не винаги съвпадат.

В настоящето изследване бяха включени звездите 1 Delphini и HD 179343, които принадлежат към групата на звездите със стабилни обвивки. Спектралните наблюдения с високо разделение доведоха до установяване на нови и съществени факти за тези звезди:

1. За 1 Del за периода на нашите наблюдения бяха наблюдавани промени в интензивността на синия и червения компоненти на емисионните профили, а също и в дълбочината на централното абсорбционно ядро.

2. За първи път е установено, че при протичащите промени V/R , отношението при най-силната емисионна линия $H\alpha$ често се различава по знак спрямо същото отношение при $H\beta$.
3. Направените оценки на размерите на емитиращите обвивки варират много слабо за периода на наблюденията и са $2.3592 R_*$ за $H\alpha$ обвивката и $1.5964 R_*$ за $H\beta$ обвивката.
4. При HD 179343, за периода на наблюденията също бяха отбелязани промени в знака на отношението V/R . Средната интензивност на емисията в линията $H\alpha$ отбелязва слаби промени, като вариациите не надхвърлят 0.073 в остатъчна интензивност. Оценките за размерите на емитиращата област от околосвездната обвивка също варират слабо, без да се отбелязва какъвто и да е тренд.
5. На базата на изложените факти може да се направи изводът, че изследваните звезди със стабилни обвивки всъщност се оказват променливи с малка амплитуда на вариациите. Характерът на тези промени по-скоро доближава звездите от тази група до основната част от Ве звездите.

В изследването бяха включени и представители на различни характерни типове Ве звезди. Получени бяха следните по-важни резултати:

1. За типичната shell звезда EW Lacertae бе установена промяна на отношението V/R на най-силните водородни емисионни линии $H\alpha$ и $H\beta$. При тези две линии V/R отношенията никога не се различават по знак.
2. За първи път за звездата EW Lac бе бяха проследени промените в Балмеровата прогресия. Бе установено, че през периода на V/R активност се наблюдават значителни промени в Балмеровата прогресия както по знак, така и по стойността на градиента. След този период на V/R активност се отбелязва почти пълната липса на Балмерова прогресия. Звездата може да се разглежда като междинен случай между Ве звездите със стабилни обвивки

и Ве звездите, претърпяващи преходи между различни спектрални фази.

3. За Ве звездата V923 Aquilae, която е член на двойна система с период от 214.756^d , за първи път бе установена промяна на асиметрията на shell-линиите, свързана с орбиталната фаза.
4. Също така за първи път за звездата V 923 Aql бе отбелязано, че в рамките на един и същ мултиплет различните спектрални линии проявяват различна чувствителност спрямо орбиталната фаза.

Ве звездите са изследвани сравнително слабо в близката инфрачервена спектрална област. В резултат на проведените изследвания бяха получени следните по-важни резултати:

1. За първи път за Ве звездата Pleione са проведени спектрални наблюдения с високо спектрално разделение в близката инфрачервена област по време на прехода от спектрална Ве към shell-фаза. Тези наблюдения показаха значителни различия в сравнение с наблюдаваното във видимия спектрален регион. По време на Ве-фазата линиите от Пашеновата серия на водорода са в емисия до Pa 18. Тази емисия е толкова интензивна, че всички наблюдавани линии запълват изцяло фотосферните абсорбционни компоненти на профилите.
2. За Pleione за първи път бяха оценени размерите на емитиращата в спектралната линия O I 8446 Å обвивка по време на развитието на спектралната емисионна фаза и прехода към нова фаза. . Като цяло те следваха същия тренд, както и измерените размери по линии във видимата област. Емитиращата обвивка от 17-18 R_* през периода 2001 - 2002 г. се свива до 5 R_* през 2007 г. С развитието на новата спектрална фаза размерите на обособената обвивка плавно се увеличават.
3. За първи път бе изследвана линията O I 8446 Å при Ве звездите със стабилни обвивки. Тази линия е представена в емисия при три звезди от тази група: HD 179343, HD 192954 и HD 193182. При

1 Delphini линията е в абсорбция. Направените оценки за размерите на емитиращата в O I 8446 Å обвивка са съответно: $6.53R_*$, $7.85R_*$ и $5.33R_*$. Тези оценки са близки по стойност до оценката на емитиращата област при Pleione.

Звездите, включени в настоящето изследване, проявяват широк спектър от типични за Ве звездите прояви на фотометрична активност. Основните резултати от изследването на фотометричната активност на избраните типични Ве звезди могат да се обобщят както следва:

1. Анализът на фотометричните наблюдения на EW Lac, основан на хомогенния ред от Роженски наблюдения, потвърди наличието на периодичност с период $p=0.^d716$, определена в работата на Stagg et al (1988). Проведеният разширен анализ на тези наблюдения показва също така периодичност с честота 2.2248 s d^{-1} . Отделно, по наблюдения от JD 2445624, когато звездата се намира в локален минимум на блясъка, за първи път бе открита периодичност с период $23.^{min}49317$ и амплитуда $0^m.014$. По такъв начин звездата показва типична картина на мултипериодичност на вариациите на блясъка. На двуцветната диаграма (U-B)/(B-V) в рамките на едногодишен период звездата променя фотометричния си клас светимост и от областта на Главната последователност се премества в областта на гигантите. По такъв начин EW Lac показва антикорелационен тип поведение според определението на Harmanec (1983).
2. Фотометричните наблюдения на Ве звездата Pleione позволиха за първи път да се проследи по-детайлно фотометричното поведение на звездата при прехода от една спектрална фаза в друга. Започналото през 2004г. постепенно намаление на блясъка на звездата следва отслабването на емисията в линиите от Балмеровата серия на водорода. В различните фотометрични филтри достига стойности от $0^m.3$ във V, $0^m.45$ в B и $0^m.55$ в U филтър. Трябва да се отбележи наличието на краткотрайно увеличение

на интегралния блясък на звездата точно преди постепенното отслабване да започне. В същия момент звездата се позиционира по изключение под Главната последователност на двуцветната диаграма B-V / U-B. Pleione достига минимални стойности на блясъка си през април 2009 г., което може да се определи като фотометричния момент на смяна на фазите при звездата.

3. При анализа на фотометричните наблюдения на Ве звездата със стабилна обвивка 1 Del също бе открита мултипериодичност при промяна на блясъка. Анализът на цялата база от над 600 индивидуални наблюдения показва наличие на периодичност с характерно време от $0^d.831414$ и амплитуда $0^m.1$. Анализът на данните по наблюдателни сезони позволи за наблюдателния сезон от 2002 г. да се отдели цикличност с характерно време $0^d.161778$ и амплитуда от $0^m.085$. Както и при EW Lac, откритите циклични промени на блясъка са с променлива амплитуда, като вероятно се инициират и затихват с характерни времена от няколко часа до няколко десетки денонощия.
4. Всички отбелязани мултипериодични промени на блясъка при EW Lac и 1 Del са с променлива амплитуда. Циклите на възникване и затихване могат да траят от няколко часа (в случая на EW Lac) до няколко месеца.

6 Abstract

We reviewed and summarized the development of present day knowledge about Be stars by means of general gnoseologic theory. On the basis of T. Kuhn (1962) conception about the structure of scientific revolutions it could be concluded that our temporal knowledge about Be phenomenon is at preparadigmatic stage of development. As a consequence of this conclusion logically follows the increasing importance of establishing new factological limits and enhancement of accuracy of our knowledge about typical individual Be stars and about Be phenomenon as a whole.

Following this general aim we performed spectroscopical and photometrical study of a sample of typical representatives of the group of Be stars.

We present results from high resolution spectroscopical monitoring in the visual spectral range of Pleione, a Be star well known for its cyclic transitions between different spectral phases.

- From our early spectral observations of Pleione it was found that Balmer decrement in the spectrum of the star changed significantly just before the shell phase end at 1987 - 1988.
- Overall strength of the emission was found to vary gradually during the Be-phase reaching its maximum in January 2003. After that the strength of the emission gradually decreased with the course of the phase.
- We were able to trace gradual decrease of the dimensions of the emitting regions in Pleione's envelope. In the course of last Be phase of the star, dimensions of emitting in $H\alpha$ region of the envelope decreased from $63R_*$ in 1998 to $32R_*$ in 2005, while for $H\beta$ emitting region dimensions decreased from $26.3R_*$ in 2002 to $13.46R_*$ in the winter of 2005.
- High resolution spectral observation obtained at Rozhen coudé-spectrograph allowed to register double peak emission at V

and R components in the profile of $H\alpha$. This was observed for the first time for Pleione.

- Our high resolution spectral observations of 2 stable shell stars, HD 179343 and 1 Delphini, proved that they are in fact small scale spectral variables. It was found that the overall emission strength in $H\alpha$ and $H\beta$ lines varies by several percents. V/R ratio of $H\alpha$ and $H\beta$ also was found to vary from > 1 to < 1 and vice versa. It was proved that at some moments V/R ratio for $H\alpha$ and $H\beta$ lines has different sign.

Two other typical Be stars were included in the present study.

- EW Lacertae is known for its strong shell-type spectrum. Our observations proved that V/R ratios in the $H\alpha$ and $H\beta$ lines have always the same sign in contrast with the stars from group of stable shell stars. For the first time for that star changes in the Balmer progression were revealed in the period of V/R activity (Mon et al., 2013). Balmer progression changed both in sign and value of gradient.
- V923 Aquilae is example of Be star which was proved as a member of binary system (Koubský et al. 1988). Period dependent change of the asymmetry of shell spectrum lines was found for the first time for the star. Orbital phase connected variations of the line strength of most populated multiplets of Fe II 27, Fe II 36 and Fe II 37 were also discovered. It was shown as well that Balmer decrement variations in the spectrum of V923 Aql are probably not connected with the orbital phase of the binary.

High resolution spectral observations in the near IR region ($\lambda < 10000 \text{ \AA}$) could provide valuable additional information concerning different regions of circumstellar envelopes of Be stars.

- Spectral observations of Pleione in near IR region during transition between Be and shell phases reveal considerable differences with results from observations in visual region. During last stages of Be phase of Pleione, all observable lines from the Paschen series of

hydrogen were in emission up to P16 and P17. No photospheric absorption component of these lines was present. After the Be phase end (approximately 2004) all observable lines of Paschen series were in pure absorption.

- Spectral line of O I 8446 Å prove to be a sensitive instrument for studies of the Be stars circumstellar envelope changes. For Pleione estimations of dimensions of emitting in O I 8446 region in its envelope were carried out. The outer radii of this region was found to decrease from 18 R_* in period 2001 - 2002 to 5 R_* in 2007. After Pleione's entering a new spectral phase, dimensions of emitting region gradually decreased.
- O I 8446 Å spectral line was present in emission in 3 of 4 stars defined by Gulliver (1982) as Stable Shell Stars. In the spectrum of 1 Delphini this line was in pure absorption. Estimation of dimensions of emitting in O I 8446 circumstellar envelopes of HD 179343, HD 192954 and HD 193182 resulted respectively to: 6.55 R_* , 7.85 R_* and 5.33 R_* . These values are close to the estimation of Pleione's emitting region at the moment of its minima during its phase transition.

Photometrical behavior of some of the stars of our target list was studied in more detail.

- For the Be star Pleione for the first time photometrical behavior during the last Be phase was traced.
- It was found that during this Be phase maximal levels of Pleione's brightness were reached in period January-February 2004.
- Values reached were 5^m.002 in Johnson V filter, 4^m.77 in Johnson B filter and 4^m.46 in Johnson U filter.
- After reaching maximum Pleione's brightness gradually declined by 0^m.3 in V, 0^m.45 in B and 0^m.55 in U filter. Minimal brightness Pleione reached around JD 2454940 (April 18, 2009).

Analysis of Rozhen homogenous set of photometrical observations of Be/shell star EW Lacertae proved that the star underwent multiperiodic variability.

- Evidences for cyclic variability with periods found by Stagg et al. (1988) were confirmed.
- Evidence for additional cyclic variability with characteristic frequency 2.2248 c d^{-1} was found.
- During the local photometrical minimum at JD 2445624 small scale variations were found with characteristic time of $23^{min}.49317$ and amplitude of $0^m.014$.

Analysis of the photometrical behavior of stable shell star 1 Delphini was based on set of more than 610 individual observations.

- By means of Fourier analysis it was found that there are evidences for cyclic periodicity with characteristic time of $0^d.831414$ and amplitude of $0^m.1$.
- Separate analysis of the data from different observing seasons gave evidence about cyclic periodicity in year 2002 season with characteristic time of $0^d.161778$ and amplitude of $0^m.085$.
- As in case of EW Lac, also for 1 Del all multiperiodic variability were found to be with variable amplitude.

Публикации, на които се основава дисертационният труд

Резултатите от дисертационния труд са отразени в следните публикации:

1. Three-colour UBV photometry of Be/shell star EW Lac; L. Iliev, B.Z. Kovachev and N.A. Tomov, 1984, *Compt. Rend. Bulg. Acad. Sci.*, vol. 37, No.8, p.983.
2. A Photometric Campaign of the Be Stars α And, KX And, KY And, LQ And and EW Lac; E. Stagg, H. Bozic, A. Fullerton, W. Gao, Z.H.Guo, J. Horn, P. Harmanec, L. Huang, L. Iliev, P. Koubsky, J. Percy, J. Ziznovsky, 1988, *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, vol. 234, pp. 1021-1049.
3. Properties and Nature of Be-stars. Radial Velocity Variations of the Shell-Star V923 Aql in the Past Sixty Years; P. Koubsky, A.F.Gulliver, P. Harmanec, D. Ballereau, J. Chauville, T. Graf, L. Iliev, J. Horn, W. Lyons, 1989, *Bull Astron. Inst. Czechosl.*, vol. 40, pp. 31-41.; .
4. Pleione again without shell; L. Iliev, M. Ruusalepp, B. Kovachev, 1988, *Commis. 27 IAU Inf. Bull. Var. Stars*, No. 3204, .
5. Changes of the shell spectrum of Pleione - phase of shell dissipation; L. Iliev and B. Kovachev, 1990, in *Evolution of Stars: The Photospheric Connection*, IAU Symp. 145, August 27-31, 1990, Varna, Bulgaria; eds. G. Michaud and A. Tutukov; p. 127.
6. Period Dependent Variations of the Shell Spectrum of V923 Aql; Iliev, L., 1994, in *IAU Symp. 162 Pulsation, Rotation and Mass Loss in Early Type Stars*, 4-8 Oct. 1993, Antibes, Juan-les-Pins, France, eds. L. Balona, H.F. Henrichs and J.M. Le Contel, p.374.
7. Spectral Changes of Pleione - Start of a New Cycle?; L. Iliev, 2000, in *processings of IAU Coll. 175 The Be-phenomenon in early type stars*, Alicante, Spain, 28 June - 2 July, 1999, eds. M.A. Smith, H.F. Henrichs and J. Fabregat, pp.566-569.

8. Recent Development of the Current Be-Phase of Pleione; Iliev, L., Koubský, P., Kubát, J., Kawka, A. 2007, , in Active OB-Stars: Laboratories for Stellar and Circumstellar Physics, Eds. S. Stefl, S. P. Owocki, and A.T. Okazaki, ASP Conf. Ser. Vol. 361, p.440.
9. Spectral behavior of "stable shell star HD179343, Iliev, L., Kubát J., 2010,. Romanian Astronomical Journal, 2010, vol.20, p.33-37. Proceedings of the International workshop: Recent Insights into our Universe, Bucharest, Romania, October 28-29, 2009, eds. V. Mioc, N. Popescu, C. Dumitrache.
10. Properties and nature of Be stars, 27. Orbital and recent long-term variations of the Pleiades Be star Pleione = BU Tauri; Nemravová, J., Harmanec, P., Kubát, J., Koubský, P., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Šlechta, M., Kotková, L., Wolf, M., Škoda, P.; 2010, A&A, v.516, p.80.
11. Spectral changes in the stable shell star 1 Del; Iliev, L. & Kubát. J., 2013, Bul. Astron. J., vol. 19, p. 1.
12. Near IR spectral observations of selected Be and shell stars; Iliev, L., 2015, Bul. Astron. J., vol. 22, p.37.

Забелязани цитати на публикациите, на които се основава дисертационния труд

1. Gamen, R.; Arias, J. I.; Barbá, R. H.; Morrell, N. I.; Walborn, N. R.; Sota, A.; Maáz Apellániz, J.; Alfaro, E. J., A&A, 2012, vol. 546, A92, на работата: Properties and nature of Be stars. 27. Orbital and recent long-term variations of the Pleiades Be star Pleione = BU Tauri, на работата: Nemravová, J., Harmanec, P., Kubát, J., Koubský, P., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Šlechta, M., Kotková, L., Wolf, M., Škoda, P., 2010, Astronomy and Astrophysics, Volume 516, pp.80.
2. Touhami, Y., Gies, D. R., Schaefer, G. H., McAlister, H. A., Ridgway,

- S. T., Richardson, N. D., Matson, R.; Grundstrom, E. D., ten Brummelaar, T. A., Goldfinger, P. J., Strurmann, L., Strurmann, J., Turner, N.H., Farrington, C. ; 2013, *Astrophys. J.*, vol. 768, p. 128, на работата: Nemravová, J., Harmanec, P., Kubát, J., Koubský, P., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Šlechta, M., Kotková, L., Wolf, M., Škoda, P., 2010, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 516, p.80.
3. Rivinius, Thomas; Carciofi, Alex C.; Martayan, Christophe; *Astrophys. & Astron. Rev.*, 2013, vol. 21, p. 69, на работата: Nemravová, J., Harmanec, P., Kubát, J., Koubský, P., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Šlechta, M., Kotková, L., Wolf, M., Škoda, P., 2010, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 516, pp.80.
 4. Renzetti, G., 2013, *J. Astrophys. & Astron.*, vol. 34, issue 4, pp.341-348, // на работата: Nemravová, J., Harmanec, P., Kubát, J., Koubský, P., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Šlechta, M., Kotková, L., Wolf, M., Škoda, P., 2010, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 516, p.80.
 5. Silaj, J.; Jones, C. E.; Sigut, T. A. A.; Tycner, C Silaj, J.; Jones, C. E.; Sigut, T. A. A.; Tycner, C, 2014, *Astrophys. J.*, vol. 795, id: 82 , pp. 12, DOI: 10.1088/0004-637X/795/1/82, // на работата: Nemravová, J., Harmanec, P., Kubát, J., Koubský, P., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Šlechta, M., Kotková, L., Wolf, M., Škoda, P., 2010, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 516, p.80.
 6. Granada, A.; Arias, M. L.; Cidale, 2010, L. S., *The Astronomical Journal*, Volume 139, Issue 5, pp. 1983-1992, на работата: Koubsky, P., Harmanec, P., Gulliver, A. F., Ballereau, D., Chauville, J., Graf, T., Horn, J., Iliev, L., Lyons, R.W., 1989, *BAIC*, vol. 40, p. 31-41.
 7. Menchenkova, E.V., *Astronomische Nachrichten*, 1993, vol. 314, No.6 p. 417, на работата: Iliev, L. et al, *Commis. 27 IAU Inf. Bull. Var. Stars*, 1988, No.3204, pp 1-4.
 8. Luthardt, R., Menchenukova, E.V., *A&A*, 2014, vol. 284, No1, pp.118-124. на работата: Iliev, L. et al., 1988, *IBVS* No 3204.

9. Шаров, А.С. Лютый, В.М., Есипов, В.Ф.; 1994, Письма в Астрономический Журнал, том 20, No 8, стр. 565-566, на работата: Iliev, L. et al., 1988, IBVS No 3204.
10. Hirata, R.; 1995, PASJp, vol. 47, pp.195-218, на работата: Iliev, L. et al., 1988. IBVS No 3204.
11. Katahira, J., R. Hirata, M. Ito, M. Katoh, D. Ballereau and J. Chauville; 1996, PASJp, vol.48, pp. 317-334, на работата: Iliev, L. et al., 1988. IBVS No 3204.
12. Hiller, Mary E.; Osborn, Wayne; Terrell, Dirk, 2004, PASP, vol.116, pp.337-344., на работата: Iliev, L. et al., 1988. IBVS No 3204.
13. Ballereau, D. and Chauville, , Astron. & Astrophys., 1990, vol. 214, pp. 285-294, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
14. Balona, L.A.; Mon. Not. R. astr. Soc, 1990, vol. 245, pp.92-100., на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
15. Floquet, M. et al., Astron. & Astrophys., 1992, vol. 264, No.1, p.177, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
16. Percy, J., 1994, Exper. Astron., vol. 5, No 1-2, pp.133-135, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
17. A.M. Hubert and M. Floquet, 1998, A&A, vol. 335, pp.565-572, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo,

- Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, 1988, vol. 234, pp.1021-1049..
18. Pavlovsky, K., Z. Ruzic, M. Pavlovich, J.H. Jeong, I.-S. Nha., *Astropys. & Space Sci.*, 1993, vol. 200, p. 201, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
 19. Taylor A.R., Dougherty S.M., Waters L.F.M., Bjorkman K.S., 1990, *A&A*, v. 231, p.453., на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
 20. Balona, L.A.; in "Confrontation between stellar pulsation and evolution Proceedings of the Conference, Bologna, Italy, May 28-31, 1990, (A91-28876, 10-90), San Francisco CA, Astronomical Society of thenPacific, 1990, p. 245-256, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
 21. Sareyan J.P., Gonzales-Bedolla, Chauville J., Morel, P.J., Alvares, M.; 1992, *A&A*, v.257, p.576., на работата: Stagg, G.R., L. Iliev et al., 1988, *Mon. Not. of R.A.S.*, vol. 234, pp. 1021-1049.
 22. Catalano F.A., Renson P., Leone F.; 1993, *A&ASS*, v.98, p.269., на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
 23. Balona L.A.; 1995. *MNRAS*, v.277, p.1547. на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*, 1988, vol. 234, pp.1021-1049.

24. Halbedel E.M.; 1996, PASP, v.108, p.833., на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
25. Hubert, A. M.; Floquet, M. 1998, A&A, vol. 335, p. 565, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
26. Floquet, M.; Hubert, A. M.; Hirata, R.; McDavid, D.; Zorec, J.; Gies, D.; Hahula, M.; Janot-Pacheco, E.; Kambe, E.; Leister, N. V.; and 3 coauthors, 2000, A&A, vol. 362, p. 1020, "Stellar and circumstellar activity in the Be star EW Lacertae from the 1993 multi-site campaign
на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
27. Carrier, F., Burki, G., Burnet, M., 2002, A&A, vol.385, p.488, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
28. Mon, Masahiro; Suzuki, Masakazu; Moritani, Yuki; Kogure, Tomokazu, 2013, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.65, No.4, Article No.77, p. 18, на работата: Stagg, C. R.; Bozic, H.; Fullerton, A. W.; Gao, W. S.; Guo, Z. H.; Harmanec, P.; Horn, J.; Huang, L.; Iliev, L. H.; Koubsky, P. et al., Mon. Not. Roy. Astro. Soc., 1988, vol. 234, pp.1021-1049.
29. Arias, M.L., Cidale, L.S., Ringuelet, A.E. 2004, A&A, v.417, p.679-688, на работата: Iliev, L., 1994, in Pulsation; rotation; and mass loss in early-type stars: proceedings of the 162nd symposium of the International Astronomical Union held in Antibes; Juan-les-Pins; France; October 5-8; 1993. Edited by Luis A. Balona, Huib F. Henrichs,

and Jean Michel Contel. International Astronomical Union Symposium no. 162; Kluwer Academic Publishers; Dordrecht, p.374

30. Katahira, J., Inoue, K., Kawabata, Y., Kawabata, T., 2012, Be Star Newsletter, vol. 40, pp. 48-51, на работата: L. Iliev, 2000, in processings of IAU Coll. 175 "The Be-phenomenon in early type stars Alicante, Spain, 28 June - 2 July, 1999, eds. M.A. Smith, H.F. Henrichs and J. Fabregat,

Библиография

Dachs, J., 1986, in processings of IAU Coll. 92, Physics of Be Stars, Boulder, Colorado, USA, 18-22 August, 1986, eds. A. Slettebak and T. Snow, Cambridge University Press, p.149.

Doazan, V., Harmanec, P., Koubsky, P., Krpata, J., Zdarsky, F.; 1982, *A&AS*, **50**, p. 481.

Iliev, L., Kawka, A., Vennes, S., Kubát, J., Németh, P., Borisov, G., Kraus, M.; 2012, *Bulg. Astron. J.*, **18a**, 20.

Iliev, L., 2000, in processings of IAU Coll. 175 The Be-phenomenon in early type stars, Alicante, Spain, 28 June - 2 July, 1999, eds. M.A. Smith, H.F. Henrichs and J. Fabregat, pp.566-569.

Iliev, L., Koubský, P., Kubát, J., Kawka, A.; 2007, , in Active OB-Stars: Laboratories for Stellar and Circumstellar Physics, Eds. S. Stefl, S. P. Owocki, and A.T. Okazaki, ASP Conf. Ser. Vol. 361, p.440.

Iliev, L.; 1994, in: Pulsation; rotation; and mass loss in early-type stars, IAU Symp. 162, Antibes, Juan-les-Pins, France; October 5-8; 1993. Edited by L. A. Balona, H. F. Henrichs, and J. M. Le Contel, Kluwer Academic Publishers; Dordrecht, p.374

Iliev, L., Kovachev, B., Tomov, N.; 1984, *Compt. Rend. Bulg. Acad. Sci.*, **37**, No.8, pp. 983.

Iliev, L., Kovachev, B., Ruusalepp, M.; 1988, **IBVS**, No. 3204.

Iliev, L. & Kovachev, B.; 1990, in Evolution of Stars: The Photospheric Connection, IAU Symp. 145, August 27-31, 1990, Varna, Bulgaria; eds. G. Michaud and A. Tutukov; pp.127-128.

Iliev, L., 1993, in IAU Symp. 162 Pulsation, Rotation and Mass Loss in Early Type Stars, 4-8 Oct. 1993, Antibes, Juan-les-Pins, France, eds. L. Balona, H.F. Henrichs and J.M. Le Contel, p.374.

Iliev, L., Kubát J., 2010, Romanian Astronomical Journal, 2010, vol.20, p.33-37. Proceedings of the International workshop: Recent Insights into our Universe, Bucharest, Romania, October 28-29, 2009, eds. V. Mioc, N. Popescu, C. Dumitrache.

Iliev, L. & Kubát. J., 2013, Bul. Astron. J., vol. 19, p. 1.

Iliev, L., 2015, Bul. Astron. J., vol. 22, p.37.

Koubský, P., Gulliver, A., Harmanec, P., Ballereau, D., Chauville, J., Graf, T., Horn, J., Iliev, L., Lyons, R.; 1989, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **40**, p.31.

Kuhn, T., 1962, The Structure of Scientific Revolutions, by The University of Chicago.

Mon, M., Suzuki, M., Moritani, Y., Kogure, T.; 2013, *PASJ*, **65**, p. 77.

Nemravová, J.; Harmanec, P.; Kubát, J.; Koubský, P.; Iliev, L.; Yang, S.; Ribeiro, J.; Šlechta, M.; Kotková, L.; Wolf, M.; Škoda, P.; 2010, *A&A*, **516**, p.80.

Nicolet, B.; 1978, *A&AS*, **34**, p.1.

Pavlovsky, K., Ruzic, Z., Pavlovich, M., Jeong, J.H., Nha, I.-S., *Astropys. & Space Sci.*, 1993, **200**, p. 201.

Stagg, E., Bozic, H., Fullerton, A., Gao, W., Guo, Z.H., Horn, J., Harmanec, P., Huang, L., Iliev, L., Koubsky, P., Percy, J., Ziznovsky J.; 1988, *MNRAS*, **234**, p. 1021.

Благодарности

Благодаря на колегите от Института по Астрономия и Националната Астрономическа Обсерватория Рожен, както и на колегите от Астрономическата Обсерватория Perek на Астрономическия Институт на Академията на Науките на Чешката Република, с които работих в ползотворно научно сътрудничество.

Благодаря на научния си консултант доц. д-р Васил Попов за по-

лезните съвети, за всестранната и навременна подкрепа.

Изследванията в тази дисертация са частично реализирани в рамките на Договор BG051PO001-3.3.06-047 “Повишаване на професионалните умения в теорията и практиката на астрономията чрез многопрофилно и интерактивно обучение” , осъществяван с финансовата подкрепа на Оперативна програма РЧР.

Настоящото изследване използва базата от данни SIMBAD, която се оперира от института CDS, Strasbourg, France. В изследването бяха използвани много опции от проекта International Virtual Observatory.