

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО АСТРОНОМИЯ
С НАЦИОНАЛНА АСТРОНОМИЧЕСКА ОБСЕРВАТОРИЯ

**Изследване на еруптивната активност
на симбиотични звезди**

Николай Александров Томов

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ
за присъждане на научната степен
„доктор на физическите науки“

София, 2015 г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2015 г. от часа в зала на бул. "Цариградско шосе" № 72. Материалите по защитата са на разположение на интересувалите се в библиотеката на ИА с НАО, БАН и на адрес <http://www.astro.bas.bg/~tomov/DSc/>

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО АСТРОНОМИЯ
С НАЦИОНАЛНА АСТРОНОМИЧЕСКА ОБСЕРВАТОРИЯ

**Изследване на еруптивната активност
на симбиотични звезди**

Николай Александров Томов

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ
за присъждане на научната степен
„доктор на физическите науки“

Професионално направление 4.1 „Физически науки“
01.04.02 Астрофизика и звездна астрономия

Рецензенти:

проф. дфн Радослав Заманов
проф. дфн Невена Маркова
проф. дфн Диана Кюркчиева

София, 2015 г.

Дисертационният труд съдържа 225 страници, включващи 65 фигури, 37 таблици и 245 цитирани източника. Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от обединения научен семинар на Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория – БАН и Катедрата по Астрономия – СУ, проведен на 01.06.2015 г. Дисертантът работи като доцент в Института по Астрономия с Национална астрономическа обсерватория – БАН, отдел „Звезди и звездни системи“. Основната част от наблюдателните данни, които се анализират в това изследване, са получени в Национална астрономическа обсерватория „Рожен“.

Съдържание

1	Въведение	1
1.1	Формулиране на проблема и цел на изследването	2
1.2	Структура на дисертацията	3
2	Симбиотичната двойна EG And	3
3	Прототипът на симбиотичните нови AG Peg	6
4	Симбиотичната двойна AG Dra в спокойно състояние и по време на активната фаза в периода 1994 – 1998 г.	9
5	Прототипът на симбиотичните звезди Z And по време на последната активна фаза в периода 2000 – 2013 г.	12
6	Симбиотични звезди със спектрални индикации на двуполусно изхвърляне на маса и звезден вятър	18
6.1	Системата Hen 3-1341	18
6.2	Системата StH α 190	20
6.3	Системата BF Cyg	21
7	Заклучение, основни резултати и приноси	24
8	Публикации, на които се основава дисертацията	25
	Литература	30
	Abstract	33

Благодарности

Благодаря на чл.-кор. Дмитрий Бисикало от Института по Астрономия на Руската АН за плодотворното сътрудничество по линия на съвместен проект по ЕБР, в рамките на което са получени най-добрите резултати от това изследване.

Признателен съм на колегите проф. Радослав Заманов, проф. Невена Маркова и ст.н.с. Донка Райкова за изключително полезните дискусии и приятелски съвети.

Благодаря на всички колеги-спектроскописти от ИА с НАО за помощта и конструктивните коментари.

Признателен съм на Ръководството на ИА с НАО в лицето на Директора проф. Таню Бонев и Зам. директора доц. Александър Антонов за това, че в годините на драстично редуциран бюджет на БАН осигуриха нормални условия за работа в института и не оставиха работещите нито един ден без заплати (много институти на БАН не успяха да избегнат тази печална практика...).

Задължен съм на колегата доц. Васил Попов за помощта в моите първи стъпки в наблюдателната астрономия.

Част от изследването в тази дисертация е реализирано с финансовата подкрепа на Национален фонд „Научни изследвания“ по договори ДО 02-85 и ДНТС/Словакия 01-14.

За изследването в тази дисертация са използвани ресурси на интернет, преди всичко базите данни *ADS* и *SIMBAD*.

1 Въведение

Симбиотичните звезди са дългопериодични взаимодействия двойни, състоящи се от хладен компонент (нормален гигант или мирида) и горещ компактен обект, най-често бяло джудже, акретиращ маса от атмосферата на хладния компонент. Тяхната фотометрична и спектрална променливост се определя от една страна от орбиталното движение, затъмнения, ефекти на нагряване и отражение, а от друга – от оптическите избухвания на компактния обект, които често са съпътствани от интензивно изхвърляне на маса във формата на оптически плътни обвивки, оптически тънък звезден вятър, блобове и колимирани струи. Третият компонент на симбиотичната система е мощна околостелна мъглявина, формирана от ветровете на единия или двата звездни компонента.

Кривата на блясъка на симбиотичните звезди по време на активна фаза се определя от собствената променливост на избухващия компактен обект. Според броя и продължителността на избухванията те се класифицират в три групи:

- *Повторни нови* (SyRNe) – с прототипи T CrB и RS Oph. Те претърпяват избухвания през интервали от време от няколко десетки години. В този клас се включват някои от най-късопериодичните симбиотични системи, за които се предполага, че са в режим на дискова акреция. Като най-вероятен механизъм на активността се счита термоядрено избухване на повърхността на компактен обект, което впоследствие провокира нестабилност в акреционния диск.
- *Класически симбиотични звезди* (CISS) – с прототип Z And. Те претърпяват активни фази състоящи се от няколко последователни избухвания с характерна продължителност от около една година. Спокойните периоди между активните фази са от 15 – 20 години. Предполага се, че на повърхността на компактния обект водородът гори в стационарен режим, при който темпът на горене е равен на темпа на акреция, а избухванията се дължат на нарастване на темпа на акреция.
- *Симбиотични нови* (SyNe) – с прототип AG Peg. Механизмът е термоядрено избухване на повърхността на компактен обект. Предполага се, че в повечето обекти от този клас компактният обект има междинна маса $\sim 0.6 M_{\odot}$ и в този случай избухванията следва да се повтарят през интервали от около 10^5 години.

Разликата във времевата скала на повтораемост на избухванията с тази при повторните нови се дължи основно на разликата в масите на компактния обект. Симбиотичните нови се разделят на два подкласа в зависимост от вида на спектъра в максимума на оптичния блясък:

- системи, чийто спектър напомня А или F свръхгигант;
- системи, чийто спектър напомня планетарна мъглявина.

1.1 Формулиране на проблема и цел на изследването

Първостепенно значение за изучаването на природата и еволюцията на взаимодействащите двойни звезди има изследването на режима на взаимодействие на техните компоненти. Основен фактор, определящ този режим е загубата на маса. В симбиотичните звезди хладният компонент (донорът) губи маса непрекъснато, а по време на активни фази – и горещият компактен обект (акреторът). Темпът на загуба на маса на компонентите на симбиотичните системи заема определен сравнително широк интервал от стойности. Някои от другите параметри на тези системи също заемат определен интервал от стойности. При различните комбинации на темпа на загуба на маса с някои от другите параметри на системата възниква голямо разнообразие от режими на взаимодействие и наблюдателни проявления. Съществуващите акреционни структури също допринасят за това разнообразие. Ето защо сред изследователите на симбиотични звезди е широко възприето становището, че поведението на всяка конкретна система по време на активна фаза е уникално и се прилага подхода всяка система да се изследва индивидуално и да се търси конкретен модел за интерпретация на това поведение. В тази ситуация възниква следният въпрос: дали симбиотичните звезди са такъв клас обекти, поведението на всяка от които се нуждае от конкретен модел или тяхното поведение може да се интерпретира в рамките на по-общи модели, а разнообразието от наблюдателни поведения от обект към обект, се дължи единствено на разликата в определени параметри? Този въпрос определя главните цели на настоящото изследване.

Ние изследвахме седем системи: EG And, AG Peg, AG Dra, Z And, Hen 3-1341, StH α 190 и BF Cyg с цел

1. Да се предложат:

- модел за интерпретация на поведението на оптичния блясък;

- модел за интерпретация на поведението на линейния спектър.
2. Да се изследва процеса на загуба на маса и да се получат количествени оценки на темпа на загуба на маса на избухващия компактен обект.

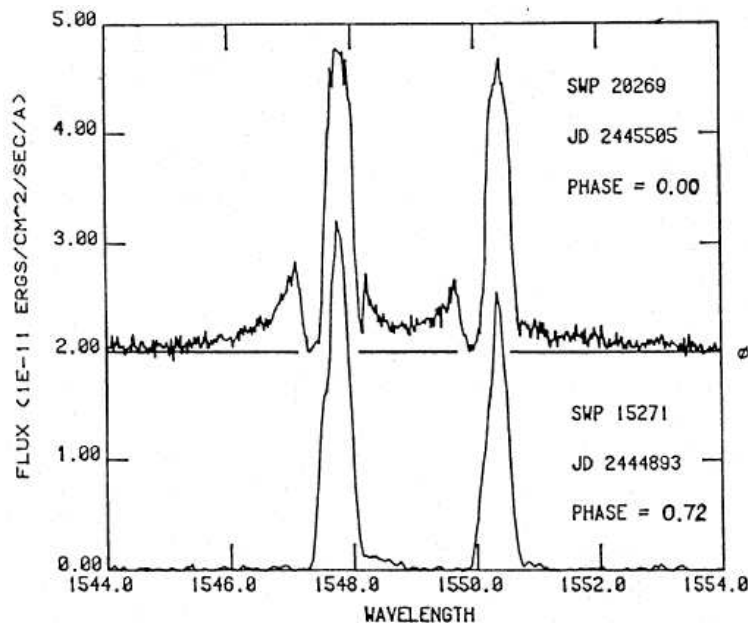
1.2 Структура на дисертацията

Дисертационният труд съдържа седем глави.

В *първа глава* се представя въведение в проблематиката, разглеждат се основните наблюдателни свойства на симбиотичните звезди, основните моменти от теорията на еруптивната активност, обосновава се актуалността на изследването и се формулира неговата цел. Във *втора глава* се разглежда орбиталната променливост на линейния спектър на системата EG And. В *трета глава* се разглежда фотометричната и спектрална променливост на прототипа на симбиотичните нови AG Peg на финалния стадий на нейното избухване. В *четвърта глава* се анализира фотометричното и спектрално поведение на системата AG Dra по време на нейната активна фаза в периода 1994 – 1998 г. В *пета глава* се разглежда фотометричното и спектрално поведение на прототипа на класическите симбиотични звезди и на класа симбиотични като цяло Z And по време на нейната последна и най-продължителна активна фаза в периода 2000 – 2013 г. В *шеста глава* се разглеждат симбиотичните системи със спектрални индикации на колимирано изхвърляне и звезден вятър. В *седма глава* се формулират основните резултати, получени в дисертационния труд. Накрая се представят публикациите, на които се основава дисертацията и резюме на английски език.

2 Симбиотичната двойна EG And

Симбиотичната система EG And се състои от нормален M3 гигант (Mürset & Schmid 1999) и бяло джудже с ефективна температура 70 000 – 80 000 K и ниска светимост $\sim 10 - 20 L_{\odot}$ (Mürset et al. 1991). Поради ниската светимост на компактният обект, околосвездната мъглявина в тази система има също ниска светимост. Системата е затъмнителна, но ефект от затъмнение се наблюдава само в УВ област поради ниската светимост на компактният обект. Съгласно Munari et al. (1988) системата има елиптична орбита с елементи $JD = 2\,439\,251 + 481.2 \times E$. За начален момент е приет момента на максимум на орбиталната скорост на гиганта (момента на възходящия възел). Досега не са наблюдавани оптически

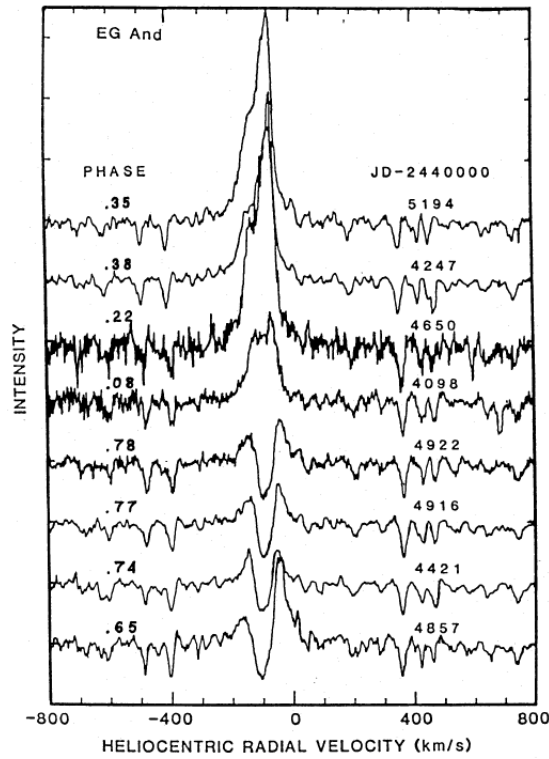


Фигура 2.1: Профили на резонансния дублет на C IV λ 1548, 1550 Å, взети от работата на Oliverson et al. (1985). Орбиталните фази са съгласно Munari et al. (1988).

избухвания в тази система, тя се разглежда като „тиха симбиотична“. От компактният обект обаче, изтича газ с индикация в някои УВ линии.

Профилите на резонансния дублет C IV λ 1548, 1550 Å са от типа P Cyg, показващи присъствие на горещ вятър в системата със скорост $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ (Oliverson et al. 1985). Профилите се състоят от три компонента – тесен централен компонент, най-вероятно с небулярен произход, широк емисионен компонент и P Cyg абсорбция. Предполагаме, че широкият компонент се формира в областта на звездния вятър, тъй като претърпява орбитални изменения в синхрон с P Cyg абсорбцията, поради окултация на областта на вятъра от хладния гигант (Фиг. 2.1).

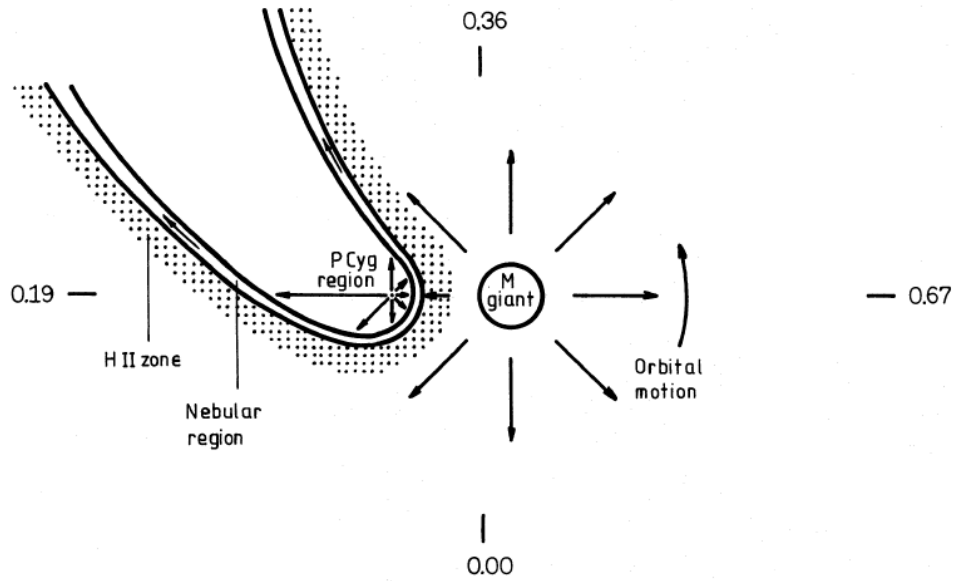
На Фиг. 2.2 се вижда еволюцията на H α профила с орбиталната фаза. Той се изменя поради промяна на оптичната дебелина на мъглявината (самопоглъщане в газа). Интензивността на линията е максимална, когато компактният обект е към наблюдателя (максимум на блясъка) и минимална, когато гигантът е към наблюдателя. Тогава профилът става двупиков, с абсорбция между двата пика. Подобно поведение имат много от симбиотичните звезди. Особеното в системата EG And обаче е, че линията има максимална интензивност (минимално самопоглъщане) на фазите след горното съединение на гиганта и минимална интензивност



Фигура 2.2: Еволюция на H_{α} профила с орбиталната фаза, взета от работата на Oliverson et al. (1985). Едно деление от скалата на интензивността съответства на височината на континуума. Орбиталните фази са съгласно Munari et al. (1988).

(максимално самопоглъщане) – на фазите след долното съединение на гиганта.

Ние предложихме интерпретация на това поведение в рамките на модела на взаимодействащи ветрове. Възприехме скорост на вятъра на гиганта и компактния обект съответно 10 km s^{-1} и 100 km s^{-1} и темп на загуба на маса съответно $10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ и $10^{-9} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$. В такъв случай вятърът на гиганта доминира по своя импулс над горещия вятър и ударната област на ветровете с форма, близка до конична повърхност, се разполага зад компактния обект (Фиг. 2.3). Поради орбиталното движение „конусът“ се отклонява в посока обратна на това движение. Ударната област по същество е небулярна област с плътност по-висока от тази във вятъра на гиганта на същото разстояние от неговия център. Газът в нея тече от върха на „конуса“ към външната му част. Освен ударната област, компактният обект йонизира и една част от вятъра на

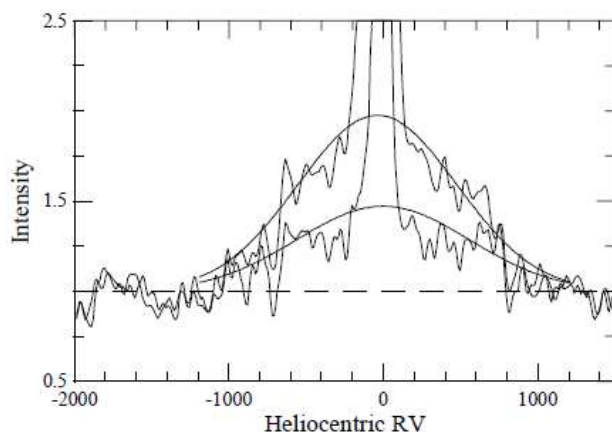


Фигура 2.3: Схематичен модел на системата EG And в орбиталната равнина. Показани са орбиталните фази на възходящия и низходящ възел и на спектралните съединения. Фазите са съгласно Munari et al. (1988).

гиганта. Във фазите след долното съединение на гиганта плътността в тези две области на йонизация нараства към наблюдателя и от това се определя максималната оптична дебелина в линията. Профилът е двуиков, а интензивността – минимална. Във фазите след горното съединение на гиганта плътността в тези области намалява в посока към наблюдателя и оптичната дебелина е минимална, а интензивността на линията – максимална. В останалите фази се наблюдава междинният случай. Пресметнат е приблизителния H_{α} поток, излъчван от този модел. Той възлиза на $10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ и е в добро съгласие с максималния наблюдаем поток от $5 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Разликата се дължи главно на самопоглъщането в линията (Tomov 1995).

3 Прототипът на симбиотичните нови AG Peg

Симбиотичната система AG Peg се състои от нормален M3 гигант (Mürset & Schmid 1999), бяло джудже с ефективна температура 90 000 K (Mürset et al. 1991; Kenyon et al. 1993; Altamore & Cassatella 1997) и мощна газова

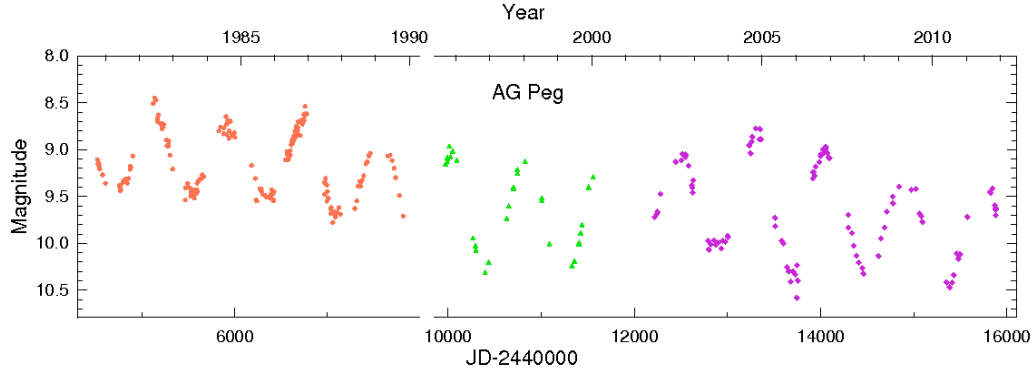


Фигура 3.1: Широкият компонент на линията He II 4686 на AG Peg по спектри, получени на JD 2 446 755.27 и JD 2 449 969.38. Лъчевата скорост е в km s^{-1} .

мъглявина, частично йонизирана от компактният обект. Оптическият блясък показва орбитални изменения с амплитуди $\Delta U \leq 1^m.5$, $\Delta B \leq 0^m.7$, $\Delta V \leq 0^m.4$ главно поради окултация на околосвездната мъглявина. Системата има елементи на блясъка $\text{Max}(V) = \text{JD } 2\,442\,710.1 + 816.5 \times E$ (Ferne 1985). За начален момент е приет момента на орбитален максимум.

В системата AG Peg е наблюдавано най-продължителното между избухванията на всички симбиотични, траяло около 150 години. Преди средата на XIX в. визуалната величина е била около 9^m . Между 1841 и 1855 г. блясъкът е започнал да расте, достигайки максимум около 6^m през 1885 г. и оттогава прогресивно е намалявал достигайки стойността си преди избухването в края на XX в.

Съгласно съвременната теория горещият компонент е претърпял термоядрено избухване на повърхността на компактен обект. Той е изхвърлил масивна обвивка, която след максимума е излъчвала континуум на звезда от спектрален клас В. Тя постепенно се е разсейвала и през 1930 г. е станала прозрачна дотолкова, че е започнал да се вижда хладният гигант. Около 1940 г. молекулните ивици на TiO достигнали днешната си интензивност. Звездата станала симбиотична. Горещият компонент е еволюирал при постоянна болометрична светимост до 1978 – 1980 г. и от тогава тя е започнала да намалява (Keruyon et al. 1993). Според теорията това трябва да се дължи на обстоятелството, че термоядрените реакции в основата на акретираната обвивка са спрели. Процесът на загуба на маса от избухналият компактен обект обаче, е



Фигура 3.2: Фотоелектрични U данни на AG Peg. Данните, получени в периода 1980–1989 са от Belyakina (1992), тези, получени в периода 1995–2000 са от Tomov & Tomova (1998, 2001), а останалите – от Skopal et al. (2004, 2007, 2012).

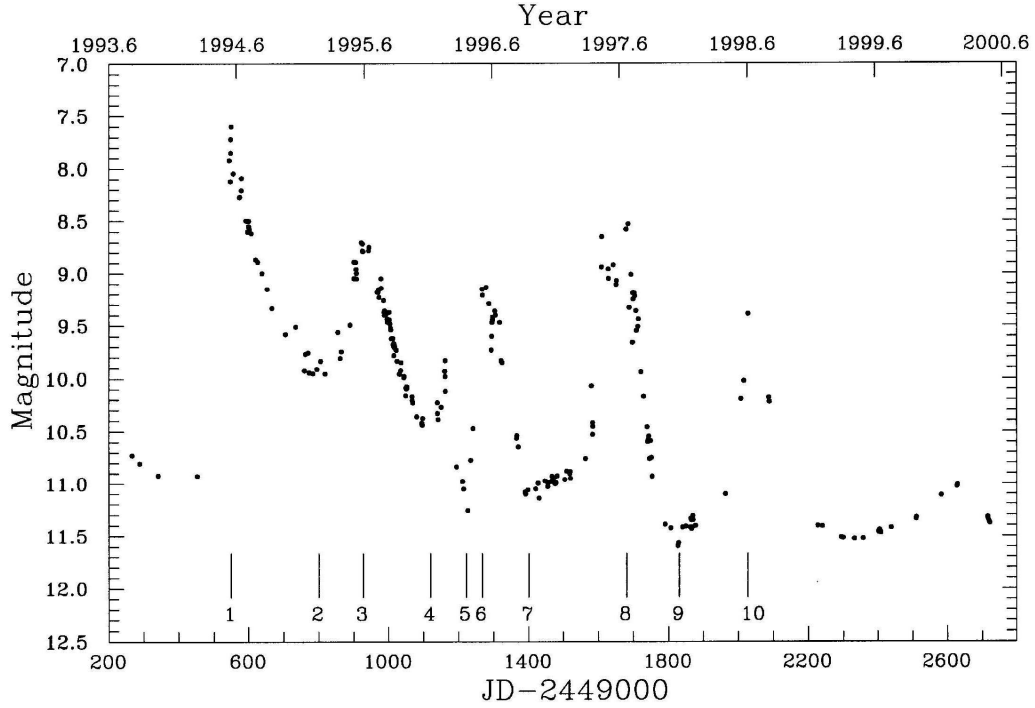
продължил до към края на XX в. Нашите спектрални данни (Tomov et al. 1998) показват, че до 1995 г. емисионните профили на оптичните линии H_β , H_γ и $He II 4686$ са били двукомпонентни, съдържащи широк компонент, показващ звезден вятър от избухналият компактен обект със скорост 1000 km s^{-1} (Фиг. 3.1). Ние получихме темпа на загуба на маса на компактният обект по потока енергия в широкия компонент в два момента – през 1986 г. и 1995 г. и го сравнихме с темпа на загуба, получен по УВ линии в същите моменти от работите на Vogel & Nussbaumer (1994); Altamore & Cassatella (1997). Оказа се, че резултатите, получени по оптически и УВ линии, са в много добро съгласие. Оказа се, също така, че за периода 1986 – 1995 г. темпът е намалял в съотношение 1.8. Ние получихме и потока енергия в 24 оптически линии в тези два момента. Оказа се, че той е намалял средно около 2 пъти, което е приблизително равно на намаляването на U потока и Лаймановата фотонна светимост на избухналият компактен обект (Tomov & Tomova 1998).

На Фиг. 3.2 е показана U кривата на блясъка за период около 30 години. Виждат се два вида изменения: прогресивно намаляване, дължащо се главно на намаляването на Лаймановата светимост и орбитални изменения, дължащи се на окултация на околосвездната мъглявина. Кривата показва, че окултираната област е близо до полусферата на гиганта, обърната към компактният обект. Ние предложихме интерпретация на тази крива в рамките на модела на взаимодействащи ветрове (Tomov & Tomova 2001). За параметрите на вятъра на гиганта възприехме скорост 20 km s^{-1} (Vogel & Nussbaumer 1994)

и темп на загуба на маса $1.5 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ (Vogel & Nussbaumer 1994; Proga et al. 1998). За параметрите на вятъра на компактния обект възприехме скорост 1000 km s^{-1} (Tomov et al. 1998) и темп на загуба на маса $8.75 \times 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ за 1995 г. (Vogel & Nussbaumer 1994; Altamore & Cassatella 1997). Затова направихме разглеждането за периода между орбиталния максимум на JD 2450 059 и орбиталния минимум след него (1995 – 1996 г., Фиг. 3.2). С използваните параметри на ветровете получихме, че ударната област се разполага на разстояние $10 R_{\odot}$ от фотосферата на гиганта. Излъчването на окултираната част на горещия вятър се пренебрегва поради ниската му плътност. Следователно излъчването на окултираната част на мъглявината, равно на орбиталната амплитуда, се генерира от тънка обвивка около фотосферата на гиганта с дебелина $10\text{--}20 R_{\odot}$, в която се включват части от ударната област и вятъра на гиганта. Имайки обема на тази обвивка и нейния U поток, равен на орбиталната амплитуда, за средната ѝ плътност получаваме $(2 - 4) \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Когато темпът на загуба на маса на компактния обект намалее до $5 \times 10^{-10} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$, в системата ще остане само вятърът на гиганта и ще се възстанови режимът на акреция (Zamanov 1993; Tomov & Tomova 2001). Тогава ярката тънка обвивка ще изчезне. След този момент обаче, част от йонизираната област от вятъра на гиганта ще се окултира отново и орбиталните U изменения ще продължат да съществуват. Възможно е само да намалее тяхната амплитуда.

4 Симбиотичната двойна AG Dra в спокойно състояние и по време на активната фаза в периода 1994 – 1998 г.

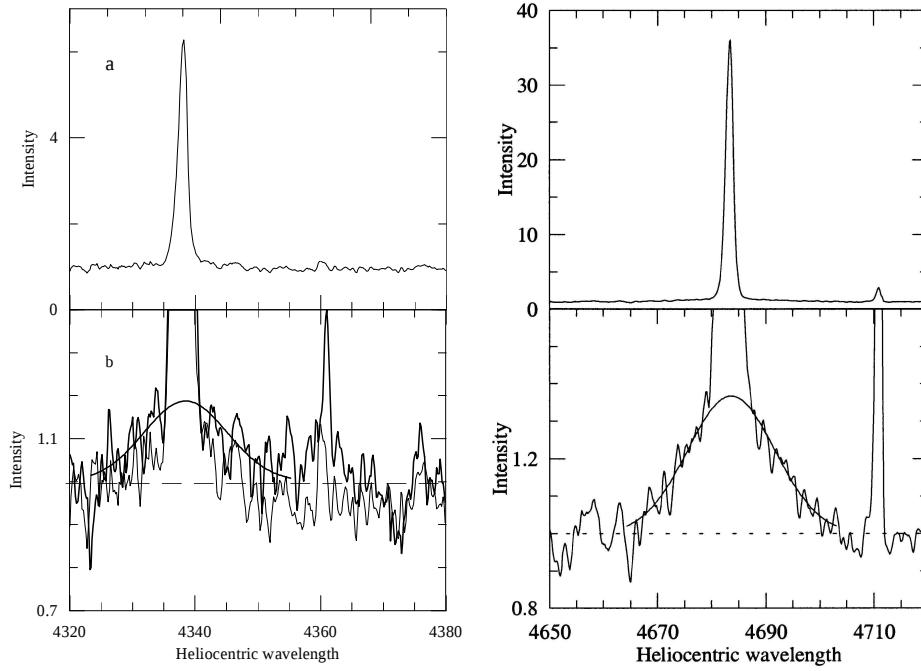
Системата AG Dra е жълта симбиотична, състояща се от K III–II гигант (Huang et al. 1994; Mikolajewska et al. 1995; Greiner et al. 1997), бяло джудже с висока температура $100\,000\text{--}170\,000 \text{ K}$ (Mikolajewska et al. 1995; Greiner et al. 1997) и мощна околосвездна мъглявина. Изразени фотометрични орбитални B, V изменения липсват. U блясъкът обаче, показва изменения близки до синусоидални с амплитуда $\sim 1^m$ поради окултация на околосвездната мъглявина. Системата има елементи на блясъка $\text{JD}(U_{\min}) = 2442\,514.4 + 552.4 \times E$ (Skopal 1994). За начален момент е приет момента на орбитален минимум. Системата е претърпяла множество активни фази от типа на Z And след всяка от годините 1936, 1951, 1966, 1980, 1994 и 2001 г.



Фигура 4.1: Крива на U бляска на AG Dra по време на активната ѝ фаза в периода 1994 – 1998 г. по данни на Skopal et al. (1995); Hric et al. (1996); Montagni et al. (1996); Skopal (1998); Petrik et al. (1998); Tomova & Tomov (1998); Tomov & Tomova (2000). Вертикалните линии показват разглежданите моменти на локален екстремум.

Ние определихме U потока на всеки от компонентите на системата в момент на орбитален максимум в спокойно състояние. На тази база получихме оценки за радиуса на гиганта $28\text{--}32 R_{\odot}$ и разстояние до системата $1560\text{--}1810$ рс. С помощта на тези оценки предложихме оценки за светимостта и масата на компонентите, а също и за темпа на акреция на компактния обект (Tomov et al. 2000).

Ние изследвахме системата по време на активната ѝ фаза в периода 1994 – 1998 г., състояща се от пет последователни оптически избухвания с характерна продължителност от около една година (Фиг. 4.1). Изследвахме линейния спектър по време на максимумите и след тях. През по-голямата част от активната фаза линиите H_{γ} и $He II 4686$ имаха двукомпонентен емисионен профил, състоящ се от тесен централен и широк компонент с пълна ширина на нивото на континуума 2000 km s^{-1} (Фиг. 4.2). Малък принос в широкия компонент има електронното разсейване. Резултатите от изследването обаче, показват, че той основно



Фигура 4.2: Профил на линията H_γ по фотографски данни от 4.10.1995 г. (*ляв панел*) и на $He\ II\ 4686$ по CCD данни от 16.08.1997 г. (*десен панел*). Показана е и долната част, където се вижда широкият компонент. Вижда се също линията $[O\ III]\ 4363$.

се дължи на оптически тънък звезден вятър с висока скорост от около 1000 km s^{-1} от избухващия компактен обект. Ние определихме темпа на загуба на маса на компактия обект по потока енергия в широкия компонент по времето на три последователни избухвания с максимуми през 1995, 1996 и 1997 г. Той беше винаги в границите на $(1 - 2) \times 10^{-7}\text{ M}_\odot\text{ yr}^{-1}$ при средно разстояние до системата 1.7 крс. Наличието на тези данни ни позволи да предположим, че е по-вероятно компактният обект в системата AG Dra да е в състояние на стационарно горене на водорода на неговата повърхност и оптическите избухвания да са предизвикани от промяна на темпа на акреция, отколкото да претърпява термоядрено избухване на повърхността на компактен обект (Tomova & Tomov 1999; Tomov & Tomova 2002).

Оптическите избухвания на AG Dra се дължат главно на нарастналото излъчване на околог звездната мъглявина. Ние пресметнахме мярата на емисия на мъглявината по U потока в моментите на максимум на блясъка (Фиг. 4.1) и също така в спокойно състояние в момент на орбитален максимум. Оказа се, че по време на избухванията мярата на емисия е

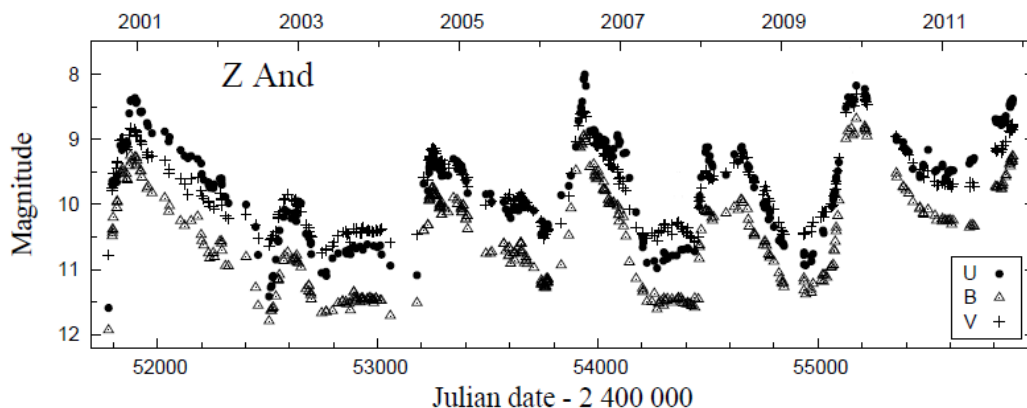
нарастнала в съотношения 36.2, 12.9, 8.3, 14.9 и 6.6 съответно за петте максимума. Йонизиращ източник е компактният обект. Ако йонизацията е чисто радиативна, мярата на емисия и Лаймановата фотонна светимост на компактният обект трябва да нарастват приблизително в едно и също съотношение. Тогава проблемът за обяснение на избухванията е, че нарастването на светимостта на компактният обект е твърде малко за обезпечаване наблюдаемото излъчване на мъглявината. Според едни автори болометричната светимост остава постоянна (Greiner et al. 1997), а според други нараства до 4–5 пъти (Gonzalez-Riestra et al. 1999). Разликата в съотношенията на нарастване на мярата на емисия и светимостта е твърде голяма и не може да се компенсира от ударна йонизация в мъглявината. Тогава мярата на емисия може да нарастне в резултат на нарастване на темпа на загуба на маса на гиганта, ако компактният обект има достатъчно висока светимост в спокойно състояние такава, че да йонизира мъглявината до безкрайност и значителна част от лаймановите кванти да останат непогълнати. Въз основа на тази идея предложихме сценарий за интерпретация на нарастването на оптическия блясък на AG Dra (Tomov & Tomova 2002).

5 Прототипът на симбиотичните звезди

Z And по време на последната активна фаза в периода 2000 – 2013 г.

Симбиотичната система Z And се състои от нормален M4.5 гигант (Mürset & Schmid 1999), бяло джудже с висока температура над 10^5 K (Fernandez-Castro et al. 1988; Sokoloski et al. 2006) и мощна газова мъглявина. В спокойно състояние има орбитални фотометрични изменения с амплитуда около 0.5^m в BV областта и 1^m в U, които се дължат на окултация на мъглявината. Системата има елементи на блясъка $\text{Min(vis)} = \text{JD } 2\,442\,666^d + 758^d \times E$ (Formigginini & Leibowitz 1994; Mikolajewska & Kenyon 1996; Fekel et al. 2000). За начален момент е приет момента на орбитален минимум, който съвпада с момента на спектралното съединение. Системата е претърпяла множество активни фази след всяка от годините 1915, 1939, 1960, 1984 и 2000 г. Всяка фаза има продължителност от няколко години и се състои от няколко последователни оптически избухвания. Спокойните периоди между активните фази са от около 15 – 20 години.

Ние изследвахме системата по време на последната и най-продължителна активна фаза в периода 2000 – 2013 г., в която се включват

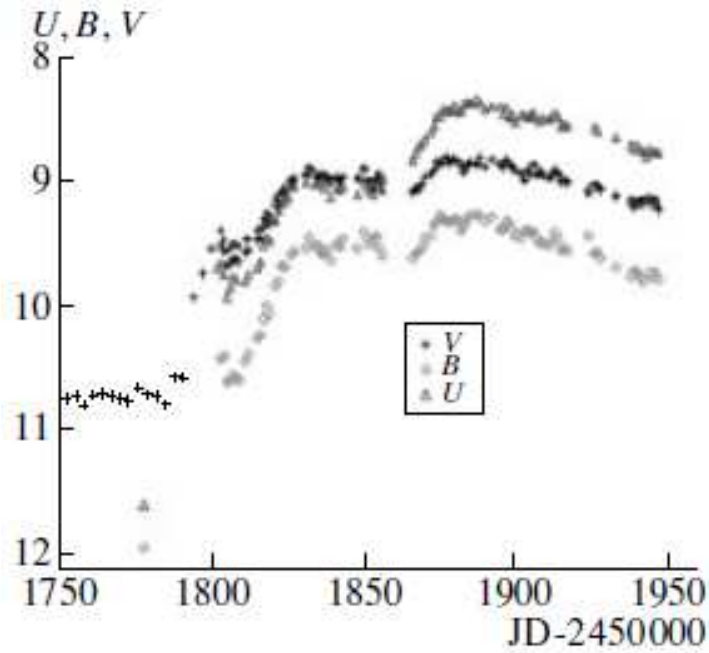


Фигура 5.1: Криви на блясъка по време на последната активна фаза в периода 2000 – 2013 г. от Skopal et al. (2012).

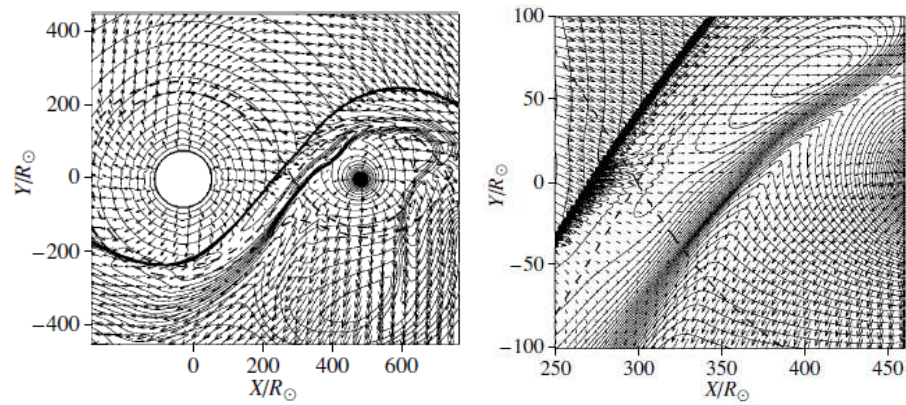
седем оптически избухвания (Фиг. 5.1). В резултат предложихме механизъм за интерпретация на нарастването на оптическия блясък по време на всяко от избухванията (Bisikalo et al. 2006) и сценарий за еволюция на геометричната структура на избухващия компактен обект за интерпретация на линейния спектър (Tomov et al. 2010b, 2014).

Всички избухвания от активната фаза имат приблизително еднаква продължителност на нарастване на блясъка близка до 100 дни. Освен това при всяко от избухванията болометричната светимост на компактния обект нараства. Това дава право да допуснем, че в тях действат общи механизми. Първоначално анализирахме първото от тях, тъй като за него беше получена крива на блясъка с много високо временно разрешение, показваща редица детайли. На тази база предложихме модел (комплект механизми), който след това не се наложи да се допълва или коригира.

На Фиг. 5.2 са показани UBВ кривите по време на първото избухване, където се виждат три етапа на нарастване на блясъка, отделени с две платата. Ние интерпретирахме това поведение чрез съпоставяне с резултати от двумерно газодинамично моделиране в орбиталната равнина на система с параметрите на Z And. Те показват, че около 70 дни след началото на раширението на компактния обект, близо до границата на ветровете се формира област на ударни вълни, която достига максимално развитие след още около 30 дни. Йонизацията в нея е ударна, електронната температура може да достигне 10^6 K и рентгеновата светимост е $10^{31} - 10^{32} \text{ ergs}^{-1}$, в много добро съгласие с наблюдаемата рентгенова светимост (Sokoloski et al. 2006). Тази област на фазите на максимално развитие е показана на Фиг. 5.3.



Фигура 5.2: Криви на блясъка на Z And по време на избухването през 2000 г. по данни на Sokoloski et al. (2006).

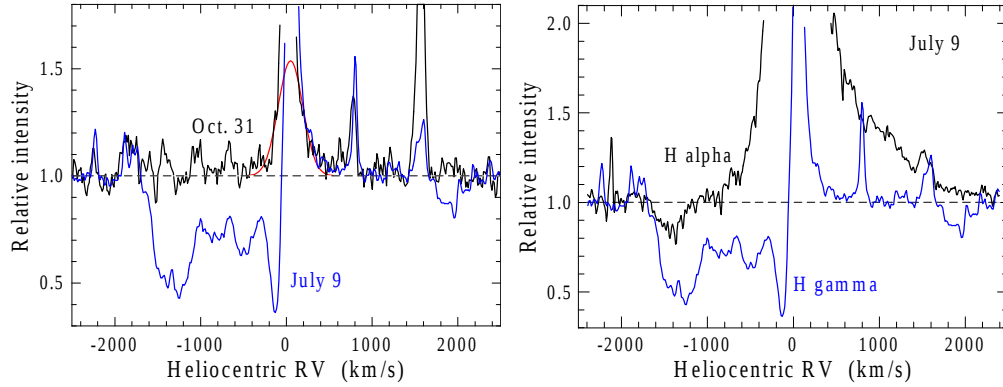


Фигура 5.3: Областта на сблъскване на ветровете в системата Z And, където се формира ударна вълна – резултат от двумерно моделиране в орбиталната равнина. Показани са векторът на скоростта и линиите на една и съща плътност. Гигантът е отляво. Централната част на областта е показана увеличена на десния панел.

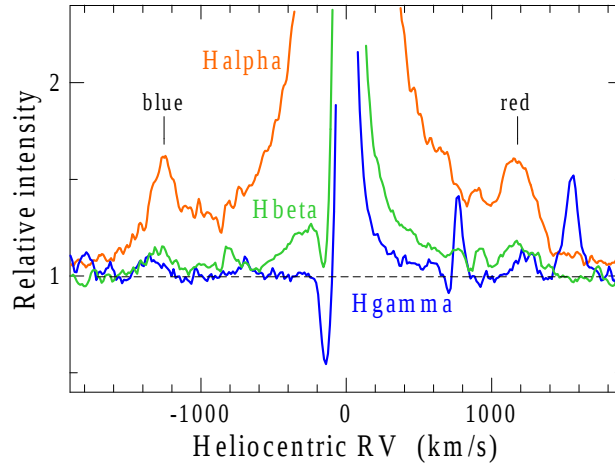
Имайки пред вид тези резултати, предложихме следната интерпретация. По време на първия етап болометричната светимост расте за

сметка само на акреционната светимост. Темпът на акреция надхвърля този на темпа на горене и върху компакния обект се натрупва вещество. Формира се обвивка, от която започва да изтича газ и акрецията спира. Реализира се първото плато. Натрупаното вещество променя режима на горене. Това обаче, не става мигновено, а за време теоретически до един месец (Sokoloski et al. 2006). След първото плато темпът на горене започва да расте. Това обуславя силното нарастване на болометричната светимост и разширение на компакния обект, предизвикващо преразпределение на енергията и нарастване на оптичния поток. Към тези процеси се добавя и появата на горещ вятър с ниска скорост, който формира плътна област в мъглявината. Тези три процеса определят нарастването през втория етап. Второто плато се определя от намаляване на темпа на загуба на маса, връщане на нивото на наблюдаемата фотосфера обратно към звездата, обратно преразпределение на енергията и намаляване на оптичния поток. В края на второто плато темпът на загуба отново започва да расте и се достига максимума на блясъка. В края на второто плато, седем седмици след появата на горещия вятър обаче, се е формирала и областта на ударни вълни, която достига максимално развитие след още около 30 дни, в момента на максимума. По този начин и тя има принос за достигане на максимума. Това се потвърждава наблюдателно от поява на ударна йонизация в мъглявината и е в добро съгласие с газодинамичния модел (Bisikalo et al. 2006).

По време на активната фаза Z And имаше спектрални индикации за изтичане на газ (звезден вятър) от компакния обект, които се появяваха и затихваха при всяко избухване. Линейният спектър обаче, достигна максимално развитие по време на избухването през 2006 г., когато в профилите на линиите наред със звездния вятър се появи индикация за колимирано изхвърляне. Линията H_{γ} по това време имаше четири групи компоненти. Тя обаче, бързо еволюираше и едни компоненти се развиваха, а други постепенно изчезваха (Фиг. 5.4 и 5.5). През юли 2006 г. тя имаше тесен централен компонент от небулярен тип, широк емисионен компонент от звезден вятър със скорост $\sim 500 \text{ km s}^{-1}$ и широка многокомпонентна P Cyg абсорбция, заемаща интервал от $100 - 1500 \text{ km s}^{-1}$, която поглъщаше синьото крило на широката емисия (Фиг. 5.4). През септември абсорбцията силно отслабна и се появиха сателитни емисионни компоненти със скорост $\sim 1200 \text{ km s}^{-1}$ (Фиг. 5.5). Накрая през октомври останаха само тесният и широк емисионни компоненти (Фиг. 5.4). Подобно беше поведението на линиите на He I (Tomov et al. 2012, 2014). За интерпретация на описаното поведение ние предложихме сценарий, съдържащ два етапа от еволюцията на

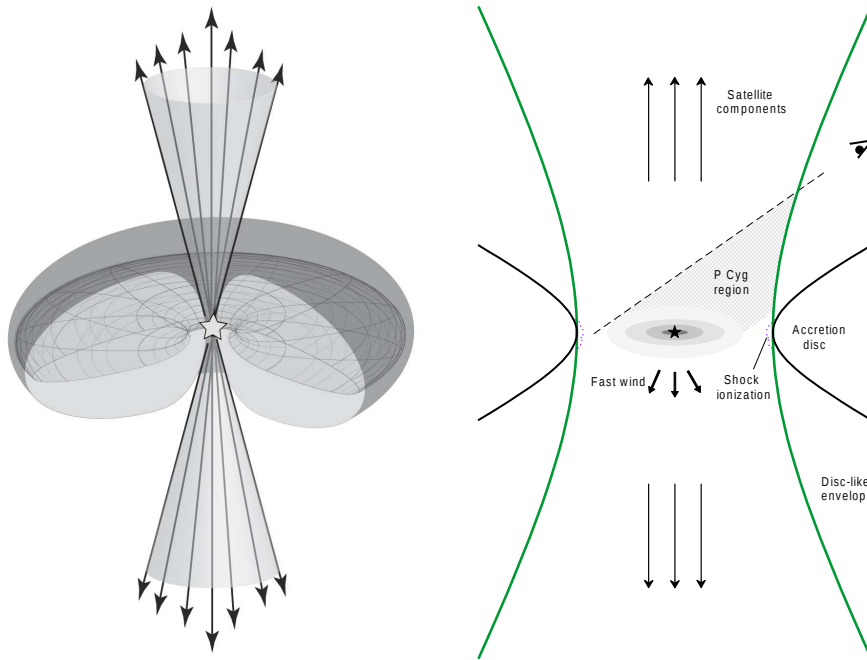


Фигура 5.4: *Ляв панел:* Профилът на линията H_γ на Z And на 9 юли и 31 октомври 2006 г. Показан е гаусовият фит на широкия компонент. *Десен панел:* Профилът на линиите H_α и H_γ на 9 юли 2006 г.



Фигура 5.5: Профилът на линиите H_α , H_β и H_γ на Z And на 8 септември 2006. Вертикалните линии показват местоположението на сателитните емисионни компоненти.

избухващия компактен обект на базата на резултати от газодинамично моделиране на система с параметрите на Z And. Съгласно тези резултати в спокойно състояние около компакния обект се формира геометрически тънък диск от акреция от звезден вятър с характерни радиус и маса $50 - 60 R_\odot$ и $5 \times 10^{-7} M_\odot$. По време на първото (и всяко следващо) избухване звездният вятър от компакния обект издухва по-външните слоеве на диска. В края на избухването част от изхвърлената маса остава в потенциалната яма на компакния обект. След стихването на вятъра тя започва да акретира отново и в резултат на запазване на



Фигура 5.6: *Ляв панел:* Схематичен модел на избухващия компактен обект на Z And по време на повторно силно избухване. *Десен панел:* Същият модел в равнина, перпендикулярна на орбиталната, където са показани областите на формиране на компонентите на линиите.

началния ъглов момент попада в диска. По този начин се образува протяжна (геометрически дебела) дискообразна обвивка, която се простира на голямо разстояние от орбиталната равнина. В резултат на съществуването на центробежна бариера около оста на въртене се формират два кухи конуса с малък ъгъл (Фиг. 5.6). При следващото избухване вятърът изтича единствено през тях и поражда сателитните компоненти в профилите на линиите (Tomov et al. 2010b, 2014).

В рамките на този модел четирикомпонентния профил на линията H_γ се интерпретира по следния начин. Звездният вятър, наблюдаван в широкия емисионен компонент се сблъсква с диска и дискообразната обвивка и се формира колимирано изтичане. Частта от вятъра, проектираща се върху наблюдаемата фотосфера формира P Cyg абсорбцията, която поглъща синьото крило на широката емисия. Лъчевите скорости в P Cyg областта заемат голям диапазон и това обуславя широката абсорбция (Фиг. 5.6). Червеното крило на широката емисия се вижда, тъй като задната част на вятъра не се окултира изцяло от наблюдаемата

фотосфера (Tomov et al. 2014).

Пресметнат е темпа на загуба на маса на компактния обект по потоците енергия в широкия емисионен компонент и сателитните компоненти. Оказва се, че той намалява от $(4 - 5) \times 10^{-7} (d/1.12 \text{ kpc})^{3/2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ в момента на максимума до около $1 \times 10^{-7} (d/1.12 \text{ kpc})^{3/2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ през декември 2006 г. (Tomov et al. 2012).

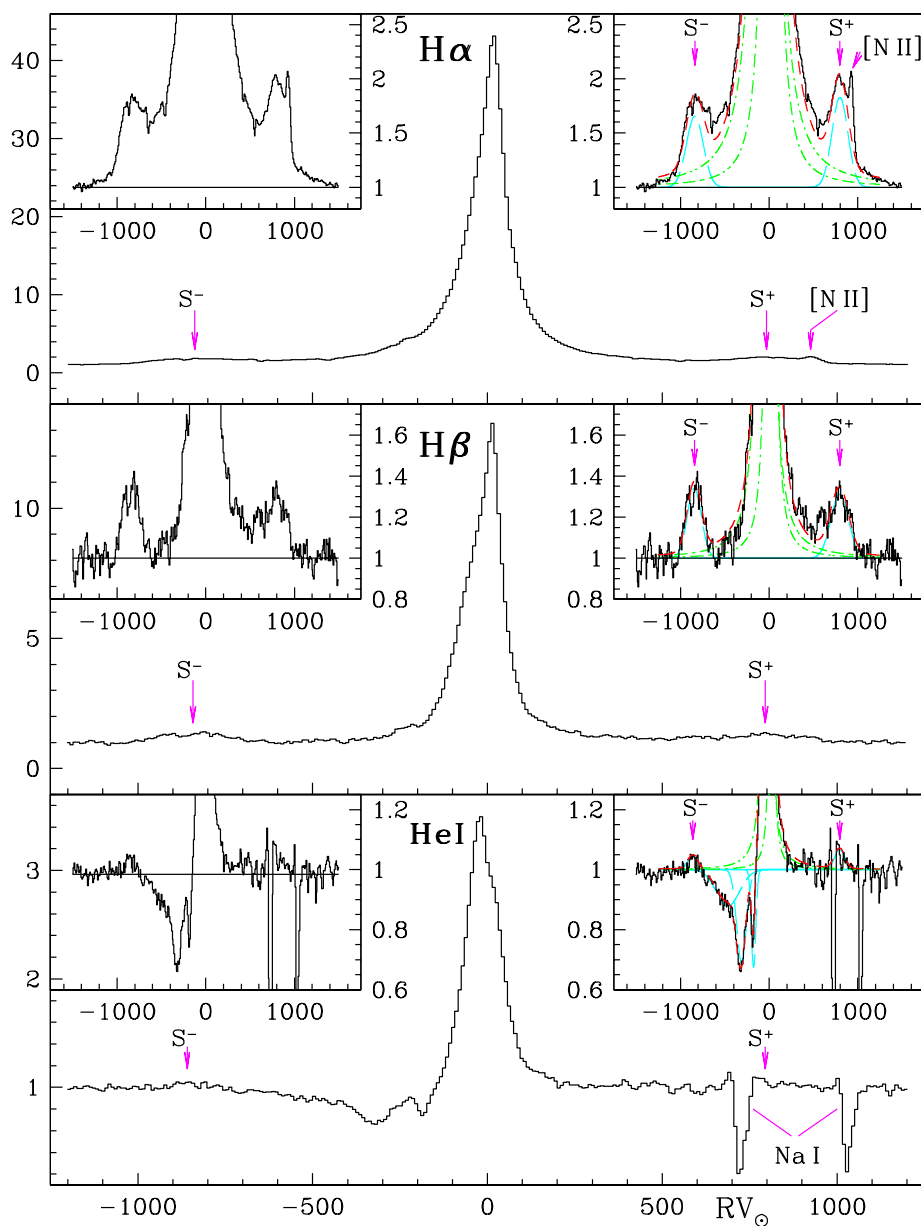
6 Симбиотични звезди със спектрални индикации на двуполюсно изхвърляне на маса и звезден вятър

Четири от общо пет симбиотични системи, чиито оптически линии съдържат сателитни компоненти, показващи колимирано изхвърляне, имат допълнителна абсорбция от типа P Cyg с различна скорост. Тези системи са Z And, Hen 3-1341, StH α 190 и BF Cyg. Общоприетият механизъм за генериране на колимирано изхвърляне, в рамките на който се привлича магнитен диск около компактен обект, не предоставя възможност за интерпретация на профилите на тези системи. В тази глава показваме, че техните профили може да се интерпретират в рамките на модела на колимиран звезден вятър, предложен първоначално за Z And.

6.1 Системата Hen 3-1341

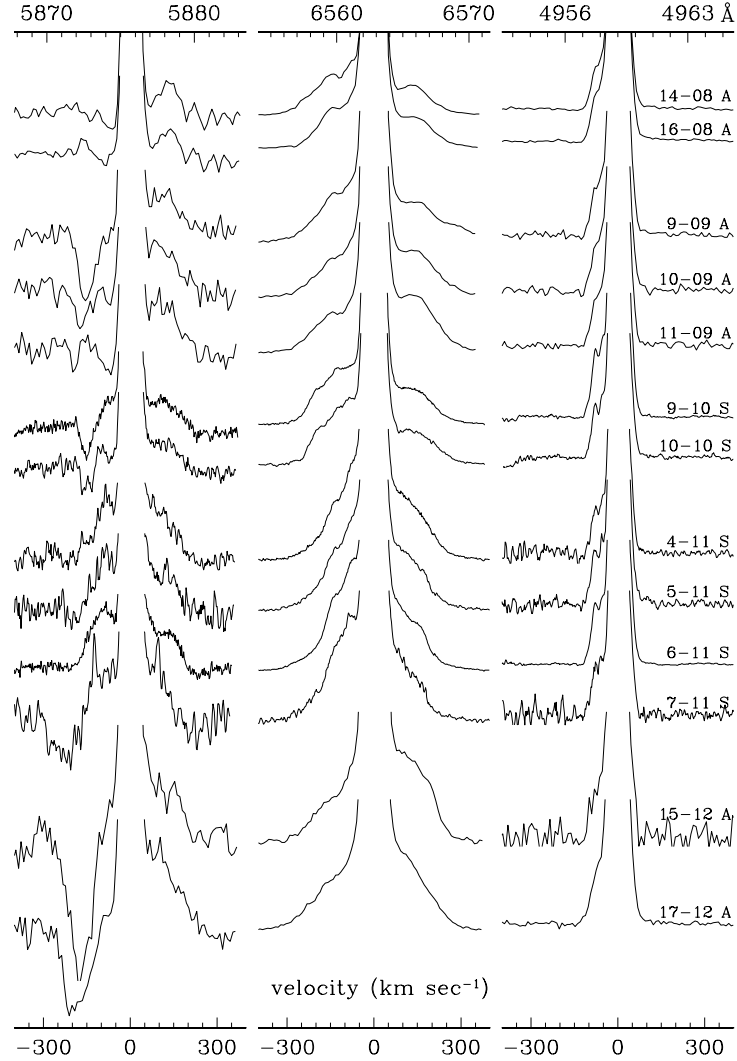
Системата Hen 3-1341 се състои от нормален M4 гигант (Mürset & Schmid 1999), бяло джудже с ефективна температура около $1.2 \times 10^5 \text{ K}$ (Munari et al. 2005) и окологзвездна мъглявина. Орбиталният период не е известен. Не е добре изследвано и орбиталното фотометрично поведение. Претърпяла е две оптически избухвания: първото в периода 1998 – 2004 г. с максимум на блясъка през 1999 г. (Munari et al. 2005) и второто – през 2012 г.

Спектралните данни на Tomov T. et al. (2000), получени в максимума на блясъка показват, че H α профилът се състои от централен емисионен компонент и сателитни компоненти от двете страни на централната емисия със скорости от 800 km s^{-1} (Фиг. 6.1). Същия беше и видът на H β профила. Подобен беше и профилът на линията He I $\lambda 5876$, тъй като тя имаше и двукомпонентна P Cyg абсорбция, разположена в широк интервал по дължина на вълната $\sim 150 - 700 \text{ km s}^{-1}$. Профилът на хелиевата линия се интерпретира по същия начин като профилите на



Фигура 6.1: Профилът на линиите H_α , H_β , и $He I \lambda 5876$ на He II 3-1341 на 8 юни 1999 (Tomov T. et al. 2000).

Z And. Звездният вятър от избухващия компактен обект се сблъсква с диска и дискообразната обвивка и възниква двуполусно колимирано изтичане (Фиг. 5.6). Лъчевите скорости в P Cyg областта заемат значителен интервал, което определя широката P Cyg абсорбция.



Фигура 6.2: Еволюция на линиите H_{α} , $He I \lambda 5876$ и $[O III] \lambda 4959$ на StH α 190 в периода август – декември 2000 г. (Munari et al. 2001).

Високоскоростните сателитни емисии възникват в частта от колимирания вятър, която не се проектира върху наблюдаемата (псевдо)фотосфера (Tomov et al. 2014).

6.2 Системата StH α 190

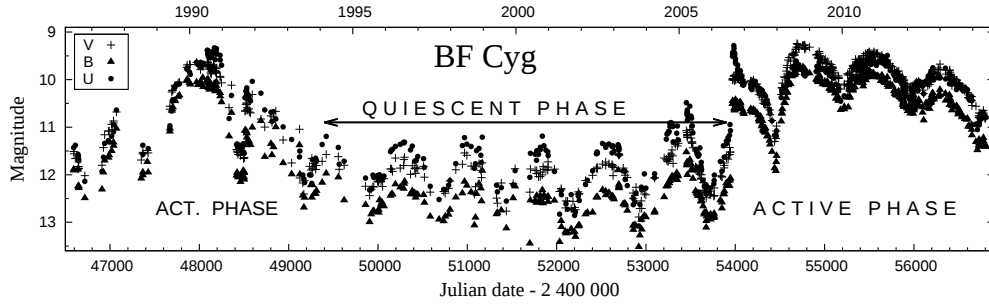
Жълтата симбиотична StH α 190 се състои от G4 III/IV гигант (Smith et al. 2001), O субджудже (Munari et al. 2001) и околосвездна мъглявина. Орбиталният период не е известен, но голямата амплитуда на лъчевата

скорост на гиганта означава, че той е по-скоро къс, а наклонът на орбитата – висок (Munari et al. 2001). Не намерихме данни в литературата нито за орбитална променливост, нито за еруптивна активност. Munari et al. (2001) получиха спектрални данни с високо разрешение в областите на линиите H_α , $He I \lambda 5876$ и $[O III] \lambda 4959$ в периода август – декември 2000 г. H_α профилът се състоеше от централен емисионен компонент и допълнителни пикове (рамене) от двете му страни, възникнали в резултат на блендиране със сателитни компоненти с лъчева скорост $\sim 150 \text{ km s}^{-1}$ (Фиг. 6.2). Тъй като се предполага, че наклонът на орбитата е сравнително висок, реалната физическа скорост на газа в двете струи може да бъде около 1000 km s^{-1} . Подобен е и профилът на линията $He I \lambda 5876$. Тази линия, обаче, имаше силно променлива P Cyg абсорбция, която добре се вижда на всички спектри и в някои моменти има многокомпонентна структура (Фиг. 6.2). Munari et al. (2001) допускат, че по-ниската интензивност на синия сателитен компонент на H_α на някои спектри се дължи също на присъствието на P Cyg абсорбция. Профилите на системата StH α 190 се интерпретират в светлината на модела на колимиран звезден вятър (Фиг. 5.6) по същия начин, както и профилите на Z And и Hen 3-1341 (Tomov et al. 2014).

6.3 Системата BF Cyg

Симбиотичната система BF Cyg се състои от нормален M5 III гигант (Kenyon & Fernandez-Castro 1987), бяло джудже с ефективна температура около 10^5 K и мощна околосвездна мъглявина с висока светимост (Skopal 2005). В спокойно състояние има орбитални фотометрични изменения с амплитуда $\sim 1^m$ в трите ивици UVB (Skopal et al. 2012). Системата е затъмнителна и орбиталните изменения се дължат както на затъмнение на компактният обект, така и на окултация на мъглявината. Тя има елементи на блясъка $JD(\text{Min}) = 2451395.^d2 + 757.^d2 \times E$ (Mikolajewska 1987; Fekel et al. 2001). За начален момент е приет момента на орбитален минимум, който съвпада с момента на спектралното съединение.

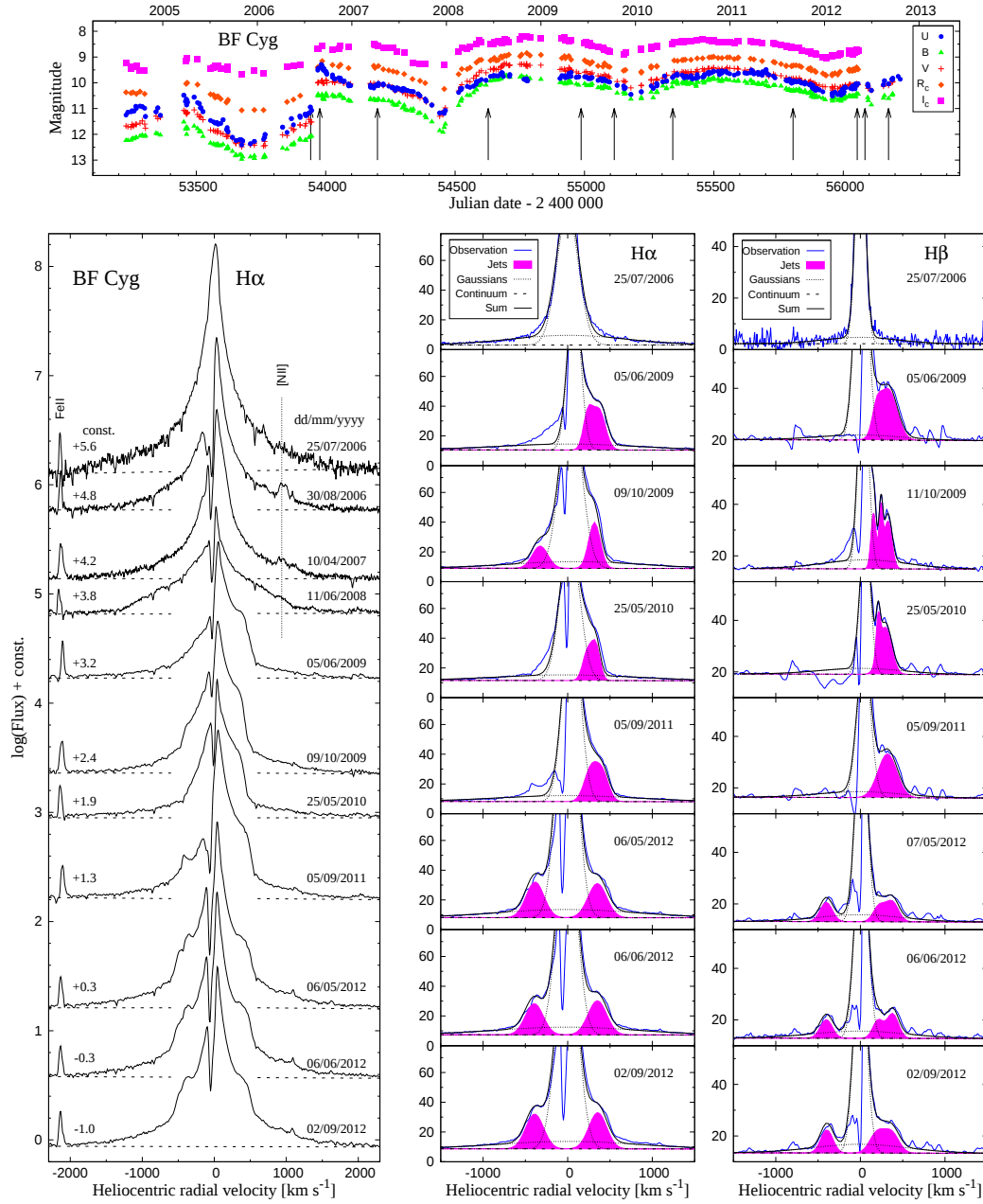
На Фиг. 6.3 са показани UVB кривите на блясъка за последните около 30 години, където се виждат две избухвания и спокойния период между тях. Ясно се виждат затъмненията на компактният обект както в спокойно състояние, така и по време на активност. Ние изследвахме системата по време на последното избухване, което започна през 2006 г. и продължава. В периода 2009 – 2013 г. тя имаше индикация за колимирано изхвърляне. Еволюцията на линиите H_α и H_β през част от този период е показана на Фиг. 6.4. Те имаха централна емисия и сателитни компоненти със скорост $\sim 400 \text{ km s}^{-1}$. В началото на периода



Фигура 6.3: UVB криви на бляска на системата BF Cyg по време на последните две избухвания и спокойния период между тях (Skopal et al. 2015).

синият сателитен компонент на H_β беше абсорбционен, а след това се трансформира в емисия. Освен това в някои моменти тази линия съдържаха и допълнителни P Cyg абсорбции с по-ниски скорости. Описаното поведение се интерпретира в светлината на модела на колимиран звезден вятър (Фиг. 5.6) по същия начин, както и профилите на предишните три звезди (Tomov et al. 2014).

Този модел предоставя възможност и за интерпретация на кривата на бляска по време на избухването като предлага отговор на въпроса защо се променя дълбочината на орбиталния минимум (затъмнението, Фиг. 6.3). Ние предполагаме, че в резултат на намаляване на темпа на загуба на маса на избухващия компактен обект след първия максимум и акреция на част от изхвърленото вещество, в периода между първия и втория минимума се формира притяжна (геометрически дебела) дискообразна обвивка около акреционния диск. Тя колимира вятъра, пораждайки двуполусно изтичане, което се наблюдава като сателитни компоненти на Балмеровите линии. Незатъмняваната част на обвивката причинява намаляване на дълбочината на орбиталния минимум. Моделните $UBVR_CI_C$ потоци на незатъмняваната част са в съгласие с наблюдаемата разлика на дълбочините на първия и втория орбитални минимума. Параметрите на обвивката изискват в нея да се формира излъчването на преобладаващата част от околосвездната мъглявина и съответно на линията H_α . Тъй като обаче, скоростите на въртене в обвивката са ниски, H_α профилът е малко повлиян от въртенето и повече – от други механизми. Тази обвивка е временно живуща и нейното разрушаване определя нарастването на дълбочината на орбиталния минимум с намаляване на оптическия блясък (Tomov et al. 2015).



Фигура 6.4: Горният панел показва $UBVR_cI_c$ кривите на блясъка на BF Cyg по време на текущата активна фаза (Skopal et al. 2007, 2012). Стрелките показват моментите на спектралните наблюдения. На долните панели се вижда еволюцията на профилите на H_α и H_β по време на избухването. Запълнените криви показват сателитните емисионни компоненти. Потоците са в единици $10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$.

7 Заключение, основни резултати и приноси

Основните резултати и приноси са обобщени както следва:

1. Предложен е модел за интерпретация на орбиталната променливост на линейния спектър на системата EG And (Tomov 1995).
2. Получен е темпът на загуба на маса на компактния обект в системата AG Peg в два момента в края на нейното избухване. Потокът в оптичните линии между тези два момента е намалял средно около два пъти, което е приблизително равно на намалението на U потока и Лаймановата фотонна светимост на компактния обект (Tomov & Tomova 1998; Tomov et al. 1998).
3. Предложена е интерпретация на орбиталната U променливост и намаляването на U потока върху дълга времева скала от десетилетия на симбиотичната система AG Peg в рамките на модела на взаимодействащи ветрове (Tomov & Tomova 2001).
4. Определено е разстоянието до системата AG Dra и на тази база – основните параметри на нейните звездни компоненти (Tomov et al. 2000).
5. Определен е темпът на загуба на маса на компактния спътник в системата AG Dra по време на три последователни ерупции с максимуми на блясъка през 1995, 1996 и 1997 г. На тази база е изразено предположението, че по-вероятно е компактният обект да не е претърпявал термоядрено избухване, а водородът да е горял в стационарен режим на неговата повърхност (Tomova & Tomov 1999; Tomov & Tomova 2002).
6. Предложен е сценарий за интерпретация на нарастването на оптичния блясък на системата AG Dra през активната ѝ фаза 1994 – 1998 г. (Tomov & Tomova 2002).
7. Чрез съпоставяне с резултати от газодинамично моделиране е предложен механизъм за нарастването на оптичния блясък на системата Z And през активната ѝ фаза 2000 – 2013 г. (Bisikalo et al. 2006).
8. Линиите H_α и H_γ на системата Z And бяха двупикови по време на избухването в края на 2002 г. Показано е, че те може да се излъчват главно от дискообразна структура около компактния обект, чиято мяра на емисията е не по-голяма от нарастването на мярата на

емисията на мъглявината по време на избухването (Tomov et al. 2010a).

9. Системата Z And имаше най-сложен линеен спектър по време на избухването си през 2006 г., когато Балмеровите и хелиевите линии имаха многокомпонентен профил. Показано е, че еволюцията на линейния спектър може да се интерпретира в рамките на модела на колимиран звезден вятър (Tomov et al. 2012, 2014).
10. На базата на резултати от газодинамично моделиране е предложен сценарий за интерпретация на линейния спектър на системата Z And по време на активната фаза 2000 – 2013 г. Този сценарий предоставя възможност за обяснение на разликите в поведението по време на отделните избухвания от активната фаза (Tomov et al. 2010b, 2011, 2014).
11. Показано е, че профилите на линиите на всички симбиотични системи, съдържащи индикация както за колимирано изхвърляне, така и за звезден вятър, най-добре се интерпретират в рамките на модела на колимиран звезден вятър (Tomov et al. 2014).
12. Предложена е количествена интерпретация на оптическите криви на блясъка на затъмнителната система BF Cyg по време на избухването в периода 2006 – 2015 г. в рамките на модела на колимиран звезден вятър (Tomov et al. 2015).

8 Публикации, на които се основава дисертацията

А. В издания с импакт фактор

1. Tomov N. A. “A colliding winds interpretation for the spectral variability of EG And”, 1995, MNRAS 272, 189
2. Tomov, N., Tomova, M. “H α and U light variability of EG And during 1991-1994”, 1995, C. R. Acad. Bulg. Sci. 48, No. 11-12, 11-14
3. Tomov N., Tomova M., Raikova D. “The visual line spectrum of AG Peg in 1995”, 1998, A&AS 129, 479-488
4. Tomova M., Tomov N. “Spectral observations of AG Draconis during quiescence and outburst (1993-1995)”, 1999, A&A 347, 151-163

5. Tomov N., Tomova M., Ivanova A. "Analysis of the U-band orbital variation of the symbiotic binary AG Draconis during quiescence", 2000, A&A 364, 557-562
6. Tomov N., Tomova M. "A colliding-winds interpretation of the U orbital variation of the symbiotic binary AG Pegasi", 2001, Ap&SS 278, 311
7. Tomov N., Tomova M. "Hydrogen and helium emission of the symbiotic binary AG Draconis during an active phase (1996 - 1997)", 2002, A&A 388, 202-212
8. Tomov, N., Taranova, O., Tomova, M. "Mass ejection by the symbiotic binary Z And during its 2000-2002 outburst", 2003, A&A 401, 669-676
9. Tomov N., Tomova M., Zamanov R. "Spectral observations of Z Andromedae during quiescence and its 2000 active phase", 2003, in "Symbiotic stars probing stellar evolution", eds. R. L. M. Corradi, J. Mikolajewska, and T. J. Mahoney, ASPC 303, 254-257
10. Taranova O.G., Tomov N., Tomova M., Shenavrin V.I. "The Symbiotic System Z Andromedae during the Flare of 2000-2002", 2004, Astr. Rep. 48, 742-750
11. Tomov, N., Tomova, M., Taranova, O. "Broad-band multicolour observations of the symbiotic binary Z And during quiescence and its activity at the end of 2002", 2004, A&A 428, 985-992
12. Tomov, N., Tomova, M., Taranova, O. "The HeII 4686 line of the symbiotic binary Z And during its outburst at the end of 2002", 2005 in The Astrophysics of Cataclysmic Variables and Related Objects, eds. J. M. Hameury, & J. P. Lasota, ASP Conf. Ser. 330, 465-466
13. Bisikalo D.V., Boyarchuk A.A., Kilpio E.Yu., Tomov N.A., Tomova M.T. "A Study of an Outburst in the Classical Symbiotic Star Z And in a Colliding-Wind Model", 2006, Astr. Rep. 50, 722-732
14. Tomov N.A., Tomova M.T., Bisikalo D.V. "Bipolar ejection by the symbiotic binary system Z And during its 2006 outburst", 2007, MNRAS 376, L16-L19
15. Tomov, N.A., Tomova, M.T., Bisikalo, D.V. "Spectral indications of ejection of mass by the symbiotic binary Z And during its 2000-2002 outburst", 2008, MNRAS 389, 829-838

16. Tomov N.A., Tomova M.T., Bisikalo D.V. "The Hydrogen and Helium Lines of the Symbiotic Binary Z And during Its Brightening at the End of 2002", 2010, Astr. Rep. 54, 528-536
17. Tomov N.A., Bisikalo D.V., Tomova M.T., Kilpio, E. "A Study of Outburst Activity of Z And in 2000-2010", 2010, Astr. Rep. 54, 628-644
18. Kilpio, E.Yu., Bisikalo D.V., Tomov N.A., Tomova M.T. "Classical symbiotic star Z And During the Recent Activity Period", 2011, Ap&SS 335, 155-160
19. Tomov, N.A., Tomova, M.T., Bisikalo, D.V. "Mass ejection by the symbiotic prototype Z And during its 2006 outburst 2012", 2012, Baltic Astronomy 21, 112-122
20. Skopal, A., Tomov, N.A., Tomova, M.T. "Discovery of collimated ejection from the symbiotic binary BF Cygni", 2013, A&A 551, L10
21. Tomov N.A., Tomova M.T., Bisikalo D.V. "Symbiotic Stars with Spectral Indication of Bipolar Ejection and Stellar Wind", 2014, AN 335, 178-188
22. Tomov N.A., Tomova M.T., Bisikalo D.V. "Transient accretion disc-like envelope in the symbiotic binary BF Cygni during its 2006 – 2015 optical outburst", 2015, AN accepted

В. Доклади на международни конференции

1. Tomov N., Tomova M. "H α observations of AG Dra during quiescence and the 1994 outburst", 1997, in "Physical Processes in Symbiotic Binaries and Related Systems", ed. Mikolajewska J., Copernicus Foundation for Polish Astronomy, Warsaw, p. 185
2. Tomov N. "General observational characteristics of symbiotic binaries", 2001, in Proceedings of the Balkan meeting of young astronomers, eds. A. Antov, R. Konstantinova-Antova, R. Bogdanovski and M. Tsvetkov, p. 97 - 106
3. Tomov N., Tomova M., Taranova O. "The Activity of the Symbiotic Binary Z And at the End of 2002", 2005, Aerospace Research in Bulgaria, v. 20, Proceedings of the Balkan Astronomical Meeting (BAM 2004), Rozhen - June 2004, 252-257

4. Taranova O., Tomov N., Tomova M., Shenavrin V. "The Symbiotic System Z Andromedae during the Flare of 2000–2002", 2007, in Proc. of the memorial D.Ya. Martynov regional conference, held 22-24 May 2006, GAISH
5. Tomov N.A., Tomova M.T., Bisikalo D.V. "Evidences for an Accretion Disc in the Spectrum of the Symbiotic Binary Z And during its Outburst at the end of 2002", 2009, AIP Conf. Proc., SPACE PLASMA PHYSICS: School of Space Plasma Physics, ed. I. Zhelyazkov, 1121, 22-27
6. Tomov N.A., Bisikalo D.V., Tomova M.T., Kilpio, E. "Interpretation of the line spectrum of classical symbiotic stars in the scenario for their prototype Z And", 2011, AIP Conf. Proc., 3RD SCHOOL AND WORKSHOP ON SPACE PLASMA PHYSICS, eds. I. Zhelyazkov and T. Mishonov, 1356, 35-44
7. Tomov, N.A., Tomova, M.T., Bisikalo, D.V. "Symbiotic Stars with Similar Line Profiles during Activity", 2013, AIP Conf. Proc., 4TH SCHOOL AND WORKSHOP ON SPACE PLASMA PHYSICS, eds. I. Zhelyazkov and T. Mishonov, 1551, 30-45
8. Skopal, A., Sekeras, M., Tomov, N., Tomova, M., Tarasova, T., Wolf, M. "What powers the 2006 outburst of the symbiotic star BF Cygni?", 2015, in the Proceedings of the Palermo Workshop THE GOLDEN AGE OF CATAclysmic VARIABLES AND RELATED OBJECTS - II, eds. F. Giovannelli and L. Sabau-Graziati, Acta Polytechnica, in press
9. Tomov N.A., Tomova M.T., Bisikalo D.V. "Interpretation of the UB-VRcIc light variations of the symbiotic binary BF Cyg during its 2006 - 2014 optical outburst", 2015, AIP Conf. Proc., 5TH SCHOOL AND WORKSHOP ON SPACE PLASMA PHYSICS, eds. I. Zhelyazkov and T. Mishonov, accepted

С. Други публикации

1. Tomov, N., Tomova, M. "H α and U light variability of EG And during 1991–1994 – a support of the colliding winds interpretation", 1995, in 100 yr Astronomical Observatory of Sofia University, eds. K. Mashev, and R. Kurtev, Naturela, Sofia, p. 103

-
2. Montagni, F., Maesano, M., Viotti, R., Altamore, A., Tomova, M., Tomov, N. “Photometry of the 1994–1995 active phase of AG Dra”, 1996, IBVS 4336
 3. Tomov, N., Tomova, M. “Photoelectric UBV observations of EG Andromedae” 1996, IBVS 4341
 4. Tomova, M., Tomov, N. “UBV observations of AG Dra in 1996 and 1997 during active phase”, 1998, IBVS 4561
 5. Tomov, N., Tomova, M. “Photometric investigation of the nebula in the AG Peg system”, 1998, IBVS 4574
 6. Tomov, N., Tomova, M. “UBV observations of AG Dra in the end of the last active phase and after it”, 2000, IBVS 4953
 7. Tomov, N., Tomova, M. “H α observations of the symbiotic binary system Z And during its 2006 outburst”, 2006, BlgAJ 8, 76
 8. Tomova, M., Tomov, N., Bisikalo, D. “Two-velocity type mass outflow from the symbiotic binary Z And during its 2000 – 2002 outburst”, 2008, BlgAJ 10, 39
 9. Tomov, N., Bisikalo, D., Tomova, M., Kilpio, E. “Eruptive activity of Z And in 2000–2010”, 2011, BlgAJ 15, 35
 10. Tomov, N., Tomova, M., Bisikalo, D. “Balmer lines of the symbiotic binary Z Andromedae during its 2006 outburst”, 2011, BlgAJ 17, 70
 11. Tomov, N., Tomova, M. “Bipolar ejection from the symbiotic binary Hen 3-1341 during its 2012 outburst”, 2013, IBVS 6055

Литература

- Altamore, A., & Cassatella, A. 1997, A&A 317, 712
- Belyakina, T.S. 1992, Izv. Krym. Astrofiz. Obs. 84, 49
- Bisikalo, D.V., Boyarchuk, A.A., Kilpio, E.Yu., Tomov, N.A., Tomova, M.T. 2006, ARep 50, 722
- Fekel, F.C., Hinkle, K.H., Joyce, R.R., Skrutskie, M.F. 2000, AJ, 120, 3255
- Fekel, F.C., Hinkle, K.H., Joyce, R.R., Skrutskie, M.F. 2001, AJ 121, 2219
- Fernandez-Castro, T., Cassatella, A., Gimenez, A., & Viotti, R. 1988, ApJ 324, 1016
- Fernie, J.D. 1985, PASP 97, 653
- Formigini, L., & Leibowitz, E. M. 1994, A&A, 292, 534
- Gonzalez-Riestra, R., Viotti, R., Iijima, T., & Greiner, J. 1999, A&A 347, 478
- Greiner, J., Bickert, K., Luthardt, R. et al., 1997, A&A 322, 576
- Hric, L., Skopal, A., Urban, Z., et al. 1996, Contr. Astr. Obs. Skalnaté Pleso 26 46
- Huang, C.C., Friedjung, M., Zhou, Z.X. 1994, A&AS 106, 413
- Kenyon, S., & Fernandez-Castro, T. 1987, AJ 93, 938
- Kenyon, S., Mikolajewska, J., Mikolajewski, M., Polidan, R., Slovak, M. 1993, AJ 106, 1573
- Mikolajewska, J. 1987, Ap&SS 131, 713
- Mikolajewska, J., & Kenyon, S.J. 1996, AJ, 112, 1659
- Mikolajewska, J., Kenyon, S.J., Mikolajewski, M., Garsia, M.R., Polidan, R.S. 1995, AJ 109, 1289
- Montagni, F., Maesano, M., Viotti, R., et al. 1996, IBVS 4336
- Munari, U., Margoni, R., Iijima, T., Mammano, A. 1988, A&A 198, 173
- Munari, U., Siviero, A., Henden, A. 2005, MNRAS 360, 1257

-
- Munari, U., Tomov, T., Yudin, B.F., et al. 2001, *A&A*, 369, L1
- Mürset, U., & Schmid, H. M. 1999, *A&AS*, 137, 473
- Mürset, U., Nussbaumer, H., Schmid, H. M., & Vogel, M. 1991, *A&A*, 248, 458
- Oliversen, N.A., Anderson, C.M., Stencel, R.E., Slovak, M.H. 1985, *ApJ* 295, 620
- Petrik, K., Hric. L., Galis, R., Friedjung, M., Dobrotka, A. 1998, *IBVS* 4588
- Proga, D., Kenyon, S.J., Raymond, J.C. 1998, *ApJ* 501, 339
- Skopal, A. 1994, *IBVS* 4096
- Skopal, A. 1998, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 28, 87
- Skopal, A. 2005, *A&A* 440, 995
- Skopal, A., Hric, L., Chochol, D., et al. 1995, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 25, 53
- Skopal, A., Pribulla, T., Vanko, M., et al. 2004, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 34, 45
- Skopal, A., Vaňko, M., Pribulla, T., et al. 2007, *AN* 328, 909
- Skopal, A., Shugarov, S., Vanko, M., et al. 2012, *AN* 333, 242
- Skopal, A., Sekerás, M., Tomov, N.A., Tomova, M.T., Tarasova, T.N., Wolf, M. 2015, *AcPol*, in press
- Smith, V.V., Pereira, C.B., Cunha, K. 2001, *ApJ* 556, L55
- Sokoloski, J. L., et al. 2006, *ApJ* 636, 1002
- Tomov, N.A. 1995, *MNRAS* 272, 189
- Tomov, N.A., & Tomova, M.T. 1998, *IBVS* 4574
- Tomov, N.A., & Tomova, M.T. 2000, *IBVS* 4953
- Tomov, N.A., & Tomova, M.T. 2001, *Ap&SS* 278, 311
- Tomov, N.A., & Tomova, M.T. 2002, *A&A* 388, 202
- Tomov, N.A., Tomova, M.T., Raikova, D.V. 1998, *A&AS* 129, 479

- Tomov, N., Tomova, M., Ivanova, A. 2000, A&A 364, 557
- Tomov, N.A., Tomova, M.T., Bisikalo, D.V. 2010a, ARep 54, 528
- Tomov, N.A., Bisikalo, D.V., Tomova, M.T., Kilpio, E.Yu. 2010b, ARep 54, 628
- Tomov, N.A., Bisikalo, D.V., Tomova, M.T., Kilpio, E.Yu. 2011, in 3rd School and Workshop on Space Plasma Physics, ed. I. Zhelyazkov & T. Mishonov, AIP Conf. Proc. 1356, 35
- Tomov, N.A., Tomova, M.T. & Bisikalo, D.V. 2012, BaltA 21, 112
- Tomov, N.A., Tomova, M.T., and Bisikalo, D.V. 2014, AN 335, 178
- Tomov, N.A., Tomova, M.T., and Bisikalo, D.V. 2015, AN accepted
- Tomov, T., Munari, U., Marrese, P.M. 2000, A&A 354, L25
- Tomova, M.T., & Tomov, N.A. 1998, IBVS 4561
- Tomova, M.T., & Tomov, N.A. 1999, A&A 347, 151
- Vogel, M., & Nussbaumer, H. 1994, A&A 284, 145
- Zamanov, R.K. 1993, Observatory 113, 260

Abstract

Several symbiotic systems are investigated: most of them during eruption and a small part – in quiescence, but having spectral indication of loss of mass.

The symbiotic binary EG And is an eclipsing system containing a compact object with a stellar wind observed in the C IV λ 1548, 1550 Å resonance lines. Its H $_{\alpha}$ line undergoes orbital variability which is due to a change of the optical depth of the circumbinary nebula. We suggested a model for interpretation of the orbital variability of the line spectrum of this system.

The symbiotic binary AG Peg has underwent the most prolonged outburst among the outbursts of symbiotics, lasted about 150 years. It is turned out that at the final stage of the outburst, in the period 1986 – 1995, the mass-loss rate of its compact object has decreased by a factor of 1.8, the energy fluxes of the optical lines have decreased by a mean factor of about 2, equal to the decrease of the U flux and the Lyman luminosity of the compact object. The orbital U variability and the long time-scale decrease of the U flux are interpreted in the framework of the model of colliding winds.

The yellow symbiotic AG Dra was investigated during its 1994 – 1998 active phase and in some time of quiescence before it. The distance and the luminosity of its stellar components were determined. The mass-loss rate of the compact object during three consecutive outbursts in 1995, 1996 and 1997 was obtained and on the basis of these data it was supposed that it has been rather in a state of a steady burning of hydrogen at its surface and has not underwent thermonuclear outburst. A scenario for interpretation of the growth of the optical light during active phase was suggested.

The symbiotic prototype Z And was investigated during its 2000 – 2013 active phase. We suggested a mechanism of increase of the optical light comparing the light curve with results of gas-dynamical modeling of the flow structure in the system. We suggested also a scenario to interpret the line spectrum of the system containing two stages of the evolution of the accreting compact object. In the framework of this model the multicomponent profiles of Z And are explained. In the framework of this model the profiles of all symbiotic stars containing indication of both bipolar ejection and stellar wind are explained too.

The light curve of the eclipsing binary BF Cyg during its last 2006 – 2015 outburst was quantitatively interpreted in the framework of this model. It is shown that the wind of the outbursting object is collimated and the depth of the orbital minimum (the eclipse) changes during the outburst for the same reason – an appearance of an extended (geometrically thick) disc-like envelope.