

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Соловьевой Юлии Николаевны  
«Ярчайшие звёзды за пределами Местной группы галактик»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия

Диссертационная работа «Ярчайшие звёзды за пределами Местной группы галактик» Юлии Николаевны Соловьевой посвящена поиску и изучению ярчайших и наиболее массивных звёзд в галактиках со звездообразованием, так наз. ярких голубых переменных (LBV), наблюдаемых за пределами Местной группы. Этот редчайший класс звёздных объектов исключительно интересен для разных разделов астрофизики. Жизненный цикл этих звёзд исключительно короток. Их эволюция сопровождается значительной потерей массы из-за мощнейшего звёздного ветра пульсаций и заканчивается вспышкой Сверхновой типа Ib/c или даже Гиперновой. Обстоятельства их формирования, особенности эволюции (в том числе в двойных системах), влияние различий в химическом составе, характер и механизмы потери массы и переменности блеска – все эти вопросы продолжают оставаться в центре пристального внимания астрофизиков. LBV – уникальные и редкие объекты (надёжных кандидатов в Местной Группе галактик всего около 40!), поэтому одной из важнейших задач, как легко понять, является увеличение статистики этих объектов, их поиск в других галактиках. Это с очевидностью обусловило **актуальность** темы данной диссертации.

Диссертация состоит из Введения, четырёх глав, Заключения и списка литературы. В весьма информативном **Введении** даётся обзор литературных данных по ярчайшим переменным звёздам, описаны трудности их поиска и исследования, их фотометрическое и спектральное поведение, классификация по типам, эволюционный статус на диаграмме ГР, современные представления о механизмах их переменности. Достаточно детальный обзор демонстрирует широкую эрудицию автора диссертации в этом направлении исследований. Поставлены цели и задачи работы, показаны научная новизна результатов, приведены выносимые на защиту результаты, доказана научная и практическая значимость. Впечатляющий перечень полученных результатов демонстрирует комплексный подход к исследованию, сочетающий оригинальные многоцветные фотометрические и спектральные наблюдения на крупнейших телескопах и привлечение данных с космических обсерваторий. Отмечен личный вклад автора в совместные работы.

**В первой главе** описаны принципы отбора кандидатов в LBV по данным наблюдений звёзд на HST в галактиках NGC4736, NGC247, NGC4449. Описаны спектральные наблюдения объектов, проведённые на БТА РАН и SALT, а также на 2.5-м телескопе КГО

ГАИШ МГУ, выполненные, в том числе, по заявкам диссертантки; приведены методы и характеристики использованной аппаратуры и описаны основные свойства галактик. Из общего числа почти 480 выделенных по данным HST кандидатов в LBV спектральные наблюдения проведены примерно для 230 объектов северного и южного неба, что открывает дальнейшие перспективы фотометрических и спектральных исследований оставшихся примерно 250 кандидатов. Методы и результаты работы описаны весьма детально.

Во **второй** главе предельно детально приведены результаты спектральных и фотометрических исследований девяти объектов в галактиках NGC4736, NGC247 и NGC4449 по всей совокупности данных, полученных наземными и космическими телескопами. Обнаружена переменность пяти звёзд, причём у двух – спектральная переменность по данным БТА. Объект J122817.83+440630.8 в галактике NGC4449 показал самую большую переменность – более 2 mag в полосе V. В спектрах всех объектов видны широкие водородные линии и эмиссионные линии, характерные для LBV (гелия, ионизованного железа, а также запрещённые линии кислорода, аргона, азота, серы). У ряда звёзд наблюдаются профили спектральных линий типа P Cyg.

Приведены журналы наблюдений, кривые блеска и примеры спектров, а также таблицы с эквивалентными ширинами спектральных линий, показывающими их вариации со временем. По наблюдаемому отношению потоков в Бальмеровских линиях водорода, излучаемых окружающими туманностями, для ряда объектов сделаны довольно надёжные оценки величины межзвёздного поглощения.

**Третья** глава диссертации посвящена определению фундаментальных параметров изучаемых звёзд и их спектральной классификации. Для всех объектов получены приблизительные оценки температуры фотосферы, сделанные как по интенсивности отдельных характеристических линий, так и по нормальным оптическим показателям цвета, а также оценки оптической и болометрической светимости и начальных масс объектов. Для ряда звёзд проведено сравнение спектрального распределения энергии с фотометрическим и данными в оптике и ИК. Наиболее детально изучен объект J122809.72+440514.8 в галактике NGC4449, показавший значительную переменность в оптике. Для него, в частности, проведено не-LTR моделирование спектра, определены физические параметры, включая содержание некоторых химических элементов. По положению на диаграммах ГР и эволюционным трекам сделаны оценки масс кандидатов в LBV. Приведены результаты классификации звёзд по подтипам (LBV, B[e]SG, WR).

В **четвертой** главе диссертации сделана попытка решения непростой задачи оценки возраста объектов в близком окружении изучаемых звёзд в галактиках NGC 247 и NGC 4449 по данным HST с использованием диаграмм ГР и изохрон, цель которой – независимым

образом оценить правильность отнесения изученных звёзд к звёздам высокой светимости, LBV и/или WR. Полученные в работе результаты суммированы и обобщены в **Заключении**. В списке литературы 158 работ.

Характеризуя диссертацию в целом, вдобавок к довольно подробному сделанному мною описанию основного содержания глав диссертации, должен сказать, что работа производит превосходное впечатление. Она характеризуется **новизной и оригинальностью** полученных результатов, касающихся интереснейшей популяции звёзд сверхвысокой светимости и самой большой массы, в том числе LBV, что доказывается их публикацией в рецензируемых журналах. Автору диссертации благодаря комплексному подходу к изучению этих исключительно сложных объектов для наблюдения удалось заметно увеличить их доныне скудную статистику в галактиках, находящихся за пределами Местной Группы, и впервые определить их астрофизические характеристики. Работа проделана на очень высоком уровне с использованием наблюдений, сделанных на наземных и космических телескопах (в ряде случаев по заявкам автора работы).

**Достоверность** результатов диссертации обеспечена применением лучших наблюдательных приборов (фотометрических и спектральных), глубоко продуманным подходом к исследованиям, адекватностью методов, использованных для обработки и анализа наблюдательных данных. Автор диссертации, представляющей собой законченное исследование по актуальной тематике, продемонстрировала высочайшую квалификацию в области астрофизики и звёздной астрономии. Несомненно, по общему впечатлению, богатству и важности совокупности представленных в диссертации результатов она заслуживает самой высокой оценки.

Выскажу несколько замечаний, абсолютно не влияющих на общую высочайшую оценку работы. Во-первых, читателям диссертации было бы небезинтересно увидеть в работе отдельное обсуждение проблемы оценки масс исследуемых объектов разными методами (во Введении приводится информация о ближайшей к нам LBV Млечного Пути –  $\eta$  Car, в том числе о массах компонентов; даже современные оценки масс компонентов в этой системе заметно расходятся; см., например, работы Kashi, Soker, ApJ 723, 602, 2010; Clementel et al., MNRAS 447, 2445, 2015; то же самое относится и к другим звёздам самых больших масс). Во-вторых, на мой взгляд, вторую главу диссертации лучше было бы структурировать (делить по подразделам) не по отдельным звёздам - кандидатам в LBV, а по исследованным галактикам (то же самое относится и к третьей главе). Диссертация отлично оформлена, написана хорошим языком и легко читается; не совсем удачных выражений, опечаток и прочих огрехов ничтожно мало.



Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Все результаты диссертации, выносимые на защиту, изложены в семи статьях (из общего числа 11 публикаций автора в рецензируемых изданиях), три из которых, посвящённые поиску LBV в трёх галактиках, опубликованы в рецензируемом журнале MNRAS из квартиля Q1. Отмечу, что во всех семи публикациях, на основе которых подготовлена диссертация, Ю.Н. Соловьёва является первым автором. Кроме того, результаты диссертации были также представлены на ряде всероссийских и международных конференций. Полученные в работе результаты будут востребованы в астрономических учреждениях России, таких как САО РАН, МГУ, ЮФУ, УФУ, СПбГУ, ИНАСАН, ИКИ РАН, а также за рубежом.

Диссертация Ю.Н. Соловьёвой «Ярчайшие звёзды за пределами Местной группы галактик» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Юлия Николаевна Соловьёва, безусловно, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой экспериментальной астрономии физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова) профессор

Расторгуев Алексей Сергеевич

15 ноября 2021 г.

Почтовый адрес:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.2,

МГУ имени М.В. Ломоносова,

Физический факультет

Телефон: +79165705693

Эл. адрес: alex.rastorguev@gmail.com

Подпись А.С. Расторгуева заверяю.

Декан физического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

профессор



Н.Н. Сысоев