

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной и исследовательской деятельности
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования

«Южный федеральный университет»,

Д.Х.н., старший научный сотрудник

А. В. Метелица



2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования

«Южный федеральный университет»

на диссертацию Саркисяна Аркадия Норайровича

«Звезды высокой светимости в галактиках

Туманность Андромеды и Млечный Путь»

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия

Звезды высокой светимости, несомненно, являются важными для изучения объектами. Поскольку они влияют на физические и химические свойства межзвездной среды. Такие объекты редки. Кроме этого, исследование таких звезд в нашей Галактике затруднено наличием большого межзвездного поглощения и недостаточной точностью определения расстояний. Поэтому поиск, классификация и мониторинг таких звезд в других галактиках важны для получения новой информации о их строении и эволюции. Одной из

интересных стадий эволюции звезд высокой светимости является стадия LBV или ярких голубых переменных. К настоящему времени исследованы 41 LBV звезда и 108 LBV кандидатов. Поэтому увеличение количества исследований звезд высокой светимости, и в особенности LBV, является **актуальной** задачей астрофизики и позволяет расшифровать, какие физические процессы лежат в основе их эволюции.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка цитированной литературы из 132 наименований, содержит 195 страниц текста, включая 51 рисунок и 21 таблицу.

Во **введении** представлен анализ литературы, в которой изучались звезды, занимающие верхнюю часть диаграммы Герцшпрунга-Рассела. Литературный обзор включает в себя описание наблюдательных проявлений, типов фотометрической переменности, спектральных особенностей и распределения энергии в спектрах, обсуждение эволюционного статуса и возможных механизмов переменности. Кроме того, во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы её цели и задачи, научная новизна, положения, выносимые на защиту, и научная и практическая значимость. Также приведены апробация результатов и список публикаций, содержащих основные результаты диссертации.

В **первой** главе представлен список звезд высокой светимости, выбранных для исследования в рамках диссертационной работы, и наблюдательные данные, полученные для их изучения. Было исследовано 12 звезд из списка LBV кандидатов, составленного Массеем и др., (AJ, 2007, 134, 2474), включая две известные LBV звезды в M31 Var A-1 и AE And, а также один галактический LBV кандидат MN112. Спектры и фотометрия в оптическом диапазоне для всех этих объектов были получены на 6-м телескопе БТА САО РАН при помощи редуктора светосилы SCORPIO. Инфракрасные спектры были получены на 3.5-м телескопе обсерватории Апачи-Пойнт

(Apache Point Observatory) с помощью ИК-спектрографа TripleSpec. Для изучения объектов в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 также широко использовались архивные данные фотометрических каталогов Local Group Galaxies Survey (LGGS), Two Micron All Sky Survey (2MASS), Panoramic Survey Telescope and Rapid Response (Pan-STARRS). Для исследования в нашей Галактике было выбрано 9 сверхгигантов спектральных классов от O9.5 до A1 и три звезды сравнения – один сверхгигант класса светимости Ib и два карлика спектральных классов, соответствующих основным объектам. Спектральные данные для этих звезд были отобраны из архивов кудэ-эшелле-спектрометров 1-м телескопа Цейсс-1000 CAO РАН и 2-м телескопа обсерватории Терскол. Также в этой главе представлена методика оптимальной экстракции длиннощелевых спектров для объектов в тесных звездных полях, звезд с налагающимися туманностями или находящихся в условиях сильного фона. На основе этой методики разработан пакет программ, с помощью которого проводилась экстракция спектров объектов в галактике Туманность Андромеды.

Во **второй** главе представлены результаты спектрального и фотометрического исследований объектов в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112. Спектры звезд показывают сильные широкие линии водорода. Большинство объектов имеют эмиссионные спектры. Среди эмиссионных линий присутствуют линии HeI, FeII, [FeII]. У ряда объектов наблюдаются линии, имеющие профили типа P Cyg. По данным БТА/SCORPIO выявлена спектральная переменность некоторых объектов. В спектрах звезд J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 обнаружены запрещенные линии [FeII], [OI], [CaII], а также линии CO, являющиеся характерными для V[e]-сверхгигантов.

Третья глава посвящена анализу спектральных распределений энергии, определению на их основе фундаментальных параметров и классификации

исследуемых звезд в галактике M31 и звезды MN112. При использовании полученных спектральных и фотометрических данных в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также архивных данных для указанных объектов были построены спектральные распределения энергии. У объектов J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 обнаружены значительные избытки излучения в ближнем инфракрасном диапазоне, связанные с горячими пылевыми оболочками и являющиеся характерной особенностью V[e]-сверхгигантов. По наблюдаемым в спектрах объектов линиям и их интенсивностям были оценены эффективные температур звёзд. С использованием этих ограничений, при аппроксимации спектральных распределений энергии объектов чернотельным спектром с учетом кривой межзвёздной экстинкции были получены соответствующие оценки величин межзвёздного поглощения, радиусов и светимостей звёзд. Для LBV звёзд был предложен метод оценки их параметров, основанный на их свойстве менять блеск в оптическом диапазоне при примерно постоянной светимости. В этом случае, аппроксимируя спектральные распределения энергии в различных состояниях звезды и накладывая соответствующие ограничения на температуры и величину межзвёздного поглощения, удастся более точно определить параметры звезды в этих состояниях. Метод был апробирован на примере двух известных LBV звёзд Var A-1 и AE And: были получены оценки эффективных температур в трёх различных состояниях этих объектов. Метод был также применен для определения параметров подтвержденных в работе LBV звёзд J004526.62 и J004341.84 в двух различных состояниях. На основе проведенных спектральных и фотометрических исследований, анализа спектральных распределений энергии и полученных параметров звёзд была проведена их классификация: у двух кандидатов J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 подтвержден статус LBV, три звезды J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2

классифицированы как В[е]-сверхгиганты, две звезды J004507.65+413740.8, J004621.08+421308.2 – как теплые гипергиганты, звезда J004411.36+413257.2 отнесена к классу железных эмиссионных звёзд.

В **четвертой** главе представлен спектральный атлас девяти сверхгигантов в галактике Млечный Путь спектральных классов от O9.5 до A1. В графической и табличной форме сопоставлены спектры высокого разрешения 9 сверхгигантов и 3 звёзд сравнения, полученные с помощью эшелле спектрометров в фокусах Куде 1-м телескопа САО РАН и 2-м телескопа обсерватории Терскол ($R = 40000$ и $R = 45000$ соответственно). В интервале $3600 - 7800 \text{ \AA}$ отождествлено от 200 (альфа Сат, O9.5 Ia) до 1000 (HD 12953, A1 Ia-0) звёздных и межзвёздных линий и полос. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах сверхгигантов. Приведены примеры уточнения эффективных длин волн, анализа бленд и выявления ветровых аномалий в профилях линий. Уточнён класс светимости для двух звёзд в Галактике: звезда HD 13854 классифицирована как сверхгигант Ia, а HD 12953 – как гипергигант Ia-0.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Саркисяна Аркадия Норайровича представляет собой добросовестно и профессионально выполненное исследование, обладающее достаточной **новизной**. Работа основана на наблюдениях на 6-м телескопе БТА САО РАН на многорежимном фокальном редукторе первичного фокуса SCORPIO и в ближнем инфракрасном диапазоне на 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт (Apache Point Observatory, США). Диссертантом выполнена обработка большого объема как оптических, так и инфракрасных данных. Представленный в диссертации новый метод определения фундаментальных параметров LBV звёзд, основанный на изменении формы спектрального распределения энергии при сохраняющейся

болометрической светимости, может быть применён для изучения свойств звёзд этого типа в других галактиках. Выполнение диссертационной работы, несомненно, требует очень высокой квалификации. Особо следует отметить, что большую **практическую значимость** имеет разработанное автором программное обеспечение для экстракции длиннощелевых спектров в тесных звёздных полях, которое востребовано и в САО РАН и в других научных и образовательных учреждениях. Спектральный атлас сверхгигантов достаточно востребован научным сообществом и используется как учебное пособие. **Научную значимость** имеет подтверждение статуса LBV для двух исследованных звезд и классификация трёх звёзд как B[e]-сверхгигантов в галактике Туманность Андромеды. Определение фундаментальных параметров у 8 звёзд в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 в галактике Млечный Путь.

Замечания к диссертации:

1. Ожидался более полный обзор литературы, в котором отражались бы результаты исследования различных типов звезд высокой светимости другими исследовательскими группами помимо Р. Хамфрис. Не показана связь звезд высокой светимости, и в частности LBV-звезд со сверхновыми.

2. Объекты исследования часто приводятся не по порядку, что запутывает читателя. При описании исследований отдельных объектов можно заметить некоторую однообразность изложения.

3. Не хватает визуализации полученных диссертантом фундаментальных параметров звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, что позволило бы воочию убедиться в корректной классификации объектов и оценить их возможную начальную массу.

4. Присутствуют жаргонные выражения, такие как «бары ошибок» на стр. 79, 81, 83, 90, «LBV нестабильность» на стр. 59, 63, 93. На рисунках 1.12,

1.14, 1.15 отсутствуют цифровые обозначения линий, упоминаемых в подписях к рисункам.

Однако эти замечания ни в коей мере не затрагивают содержательной части диссертации, не умаляют значимости результатов, полученных в диссертации и не затрагивают основных ее выводов и положений, выносимых на защиту. Диссертация соответствует специальности 01.03.02. – «Астрофизика и звездная астрономия». Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Все результаты, выносимые на защиту, аргументированы и подробно изложены в 9 статьях соискателя, 6 из которых опубликованы в рецензируемых журналах списка ВАК, докладывались на 12 международных и всероссийских конференциях.

Результаты, полученные в диссертации Саркисяна А.Н., могут быть использованы в ГАИШ МГУ, ИНАСАН, КФУ, КраО РАН, ЮФУ, УрФУ и других организациях, занимающихся изучением звезд высокой светимости.

Считаем, что диссертация «Звезды высокой светимости в галактиках Туманность Андромеды и Млечный Путь» является законченным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Саркисян Аркадий Норайрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02. – «Астрофизика и звездная астрономия».

Отзыв подготовлен к.ф.-м.н., доцентом (01.03.02. - астрофизика и звездная астрономия), зав. кафедрой физики космоса Южного федерального университета Ачаровой Ириной Александровной (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, тел. 8(928)1046770, email: iaacharova@sfnedu.ru).

Отзыв обсужден и утвержден на заседании объединенного астрофизического семинара кафедры физики космоса Южного федерального университета и отдела радиофизики и космических исследований Научно-

исследовательского института физики Южного федерального университета 23 августа 2022 г., протокол № 2.

Зав.кафедрой физики космоса
Южного федерального университета
кандидат физ.-мат. наук, доцент,
председатель семинара

Ирина Александровна Ачарова

Сведения о ведущей организации

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южный федеральный университет»

Тел.: +7(863) 305-19-90,

факс: +7(863) 263-87-23,

email: info@sfedu.ru



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Личную подпись <u>Ачаровой И.А.</u>
ЗАВЕРЯЮ:
Ведущий специалист по управлению персоналом <u>М.И. Погодина</u> «30» августа 2022 г.