

Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова

На правах рукописи
УДК 524.7/524.82

Золотухин Иван Юрьевич

**ГАЛАКТИЧЕСКИЕ И ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
ОБЗОРОВ И ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ**

Специальность: 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре астрофизики и звездной астрономии
Физического факультета Московского государственного университета им.
М. В. Ломоносова

Научные руководители: доктор физико-математических наук Шакура
Николай Иванович, зав. отделом релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ;
кандидат физико-математических наук Чилингарян Игорь Владимирович,
научный сотрудник отдела физики эмиссионных звезд и галактик ГАИШ
МГУ.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук Малков Олег Юрьевич, ведущий
научный сотрудник Центра астрономических данных Института
Астрономии РАН
- кандидат физико-математических наук Бескин Григорий Меерович,
руководитель лаборатории релятивистской астрофизики САО РАН

Ведущая организация: Институт космических исследований РАН

Защита состоится 01 октября 2009 года в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д501.001.86 в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга МГУ по адресу: 119992, г. Москва, Университетский проспект, дом 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГАИШ МГУ или в сети Интернет по адресу http://nice.sai.msu.ru/~iz/phd_thesis.pdf .

Автореферат разослан 1 сентября 2009 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

к.ф.-м.н.



С. О. Алексеев

Общая характеристика работы

Традиционная парадигма открытий астрономических объектов подразумевает изобретение, создание и использование новых телескопов и наблюдательных методов. Виртуальная Обсерватория (Virtual Observatory, VO) позволяет видоизменить эту парадигму, поскольку для новых открытий используются существующие данные из архивов и каталогов. Настоящая работа посвящена нескольким направлениям галактических и внегалактических исследований, объединенных общим принципом извлечения данных для научных исследований из Виртуальной Обсерватории.

В текущем состоянии галактической астрономии известно лишь около 2% галактических рассеянных звездных скоплений от их общего ожидаемого числа. Информация о них накапливалась десятилетиями и даже столетиями в результате усилий множества исследователей. Существующий набор информации о галактических рассеянных звездных скоплениях обладает по этой причине в высшей степени неоднородными свойствами и, следовательно, малоприспособлен для систематического анализа. В данной диссертации впервые предлагается однородный метод поиска и единообразного определения основных физических параметров рассеянных скоплений. Его применение к участку $16^\circ \times 16^\circ$ небесной сферы из обзора 2MASS позволило утроить количество достоверной информации о звездных скоплениях в этой области. Кроме того, данный метод лег в основу Каталога рассеянных скоплений ГА-ИШ, в который на момент написания данной диссертации входит 183 новых рассеянных скопления, открытых по данным обзора 2MASS.

В области внегалактических исследований важную методическую роль играет возможность сравнения фотометрической информации разных выборок галактик. Из-за эффектов красного смещения, разница звездных величин двух идентичных галактик, удаленных на разные расстояния от наблюдателя, не соответствует только разнице расстояний. Проблема отнесения фотометрических измерений к единой лабораторной системе решается с помощью k -поправок, но существовавшие до настоящего времени способы их вычис-

ления либо обладают существенными ошибками, либо требуют избыточной информации о каждой конкретной галактике, что вызывает зачастую непреодолимые сложности. В результате анализа большой однородной выборки близких галактик из обзоров SDSS и UKIDSS, предпринятого в рамках данной работы, оказалось возможным предложить простую аналитическую аппроксимацию для вычисления k -поправок, которая, вне всякого сомнения, в силу своей простоты и точности будет востребована во многих будущих внегалактических исследованиях. С помощью полученных результатов произведено исследование оптических и ИК цветов близких галактик на большой выборке объектов, что позволило провести предварительную интерпретацию в рамках современных моделей звездного населения и указать на недостатки этих моделей.

Отождествление рентгеновских двойных систем в оптическом и ИК диапазонах представляет собой работу большой важности, поскольку в силу естественных причин координаты многих подобных объектов известны с невысокой степенью точности, что затрудняет их дальнейшие исследования. Между тем обнаружение их оптических двойников не только открывает новые возможности для изучения (с помощью, например, спектральных исследований) малочисленных популяций рентгеновских двойных, но и несет в себе информацию об их оптической светимости, которая может быть использована для уточнения моделей генерации оптического излучения в аккреционных дисках, равно как и для наложения физических ограничений на конфигурации двойных систем и эволюционные процессы, протекающие в них. В традиционном подходе к данной задаче требуются значительные наблюдательные усилия для отождествления каждого объекта. Однако анализ архивных данных, использование современных фотометрических обзоров плоскости Галактики (например, IPHAS) и методов Виртуальной Обсерватории зачастую позволяют избежать необходимости в проведении новых наблюдений и выполнить отождествление только лишь на основе повторного использования уже существующих данных. В результате применения этого подхода в оптическом/ИК

диапазонах было отождествлено несколько рентгеновских двойных систем из плоскости и балджа Галактики. В отдельных случаях объекты обладали большими (порядка 1 arcmin) позиционными неопределенностями, что означает существование сотен и тысяч возможных кандидатов в современных обзорах неба.

В результате исследований, выполненных автором за период с 2005 г. по 2009 г., разработаны несколько оригинальных методик извлечения научно значимой информации из существующих публичных обзоров звездного неба и наблюдательных архивов: (1) уникальная методика поиска рассеянных звездных скоплений и однородного определения параметров уже известных объектов; (2) методика оптического отождествления рентгеновских объектов в плоскости Галактики с водородными аккреционными дисками. Кроме того, в результате исследований на основе архивных данных были выполнены отождествления в оптическом/ИК диапазонах нескольких рентгеновских двойных систем, в том числе объектов из малоизученной популяции компактных маломассивных рентгеновских двойных, и предложена аналитическая аппроксимация зависимости k -поправок от красного смещения и цвета галактики, имеющая важное практическое значение в области внегалактической астрономии.

Актуальность темы

В настоящее время в астрономии существует несколько крупных обзоров звездного неба, содержащих фотометрические и спектральные измерения десятков и сотен миллионов объектов. Несмотря на повседневное использование каталогов научным сообществом, их потенциал далек от раскрытия. В данной работе предлагается сразу несколько исследований, ведущих к заметным научным результатам, целиком и полностью основанных на использовании публично доступных данных. Исследование и поиск галактических рассеянных звездных скоплений далек от завершения по причине драматической неполноты существующих каталогов скоплений и отсутствия однородного ав-

томатического средства для их поиска, предложенного и протестированного в данной работе. Исследование и интерпретация ИК цветов близких галактик является одной из важнейших задач современной наблюдательной космологии в связи с вводом в эксплуатацию новых телескопов для крупных фотометрических обзоров, таких как VISTA и VST. Однако до текущего момента не существовало надежных способов приведения звездных величин и цветов галактик в единую систему отсчета, то есть учета так называемых k -поправок, в особенности в случае ограниченного набора наблюдательных данных. Оптические отождествления и фотометрические исследования малоизученных популяций слабых рентгеновских двойных представляют существенный интерес по причине того, что они открывают возможности для дальнейшего исследования идентифицированных объектов и создают необходимый базис для уточнения существующих моделей генерации оптического излучения, а также для наложения физических ограничений на протекающие в подобных системах эволюционные процессы. Наконец, предложенный способ оптического отождествления неизвестных рентгеновских источников в плоскости Галактики позволит пополнить каталоги компактных объектов с водородными аккреционными дисками, таких как катаклизмические переменные и массивные рентгеновские двойные, и ускорит исследования данных классов объектов научным сообществом, которое получает в свое распоряжение точные оптические координаты рентгеновских объектов, обладавших ранее большими позиционными неопределенностями.

Классическая методика научных исследований в астрономии, большинство из которых опирается на наблюдательный материал, заключается в проведении наблюдений и их последующей интерпретации. Первый шаг, как правило, отнимает наибольшее время в силу организации процессов получения астрономической наблюдательной информации в современном научном сообществе. Обсуждаемый в данной работе в нескольких примерах подход показывает возможность использования современных достижений сообщества в рамках Виртуальной Обсерватории для того, чтобы ускорить, удешевить и

сделать более эффективным процесс научных исследований, требующих астрономических данных, не в ущерб их научной значимости. Кроме того, в эпоху *data intensive astronomy* (интенсивного потока астрономических данных) и грядущих сверхглубоких обзоров Pan-STARRS, LSST и других, представляется чрезвычайно важным накопить опыт практической работы с большими обзорами неба и решения разнообразных научных задач на их основе.

Цель работы

Создание и отладка однородного метода поиска и измерения важнейших физических характеристик рассеянных звездных скоплений в Галактике по данным многоцветных фотометрических обзоров неба.

Применение разработанного метода поиска рассеянных звездных скоплений к области $16^\circ \times 16^\circ$ небесной сферы из обзора 2MASS.

Поиск простой и достаточно точной аналитической зависимости для вычисления k -поправок в зависимости от минимального набора параметров, известных о галактике.

Исследование эволюционных особенностей большой выборки близких галактик $0.03 < z < 0.6$ с всеобъемлющим набором наблюдательной информации о каждом объекте, предварительная физическая интерпретация оптических и ИК цветов в рамках существующих моделей эволюции галактик и их звездных населений.

Оптическое отождествление рентгеновских двойных систем в балдже и плоскости Галактики без привлечения дополнительных наблюдений на основании повторного использования архивных данных и информации из многоцветных фотометрических обзоров неба.

Научная новизна работы

1. Разработан оригинальный метод поиска рассеянных скоплений в крупных многоцветных обзорах звездного неба по флуктуациям плотности

звезд, с использованием информации об их цветах, подтверждающей физическую общность группы звезд; проведена апробация метода в области галактического антицентра, открыто 15 новых рассеянных звездных скоплений и достоверно определены параметры для 23 неизученных ранее скоплений

2. Составлен каталог близких галактик, содержащий оптические спектры, цвета в области спектра от ультрафиолетового до инфракрасного диапазона, наилучшие аппроксимации спектров и моделями звездных населений, k -поправки для 200 тыс. галактик с красными смещениями $0.03 < z < 0.6$; приведены эмпирические аналитические формулы для вычисления k -поправок в зависимости от цветов галактик, приведена предварительная интерпретация цветов галактик
3. При помощи Виртуальной Обсерватории в оптическом/ИК диапазонах отождествлены несколько рентгеновских двойных систем из плоскости и балджа Галактики, в том числе представители малоизученной популяции компактных рентгеновских двойных
4. Разработан оригинальный метод поиска в Виртуальной Обсерватории оптических двойников рентгеновских объектов в плоскости Галактики, имеющих координаты малой точности, на основе сильноселективных критериев, с использованием современных фотометрических $N\alpha$ обзоров; проведена апробация метода на неотожествленных источниках из каталога *ASCA*, обнаружена яркая катаклизмическая переменная
5. На основе полученных результатов продемонстрирована пригодность использования Виртуальной Обсерватории для решения широкого круга астрофизических исследовательских задач

Практическая ценность

1. Предложенный метод поиска галактических рассеянных звездных скоплений в больших многоцветных фотометрических обзорах неба, будучи

примененным на всю небесную сферу, способен принести первый в мире однородный каталог звездных скоплений с десятками процентов новых объектов

2. Предложенные алгоритмы вычисления k -поправок имеют важнейшее значение в современных внегалактических исследованиях в связи с простотой их использования и достигаемой точностью коррекции звездных величин на красных смещениях $z < 0.5$
3. Предложенные в данной диссертации методы научных исследований с активным использованием Виртуальной Обсерватории позволяют ускорить решение многих научных задач, основанных на наблюдательных данных, за счет применения современных возможностей VO по поиску необходимых данных и их повторному использованию в новом контексте научной задачи
4. Описанный метод отождествления рентгеновских объектов с большими позиционными неопределенностями, находящихся в плоскости Галактики, позволит продвинуться в исследовании населения галактических рентгеновских объектов, предоставив научному сообществу точные координаты многих объектов из малочисленных популяций

На защиту выносятся

1. Создание метода однородного поиска и измерения важнейших параметров рассеянных звездных скоплений в многоцветных фотометрических обзорах неба. Применение метода к области $16^\circ \times 16^\circ$ фотометрического обзора 2MASS в области галактического антицентра, в результате чего было открыто 15 новых рассеянных скоплений, определены физические параметры 13 неизученных ранее скоплений и подтверждены в качестве полноценных скоплений 10 объектов, ранее являвшихся кандидатами в звездные скопления. Реализация в контексте Виртуальной Обсерватории платформы для непрерывной публикации Каталога рассеянных скоп-

лений ГАИШ, созданного путем применения указанного метода поиска скоплений к данным 2MASS и дополняемого в ходе исследований новых фотометрических обзоров.

2. Методика вычисления k -поправок в оптических и ИК полосах для галактик на красных смещениях $z < 0.5$ путем аналитического полиномиального приближения с использованием только красного смещения и одного наблюдаемого цвета. Методика построения однородного каталога близких галактик в оптическом и ИК диапазонах на основе данных современных крупных обзоров и при помощи Виртуальной Обсерватории с использованием предложенного подхода для вычисления k -поправок
3. Отождествление рентгеновских источников 4U1323-619, AX J194939+2631, IGR J17254-3257 и SLX 1735-269 в оптическом и ИК диапазонах на основании архивных данных и материалов, доступных в рамках Виртуальной Обсерватории.
4. Создание универсального метода взаимодействия серверного программного обеспечения архивов данных с клиентскими приложениями на рабочей станции пользователя посредством программного слоя, работающего в браузере исследователя. Метод, апробированный в реальных условиях нескольких архивов, несет в себе практическую пользу в связи с тем, что он: (1) существенно упрощает использование ресурсов Виртуальной Обсерватории, делая их доступными даже для пользователей без опыта работы с технологиями VO; (2) позволяет теснее интегрировать серверную и клиентскую стороны процесса взаимодействия пользователя с архивом и таким образом прозрачно выполнять значительную часть рутинных операций, ранее возложенных на пользователя.

Апробация результатов работы

Результаты работы докладывались автором на научных семинарах ИНАСАН, ГАИШ МГУ, Observatoire de Paris и следующих международных кон-

ференциях:

1. ADASS-XV (г. Сан-Лоренцо де Эль Эскориаль, Испания, 2-5 октября 2005)
2. IVOA Interoperability Meeting (г. Виллафранка дель Кастильо, Испания, 6-7 октября 2005)
3. IVOA Interoperability Meeting (г. Москва, Россия, 18-22 сентября 2006)
4. ADASS-XVI (г. Тусон, США, 15-18 октября 2006)
5. ESA Workshop “Astronomical Spectroscopy and the Virtual Observatory” (г. Виллафранка дель Кастильо, Испания, 21-23 марта 2007)
6. ADASS-XVII (г. Лондон, Великобритания, 22-26 сентября 2007)
7. IVOA Interoperability Meeting (г. Кембридж, Великобритания, 27-28 сентября 2007)
8. IVOA Interoperability Meeting (г. Балтимор, США, 26-31 октября 2008)
9. ADASS-XVIII (г. Квебек, Канада, 2-6 ноября 2008)
10. IVOA Interoperability Meeting (г. Страсбург, Франция, 22-26 мая 2009)
11. IAU General Assembly 2009 (г. Рио-де-Жанейро, Бразилия, 3-14 августа 2009)

Публикации и личный вклад автора

Основные результаты диссертации изложены в 6 работах, опубликованных в зарубежных изданиях.

В перечисленных работах автору принадлежит:

- В работе [1] – обработка архивных данных и их научная интерпретация
- В работе [2] – создание каталога галактик, анализ полученных данных, научная интерпретация

- В работах [3-5] – создание и начальное развитие идеи поиска рассеянных скоплений в больших многоцветных звездных обзорах
- В работе [6] – создание концепции и реализация рабочего прототипа в 2 архивах данных

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Zolotukhin, I., Revnivtsev, M., Shakura, N., Infrared counterpart of 4U1323-619 revisited // *Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.* (2009), в печати; pre-print: arXiv:0908.4335
2. Chilingarian, I., Melchior, A.-L., Zolotukhin, I., Analytical approximations of k -corrections in optical and near-infrared bands // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* (2009), в печати.
3. Koposov, S., Glushkova, E., Zolotukhin, I., Automated search for Galactic star clusters in large multiband surveys. I. Discovery of 15 new open clusters in the Galactic anticenter region // *Astronomy and Astrophysics* (2008), v. 486, p. 771-777; pre-print: arXiv:0709.1275
4. Koposov, S., Glushkova, E., Zolotukhin, I., Search for and investigation of new stellar clusters using the data from huge stellar catalogues // *Astron. Nachr.* (2005), v. 326, p. 597-597; pre-print: astro-ph/0601647
5. Zolotukhin, I., Koposov, S., Glushkova, E., Search for New Open Clusters in Huge Catalogues // *ASP Conference Series* (2006), v. 351, p. 240-243; pre-print: astro-ph/0601691
6. Zolotukhin, I., Chilingarian, I., Middleware for Data Visualization in VO-enabled Data Archives // *ASP Conference Series* (2008), v. 394, p. 393-396; pre-print: arXiv:0711.1892

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Она содержит 132 страницы, 37 рисунков, 28 таблиц. Список литературы насчитывает 125 наименований.

В **первой главе** дано описание однородного метода поиска галактических рассеянных скоплений в больших многоцветных фотометрических обзорах звездного неба и его применения к участку $16^\circ \times 16^\circ$ в области галактического антицентра. Обсуждаются свойства обнаруженных скоплений и перспективы использования предложенного метода. Приводится описание платформы для публикации в Виртуальной Обсерватории Каталога рассеянных скоплений ГАИШ, созданного указанным методом.

Во **второй главе** приводятся описание процедуры создания и результаты анализа каталога из широкого набора параметров 200 тыс. близких галактик. Дана аналитическая формула вычисления k -поправок в зависимости от цвета и красного смещения галактики. Представлен сервис для удобного вычисления k -поправок по пользовательским данным.

В **третьей главе** обсуждается отождествление в оптическом/ИК диапазонах при помощи Виртуальной Обсерватории рентгеновских источников из балджа и плоскости Галактики, а также описывается метод оптического отождествления рентгеновских источников с водородными аккреционными дисками, имеющих большие позиционные неопределенности и расположенных в плоскости Галактики. Приводятся предварительные результаты применения метода для отождествления неизученных объектов каталога *ASCA* слабых источников в плоскости Галактики. Кроме того, описывается простая модель оценки наблюдаемого потока облученного аккреционного диска на частоте ν , которая используется для оценки адекватности звездных величин обнаруженных кандидатов.

В **заключении** приводятся выводы, выносимые на защиту, и обсуждаются основные результаты работы.

В **приложении** описывается концепция объединения серверного программ-

ного обеспечения архивов данных с клиентскими приложениями на рабочей станции пользователя посредством программного слоя, работающего в браузере исследователя, с целью облегчения многих рутинных процедур при взаимодействии пользователя с архивом и для непосредственного упрощения процедур визуализации и научного анализа архивных данных. Прототипы программного слоя работают в нескольких VO-архивах, в том числе в веб-платформе для публикации Каталога рассеянных скоплений ГАИШ.

Содержание работы по главам

Глава 1: Поиск рассеянных звездных скоплений в больших многоцветных фотометрических обзорах

Первая глава посвящена поиску рассеянных звездных скоплений в современных фотометрических обзорах неба при помощи Виртуальной Обсерватории.

В соответствии с общепринятыми оценками, в Галактике существует до 100 тысяч рассеянных звездных скоплений, однако из них известны и измерены менее 2 000 объектов. Автором и его коллегами было предпринято исследование многоцветных фотометрических обзоров неба с тем, чтобы попытаться обнаружить неизвестные ранее скопления. Был разработан новый метод автоматического поиска рассеянных скоплений в больших звездных каталогах, основанный на анализе пиков плотности каталогизированных звезд на диаграмме цвет-величина для данного участка неба. Обнаруженная группа звезд, которая образует пик пространственной плотности в каталоге, должна также лежать на одной изохроне указанной диаграммы. Вписывая изохрону в предполагаемое скопление, мы, помимо теста на физическую общность звезд, автоматически получаем оценку важных параметров скопления: возраста, расстояния и избытка цвета. В главе приводятся результаты применения указанного метода к выборке звезд из каталога 2MASS в области антицентра Галактики размером $16^\circ \times 16^\circ$. Было обнаружено 88 пиков плотности; из них 15 оказались новыми рассеянными скоплениями, у 12 из которых удалось определить физические параметры; 10 пиков плотности ранее являлись

кандидатами в скопления и были подтверждены в настоящей работе. Также удалось определить физические характеристики 13 известных, но неизученных ранее скоплений, в результате утроив число объектов с известными параметрами в области галактического антицентра. Параметры, определенные описываемым в главе 1 методом, демонстрируют хорошее согласие с существующими в литературе измерениями известных рассеянных скоплений. В конце главы дается описание платформы для непрерывной публикации в контексте Виртуальной Обсерватории результатов продолжающегося исследования – Каталога рассеянных скоплений ГАИШ. Один из важных с точки зрения Виртуальной Обсерватории компонентов платформы – программный слой для визуализации данных – описывается в Приложении.

Глава 2: Цвета близких галактик в оптическом и инфракрасном диапазонах длин волн

Для сравнения фотометрических измерений галактик, расположенных на различных красных смещениях, необходимо корректировать потоки за эффективное изменение длин волн фильтров при отнесении их в систему отсчета галактики, т.е. применять так называемые k -поправки. Традиционные подходы к их вычислению основаны на аппроксимации наблюдаемых распределений энергии в спектре (SED) галактики и таким образом требуют наличия многоцветных фотометрических данных. В главе показывается, что k -поправки для наиболее широко используемых оптических и ИК фильтров могут быть достаточно точно аппроксимированы двухмерным полиномом, зависящим всего лишь от двух параметров: красного смещения и одного наблюдаемого цвета. В главе приведены степенные функции для приближенного вычисления k -поправок в полосах SDSS u , g , r , i , z и UKIRT WFCAM Y , J , H и K для галактик на красных смещениях $Z < 0.5$. Приближение основано на значениях, вычисленных эмпирически путем аппроксимации объединенных SED в оптическом и ближнем ИК диапазонах для выборки из 10^5 галактик, созданной при помощи Виртуальной Обсерватории. Для ярких крас-

ных галактик в главе приводится специальная аппроксимация k -поправок как функций только красного смещения. Для двух фильтров, SDSS g и r , выполняется проверка предложенных приближений путем вычисления k -поправок напрямую из спектров SDSS DR7. В конце главы дано описание калькулятора k -поправок – веб-сервиса для удобного вычисления k -поправок по пользовательским данным, созданного в рамках настоящего исследования.

Глава 3: Отождествление в оптическом и инфракрасном диапазоне рентгеновских источников в галактическом балдже и плоскости Галактики

Глава посвящена отождествлению нескольких рентгеновских источников в оптическом и ИК диапазонах на основании повторного использования архивных данных, доступных через Виртуальную Обсерваторию, без привлечения дополнительных наблюдений.

В начале главы описывается исследование ИК двойника 4U1323-619 – известной маломассивной рентгеновской двойной системы, демонстрирующий рентгеновские “дипы”. Отождествление этого источника в ИК диапазоне впервые было выполнено в 1995 году, однако новые рентгеновские данные, доступные в архивах космических миссий *XMM* и *Chandra*, а также архивные ИК наблюдения на 3.6-метровом телескопе ESO NTT, позволили нам выделить нового возможного кандидата в двойники этой системы. В главе приводятся фотометрические свойства источника и проводится сравнение наблюдаемого ИК потока с простой аналитической моделью аккреционного диска, облучаемого горячей центральной короной, которая, как известно, существует в этой системе.

Далее описывается оптическое отождествление источника AX J194939+2631 из каталога слабых рентгеновских источников в плоскости Галактики, составленного по данным обсерватории *ASCA*. Несмотря на большую (порядка 1 arcmin) неопределенность рентгеновского положения источника и высокую плотность оптических объектов в этом поле, при помощи Виртуальной Обсерватории (а именно архивных наблюдений обсерватории *Chandra* и фото-

метрического На α обзора плоскости Галактики IPHAS) удалось выделить из большого количества кандидатов действительного двойника объекта, используя в том числе его характерные оптические свойства. Выполненные вслед за этим по заявке автора спектральные наблюдения данного оптического источника на 3.5-метровом телескопе обсерватории Калар Альто подтвердили ранее сделанные выводы о его принадлежности к катаклизмическим переменным.

В конце главы приводятся краткие результаты вероятных оптических отождествлений рентгеновских источников SLX 1735-269 и IGR J17254-3257, выполненных исключительно на основании архивных данных – в основном, наблюдений на телескопах ESO.

Приложение: Программное обеспечение для визуализации данных в архивах Виртуальной Обсерватории

В данном разделе мы представляем программный слой для визуализации и исследования сложных наборов астрономических данных внутри среды, которую формирует Виртуальная Обсерватория. Предлагаемое программное обеспечение (ПО) осуществляет прозрачное взаимодействие архивов данных с существующими в VO клиентскими приложениями посредством протокола PLASTIC¹. Оно включает в себя: (1) апплет с поддержкой PLASTIC, реализованный на языке программирования Java; (2) слой кросс-браузерного кода на языке JavaScript, занимающийся управлением клиентскими VO-приложениями с поддержкой PLASTIC (запуск, манипуляции с данными) через интерфейс Java LiveConnect. Данное или подобные ему решения будут играть ключевую роль в архивах данных нового поколения, предоставляющих доступ к сложным теоретическим и наблюдательным наборам данных (3D-спектроскопия, N-body симуляции и др.) посредством веб-интерфейса, и вообще в архивах Виртуальной Обсерватории, следуя общей тенденции объединения разнородных инструментов в единую среду научного анализа. Благодаря протоко-

¹ PPlatform for Astronomical Tools InterConnection, платформа для коммуникации между астрономическими инструментами – протокол и общая шина для обмена универсальными сообщениями между разнородными приложениями на рабочей станции пользователя.

лу PLASTIC становится возможным запустить все необходимое клиентское программное обеспечение по одному нажатию клавиши в браузере на веб-странице с результатами запроса к архиву данных. Предлагаемая концепция существенно упрощает использование ресурсов Виртуальной Обсерватории, делая их доступными даже для пользователей без опыта работы с технологиями VO. Прототипы программного слоя работают в нескольких архивах Виртуальной Обсерватории, в том числе в веб-интерфейсе доступа к Каталог-у рассеянных скоплений ГАИШ.