

52
А-7



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

им. П.К.ШТЕРНБЕРГА

На правах рукописи

ГАЛКИНА Татьяна Сергеевна

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ
ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД РАННИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ

Специальность 01.03.02 Астрофизика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА • 1973

Работа выполнена в Крымской Астрофизической Обсерватории АН СССР.

Официальные оппоненты:

доктор Физ-мат.наук В.Г.ГОРБАЦКИЙ (АО ЛГУ)

кандидат Физ-мат.наук А.М.ЧЕРЕПАШУК (ГАИШ)

Оппонирующая организация: Специальная Астрофизическая Обсерватория АН СССР.

Автореферат разослан "_____" _____ 1973 г.

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1973 г. на заседании Ученого Совета Государственного Астрономического Института им. П.К.Штернберга (Москва, Университетский проспект, 13) в 14 час. 30 мин.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГАИШ.

Ученый секретарь ГАИШ

к.ф.м.н.

Д.Н.Бондаренко

52
A7
Двойные звезды являются настолько общим явлением, что невозможно успешно развивать теорию строения и эволюции звезд не учитывая двойственность многих объектов.

50% звезд главной последовательности являются двойными, большое число которых – тесно-двойные. Вообще говоря, деление на широкие и тесные пары довольно условно. Но принято под тесной двойной понимать такую пару, у которой размеры компонентов сравнимы с расстоянием между ними.

Фотометрические и спектральные исследования двойных звезд, проводимые до последнего времени, имели целью получить параметры орбит компонентов. Только для компонентов двойных звезд может быть непосредственно определен самый фундаментальный параметр звезды – ее масса, который наряду с начальным химическим составом является главным фактором, определяющим звездную эволюцию.

Теперь хорошо установлено, что в процессе эволюции тесной двойной системы происходит обмен массой между компонентами.

Для проверки теоретических расчетов эволюции, оценки эволюционных стадий компонентов очень важным является накопление количественной информации (исследование их спектров, точная двухмерная классификация, детальное исследование контуров спектральных линий, выявление особенностей в их спектрах и т.д.).

Если фотометрические и спектральные наблюдения тесно-двойных звезд с целью получения кривых блеска и лучевых скоростей ведутся в ряде обсерваторий уже на протяжении

многих лет, то до недавнего времени спектрофотометрическому исследованию этих объектов уделялось сравнительно мало внимания. Одной из причин этого было ограниченные инструментальные возможности для получения спектров с дисперсией, пригодной для фотометрии спектральных линий. В работах прежних лет часто давалось лишь качественное описание спектров компонентов.

Нами была поставлена задача, выбрав несколько тесных двойных систем ранних спектральных классов, расположенных в разных местах диаграммы Герцшпрунга-Рессела, на разных ступенях эволюции, получить как можно больше количественной информации о физических условиях в атмосферах компонентов из изучения их спектров в отдельных фазах орбитального периода. Кроме того, было важно проследить: имеются ли какие-либо общие спектральные характеристики плавно переходящие от системы к системе по мере продвижения по диаграмме H-R; а также выявить спектральные особенности в каждой системе. Для этой цели были выбраны пять спектрально-двойных звезд: HD 193793 (W C6 + O6), HD 190918 (W N5 + O9), HD 47129 (O8p + + ?), AO Cas (O9III + O9III) и λ Девы (B1 + B3/B7/), принадлежащих к различным эволюционным группам согласно классификации Сажаде.

Диссертация состоит из краткого введения, трех глав и заключения. Во введении описывается состояние дел по исследуемому вопросу и постановка задачи.

В первой главе, § I дается краткий обзор литературы по теме диссертации и основные характеристики исследуемых систем.

В § 2 и § 3 описывается материал наблюдений и его фотометрическая обработка.

Для спектрофотометрического анализа были получены спектрограммы с помощью дифракционного спектрографа 1220-мм рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Наблюдения проводились в 1963-1965 гг. и частично в 1968г. Всего получено 526 спектрограмм, из которых 43 для HD 193793, 55 для HD 190918, 85 для HD 47129, 105 для AO Cas и 238 для λ Девы с дисперсиями: 37 Å/мм и 15 Å/мм, фотометрируемые области: $\lambda\lambda$ 4950-3600 Å и $\lambda\lambda$ 7000-5200 Å. Спектрофотометрическая обработка полученных спектрограмм была проведена с помощью регистрирующего микрофотометра типа Молля.

Для определения эквивалентных ширин линий, исследования контуров как эмиссионных, так и абсорбционных линий и выявления слабых линий и деталей в сложном спектре компонентов двойной системы была применена следующая методика. Записи спектра в почернениях переводились с помощью характеристической кривой в интенсивности, отнесенные к единице непрерывного спектра, без сглаживания флуктуаций плотности за счет зернистости эмульсии пластинок, после чего эти записи, полученные за одну дату (для каждой фазы) усреднялись по точкам, взятым, примерно, через 1,5-2 Å.

В результате фотометрической обработки спектров были определены эквивалентные ширины как линий поглощения, так и линий излучения и проведен анализ контуров наиболее сильных линий. Следует заметить, что в спектре спектрально-двойной звезды наблюдаемые контуры и эквивалентные ширины линий

поглощения одного компонента искажены наложением непрерывного спектра другого компонента. Для исправления наблюдаемой эквивалентной ширины линии одного компонента за наложение непрерывного спектра другого компонента была использована методика, предложенная ранее Г.А.Шайном.

Во второй главе проводится анализ профилей и относительных интенсивностей эмиссионных и абсорбционных линий в спектрах компонентов исследуемых систем в зависимости от фазы орбитального периода.

В результате этого анализа впервые удалось установить, что в системе HD 193793 профили эмиссионных линий разных степеней ионизации имеют разную форму и полуширину, а именно: профили линий ионов более низкой степени ионизации (CII, CII, HeI) почти прямоугольной формы с плоским, слегка закругленным верхом и большей полушириной; профили же линий более высокой степени ионизации (HeII, CIV, OIV) имеют куполообразную (почти гауссовскую) форму и меньшую полуширину. Причем, контуры отличаются не только по форме вершин но и по степени развития крыльев. Профили линий низких потенциалов ионизации (CII, HeI) практически состоят из одного мощного "ядра", "куполообразные" профили линий высоких потенциалов (CIV, HeII) имеют более узкие "ядра" и развитые крылья.

В работе дано качественное объяснение формы и структуры контуров в рамках модели движущейся (истекающей) стратифицированной оболочки.

В спектре HD 190918 анализ контуров эмиссионных полос у λ 4686 HeII, λ 4619-04 NIV и λ 4057-49 NIIV указал на пере-

менность их интенсивностей со временем. Найденные изменения интенсивности эмиссии находятся в соответствии с кривой лучевой скорости эмиссионного компонента, которая получена нами впервые из измерений дифференциальных смещений центра эмиссионной полосы λ 4686 HeII по отношению к абсорбционному компоненту. Амплитуда скорости равна ~ 150 км/сек (v_z изменяется от 35 до 185 км/сек), возможный период ее изменения равен ~ 105 дней.

Найдено также, что отношение эквивалентной ширины длинноволновой половины эмиссии у λ 4686 HeII к эквивалентной ширине коротковолновой её половины для всех фаз оказывается больше единицы. По аналогии со звездами Be это должно указывать на расширение оболочки, окружающей звезду.

Выявлена переменность эквивалентных ширин и у линий поглощения водорода в спектре HD 190918 со временем.

HD 47129 является промежуточной между системами с компонентами Вольф-Райе и системами, состоящими из компонентов спектральных классов O и B. Главный компонент ее имеет спектр O8 с характеристикой "f", указывающей на наличие эмиссии у ряда линий. Характерной деталью сложного спектра HD 47129 является эмиссия HeII 4686. В работе впервые детально исследована её структура. Найдено, что на широкую эмиссию (ширина её ~ 150 км/сек) накладывается абсорбционное ядро, которое меняет свое положение относительно звездной абсорбционной линии λ 4686 HeII главного компонента. Интенсивность эмиссии меняется не только с фазой, но и от цикла к циклу. Подобный характер переменности найден и у эмиссии λ 4641-34 NIII. Найдено также, что абсорб-

ционный спектр HD 47129, представленный линиями элементов HI, HeI, HeII, OIII, NIII, CIV показывает переменность эквивалентных ширин линий поглощения в спектрах обоих компонентов в зависимости от фазы орбитального периода, а также от длины волны и от цикла к циклу.

Наблюденная переменность полного поглощения результирующего профиля линий поглощения в сложном спектре HD 47129 свидетельствует о том, что на орбитальное движение компонентов накладываются какие-то дополнительные факторы. Такими факторами могут быть: неоднородная оболочка, окружающая систему, которая проецируя различное количество газового вещества на диски компонентов создает дополнительные усиления линий поглощения; наличие потока вещества от одного компонента к другому, который может образовываться в результате неустойчивости одного из компонентов и другие.

Из анализа поведения эквивалентных ширин линий поглощения в спектрах компонентов системы AO Cas найдено:

1. Наблюденные эквивалентные ширины линий водорода H_{β} , H_{γ} , H_{δ} в спектрах главного и вторичного компонентов во время элонгации претерпевают значительные изменения.

2. Линии нейтрального и ионизованного гелия также показывают изменение во время элонгаций (в пределах 0,2 Å в одной и несколько больше в другой элонгации).

3. В соединении, соответствующем прохождению вторичного компонента впереди главного (главный минимум блеска системы), обнаружено постепенное увеличение эквивалентных ширин всех линий поглощения.

4. Не наблюдается резкого ослабления или усиления линий поглощения в спектре вторичного компонента в одной из элонгаций, как это отмечалось ранее рядом авторов. Замечены одновременные (у главного и вторичного компонентов) усиления или ослабления наблюдаемых эквивалентных ширин линий поглощения HI, HeII, HeI.

Анализ контуров линий поглощения в сложном спектре Δ Девы, проведенный впервые, позволил заключить, что

1. Линии вторичного компонента проявляются и, в основном, у линий HeI λ 4471, λ 4388, M_2 П λ 4481 и СП λ 4267 лишь в некоторых фазах максимального разделения компонентов, когда вторичный компонент приближается.

2. Линии водорода H_{β} , H_{γ} , а также наиболее сильные линии HeI и M_2 П в отдельных фазах имеют центральные образования, асимметрию или дополнительные выступы, несвязанные со вторичным компонентом.

3. В отдельных фазах наблюдается усиление некоторых линий поглощения и появление новых дополнительных линий поглощения, которые по видимому, не связаны с каким-либо из компонентов. Некоторые из этих деталей имеют короткое время жизни (в пределах одного часа). Причем это аномальное усиление и появление линий поглощения характерно для фаз незадолго до и вскоре после моментов соединения.

Оказалось, что эти изменения эквивалентных ширин линий поглощения в спектре Δ Девы с фазой орбитального периода, в основном, отражают изменения их, вызванные короткопериодическими (с периодом 4,17 часа) пульсациями в атмосфере

главного компонента λ Девы.

Проведенное исследование поведения эквивалентных ширин и полуширин линий поглощения в спектре главного компонента в зависимости от фазы четырехчасового периода показало, что эквивалентные ширины и полуширины линий водорода и гелия меняются вместе с изменением блеска и лучевой скорости, что является характерным для звезд типа β СМа. Минимум интенсивности линий гелия и водорода совпадает с минимумом лучевой скорости. Наиболее четко зависимость интенсивности от фазы выражена у линий гелия λ 4026 и λ 6678, причем минимум интенсивности у λ 6678 смещен относительно такового для линии λ 4026.

Около максимума блеска, на нисходящей ветви кривой лучевой скорости, полуширины линии водорода и гелия достигают наибольшей величины, а вблизи минимума блеска, на восходящей ветви кривой скорости — наименьшей.

Наблюдаемое раздвоение или центральные обращения у сильных линий, а иногда ассиметрия, видимо, обусловлены физическими причинами типа пульсаций, происходящими в атмосфере главного компонента. Получено спектрофотометрическое подтверждение того, что главный компонент системы λ Девы принадлежит к переменным типа β СМа.

В третьей главе определяются некоторые физические параметры и свойства атмосфер компонентов исследуемых систем.

Выполнена двумерная спектральная классификация компонентов всех систем.

Впервые найдено, что спектральные классы главных компонентов у HD 47129, AO Cas и абсорбционного компонента

системы HD 190918 изменяются с фазой орбитального периода. Спектральные классы меняются в диапазонах: от Q8.0 до Q8.5 у HD 47129, от Q9.1 до Q8.0 у AO Cas и от Q9.0 до Q8.0 у HD 190918. Причиной переменности спектрального класса главного компонента HD 47129 является нагрев его атмосферы потоком, идущим от вторичного компонента, у AO Cas переменность обусловлена скорее эффектом отражения.

Для главных компонент HD 47129 и AO Cas определены полные числа атомов водорода, нейтрального и ионизованного гелия на основных уровнях, а также электронные плотности. Найденные значения не отличаются от соответствующих величин для нормальных звезд подобного спектрального класса.

Выявленные спектральные особенности в сложном спектре HD 47129 согласуются с качественной моделью системы, предложенной О.Струве. Найдено, что наиболее вероятные значения масс компонентов HD 47129 равны $M_1 = M_2 / 79 M_\odot$.

Из анализа профилей и полуширин эмиссионных линий в спектре HD 193793 впервые найдено, что вещество в оболочке окружающей звезду, полагая, что оболочка образуется в результате истечения вещества из звезды, движется наружу ускоренно (скорость изменяется от 1800–1900 км/сек до 2300–2600 км/сек). Скорость потери массы компонентом WR оценена равной $0.7 \times 10^{-5} M_\odot$ за год.

На основании полученных оценок спектральных классов и светимостей компонентов λ Девы найдены радиусы ($R_1 = 7.65 R_\odot$, $R_2 = 5.66 R_\odot$) и массы ($M_1 = 14.7 M_\odot$, $M_2 = 8.6 M_\odot$) её компонентов, предложена схематическая модель системы.

В последнем параграфе главы III сделана попытка оценить эволюционные стадии исследуемых систем.

Делается заключение, что система AO Cas близка к полуразделенной, наблюдения в спектрах её компонентов anomalies связаны с начавшимися неустойчивостями перед стадией обмена массой.

HD 47129 находится на стадии обмена массой, начавшегося на главной последовательности.

Для β Девы обмен массой должен начаться уже после того, как водород выгорит в ядре более массивного компонента.

В отношении спектрально-двойных с компонентами WC и WN делается качественное вывод, что компоненты WR мы наблюдаем после обмена масс, что массы их немного превышают значение $11M_{\odot}$, что они являются гелиевыми ядрами звезд, которые заполнили свои критические поверхности Роша вскоре после ухода с главной последовательности и потерявших в результате истечения значительную часть водородной оболочки ($\sim 90\%$).

В заключении приводятся основные результаты, полученные в работе.

1. Найденные нами более точные оценки спектральных классов и светимостей компонентов пяти исследованных систем заметно изменили их прежние положения на диаграмме H-R (так главный компонент β Девы попадает в зону нестабильных звезд типа β (Ma)).

2. Впервые обнаружена переменность спектральных классов главных компонент в системах HD 47129 и AO Cas, а также

переменность спектрального класса компонента Q системы HD 190918 со временем.

3. Делается вывод о том, что системы HD 47129 и AO Cas окружены оболочками неравномерной плотности, которые могли возникнуть в результате неустойчивости одного из компонентов. Обнаруженные в спектрах компонентов HD 47129 особенности могут быть объяснены качественной моделью, предложенной O. Струве.

4. Оценены некоторые физические параметры атмосфер главных компонент систем HD 47129 и AO Cas (электронные плотности, числа атомов водорода и гелия в основных состояниях), которые не показали каких-либо отличий от соответствующих значений для одиночных звезд подобного спектрального класса.

5. Впервые получена кривая лучевой скорости эмиссионного компонента HD 190918, вероятный период её изменения оценен равным ~ 105 дней. Найденны факты, говорящие о наличии расширяющейся оболочки вокруг системы HD 190918.

6. Впервые оценен вероятный период изменения лучевой скорости абсорбционного компонента HD 193793 равным 326 дней.

7. Дано качественное объяснение структуры контуров эмиссионных линий в спектре HD 193793 в рамках модели движущейся (истекающей) стратифицированной оболочки. Найденно, что скорость движения вещества в оболочке увеличивается наружу (от 1800 до 2600 км/сек).

Оценена скорость потери массы компонентом WR системы HD 193793 равной $0,7 \cdot 10^{-5} M_{\odot}/\text{год}$.

8. Подтверждена принадлежность главного компонента λ Девы к переменным типа β CMa. Полученные результаты говорят в пользу гипотезы изверженной атмосферы для объяснения процессов, происходящих в звездах типа β CMa. Построена схематическая модель системы λ Девы.

9. Оценены эволюционные стадии исследуемых систем. Делается заключение, что HD 47129 находится на стадии обмена массой, начавшегося на главной последовательности, AO Cas — близка к полуразделенным системам, находится перед стадией обмена массой; для λ Девы обмен массой должен начаться уже после того, как водород выгорит в ядре более массивного компонента.

Компоненты wR в системах HD 190918 и HD 193793 являются гелиевыми ядрами звезд, которые заполнили свои критические поверхности Роша после ухода с главной последовательности и потерявших в результате истечения значительную часть водородной оболочки ($\sim 90\%$).

10. Предложен метод определения лучевых скоростей звезд по измерениям дифференциальных смещений центров линий поглощения по отношению к линиям межзвездного кальция (H и K CaII) на регистрограммах.

Объем диссертации составляет 181 страниц машинописного текста, библиография 82 названий.

Диссертация имеет Приложения:

- I Таблицы эквивалентных ширин линий поглощения в составном спектре HD 47129 в разных фазах.
- II Таблицы эквивалентных ширин линий поглощения в составном спектре AO Cas .

III. Таблицы эквивалентных ширин линий поглощения в спектре λ Девы в разных фазах.

Основное содержание работы было доложено на заседаниях рабочих групп по двойным звездам и по эволюции и внутреннему строению звезд, на коллоквиуме № 5 МАС, на заседаниях отдела физики звезд и туманностей Крымской астрофизической обсерватории и опубликовано в следующих статьях:

1. Т.С.Галкина, Исследование физических условий в атмосферах тесных двойных систем ранних спектральных классов. I. Звезда Пласкетта HD 47129; Извест.Крымской астрофиз.обс. 1967г., т.36, 175.
2. Т.С.Галкина, Исследование физических условий в атмосферах тесных двойных систем ранних спектральных классов. II. AO Cas, Извест.Крымской астрофиз.обс. 1969г. т.39, 44.
3. Т.С.Галкина, Спектрофотометрические наблюдения Звезды типа $wC6 + Q6$ HD 193793, — Извест.Крымской астрофиз.обс., 1970г. тт.41-42, 283.
4. Т.С.Галкина, Спектрофотометрическое изучение тесной двойной системы HD 190918, — Извест. Крымской астрофиз.обс., 1969г., т.39, 44.
5. Э.А.Витриченко, Т.С.Галкина, П.Н.Холопов, Возможный период изменения лучевых скоростей HD 193793, — АЦ, № 522, 1969г.
6. Т.С.Галкина, Результаты спектрофотометрического исследования нескольких тесно-двойных систем ранних спектральных типов, — Научные информации Астрономического Совета

АН СССР, 1970г., т.16, 102.

7. T.S.Galkina, Some results of the spectroscopic study of four close binary systems of early spectral types, - *Astrophysics and Space Science*, 1971, 11, 120.

8. Т.С.Галкина, Спектрофотометрическое исследование спектрально-двойной звезды λ Девы, - *Извест.Крымской астрофиз.обс.*, 1972г., т.47, в печати.

9. Т.С.Галкина, К вопросу об устойчивости спектрально-двойной системы λ Девы, - *Научные информации Астрономического Совета АН СССР*, 1972г. т..., в печати.

10. Т.С.Галкина, Г.Г.Родионова, Л.Р.Юнгельсон - Об эволюционных стадиях пяти тесных двойных систем ранних спектральных классов. - *Научные информации Астрономического Совета АН СССР*, 1972г., в печати.

ПОДП. К ПЕЧАТИ 25/ХП-72 Г. Л-89987. Ф. 60x90/16
ФВ.П.Л. 1,0. ЗАКАЗ 1998. ТИРАЖ 200 ЭКЗ.

ОТПЕЧАТАНО НА РОТАПРИНТАХ В ТИП. ИЗД. МГУ
МОСКВА, ЛЕНГОРЫ

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА

Академия наук Киргизской ССР

