

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная  
астрофизическая обсерватория Российской академии наук

На правах рукописи  
УДК 524.338-31.01

**Саркисян Аркадий Норайрович**

**Звезды высокой светимости в галактиках Туманность  
Андромеды и Млечный Путь**

Специальность 01.03.02 —  
«Астрофизика и звездная астрономия»

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз — 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики звезд САО РАН  
**Шолухова Ольга Николаевна**

Официальные оппоненты: **Малков Олег Юрьевич**,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики звездных систем ИНАСАН  
**Тарасов Анатолий Евгеньевич**,  
доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела физики звезд КрАО РАН


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

Защита состоится 03 октября 2022 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 002.203.01 при САО РАН по адресу: 369167, КЧР, Зеленчукский район, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан \_\_\_ августа 2022 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 002.203.01,  
канд. физ.-мат. наук



Шолухова Ольга Николаевна

# Общая характеристика работы

## Актуальность темы

Звёзды высокой светимости — малочисленный, но крайне разнообразный класс объектов. Звёзды, которые начинают свою жизнь спектральными классами O и ранними B, являются прародителями сверхновых, гамма-всплесков, нейтронных звезд и черных дыр. Такие звёзды производят многие элементы тяжелее кислорода. Следовательно, можно говорить об их ключевой роли в химической эволюции межзвёздной среды и галактик: продукты ядерных реакций выносятся на поверхность и впоследствии выбрасываются в околозвёздную среду мощными звёздными ветрами и взрывами сверхновых.

В последние несколько лет произошли изменения в классификации звёзд высокой светимости, занимающих верхнюю часть диаграммы Гершпрунга-Рессела. Определяющий вклад в этой области для таких звёзд в галактиках M31 и M33 внесла Роберта Хамфрис с коллегами [1–5]. В переложенной классификации звёзды высокой светимости по спектральным и фотометрическим особенностям были разделены на: яркие голубые переменные звёзды, B[e]-сверхгиганты, звёзды с эмиссионными линиями железа FeII, тёплые гипергиганты, горячие и промежуточные сверхгиганты, Of/late-WN звёзды. Среди перечисленных классов звёзд высокой светимости особое место занимают яркие голубые переменные звёзды (Luminous Blue Variables, LBV), которые отличаются высоким отношением светимости к массе, а также значительной фотометрической и спектральной переменностью, вследствие которой они способны мимикрировать под другие типы звёзд высокой светимости. Можно сказать, что в определенной степени эти уникальные объекты являются центром, вокруг которого в настоящий момент идет изучение всех звёзд высокой светимости, поскольку неопределённость эволюционного статуса LBV звёзд и их взаимосвязи с другими типами объектов является одной из ключевых проблем теории эволюции массивных звёзд.

В этой связи изучение звёзд высокой светимости, и в особенности LBV звёзд, является актуальной задачей астрофизики. Весьма незначительное количество таких звёзд с одной стороны и широкий спектр их наблюдательных проявлений с другой определяют и важность, и сложность задачи их поиска и классификации, решаемой в данном исследовании на выборке звёзд в галактиках Туманность Андромеды и Млечный Путь.

Целью данной работы является классификация и определение фундаментальных параметров звёзд высокой светимости галактик Туманность Андромеды и Млечный Путь.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Получение фотометрического и спектрального материала кандидатов в LBV звёзды в галактике M31 на телескопе БТА САО РАН и 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт.
2. Обработка и анализ оптических и инфракрасных спектров LBV кандидатов.
3. Изучение фотометрической и спектральной переменности выбранных объектов по архивным данным наземных телескопов.
4. Разработка программного обеспечения для выделения спектров в скученных полях звёзд.
5. Моделирование спектральных распределений энергии всех изучаемых объектов в галактике Андромеда с целью оценки фундаментальных параметров: температуры фотосферы и болометрической светимости.
6. Составление детального спектрального атласа звёзд сверхгигантов нашей Галактики.

### Научная новизна

1. Однородным методом исследовано 12 звёзд высокой светимости в галактике M31 на основе спектроскопии и фотометрии, выполненных на телескопе БТА САО РАН и 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт, и архивных данных.
2. Представлены результаты инфракрасной спектроскопии, впервые выполненной для 10 изучаемых объектов в галактике M31 и галактического LBV кандидата MN112.
3. По результатам спектроскопического и фотометрического анализа проведена классификация объектов в галактике M31 либо ее уточнение. Двум кандидатам J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 присвоен статус LBV, три звезды J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 классифицированы как B[e]-сверхгиганты. Подтверждена классификация двух звёзд J004507.65+413740.8, J004621.08+421308.2 как теплых гипергигантов. Звезда J004411.36+413257.2 отнесена к типу FeII-эмиссионных звезд.
4. На основе спектроскопии и спектральных распределений энергии получены оценки фундаментальных параметров всех представленных в работе звёзд в галактике M31 и LBV кандидата MN112, в частности температуры фотосферы, болометрической светимости и межзвёздного поглощения.
5. Представлен новый метод оценки фундаментальных параметров LBV звёзд, основанный на изменении их спектрального распределения энергии при приблизительно постоянной болометрической светимости в течение цикла переменности S Dor. С помощью

этого метода определены звёздные параметры для двух известных звёзд LBV Var A-1, AE And и двух подтвержденных LBV J004526.62+415006, J004341.84+411112.0 в двух и более различных состояниях.

6. Разработано программное обеспечение для оптимальной экстракции длиннощелевых спектров в тесных звёздных полях, объектов с налагающимися туманностями, звёзд, находящихся в условиях сильного фона.
7. Составлен спектральный атлас девяти сверхгигантов спектральных классов от O9.5 до A1 в галактике Млечный Путь. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах изучаемых сверхгигантов. Уточнен класс светимости для двух звёзд в Галактике: звезда HD 13854 классифицирована как сверхгигант Ia, а HD 12953 – как гипергигант Ia-0.

### **Научная и практическая значимость**

Результаты, представленные в данной диссертационной работе, имеют теоретическую и практическую ценность и могут быть использованы при исследовании звёзд высокой светимости, включая LBV звёзды, B[e]-сверхгиганты, тёплые гипергиганты и другие. Подтверждение статуса LBV двух изучаемых объектов и классификация других трёх звёзд как B[e]-сверхгигантов дополняют немногочисленные списки известных звёзд этих типов, что важно для понимания их природы, эволюционного статуса и возможной эволюционной связи между ними. Представленный в диссертации новый метод определения фундаментальных параметров LBV звёзд, основанный на изменении формы спектрального распределения энергии при сохраняющейся болометрической светимости, упрощает оценку параметров и может быть применён для изучения свойств звёзд этого типа в других галактиках. Разработанное автором программное обеспечение для экстракции длиннощелевых спектров в тесных звёздных полях позволяет значительно снизить вклад посторонних источников (туманности, фонового излучения звёзд родительской галактики) в спектр изучаемого объекта. Данная программа успешно применяется в лаборатории физики звёзд САО РАН и в других научных учреждениях для экстракции спектров звёзд высокой светимости в удаленных галактиках. Созданный спектральный атлас сверхгигантов востребован научным сообществом. Детальное описание и сопоставление спектров наглядно показывают эволюцию спектра звезды-сверхгиганта в интервале спектральных классов O9–A1. Атлас оказывает большую помощь при отождествлении спектральных линий и классификации звёзд высокой и наивысшей светимости.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Подтверждён статус LBV для двух кандидатов J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 в галактике Туманность Андромеды на основе обнаруженной характерной спектральной и фотометрической

переменности по данным, полученным на телескопе БТА САО РАН.

2. По результатам спектроскопического и фотометрического анализа для шести звёзд в галактике Туманность Андромеды проведена классификация объектов. Звёзды J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 классифицированы как V[e]-сверхгиганты по наличию в их спектрах характерных линий [FeII], [OI], [CaII],  $^{12}\text{CO}$ , а также обнаруженных избытков излучения в ближнем инфракрасном диапазоне, связанных с наличием тёплой пыли. Подтверждена классификация двух звёзд J004507.65+413740.8, J004621.08+421308.2 как тёплых гипергигантов. Объект J004411.36+413257.2 отнесен к типу FeII-эмиссионных звёзд.
3. Определение фундаментальных параметров (эффективные температуры, радиусы, светимости) у 8 звёзд в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 в галактике Млечный Путь на основе наблюдаемых спектральных линий и спектральных распределений энергии объектов. Определение параметров двух известных звёзд LBV Var A-1, AE And и двух подтвержденных LBV J004526.62+415006, J004341.84+411112.0 на основе нового метода оценки параметров LBV звёзд в двух и более различных состояниях. Для всех звёзд получены оценки величин межзвёздного поглощения.
4. Спектральный атлас девяти сверхгигантов (O9.5I–AI) в нашей Галактике. У каждого объекта отождествлено от 200 до 1000 линий, а также межзвёздных линий и полос, для большинства из которых измерены центральные остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах изучаемых сверхгигантов. Уточнен класс светимости для двух звёзд в Галактике: звезда HD 13854 классифицирована как сверхгигант Ia, а HD 12953 – как гипергигант Ia-0.

**Апробация работы.** Основные результаты работы были представлены на семинарах и конкурсе-конференции САО, российских и международных конференциях:

1. Международная конференция «European Week of Astronomy and Space Science» (EWASS 2014, symposium S7), Женева, Швейцария, 30.06-4.07.2014.
2. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 21–24.12.2015.
3. Международная конференция «Stars: from collapse to collapse», САО РАН, Нижний Архыз, 3–7.10.2016.

4. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 20–23.12.2016.
5. Международная конференция «European Week of Astronomy and Space Science» (EWASS 2017), Прага, Чешская Республика, 26-30.06.2017.
6. Всероссийская астрономическая конференция 2017 (ВАК–2017), Ялта, Крым, 17–22.09.2017.
7. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 18-21.12.2017.
8. Конкурс-конференция научных, научно-технических и научно-популярных работ САО РАН, Нижний Архыз, 7.02.2018.
9. Международная конференция «Physics of Stars and Planets: Atmospheres, Activity, Magnetic fields», Шемаха, Азербайджан, 16–20.09.2019.
10. Всероссийская конференция «Современная звездная астрономия–2019», САО РАН, Нижний Архыз, 7–11.10.2019.
11. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 17–20.12.2019.
12. Всероссийская конференция «Наземная астрономия в России. XXI век», САО РАН, Нижний Архыз, 21–25.09.2020.

**Личный вклад.** В работе [1] — обработка спектральных данных, отождествление спектральных линий сверхгигантов, обсуждение результатов наравне с соавтором. Подготовка программы наблюдений, получение наблюдательного материала на 6-м телескопе БТА САО РАН с прибором SCORPIO, его обработка и анализ, обсуждение результатов в работах [2], [3], [6], [7]. В работе [4] — написание основной части текста статьи, разработка идеи и реализация метода экстракции спектров. В работах [2], [3] — анализ данных, разработка метода, обсуждение результатов. В работах [2], [6] — подготовка программы наблюдений, обработка и анализ спектрального материала, полученного на инфракрасном спектрографе обсерватории Апачи-Пойнт.

**Публикации.** Основные результаты по теме диссертации изложены в 9 печатных изданиях, 6 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

## Публикации автора по теме диссертации

1. *Chentsov E. L., Sarkisyan A. N.* Spectral atlas of O9.5-A1-Type supergiants // *Astrophysical Bulletin*. — 2007. — Sep. — Vol. 62, no. 3. — Pp. 257–284.
2. *Sholukhova O., Bizyaev D., Fabrika S., Sarkisyan A., Malanushenko V., Valeev A.* New luminous blue variables in the Andromeda galaxy // *MNRAS*. — 2015. — Mar. — Vol. 447, no. 3. — Pp. 2459–2467.

3. *Sholukhova O., Bizyaev D., Fabrika S., Sarkisian A., Malanushenko V., Valeev A.* New Luminous Blue Variables in M31 // *Mem. Soc. Astron. Italiana.* — 2015. — Jan. — Vol. 86. — P. 354.
4. **Sarkisyan A. N., Vinokurov A. S., Solovieva Yu. N., Sholukhova O. N., Kostenkov A. E., Fabrika S. N.** SPEXTRA: Optimal extraction code for long-slit spectra in crowded fields // *Astrophysical Bulletin.* — 2017. — Oct. — Vol. 72, no. 4. — Pp. 486–501.
5. *Sholukhova O. N., Fabrika S. N., Valeev A. F., Sarkisian A. N.* LBV Candidates in M31 and M33. Overview of 20 Years of the 6-m Telescope: Observations and Results // *Astrophysical Bulletin.* — 2018. — Oct. — Vol. 73, no. 4. — Pp. 413–424.
6. **Sarkisyan A., Sholukhova O., Fabrika S., Bizyaev D., Valeev A., Vinokurov A., Solovyeva Y., Kostenkov A., Malanushenko V., Nedialkov P.** Luminous blue variable candidates in M31 // *MNRAS.* — 2020. — Sep. — Vol. 497, no. 1. — Pp. 687–697.
7. **Sarkisyan A., Sholukhova O., Fabrika S., Valeev A., Valcheva A., Nedialkov P., Tatarnikov A.** Photometric and Spectroscopic Analysis of LBV Candidate J004341.84+411112.0 in M31 // *Research in Astronomy and Astrophysics.* — 2022. — Jan. — Vol. 22, no. 1. — P. 015022.
8. **Sarkisyan A., Sholukhova O., Fabrika S., Valeev A.** Spectral Monitoring of the LBV Candidate J004526.62+415006.3 with the BTA // *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century / Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev.* — 2020. — Dec. — Pp. 106–107.
9. *Sholukhova O. N., Solovyeva Y. N., Sarkisyan A. N., Fabrika S. N.* Search for LBV Stars in the Local Volume Galaxies // *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century / Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev.* — 2020. — Dec. — Pp. 85–89.

## Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка процитированной литературы из 127 наименований, содержит 196 страниц текста, включая 51 рисунок и 22 таблицы.

Во **введении** представлен краткий обзор литературы по звёздам, занимающим верхнюю часть диаграммы Герцшпрунга-Расселла. Обзор включает в себя описание наблюдательных проявлений, типов фотометрической переменности, спектральных особенностей и распределения энергии в спектрах; обсуждение эволюционного статуса и возможных механизмов переменности. Приводится сравнительная характеристика звёзд высокой



светимости, таких как LBV звёзды, В[e]-сверхгиганты, жёлтые сверхгиганты, тёплые гипергиганты, и рассматривается их возможная эволюционная связь. 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** представлены список звёзд высокой светимости, выбранных для исследования в рамках диссертационной работы, и наблюдательные данные, полученные для их изучения. Объекты исследования в галактике Туманность Андромеды были выбраны из списка LBV кандидатов, составленного Массеем и др. [6], в котором авторы привели 24 кандидата в LBV в M31. Было исследовано 12 звёзд из этого списка, включая две известные LBV звезды в M31 Var A-1 и AE And, а также один галактический LBV кандидат MN112. Спектры в оптическом диапазоне для всех этих объектов были получены на 6-м телескопе БТА CAO РАН при помощи редуктора светосилы SCORPIO [7]. Фотометрия в фильтрах *UBVRI* также была выполнена на SCORPIO. Инфракрасные спектры были получены на 3.5-м телескопе обсерватории Апаچی-Пойнт с помощью спектрографа TripleSpec [8]. Для нескольких объектов была проведена фотометрия в ближнем инфракрасном диапазоне на 3.5-м телескопе обсерватории Апаچی-Пойнт. Для изучения объектов в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 также широко использовались архивные данные фотометрических каталогов Local Group Galaxies Survey (LGGS) [9], Two Micron All Sky Survey (2MASS) [10; 11], Panoramic Survey Telescope and Rapid Response (Pan-STARRS) [12]. 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 звёзд 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 звёздных полях, звёзд с налагающимися туманностями или находящихся в условиях сильного фона и разработанный на основе этой методики 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 звёзд показывают сильные широкие линии водорода. Большинство объектов имеют эмиссионные спектры. Среди эмиссионных линий присутствуют линии He I, Fe II, [Fe II]. У ряда объектов наблюдаются линии, имеющие профили типа P Cyg. По данным

БТА/SCORPIO выявлена спектральная переменность некоторых объектов. В частности, если в спектре звезды J004526.62+415006.3, представленном в работе [6], наблюдались многочисленные эмиссионные линии Fe II и слабые эмиссии He I, то в полученном на БТА спектре линии Fe II сильно ослабели или даже перешли в абсорбции, а линии He I не обнаружились. При этом соответствующее изменение блеска объекта в фильтре V составило около  $0.8^m$ . Спектр звезды J004341.84+411112.0 показал линии водорода, He I, Fe III, имеющие форму P Cug. У этого объекта выявлена переменность линии He II 4686 Å, указывающая на LBV нестабильность у звезды, а также обнаружена фотометрическая переменность с 2010 по 2021 годы порядка  $0.4^m$  с общим трендом увеличения блеска  $\Delta R > 0.1^m$ . При этом соответствующее изменение цвета объекта полностью соответствует поведению LBV, когда звезда становится холоднее и ярче при сохранении болометрической светимости. В спектрах звёзд J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 обнаружены запрещенные линии [Fe II], [O I], [Ca II], являющиеся характерными для V[e]-сверхгигантов.

**Третья глава** посвящена анализу спектральных распределений энергии, определению на их основе фундаментальных параметров и классификации исследуемых объектов 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 B[e]-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 ( $\alpha$  Cam, O9.5 Ia) до 1000 (HD 12953, A1 Ia-0) звёздных и межзвёздных линий и полос, для большинства из них измерены центральные остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости. Апробирована спектральная классификация по слабым фотосферным абсорбциям. Это актуально для наиболее ярких сверхгигантов и гипергигантов, у которых области формирования сильных линий, традиционно используемых при классификации, охватывают и основания ветров. 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.

В списке литературы перечислены публикации, цитируемые в диссертационной работе.

В приложении включены графическое и табличное представления спектрального атласа сверхгигантов и гипергигантов O9.5–A1 в галактике Млечный Путь, описанного в главе 4.

## Литература

1. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. I. The Warm Hypergiants and Post-red Supergiant Evolution / Roberta M. Humphreys, Kris Davidson, Skyler Grammer et al. // *ApJ*. — 2013. — Aug. — Vol. 773. — P. 46.
2. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. II. Luminous Blue Variables, Candidate LBVs, Fe II Emission Line Stars, and Other Supergiants /

- Roberta M. Humphreys, Kerstin Weis, Kris Davidson et al. // *ApJ*. — 2014. — Jul. — Vol. 790, no. 1. — P. 48.
3. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. IV. Luminous Blue Variables, Candidate LBVs, B[e] Supergiants, and the Warm Hypergiants: How to Tell Them Apart / R. M. Humphreys, M. S. Gordon, J. C. Martin et al. // *ApJ*. — 2017. — Feb. — Vol. 836. — P. 64.
  4. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. V. The Upper HR Diagram / R. M. Humphreys, K. Davidson, D. Hahn et al. // *ApJ*. — 2017. — Jul. — Vol. 844. — P. 40.
  5. *Gordon M. S., Humphreys R. M., Jones T. J.* Luminous and Variable Stars in M31 and M33. III. The Yellow and Red Supergiants and Post-red Supergiant Evolution // *ApJ*. — 2016. — Jul. — Vol. 825. — P. 50.
  6. A Survey of Local Group Galaxies Currently Forming Stars. III. A Search for Luminous Blue Variables and Other H $\alpha$  Emission-Line Stars / Philip Massey, Reagin T. McNeill, K. A. G. Olsen et al. // *AJ*. — 2007. — Dec. — Vol. 134. — Pp. 2474–2503.
  7. *Afanasiev V. L., Moiseev A. V.* The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope // *Astronomy Letters*. — 2005. — Mar. — Vol. 31. — Pp. 194–204.
  8. Mass producing an efficient NIR spectrograph / J. C. Wilson, C. P. Henderson, T. L. Herter et al. // *Ground-based Instrumentation for Astronomy* / Ed. by A. F. M. Moorwood, M. Iye. — Vol. 5492 of *Proc. SPIE*. — 2004. — Sep. — Pp. 1295–1305.
  9. A Survey of Local Group Galaxies Currently Forming Stars. I. UBVRI Photometry of Stars in M31 and M33 / Philip Massey, K. A. G. Olsen, Paul W. Hodge et al. // *AJ*. — 2006. — May. — Vol. 131. — Pp. 2478–2496.
  10. VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003) / R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk et al. // *VizieR Online Data Catalog*. — 2003. — Jun. — P. II/246.
  11. VizieR Online Data Catalog: 2MASS 6X Point Source Working Database / Catalog (Cutri+ 2006) / R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk et al. // *VizieR Online Data Catalog*. — 2012. — Feb. — P. II/281.
  12. The Pan-STARRS1 Surveys / K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe et al. // *ArXiv e-prints*. — 2016. — Dec. — P. arXiv:1612.05560.

*Саркисян Аркадий Норайрович*

Звезды высокой светимости в галактиках Туманность Андромеды и Млечный  
Путь

Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук

Подписано в печать \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.\_\_\_\_\_. Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография \_\_\_\_\_