

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д501.001.86,**  
*созданного на базе Московского государственного университета имени*  
*М.В. Ломоносова, по диссертации на соискание учёной степени*  
**доктора наук.**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от **06 апреля 2017 г. № 147** о присуждении **Золотухину Ивану Юрьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

**Диссертация** *«Многоволновые исследования редких астрофизических объектов с использованием больших массивов данных»*

**по специальности** *«01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия»*

**отрасль наук:** физико-математические

**принята к защите** 8 декабря 2016 года, **протокол** № 145, диссертационным советом Д501.001.86, созданным на базе Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (МГУ), 119991, Москва, Ленинские горы, дом 1 (приказы Минобрнауки РФ о полномочиях диссертационного совета от 11.04.2012 №105-нк и от 14.11.2013 № 677.нк).

Соискатель **Золотухин Иван Юрьевич**, 1984 года рождения, окончил Астрономическое отделение Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в 2006 году, очную аспирантуру Физического факультета МГУ в 2009 году. В 2008-2009 годах работал в должности ведущего инженера Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (ГАИШ МГУ).

Диссертацию на соискание ученой степени *«кандидат физико-математических наук»* по специальности *«01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия»* (отрасль наук: физико-математические) на тему *«Галактические и внегалактические исследования с использованием современных обзоров и Виртуальной Обсерватории»* защитил в 2009 году в диссертационном совете Д501.001.86. С 2010 года работает в должности научного сотрудника ГАИШ МГУ. **Диссертация выполнена в** отделе релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ.

**Научный консультант:** *Чилингарян Игорь Владимирович*, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела физики эмиссионных звезд и галактик ГАИШ МГУ.

**Официальные оппоненты:**

*Бикмаев Ильфан Фяритович*, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета;

*Решетников Владимир Петрович*, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрофизики математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ);

*Сазонов Сергей Юрьевич*, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией экспериментальной астрофизики отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

— дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук (ИНАСАН) – в своем положительном заключении, составленном гражданами РФ, доктором физ.-мат. наук, член-корр. РАН, директором ИНАСАН *Бисикало Дмитрием Валерьевичем* и кандидатом физ.-мат. наук, старшим научным сотрудником ИНАСАН *Ковалевой Даной Александровной*, указала, что «работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор, Золотухин Иван Юрьевич, несомненно, заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия».

**Соискатель имеет 54** опубликованные работы, в том числе **26** научных работ по теме диссертации общим объёмом около **190** печатных листов, из которых **16** опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, **7** - в сборниках трудов конференций и **3** - тезисы докладов.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. I. Chilingarian, I. Zolotukhin / Isolated compact elliptical galaxies: Stellar systems that ran away // **Science** Vol. 348., Pp. 418–421 (2015).
2. I. Zolotukhin, M. Revnivtsev / Sample of LMXBs in the Galactic bulge - I. Optical and near-infrared constraints from the Virtual Observatory // **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Vol. 411, Pp. 620–626 (2011).
3. I. Zolotukhin, M. Revnivtsev / Sample of optically unidentified X-ray binaries in the Galactic bulge: constraints on the physical nature from infrared photometric surveys // **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Vol. 446, Pp. 2418–2427 (2015).
4. M. Revnivtsev, I. Zolotukhin, A. Meshcheryakov / Period-luminosity relation for persistent low-mass X-ray binaries in the near-infrared // **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Vol. 421. Pp. 2846–2853 (2012).

5. I. Zolotukhin, M. Revnivtsev, N. Shakura / Infrared identification of 4U1323-619 revisited // **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Vol. 401. Pp. 1–4 (2010).
6. I. Zolotukhin, I. Chilingarian / Virtual Observatory based identification of AX J194939+2631 as a new cataclysmic variable // **Astronomy & Astrophysics** Vol. 526. Pp. 84–88 (2011).
7. I. Zolotukhin, N. Webb, O. Godet, M. Bachetti, D. Barret / A Search for Hyperluminous X-Ray Sources in the XMM-Newton Source Catalog // **The Astrophysical Journal** Vol. 817. Pp. 88–100 (2016).
8. I. Chilingarian, I. Zolotukhin / A universal ultraviolet-optical colour-colour-magnitude relation of galaxies // **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Vol. 419. Pp. 1727–1739 (2012).
9. I. Chilingarian, I. Zolotukhin, I. Katkov, A.-L. Mechior, E. Rubtsov, K. Grishin / RCSED – A Value-Added Reference Catalog of Spectral Energy Distributions of 800,299 Galaxies in 11 Ultraviolet, Optical, and Near-Infrared Bands: Morphologies, Colors, Ionized Gas and Stellar Populations Properties // **The Astrophysical Journal Supplement** Vol. 228. Pp. 14–41 (2017).
10. S. Kopusov, E. Glushkova, I. Zolotukhin / Automated search for Galactic star clusters in large multiband surveys. I. Discovery of 15 new open clusters in the Galactic anticenter region // **Astronomy & Astrophysics** Vol. 486. Pp. 771–777 (2008).
11. Глушкова Е.В., Копосов С.Е., Золотухин И.Ю., Белецкий Ю.В., Власов А.Д., Леонова С.И. / Автоматический поиск звездных скоплений в больших многоцветных обзорах: открытие и исследование РЗС в галактической плоскости // **Письма в Астрономический журнал** Т. 36. № 2. С. 83-93 (2010).
12. I. Chilingarian, A.-L. Melchior, I. Zolotukhin, Analytical approximations of K-corrections in optical and near-infrared bands // **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Vol. 405. Pp. 1409–1420 (2010).
13. J. Schneider, C. Dedieu, P. Le Sidaner, R. Savalle, I. Zolotukhin / Defining and cataloging exoplanets: the exoplanet.eu database // **Astronomy & Astrophysics** Vol. 532. Pp. 79–90 (2011).
14. O. Malkov, I. Zolotukhin / Virtual Observatory for stellar astronomy // **Astronomische Nachrichten** Vol. 334. Pp. 818 (2013).
15. S. Rosen et al. / The XMM-Newton serendipitous survey. VII. The third XMM-Newton serendipitous source catalog // **Astronomy & Astrophysics** Vol. 590. Pp. 1–22 (2016).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их большим опытом работы в астрофизике и звездной астрономии в направлениях, рассматриваемых в диссертации.**

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

**а) Ведущей организации (г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48, ИНАСАН, тел.: 8-495-953-17-02):**

Представленная диссертация посвящена исследованиям разнообразных астрофизических объектов — нормальных и компактных галактик, маломассивных рентгеновских двойных, рентгеновских пульсаров и гипер-ярких рентгеновских источников — в различных диапазонах длин волн с использованием публично доступных данных из Виртуальной Обсерватории. Известно, что среди наук, в которых набирает в последние годы популярность направление data science — извлечение научных фактов из больших массивов данных — астрономия занимает одну из лидирующих позиций. Одной из реализаций такого подхода в астрономии является международная инициатива по созданию Виртуальной Обсерватории (ВО), представляющей собой инициативу по стандартизации и индексированию астрономических данных и средств работы с ними в целях увеличения эффективности их использования. Экспоненциальный рост объема публично доступных астрономических данных делает парадигму data science и применение в исследованиях методов ВО крайне актуальными. Применение методов data science наиболее эффективно, прежде всего, для выявления ранее неизвестных закономерностей и объектов с экстремальными и аномальными свойствами в больших массивах данных. Представленная И.Ю. Золотухиным диссертация «Многоволновые исследования редких астрофизических объектов с использованием больших массивов данных» является ярким примером такого эффективного исследования. Объединяющим фактором в этой работе является методика получения нового знания из имеющихся данных благодаря их комплексному анализу.

В диссертации И.Ю. Золотухина получены важные результаты сразу в нескольких направлениях астрофизики. Среди них продемонстрированная впервые возможность (и заметная частота таких событий) выбрасывания компактных эллиптических галактик посредством взаимодействия трех тел из скоплений галактик, которая представляет значительный интерес с точки зрения развития взглядов на происхождение и эволюцию карликовых галактик. Создание первой статистически достоверной выборки гипер-ярких рентгеновских источников важно и чрезвычайно актуально для продолжающихся в последнее десятилетие активных поисков гипотетической популяции аккрецирующих черных дыр промежуточной массы. Обнаружение нераскрученного пульсара в галактике Андромеды, ставшего самым медленным из известных в шаровых скоплениях пульсаров, несомненно, представляет существенное значение для развития стандартной теории раскручивания аккрецирующих нейтронных звезд. Значимость полученных научных результатов не вызывает сомнений, что подтверждено фактом публикации большей части результатов в престижных тематических и междисциплинарных международных научных журналах.

К значительным достоинствам работы следует отнести представление части методических наработок автора в виде специальных веб-сервисов, доступных для использования астрономическим сообществом (веб-сайт каталога RCSED, веб-сайт каталога 3ХММ с фотонной базой данных и другие) и поэтому имеющих большую практическую ценность для различных приложений в астрофизике. Сами представленные каталоги галактик и рентгеновских источников уже сейчас широко востребованы в мировом научном астрономическом сообществе как однородные наборы данных, на основании которых проводятся новые исследования.

Кроме того, непосредственную практическую ценность для астрофизических исследований имеют новые методики, представленные в диссертации: 1) метод определения красных смещений нормальных галактик по трем фотометрическим измерениям; 2) метод надежной морфологической классификации галактик по их цвету ультрафиолет–оптика; 3) использование обнаруженного универсального соотношения цвет–цвет–величина для поиска редких типов галактик, таких, как компактные эллиптические (сЕ) или галактики после вспышки звездообразования (PSG); 4) метод оценки орбитального периода маломассивных рентгеновских двойных систем с постоянной аккрецией по одному фотометрическому измерению в инфракрасном диапазоне; 5) метод вне-центрального кросс-отождествления больших астрономических каталогов с каталогами красных смещений галактик для поиска объектов на их периферии; 6) тонкий метод поиска пульсаций рентгеновских источников в наборах данных с бедной фотонной статистикой. Стоит особенно отметить аккуратное математическое обоснование последнего метода.

Существенная методическая ценность диссертации позволяет рекомендовать ряд ее результатов к использованию в учебных курсах по различным дисциплинам современной астрофизики. В частности, фотонная база данных обсерватории ХММ-Newton и посвященный ей веб-сайт позволяют исследовать быструю переменность классических рентгеновских объектов, например, магнетаров, без использования сложного программного обеспечения и могла бы быть полезна в учебных курсах по анализу временных рядов и по рентгеновской астрономии. Сайт каталога галактик RCSED непосредственно снабжен готовыми учебными занятиями для облегчения научного использования данных каталога, которые можно использовать в учебных курсах по внегалактической астрономии.

В диссертации демонстрируется успех подхода представления методических результатов в виде доступных через сеть Интернет веб-ресурсов для использования учеными в России и за рубежом. Подобная практика может быть рекомендована к применению научным группам и отечественным институтам в рамках парадигмы data science – эффективного использования существующих доступных научному сообществу данных для получения новых научных результатов.

Тематика и результаты диссертации соответствуют приоритетному направлению развития науки, технологий и техники Прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года в Российской Федерации "Информационно-коммуникационные технологии", а также критической технологии Российской Федерации "Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем" и приоритетному направлению «Стратегические информационные технологии» Программы развития Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова до 2020 года.

Все результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными и никогда прежде не выносились на защиту. Их качество и актуальность не вызывает сомнений. Диссертация написана ясным языком и хорошо иллюстрирована. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и корректно описывает личный вклад автора.

Диссертационная работа была доложена и обсуждена на астрофизическом семинаре ИНАСАН 20 февраля 2017 года (протокол №1/2017 от 20.02.2017г.).

Совокупность представленных в диссертации работ и описанных в них новых научных и методических достижений позволяет констатировать, что автору удалось внести значительный вклад в создание и развитие нового для российской астрофизики научного направления – получения научных результатов в результате обработки и анализа больших массивов данных. Таким образом, диссертация И.Ю. Золотухина на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

**Доктора физико-математических наук Бикмаева И.Ф. (г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18, КФУ, тел.: 8-843-292-77-97):**

Ускоренное развитие современных технологий в последние десятилетия привело к появлению большого набора наземных и космических телескопов с помощью которых были получены огромные массивы наблюдательных данных в широком спектре электромагнитного излучения – от рентгеновского до радио диапазонов. Оценки указывают на экспоненциальный рост данных, которые продолжают накапливаться в архивах наземных телескопов и орбитальных обсерваторий. Во многих случаях полученные архивы содержат данные не только для конкретных объектов исследований, но и для соседствующих с ними объектов, попавших

в поле зрения телескопов. Таким образом, к настоящему времени накоплены огромные массивы данных, содержащих ценную астрофизическую информацию, которая не была извлечена из них ранее. Диссертация И.Ю. Золотухина посвящена решению этой актуальнейшей задачи современной астрофизики – выявлению неизвестных и неисследованных ранее объектов в имеющихся обширных обзорах и архивах, а также получению дополнительной астрофизической информации для известных ранее источников путем объединения данных, имеющихся в современных, но разобщенных обзорах и каталогах. Диссертация представляет собой широкомасштабное научное исследование, которое проведено как в отношении нескольких групп редких и уникальных объектов нашей и ближайших галактик, так и в отношении большого набора внегалактических источников.

Диссертация И.Ю. Золотухина представляет собой оригинальное и масштабное научное исследование с ярко выраженной новизной и практической значимостью полученных результатов. Созданные автором методики и программные реализации по работе с архивными данными различных форматов и представлений могут быть в дальнейшем успешно применены в работе с новыми обширными каталогами и обзорами с еще большими объемами данных.

Работа написана четким и ясным языком, хотя имеется и определенное количество опечаток.

У оппонента имеются незначительные замечания по тексту диссертации, касающиеся нескольких замеченных опечаток и приведения обратных величин в двух случаях, когда речь идет о прямых. В одной из таблиц подпись неполностью соответствует содержанию.

Высказанные замечания являются скорее техническими, они не умаляют достоинств диссертации И.Ю. Золотухина и не влияют на положения, выносимые на защиту. В целом диссертационная работа является завершенным научным исследованием, которое основано на самых современных космических и наземных наблюдениях и передовых методах анализа и интерпретации полученных данных.

Результаты работы И.Ю. Золотухина могут быть использованы в САО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, КФУ, КрАО, ГАО РАН, и других российских и зарубежных организациях, в которых используются данные Виртуальных Обсерваторий и исследуются уникальные тесные двойные системы с компактными источниками, а также галактики различных типов.

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Основные результаты диссертации были доложены И.Ю. Золотухиным лично на Астрофизическом Семинаре кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета 21-го февраля 2017 года.

**Доктора физико-математических наук Решетникова В.П. (г. Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., д. 28, СПбГУ, тел.:8-812-428-41-68):**

Диссертационная работа И.Ю. Золотухина посвящена очень актуальной и важной проблеме – применению больших массивов астрономических данных для поиска и изучения различных классов малоисследованных объектов, причем как галактик, так и звезд. Задачи, рассмотренные в работе, являются очень сложными, комплексными и в настоящее время они еще далеки от решения, поскольку только относительно недавно появились массовые спектральные и фотометрические обзоры, позволяющие ставить и решать подобные проблемы.

Основу диссертации составляет работа с архивными данными ряда наземных и космических проектов, на основе которой составлены два уникальных каталога – каталог различных характеристик 800 тысяч галактик и крупнейший каталог рентгеновских источников, – предназначенных для решения широкого круга астрофизических задач. Далее автор рассматривает несколько конкретных задач, решение которых базируется на созданных им каталогах.

Диссертационная работа содержит много новых важных результатов, среди которых отмечу лишь следующие:

создан каталог галактик, содержащий для 800299 галактик унифицированные фотометрические данные в широком диапазоне длин волн, а также результаты комплексного анализа эмиссионных и абсорбционных линий, звездных населений;

создан крупнейший в настоящее время каталог рентгеновских источников 3ХММ;

открыты почти две сотни компактных эллиптических галактик, в том числе 11 изолированных;

открыто существование универсального соотношения «цвет — цвет — величина» для нормальных галактик, разработан эмпирический метод оценки фотометрического красного смещения галактик по измерениям в трех фильтрах;

в галактике туманность Андромеды обнаружен необычный нераскрученный рентгеновский пульсар, дальнейшее изучение которого важно для развития теории раскручивания пульсаров;

разработан и реализован метод поиска сверхъярких рентгеновских источников в других галактиках;

предложено соотношение «период – светимость» в близком ИК-диапазоне для маломассивных рентгеновских двойных с постоянной светимостью.

Все эти (и другие) результаты диссертационной работы И.Ю. Золотухина хорошо известны и широко используются международным астрономическим сообществом.

Особую цельность работе придает систематическое и последовательное использование больших массивов данных и методов Виртуальной Обсерватории. Созданный И.Ю. Золотухиным эталонный



каталог галактик, несомненно, сыграет важную роль для решения разнообразных задач внегалактической астрономии. Этот каталог сводит воедино данные из разных спектральных диапазонов и, вдобавок, предоставляет единообразно обработанные данные о свойствах звездного населения и ионизованного газа для многих сотен тысяч галактик. В этом отношении каталог RCSED является уникальным. Полезным дополнением к описанию каталога являются несколько примеров конкретных запросов, позволяющих извлекать данные из RCSED.

Очень важным представляется обнаружение соотношения «цвет – цвет – величина» для нормальных галактик. Это соотношение, как отмечено в диссертации, является самым тесным из известных эмпирических фотометрических зависимостей. Существование этого соотношения дает полезную информацию об истории звездообразования в галактиках. Кроме того, оно может использоваться как очень полезный инструмент для классификации галактик и определения их фотометрических красных смещений.

Замечания к диссертационной работе носят в основном характер уточнений, которые могли бы сделать работу более наглядной в некоторых моментах. Например, было бы уместно привести количественную характеристику упоминающегося «замечательного согласия между исправленной фотометрией и наблюдаемой спектральной плотностью потока» в каталоге RCSED.

В работе переобработаны оригинальные спектры из обзора SDSS и, в том числе, определены радиальные скорости галактик и дисперсии скоростей звезд. Найденные автором дисперсии скоростей сравниваются с данными SDSS, однако отсутствует подобное сравнение для радиальных скоростей.

При обсуждении свойств компактных эллиптических галактик в разделе 3.2 было бы полезным привести положения галактик на Фундаментальной Плоскости. Это, возможно, позволило бы наглядно оценить отличие их интегральных характеристик от свойств нормальных E галактик.

В некоторых случаях для большей наглядности результатов не помешали бы дополнительные рисунки. Например, на рис.1.5 (стр. 33) стоило добавить распределение галактик на плоскости «красное смещение – абсолютная звездная величина».

Некоторые формулировки, приведенные в диссертации, не совсем удачны. Например, что такое «неидеальные пакеты обработки данных» (стр.158)?

Отмеченные замечания относятся к деталям работы и не затрагивают ее содержания. Работа имеет фундаментальный характер, значительно продвигая наше понимание физики нормальных галактик и рентгеновских источников.

Оценивая работу в целом, можно сделать вывод, что диссертация И.Ю. Золотухина представляет собой цельное научное исследование, в котором решен ряд важных астрофизических задач. Диссертация дает

наглядный пример того, сколь эффективной и плодотворной может быть работа с уже накопленными в архивах разных обсерваторий данными. Остается надеяться, что автор продолжит исследования в этих направлениях и на основе подхода data science получит еще много интересных результатов.

Все результаты диссертационной работы основаны на тщательном анализе и моделировании наблюдательных данных. В тех случаях, когда результаты можно сравнить с выводами других авторов, они показывают согласие. Тем самым, обоснованность и достоверность результатов не вызывает сомнений. Кроме того, в работе И.Ю. Золотухина содержится богатый практический материал для будущих исследований в разных разделах астрофизики – в первую очередь, оригинальные каталоги галактик и рентгеновских источников.

Диссертационная работа аккуратно оформлена, написана ясным языком. Небольшое количество описок и жаргонных терминов не портят общее впечатление от работы. Выносимые на защиту результаты прошли широкую апробацию, они полностью опубликованы в научной печати, доложены на всероссийских и международных конференциях, автореферат правильно отражает содержание работы.

Диссертационная работа Ивана Юрьевича Золотухина удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациями на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

**Доктора физико-математических наук Сазонова С.Ю. (г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН, тел. 8-495-913-3116):**

Диссертационная работа посвящена изучению редких астрофизических объектов, таких как компактные эллиптические галактики и гиперяркие рентгеновские источники, на основе больших массивов данных, находящихся в открытом доступе. Для решения поставленных задач диссертантом разработаны оригинальные методы использования данных инфракрасных, оптических, ультрафиолетовых и рентгеновских обзоров, с их помощью получен ряд важных результатов.

Диссертацию в целом можно охарактеризовать как прорывное научное исследование, посвященное разработке и применению новых методов астрофизических исследований. Следует отметить новизну проведенных исследований и полученных результатов. Выносимые на защиту научные заключения хорошо обоснованы, достоверны и весьма значимы для развития теории формирования и эволюции галактик и астрофизики высоких энергий. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на семинарах, российских и международных конференциях, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах.

У оппонента есть несколько вопросов и замечаний к диссертации, которые носят уточняющий характер:

1) В разделе 2.2, на рис. 2.10 приводится измеренная корреляция между абсолютной звездной величиной в ближнем ИК диапазоне и комбинацией рентгеновской светимости с орбитальным периодом для 7 LMXB, а также результаты соответствующего моделирования. Из рисунка следует, что все 7 объектов неплохо согласуются с результатом расчетов для примерно нулевого угла наклона. Есть ли объяснение, с чем это связано?

2) В разделе 3.1, на стр. 140, при обсуждении метода определения красного смещения с помощью трехмерной полиномиальной функции наблюдаемых двух цветов и звездной величины, стоило бы привести в явном виде формулу расчета (набор коэффициентов), чтобы сторонние исследователи могли воспользоваться этим методом и провести его независимую проверку.

3) В разделе 4.1, на стр. 187, сделана оценка пространственной плотности гиперярких рентгеновских источников, со светимостью выше  $10^{41}$  эрг/с. Было бы интересно нормировать это значение на интегральный темп звездообразования в локальной Вселенной и сравнить полученное значение с известной удельной функцией светимости ультраярких рентгеновских источников (со светимостью ниже  $10^{41}$  эрг/с).

Все эти замечания не являются существенными и никак не влияют на высокое научное значение диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.03.02 – астрофизика, звездная астрономия, а ее автор Золотухин Иван Юрьевич заслуживает присвоения ему степени доктора физико-математических наук.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- Предложен** наблюдательно эффективный метод определения орбитального периода постоянно аккрецирующих маломассивных рентгеновских двойных систем на основе фотометрических наблюдений в ближнем инфракрасном диапазоне. Метод открывает возможность массового исследования рентгеновских объектов в областях Галактики с высоким поглощением на луче зрения, получения распределения орбитальных периодов таких систем, поиска ультракомпактных двойных систем и двойных систем с джетами.
- Предложен** высокоселективный метод отождествления рентгеновских объектов в плоскости Галактики с большими неопределенностями положения путем использования многоволновых каталогов, доступных в Виртуальной Обсерватории.
- Сформулирован** метод поиска гипер-ярких рентгеновских источников путем сопоставления больших спектральных каталогов галактик и каталогов рентгеновских источников, дающий большое число качественных кандидатов.

- **Созданы** крупнейшие каталоги рентгеновских источников 3XMM-DR5 и 3XMM-DR6, пригодные для самого широкого круга задач в рентгеновской астрономии. **Разработано** веб-приложение для быстрого научного анализа данных каталога, в т.ч. для работы с данными на уровне рентгеновских фотонов.
- **Создан** эталонный каталог 800 299 галактик, включающий в себя: оптические спектры, распределения энергии в 11 полосах в ультрафиолетовом, оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, морфологическую информацию, свойства звездного населения и ионизованного газа. Каталог галактик имеет важные перспективы применения в разнообразных внегалактических исследованиях. Для доступа к продуктам каталога **разработано** веб-приложение, облегчающее его практическое использование.
- **Разработана** масштабируемая архитектура для компиляции и распространения в сети Интернет различных каталогов астрофизических объектов и широкого набора связанных с ними продуктов данных. Архитектура пригодна для повторного использования в будущих каталогах с высокой научной ценностью — например, в каталогах эксперимента *Спектр-РГ*.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- получен нижний предел на частоту встречаемости гипотетической популяции гипер-ярких рентгеновских источников, указывающий на ее существование и наблюдаемость;
- показано существование нераскрученных аккрецирующих нейтронных звезд в шаровых скоплениях, требующее подстройки стандартной теории раскрутки пульсаров аккрецией;
- обнаружены изолированные компактные эллиптические галактики и показано их происхождение путем выбрасывания из плотных центров скоплений галактик в результате взаимодействия трех тел на галактических масштабах;
- теоретически показана возможность и эффективность определения орбитального периода постоянных маломассивных рентгеновских двойных систем по светимости системы в инфракрасном диапазоне;
- построено точное универсальное эмпирическое соотношение цвет–цвет–величина для нормальных галактик, не имеющее в настоящий момент убедительной теоретической интерпретации с точки зрения теории происхождения и эволюции галактик.

Применительно к проблематике диссертации эффективно использован обширный наблюдательный материал крупнейших наземных и космических обсерваторий, содержащийся в архивах и Виртуальной Обсерватории, а также использованы методы статистической обработки больших выборок астрофизических объектов наблюдений с применением современных

методов анализа оптических спектров галактик, рентгеновских спектров и временных рядов различных аккрецирующих систем.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- созданные в работе каталог галактик RCSED и каталог рентгеновских источников 3XMM уже активно используются для исследований различными научными группами в нашей стране и за рубежом;
- разработан и внедрен ряд наблюдательно эффективных методов определения физических параметров различных астрофизических объектов – метод определения орбитального периода маломассивных рентгеновских двойных, метод классификации рентгеновских источников по данным Виртуальной Обсерватории, метод определения расстояния до галактик по фотометрическим измерениям
- создан ряд публично доступных баз данных с высокой добавленной научной ценностью, которые в настоящее время уже активно используются многими исследователями как эталонные и поэтому востребованы астрономическим сообществом.

**Достоверность результатов исследования обусловлена:**

- применением современных методик сбора и использованием современных статистических и математических методов обработки наблюдательных данных;
- при поиске редких объектов — надежным воспроизведением обнаружения известных единичных объектов (например, ESO 243-49 HLX-1 и M82 X-1 при поиске гипер-ярких рентгеновских источников);
- хорошим согласием полученных в работе оценок фотометрических красных смещений галактик с результатами, полученными напрямую из анализа их спектров.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

в постановке научных задач, создании программных пакетов для обработки данных и компиляции каталога RCSED, статистическом анализе выборок астрофизических объектов (нормальных и компактных галактик, маломассивных рентгеновских двойных, кандидатов в гипер-яркие рентгеновские источники) и интерпретации его результатов, а также доведении их до публикации; в обработке и интерпретации наблюдательных данных рентгеновских и оптических наблюдений, полученных на различных инструментах; в частичной разработке идеи и построении модели облученного аккреционного диска; создании алгоритмов и компиляции каталога рентгеновских источников 3XMM из сырых продуктов данных, создании базы данных рентгеновских источников, веб-приложения для их визуализации, создании всех основных готовых к анализу продуктов каталога *XMM-Newton*, распространяемых в научном сообществе.

На заседании **06 апреля 2017 г.** Диссертационный совет принял решение присудить *Золотухину И.Ю.* ученую степень доктора физ.-мат. наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **18** человек, из них **10** докторов наук по специальности **01.03.02**, участвовавших в заседании, из **24** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - **18**, против - **нет**, недействительных бюллетеней - **нет**.

Председатель

Диссертационного совета

А.М.Черепашук

Ученый секретарь

Диссертационного совета

С.О.Алексеев

« 06 » апреля 2017 года