

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Марьевой Ольги Викторовны
"Спектроскопические проявления эволюции массивных звезд",
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.03.02 - астрофизика, звездная астрономия.

Теория физического строения и эволюции звезд является одной из краеугольных основ современных исследований широкого круга астрофизических объектов: от солнечной системы до массивных скоплений галактик, что определяет повышенное внимание к ее совершенствованию, регулярному тестированию и уточнению. Очевидным способом такого тестирования является сравнение теоретических прогнозов с результатами анализа наблюдений. Эффективность подобной проверки во многом зависит от полноты наблюдательного ряда, по возможности охватывающих все фазы эволюции звезды. В этой ситуации звезды больших масс оказываются в наилучшем положении, т.к. короткий срок их жизни и высокая светимость позволяют аккумулировать максимум экспериментальной информации. Кроме того, такие звезды оказывают доминирующее влияние на структуру галактики, ее химическую эволюцию, процессы звездообразования, распределение межзвездной среды и ее свойства. Поэтому накопление данных о физическом состоянии и характеристиках массивных звезд имеет в настоящее время большое значение для комплексного развития астрофизики, что определяет высокую актуальность и научную значимость представленной диссертации Марьевой О.В.

Диссертация включает Введение, шесть глав, Заключение, список литературы из 257 цитируемых источников, 172 страницы текста, 55 рисунков и 24 таблицы.

Во Введении сформулирована актуальность диссертации и ее цель, перечислен спектр решаемых задач, обозначены научная новизна и практическая значимость. Далее диссертантом представлены результаты, выносимые на защиту, и их апробация, а также список публикаций по теме диссертации с указанием личного вклада автора. Краткое описание структуры работы и ее результатов содержится в окончании Введения.

В первой главе, включающей 3 раздела, представлена общая тематика исследований. Раздел 1.1 описывает современные теоретические модели физического состояния и эволюции массивных звезд, раздел 1.2 - разработанные методы расчета их атмосфер и выходящего излучения, а раздел 1.3 - используемый диссертантом программный комплекс CMFGEN, реализованные в нем возможности для моделирования и его преимущества перед более ранними комплексами.

Во второй главе, состоящей из 4 разделов, изучены пять OB-звезд из мощной ассоциации Cygnus OB2, находящихся на Главной Последовательности или рядом с ней. В начале главы дается характеристика ассоциации Cygnus OB2 и всем объектам исследования, в разделе 2.1 представлены используемые наблюдательные данные. Раздел 2.3 содержит результаты теоретического моделирования атмосфер и спектров звезд, их согласования с наблюдаемыми данными и определения наборов фундаментальных параметров и химического состава. Анализ результатов на основе сравнения с предсказаниями теории звездной эволюции позволил Марьевой О.В. подтвердить сделанное ранее предположение о наличии в ассоциации Cygnus OB2 звезд разного возраста, т.е. о непрерывно идущем в ней процессе звездообразования.

Третья глава состоит из 5 разделов и обобщает результаты изучения двух массивных сверхгигантов из ассоциации Cygnus OB2. При выполнении этой работы использованы наблюдательные данные в широком спектральном диапазоне, полученные на 5 наземных и орбитальных телескопах и описанные в разделе 3.1. В разделе 3.2 на основе рассчитанных сеток моделей

атмосфер О-звезд выполнен подробный анализ изменений профилей линий в излучаемых спектрах и сделаны методические выводы о применимости различных линий для определения параметров звезды и звездного ветра. Применение этих выводов в разделах 3.3 и 3.4 позволило с хорошей точностью описать наблюдаемые спектры Cyg OB2 N7 и Cyg OB2 N1, определив их фундаментальные параметры и химический состав атмосфер. Марьевой О.В. показано, что звезды являются сверхгигантами с массой не менее $50M_{\odot}$, имеющими значительные аномалии содержания химических элементов. Кроме того, сложности с описанием профилей ряда линий позволили высказать предположения о несферичной структуре ветра и пространственном изменении в нем степени неоднородности.

Четвертая глава, включающая 4 раздела, посвящена анализу изменений физического состояния звезды Романо. Раздел 4.1 содержит обзор предшествующих исследований объекта, а раздел 4.2 - результаты собственного моделирования его спектров и определения параметров для разных эпох в течении 12 лет наблюдений на 4 телескопах. В итоге, диссертантом построена структура атмосферы и звездного ветра звезды и сделан важный вывод о переменности ее болометрической светимости. Полученные значения параметров и химический состав звезды Романо позволили классифицировать ее как уникальный объект на переходной стадии от пост-LBV звезд к звездам Вольфа-Райе азотной последовательности.

Анализ характеристик звезд Вольфа-Райе азотной последовательности WR156 и FSZ35 выполнен в пятой главе, состоящей из 5 разделов. Глава начинается обзором истории исследований Вольфа-Райе звезд в общем и изучаемых объектов в частности. В разделе 5.2 описаны использованные наблюдательные данные, в разделе 5.3 показано, что FSZ35 относится к классу WN8, а в разделе 5.4 проведено численное моделирование спектров обеих звезд с определением наборов их параметров. В результате сделан вывод, что они относятся к группе молодых WN8-звезд с высоким содержанием водорода и имеют массы около $50M_{\odot}$.

Шестая глава включает 5 разделов и представляет результаты измерений межзвездного поглощения в окрестностях гипергиганта MT304 ассоциации Cygnus OB2. Общее состояние исследований в рамках данной проблемы изложено в разделе 6.1, а краткое описание выполненных наблюдений дано в разделе 6.2. Раздел 6.3 содержит итоги классификации спектров 25 изученных звезд и нахождения коэффициента межзвездного поглощения. При обсуждении этих результатов в разделе 6.4 Марьева О.В. приходит к выводу о нарастании поглощения при приближении к MT304, что не может быть обусловлено наличием известных молекулярных облаков. В итоге, диссертантом предложена гипотеза о наличии обширной оболочки в окрестностях MT304, происхождение которой может быть связано с ветровыми истечениями с данной звезды на предыдущих стадиях эволюции.

В Заключении обобщены и проанализированы результаты диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает структуру и основные выводы диссертации.

Представленная диссертация в целом оставляет благоприятное впечатление. Прежде всего следует отметить гармоничное сочетание в ней современных методов теоретического моделирования атмосфер и спектров звезд и долговременных высококачественных наблюдений на ряде крупных телескопов. Очевидно, что Марьева О.В. детально разобралась в особенностях формирования спектров звезд с сильными ветровыми истечениями и предложила оригинальные подходы для определения максимального числа их параметров из анализа наблюдательных данных. Полученные в работе результаты имеют существенное значение для дальнейшего совершенствования теории строения и эволюции горячих звезд. Особый интерес в этом плане представляет вывод о изменении болометрической светимости звезды Романо, что может свидетельствовать о масштабной перестройке ее внутренних слоев при переходе от фазы LBV-звезд к звездам Вольфа-Райе. Кроме того, несомненную научную ценность имеет классификация двух звезд Вольфа-Райе с высоким содержанием водорода, а также найденные диссертантом

наборы фундаментальных параметров и химический состав 10 изученных объектов. Очевидную методическую ценность представляет проведенный в главе 3 анализ влияния параметров звезд и звездного ветра на профили спектральных линий и предложенная методика определения данных параметров. Обширный набор накопленных спектров звезд, рассчитанные сетки моделей атмосфер и оценки коэффициентов межзвездного поглощения в ассоциации Cygnus OB2 составляют практическую ценность работы. Таким образом, результаты диссертации могут использоваться при дальнейших наблюдательных и теоретических исследованиях во многих астрономических центрах России (САО РАН, ГАИШ МГУ, ИНАСАН, СПбУ, КФУ) и за рубежом. Для подтверждения их достоверности диссертантом проведены многочисленные тестовые расчеты, сравнение с данными других исследователей и прогнозами звездной эволюции. Результаты Марьевой О.В. апробированы на 11 всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 20 научных работах, из которых 9 - в научных журналах списка ВАК.

К представленному тексту диссертации необходимо сделать следующие замечания.

1) Светимости 7 звезд (MT259, MT282, MT299, MT317, MT343, Cyg OB2N7, Cyg OB2N11) найдены в главах 2 и 3 при заданном расстоянии до ассоциации Cygnus OB2, оценки которого в цитируемой литературе варьируются от $D=1.33$ кпк до $D=2.1$ кпк. Диссертантом без серьезного обсуждения выбрано значение $D=1.5$ кпк, хотя оно не является наиболее свежим. Очевидно, что точности в оценке расстояний необходимо учесть при расчете ошибок светимости звезд, которые составят более 0.1 dex. Однако эти неточности были проигнорированы и в таб. 2.2, 2.4 и 3.5 ошибки светимости указаны на уровне 0.04 dex. Более того, на стр. 50 утверждается, что светимость определена с точностью выше 4%, что противоречит данным даже названных таблиц. Дополнительным фактором увеличения ошибок являются погрешности в принимаемом межзвездном поглощении. Диссертантом использованы значения поглощения из работы Киминки и др. (2007), найденные из сравнения наблюдаемых показателей цвета с эмпирически подобранными Вегнером (1994) для объектов разных спектральных классов и светимостей. Очевидно, что значения поглощения при таком подходе могут содержать ошибки вследствие неточной классификации объектов и приближенности аппроксимации Вегнера (1994). Влияние таких ошибок на определяемые параметры Cyg OB2N7 и Cyg OB2N11 в диссертации не рассмотрено.

2) Ряд вопросов вызывает представленный в таб. 3.6 химический состав сверхгиганта Cyg OB2N11 и его последующее обсуждение. Отметим вначале некорректность заголовка колонки 2 в таблицах 3.3, 3.6 и 4.3, т.к. в них даны не "Доли по числу атомов а число атомов данного элемента относительно водорода или гелия". Эти значения для углерода, кремния и серы в колонке 2 таб. 3.6 не согласуются с содержаниями этих элементов в шкале $H=12$ из колонки 4. Для оппонента очевидно, что содержания кремния и серы просто перепутаны, но содержание углерода завышено на 0.5 dex. Отметим, что в колонке 5 таб. 3.6 указан трехкратный дефицит углерода в Cyg OB2N11 относительно Солнца, однако на стр. 80 отмечается, что содержание углерода близко к солнечному. Данная высокая оценка содержания присутствует при дальнейшем обсуждении статуса Cyg OB2N11 в главе 4, в том числе на зависимости $X(N)-X(C)$ на рис. 3.18, что явно противоречит данным из таб. 3.6.

3) Имеется ряд замечаний по оформлению диссертации. В частности, подпись к рис. 4.9 скопирована с рис. 4.8 и не полностью соответствует его содержанию. Утверждение на стр. 65 "Линия H_α превращается из эмиссионной в абсорбционную при увеличении β " противоречит рис. 3.4. Наконец, в тексте содержится крайне мало информации об условиях проведения наблюдений, приемной аппаратуре и методах первичной обработки, что не логично для диссертации наблюдательного характера.

Перечисленные недостатки не имеют принципиального значения и не изменяют общую положительную оценку диссертации.

Оппонент считает, что диссертация "Спектроскопические проявления эволюции массивных звезд" является полноценным и законченным научным исследованием группы массивных звезд с ветровыми истечениями, вносит заметный вклад в дальнейшее развитие теории строения и эволюции звезд и химической эволюции Галактики, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Марьева О.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия.

Доцент кафедры астрономии
и космической геодезии КФУ, к.ф.-м.н.

Республика Татарстан, г. Казань,
ул. Кремлевская, д. 18, КФУ
тел (843) 233-76-53

E-mail: Slava.Shimansky@kpfu.ru
28 сентября 2016 г.

В.В. Шиманский

