

УДК 524

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2019 О. Ю. Малков<sup>1\*</sup>, Е. В. Поляченко<sup>1</sup>, А. М. Соболев<sup>2</sup>, А. С. Расторгуев<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург, 620002 Россия

<sup>3</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119992 Россия

<sup>4</sup>Физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

Поступила в редакцию 11 июня 2018 года; после доработки 14 сентября 2018 года;  
принята к публикации 14 сентября 2018 года

Представлен аналитический обзор современного состояния проблем звездной астрономии. Приведены результаты работ российских астрономов, полученные к 2017 г. Показано, что проводимые в России исследования охватывают все важнейшие направления звездной астрономии и ведутся на высоком научном уровне с использованием современных методов наблюдений и анализа данных.

Ключевые слова: *разное*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлен аналитический обзор современных задач, стоящих перед звездной астрономией. Он основан преимущественно на материалах докладов, представленных на восьмой конференции из цикла «Современная звездная астрономия»<sup>1</sup>. Она была посвящена 100-летию со дня рождения известного советского астронома и основателя Коуровской астрономической обсерватории Клавдии Александровны Бархатовой и проведена 14–16 июня 2017 г. в Уральском федеральном университете (УрФУ), г. Екатеринбург. Помимо УрФУ, организаторами конференции выступили Государственный астрономический институт им. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (ГАИШ МГУ), Институт астрономии РАН (ИНАСАН) и Астрономическое общество.

Обзор разбит на восемь разделов: «Звезды», «Звездные скопления и ассоциации», «Наша Галактика», «Галактики», «Звездообразование», «Динамика гравитирующих систем», «Новые наблюдательные средства», «Экзопланеты». В разделе 10 приведены заключительные замечания.

\*E-mail: malkov@inasan.ru

<sup>1</sup>Сайт конференции: [http://www.inasan.ru/scientific\\_activities/conferences/msa/modern\\_stellar\\_astronomy\\_2017/](http://www.inasan.ru/scientific_activities/conferences/msa/modern_stellar_astronomy_2017/)

### 2. ЗВЕЗДЫ

М. Л. Гожа, В. А. Марсаков и В. В. Коваль (Южный федеральный университет (ЮФУ), Ростов-на-Дону) исследовали содержания химических элементов в переменных типа RR Лиры и надежности их определения. Были собраны спектроскопические оценки относительных содержания 13 химических элементов в 101 лириде из 25 статей, опубликованных с 1995 по 2016 гг., и для 87 из них по данным из нескольких источников были вычислены прямоугольные координаты и компоненты пространственных скоростей. С целью сведения содержаний в однородную шкалу данные разных авторов были приведены к единому солнечному обилию. Для звезд с двумя и более определениями обилий каждого химического элемента были вычислены средневзвешенные значения с коэффициентами, обратно пропорциональными заявленным авторами работ ошибкам. Анализ отклонений авторских относительных содержаний в каждой звезде от вычисленных по ним средневзвешенных значений показал отсутствие систематических смещений. В своей статье [1] они сделали вывод о том, что данные о содержаниях в лиридах поля химических элементов, произведенных в различных процессах ядерного синтеза, можно использовать для исследования хронологии образования и эволюции Галактики.

Химический состав звезд типа RR Лиры поля как индикатор эволюции подсистем Галактики изу-

чался этой же группой исследователей (ЮФУ). На основе созданного компилятивного каталога, содержащего положения, скорости, металличности и относительные содержания  $[el/Fe]$  четырех  $\alpha$ -элементов (Mg, Ca, Si и Ti) для 101 лириды поля, были исследованы связи между химическими и пространственно-кинематическими свойствами этих звезд [2]. Найдено, что в целом зависимости  $[\alpha/Fe]$  от металличности и скорости у лирид примерно повторяют аналогичные зависимости у карликов поля. Показано, что, несмотря на обычно декларируемый большой возраст этих звезд, среди них есть представители тонкого диска. Основная масса лирид с кинематикой толстого диска имеет металличности  $[Fe/H] < -1.0$  и высокие отношения  $[\alpha/Fe] \approx 0.4$ , тогда как у карликов поля такой химический состав имеют только примерно 10% звезд так называемого «малометаллического хвоста». При этом резкое изменение зависимости  $[\alpha/Fe]$  от  $[Fe/H]$  происходит у лирид, принадлежащих именно к толстому диску, что свидетельствует о длительности периода формирования этой подсистемы. Было выявлено несоответствие химического состава некоторых лирид их кинематике, причем среди них присутствуют не только лириды с высокими остаточными скоростями или ретроградными орбитами, но и с кинематикой толстого диска. Возможно, что часть из них имеет внегалактическое происхождение.

Продолжающиеся исследования звезд различных групп позволяют уточнить их фундаментальные параметры и эволюционный статус, а также обнаружить новые эпизоды звездной эволюции, требующие теоретического объяснения. Доступность больших телескопов и увеличение чувствительности приемников излучения смещают фокус многих программ в сторону более далеких и слабых объектов. Однако существует еще немало задач по углублению знаний об эволюции звезд, которые могут быть решены с использованием небольших телескопов и наблюдения ярких звезд. Решение таких задач предполагает выполнение обзоров больших групп звезд и длительного мониторинга отдельных объектов. Долговременный спектроскопический мониторинг и обзоры звезд ранних спектральных классов с околосозвездными оболочками и без них исследовались А. С. Мирошниченко (Университет штата Северная Каролина, Гринсборо, США). В работе [3] представлены основные результаты недавних международных программ фотометрического и спектрального мониторинга нескольких групп звезд ранних спектральных классов. Рассмотрена роль двойственности в создании Be- и B[e]-феноменов и приведены примеры недавно открытых двойных систем, а также результаты по уточнению фундаментальных параметров сверхгигантов спектральных классов В

и А. При описании наблюдений особое внимание уделено сотрудничеству с любителями астрономии и использованию малых телескопов, оснащенных эшелле-спектрографами.

О. Ю. Малков (ИНАСАН) изучал межзвездное поглощение на высоких галактических широтах по данным фотометрических обзоров. Существующие сегодня карты распределения поглощения в Галактике демонстрируют противоречивые результаты. Однако многоцветная фотометрия, содержащаяся в современных больших обзорах, вкупе с инструментами Виртуальной обсерватории для кросс-отождествления объектов позволяют определять параметры включенных в обзоры объектов и, в частности, величину межзвездного поглощения. В работе [4] представлены результаты, полученные с помощью обзоров 2MASS, SDSS, GALEX и UKIDSS для четырех высокоширотных площадок на небе. Сравнение с независимыми данными показывает хорошее согласие.

А. П. Бисярина, А. М. Соболев и С. Ю. Горда (УрФУ) исследовали переменности широких эмиссионных линий в оптическом спектре звезды Ве Хербига HD 200775. Это двойная звезда с периодом обращения 3.7 лет (см. работу [5] и ссылки в ней). Были использованы данные высокого спектрального разрешения, полученные в 2012–2017 гг. на 1.2-м телескопе Коуровской астрономической обсерватории (КАО) УрФУ [6, 7] и на других инструментах, включая данные из электронных архивов. Исследуемый временной интервал составляет 23 года. Была проанализирована переменность запрещенных линий кислорода O I 6300 и 6363 Å (результаты представлены в работе [8]), линий Fe II 5018, 5169, 5184, 5317 Å, линий Si II 5041, 5056, 5980, 6347, 6371 Å (анализ двух последних линий опубликован в работе [9]). Было замечено, что основные изменения интенсивностей линий происходят лишь на определенных участках их профилей. Показано, что переменность эмиссионных линий в спектре звезды HD 200775 согласуется с орбитальной фазой двойной системы.

Природа и спектральные изменения двух эмиссионных звезд спектрального класса В с компактными пылевыми оболочками (HD 85567 и AS 386) изучались С. А. Хохловым и др. (Казахский национальный университет им. аль-Фараби). В работах [10, 11] представлены исследования двух объектов, находящихся, по представлениям автора, на разных этапах эволюции. Основными критериями выбора данных звезд для этого исследования являются их наблюдаемые спектры, из которых следует, что данные объекты окружены оболочками, состоящими преимущественно из теплой пыли. HD 85567 (V596 Car, Hen 3–331,  $V \sim 8^m$ ) расположена в южном полушарии и считается молодой

звездой в целом ряде недавних исследований. Другой объект, AS 386 ( $V \sim 10^m 9$ ), находится в созвездии Лебедя и практически не был ранее исследован. Накопленный наблюдательный материал, включающий многоцветную фотометрию как самих звезд, так и их окрестностей, и спектры высокого разрешения были использованы для определения основных физических параметров звезд, что позволило сделать выводы о природе и эволюционном статусе объектов исследования. Кроме того, была обнаружена быстрая переменность профилей эмиссионных линий HD 85567 [11] и периодические изменения лучевых скоростей абсорбционных линий в оптическом спектре AS 386 [10], что указывает на двойственность последней. Обсуждаются также аргументы в пользу более продвинутой стадии эволюции HD 85567 и природа невидимого, вероятно, массивного компонента системы AS 386.

Э. И. Воробьев, В. Г. Элбакян (ЮФУ), Т. Хокова и др. [12] исследовали влияние аккреции на эволюцию маломассивных звезд и коричневых карликов до Главной последовательности с учетом аккреции вещества на центральный объект в течение первых нескольких миллионов лет эволюции. Эволюция звезды была рассчитана с использованием кода эволюции STELLAR. Темп аккреции вещества взят из численных гидродинамических моделей, вычисляющих эволюцию околозвездного диска начиная с гравитационного коллапса дозвездных облаков различной массы и с различными угловыми моментами. Полученные эволюционные треки звезд сравниваются с изохронами и изомассами, рассчитанными с использованием моделей без учета аккреции. Найдено, что аккреция вещества на протяжении начальных нескольких миллионов лет жизни протозвезды может оказать сильное влияние на последующую эволюцию молодых звезд и коричневых карликов по сравнению с моделями без учета аккреции. Несогласие между аккрецирующими и неаккрецирующими моделями с точки зрения разницы в полной звездной светимости, звездного радиуса и эффективной температуры зависит от теплового характера аккреции, т.е. от доли аккреционной энергии, поглощаемой центральным объектом. Следовательно, аккреция вещества на ранних стадиях эволюции звезд/коричневых карликов является важным фактором, но ее влияние зависит от того, как аккреционная энергия распределяется внутри звезды.

В работе Алексеевой и др. [13] проанализированы скорости звезд, ионизирующих туманности в комплексе звездообразования S 231–S 235. Показано, в частности, что из четырех звезд, которые ионизируют туманности в комплексе звездообразования, ионизирующая звезда в области S 232 является двойной. Отмечена невысокая точность измерения скорости этой звезды вследствие динамических

процессов в ее атмосфере. Скорости звезд в области звездообразования S 231–235 согласуются со скоростями молекулярного газа. Также продемонстрировано, что скорость ионизованного газа в окрестности звезды определяется морфологией области ионизованного водорода.

Исследованию объекта [GV2003]N, предшественника маломассивной рентгеновской двойной системы внутри молодого остатка сверхновой RCW 86, была посвящена работа В. В. Гварамдзе (ГАИШ МГУ) и др. [14]. Остаток сверхновой RCW 86 характеризуется возрастом в несколько тысяч лет, находится на расстоянии  $2.3 \pm 0.2$  кпк и имеет диаметр  $40'$ , или порядка 26 пк. В статье доказывается, что [GV2003]N является нейтронной звездой, рассматривается современное состояние данного объекта, а также делаются прогнозы его дальнейшей эволюции.

С. Ю. Горда (УрФУ) изучал UU Cas — массивную затменную двойную систему с деформируемой кривой блеска. В работе [15] представлен обзор предыдущих исследований UU Cas, а также новые результаты, полученные в течение семилетнего фотометрического мониторинга звезды в КАО УрФУ.

Фотометрические и спектральные особенности холодных кислородных post-AGB-звезд V1027 Cyg и AI CMi исследовались Н. П. Иконниковой и др. (ГАИШ МГУ). В работах [16, 17] представлены результаты многолетнего фотометрического и спектрального мониторинга этих двух холодных полуправильных переменных. Обе звезды принадлежат к кислородной последовательности post-AGB-объектов. Построены кривые блеска, исследовано изменение цветовых характеристик и спектров звезд с фазой пульсационного цикла. Обсуждается вопрос об эволюционном статусе V1027 Cyg и AI CMi.

О. Ю. Малков (ИНАСАН) совместно с группой зарубежных исследователей [18] проанализировал статистики визуальных двойных систем и функции звездообразования. Целью работы было уточнение начальных распределений двойных систем по массам компонентов, по отношению масс, по большой полуоси и по эксцентриситету орбиты, а также определение сценария образования широких двойных. Для этого моделировался подготовленный авторами и очищенный от эффектов селекции наблюдательный набор порядка 1000 визуальных двойных Главной последовательности с параллаксами (согласно Gaia DR1 TGAS), превышающими 2 mas. Был также поставлен ряд ограничений на угловое расстояние между компонентами и их блески. В работе [18], в частности, показано, что распределение систем по большой полуоси не должно быть круче, чем  $\propto a^{-1.5}$ .

Исследование А. И. Еремеевой (ГАИШ МГУ) было посвящено генетической связи звезд и метеоритов. Рассматривались как история вопроса, так и современное состояние. Наиболее ранняя известная гипотеза (Анаксагор, V в. до н.э.) получила неожиданное подтверждение в конце XX в. при наблюдениях SN 1987. Этот факт не был замечен ни астрономами, ни исследователями метеоритов ввиду сильной дифференцированности современной науки и впервые отмечен автором — астрономом и историком астрономии и метеоритики — в работе [19].

С. Ю. Парфенов (КАО УрФУ) исследовал переменность источника V645 Cyg в оптике и мазерных линиях метанола на 6.7 ГГц. V645 Cyg — массивный молодой звездный объект. Из-за плотных окружающих оболочек газа и пыли наблюдения подобных объектов в оптическом диапазоне могут быть затруднены. V645 Cyg является уникальным источником, так как его блеск в оптическом диапазоне относительно велик ( $V \sim 13^m$ ). Это открывает возможность одновременного мониторинга данного объекта в оптическом диапазоне и в радиолиниях метанола. Подобные наблюдения могут играть важную роль в исследованиях механизмов переменности мазеров метанола II класса. Представлены и проанализированы результаты мониторинга V645 Cyg, который проводился в оптических фильтрах  $V$  и  $R$  и в мазерной радиолинии метанола на 6.7 ГГц [20]. В результате было показано, что поток излучения в различных компонентах мазерной линии на 6.7 ГГц коррелирует с цветом и блеском данного объекта в оптическом диапазоне. Корреляция цвета V645 Cyg и потока мазерного излучения, ассоциирующегося с V645 Cyg, позволяет предположить, что они имеют одну и ту же причину. Вариации цвета невозможно объяснить вариациями поглощения в направлении на V645 Cyg. Возможной причиной вариаций цвета и потока мазерного излучения могут быть вариации светимости и эффективной температуры центральной звезды, которые, в свою очередь, могут быть вызваны переменным темпом аккреции на нее.

### 3. ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ И АССОЦИАЦИИ

А. Ф. Селезнев (УрФУ) и др. составили «Атлас рассеянных звездных скоплений» [21]. Появление обзоров всего неба в ближнем инфракрасном диапазоне привело к открытию большого количества новых рассеянных звездных скоплений (РЗС). К настоящему времени количество известных скоплений и кандидатов увеличилось более чем в три раза. При исследовании РЗС часто возникает необходимость в атласе скоплений, показывающем их расположение на небе и приблизительные размеры. Это может потребоваться при составлении

выборки скоплений для исследования, или, например, при отождествлении максимумов звездной плотности на карте плотности. К сожалению, единственный атлас РЗС был издан в 1963 г. и содержит всего около 860 объектов. Цель, поставленная автором работы — составление современного атласа РЗС. Список скоплений для атласа основан на ряде современных каталогов. Атлас представляет собой набор перекрывающихся карт  $11^\circ \times 11^\circ$  в полосе шириной  $32^\circ$  вдоль галактического экватора. Кроме этого, создано онлайн-приложение, которое по запросу пользователя выводит карту расположения скоплений в площадке произвольного размера в экваториальной или галактической системе координат.

Также А. Ф. Селезнев с соавторами был подготовлен проект создания однородного каталога структурных и динамических характеристик рассеянных звездных скоплений (РЗС), включающий исследование их звездного состава на основе каталогов 2MASS и UKIDSS. Ключевая особенность будущего каталога состоит в том, что впервые в мировой практике параметры РЗС в нем будут приведены к одной абсолютной предельной величине звезд. Это даст возможность получить более достоверные распределения параметров РЗС, намного надежнее оценивать динамическое состояние скоплений, особенности их взаимодействия с другими объектами диска Галактики. Все функции распределения, используемые для исследования скоплений, получены с помощью метода функции-ядра (kernel estimator). Эффективность его применения была доказана на примере ряда РЗС. Одной из ключевых особенностей метода является то, что получаемые оценки — непрерывные и дифференцируемые функции. В работе для скоплений NGC 1912, NGC 2099, NGC 4052, NGC 5715, NGC 6268, NGC 6834, NGC 7142, IC 2714 и Czernik 38 построены карты поверхностной плотности, радиальные профили поверхностной плотности, получены функция светимости и функция масс; даны оценки радиусов скоплений, их масс и приливных радиусов в поле сил Галактики, а также других структурных и динамических характеристик.

М. Э. Попова и А. В. Локтин (УрФУ) представили новую версию «Однородного каталога параметров рассеянных звездных скоплений» [22], поддерживаемого группой в течение последних десятилетий. Каталог создается на базе переопределения основных параметров скоплений (избытков цвета, расстояний от Солнца и возрастов) по данным публикуемых фотометрических измерений, в частности, по данным каталога точечных источников 2MASS. В настоящее время каталог представляет параметры 959 скоплений. Он содержит информацию о лучевых скоростях для 496 РЗС, часть из

которых получена из каталога RAVE. Все скопления, включенные в каталог, имеют оценки компонент собственных движений. Рассмотрены распределения ошибок определения основных параметров скоплений. Распределение положений молодых скоплений в проекции на плоскость Галактики сравнивается с распределением космических мазеров, что служит проверкой шкалы расстояний рассеянных скоплений.

Е. В. Глушковой с соавторами [23] (Физический факультет МГУ, ГАИШ МГУ) с помощью программы кросс-идентификации объектов в больших каталогах выведены абсолютные собственные движения звезд в полях 150 молодых рассеянных скоплений по данным из USNO-B1, 2MASS, ALLWISE, IPHAS, UCAC5, URAT1, Gaia с точностью порядка  $0''.001-0''.002 \text{ год}^{-1}$ . Для каждой звезды найдена вероятность принадлежности к скоплению методом Сандерса. По звездам-членам скоплений определены избытки цвета и расстояния РЗС по данным  $H\alpha$ -,  $r$ -,  $i$ -фотометрии из обзора IPHAS с помощью видоизмененного Q-метода.

Проблемы поиска звезд и скоплений с преимущественным вертикальным движением в галактическом диске рассматривались в работе Е. С. Постниковой (ИНАСАН) и др. [24]. Актуальность исследования объектов околосолнечных окрестностей связана с появлением высокоточных данных первого релиза спутника Gaia. В работе рассматривались звезды и звездные скопления, имеющие наибольшую пространственную скорость по  $Z$ -координате по отношению к остальным компонентам пространственной скорости, а также применение AD-метода. Были использованы объединенные каталоги TGAS и RAVE DR5 для звездной составляющей и MWSC II для рассеянных звездных скоплений. Выявлены звезды и рассеянные звездные скопления с пекулярными  $W$ -компонентами скорости, с помощью которых определены и проанализированы необходимые параметры диска [24].

В работе А. Е. Тарасова [25] (Крымская астрофизическая обсерватория РАН (КрАО РАН)) рассматривается популяция массивных двойных систем с массами первичных компонентов  $5-15 M_{\odot}$  в ряде молодых рассеянных звездных скоплений с возрастом до 30 Муг. Показано, что с увеличением возраста скоплений доля обнаруженных массивных двойных падает. Рассмотрены причины данного наблюдаемого явления, тесно связанного с процессами обмена массой, его консерватизма и эволюцией углового момента компонентов. Показано, что использование рассеянных звездных скоплений является важным индикатором возраста при исследовании эволюции массивных двойных систем с различными орбитальными периодами и

отношением масс компонентов. Значительное увеличение относительной доли массивных Ве-звезд в рассеянных скоплениях с возрастом более 12 Муг может указывать на то, что данные объекты прошли фазу первого обмена массой. Рассмотрены возможные типы массивных двойных систем, которые встречаются, либо могут встречаться в рассеянных звездных скоплениях различного возраста.

И. С. Потравнов (Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН (ГАО РАН)) с соавторами [26] исследовали кинематику изолированных молодых звезд HD 166191 и HD 163296, расположенных вблизи границы ассоциации Скорпиона—Центавра и имеющих схожие пространственные скорости. В литературе встречается предположение о том, что эти звезды являются либо внешними членами ассоциации, либо ядром потенциальной новой молодой кинематической группы (МКГ). В настоящее время в околосолнечной окрестности известно несколько таких образований, например, группы  $\beta$  Pic, TW Hya, Tuc—Nog и др. Они объединяют обычно от одного до нескольких десятков звезд, имеющих общее происхождение и близкую кинематику. Ввиду низкой пространственной плотности МКГ и относительной близости к Солнцу ( $d \leq 100$  пк) звезды, принадлежащие им, очень широко распределены по небесной сфере. Это создает трудности при их идентификации и определении принадлежности к той или иной МКГ или области звездообразования. Вместе с тем, МКГ несут важную информацию о возможных сценариях процесса звездообразования и динамической эволюции околосолнечной окрестности в недавнем прошлом. Для исследования МКГ обычно применяется комплексный подход, основанный на совместном использовании как кинематических, так и других критериев (спектральных, положения на диаграмме Г—Р, рентгеновской активности и др.), позволяющих установить эволюционную связанность рассматриваемых звезд. В докладе представлены результаты поисков и исследования кинематики других вероятных членов группы HD 166191 с помощью каталога Gaia DR1 и данных оптической спектроскопии. Обсуждается эволюционный статус и возможный сценарий образования группы.

Проверка фотометрической шкалы расстояний звездных скоплений по тригонометрическим параллаксам из каталога Gaia TGAS была осуществлена группой исследователей из России (ИНАСАН), Украины и Германии (Д. А. Ковалева и др. [27]). Проводилось сопоставление независимых определений расстояний по цветовым диаграммам скоплений из обзора MWSC (The Global Survey of Star Clusters in the Milky Way) и по астрометрическим параллаксам из каталога TGAS первого релиза данных космической миссии

Gaia для звезд-членов галактических скоплений. Показано, что согласие между этими шкалами сохраняется до расстояния около 600 пк.

Звездные скопления в гигантском комплексе звездообразования G 173 рассматривались в работе Д. А. Ладейщикова и др. [28]. В настоящее время считается, что начальные стадии звездообразования происходят в волокнах (филаментах) молекулярного газа. Наблюдения показывают, что в таких молекулярных филаментах расположены протозвездные ядра. Однако области образования массивных звезд в молекулярных облаках еще недостаточно изучены в этом отношении. Цель данной работы — исследование филаментов в комплексе образования массивных звезд, содержащем несколько развитых областей ионизованного водорода. Для исследования был выбран комплекс звездообразования S 231–S 235, который является частью комплекса гигантских молекулярных облаков G 173+2.5 (далее G 173), расположенного на расстоянии примерно 2 кпк от Солнца в направлении галактического антицентра. G 173 — это гигантский комплекс звездообразования с размерами более чем  $100 \times 200$  пк в спиральном рукаве Персея. Он хорошо заметен на картах Галактики, построенных в континууме на длинах волн от 74 см (408 МГц) до 60 мкм, а также выделяется в излучении линии  $\text{H}\alpha$ . Этот комплекс содержит гигантские молекулярные облака, области ионизованного водорода и молодые звездные скопления на различных стадиях эволюции. Имеются свидетельства в пользу того, что газ в комплексе подвергался воздействию нескольких крупномасштабных ударных волн, одна из которых связана с относительно недавней вспышкой сверхновой. В работе представлены результаты крупномасштабного картирования этого комплекса в линиях излучения CO,  $^{13}\text{CO}$  и CS ([28] и ссылки в этой статье), результаты расчета поглощения пыли в ближнем инфракрасном диапазоне, а также результаты звездных подсчетов на основе каталога UKIDSS. Распределение молекулярного газа в комплексе хорошо коррелирует с поглощением пылью и показывает существование волокон молекулярного газа, содержащих погруженные звездные скопления. Эти волокна значительно шире филаментов, в которых происходит образование отдельных звезд, согласно данным обзора Herschel Gould Belt Survey и другим исследованиям.

#### 4. НАША ГАЛАКТИКА

А. В. Веселова и И. И. Никифоров (Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)) разработали модификацию алгоритма пространственного моделирования сегментов спиральных рукавов Галактики по классическим

цефеидам на основе метода наибольшего правдоподобия в случае неопределенности модулей расстояний объектов и большой ширины сегмента [29]. Моделью средней линии сегмента является логарифмическая спираль с постоянным углом закрутки на протяжении сегмента; расстояние до центра Галактики определяется как расстояние до полюса спирали. Алгоритм не требует жесткой привязки объекта к определенному сегменту, позволяя осуществлять итеративное определение параметров при переписывании объектов к сегментам. Начальные области сегментов разделяются по минимумам функции распределения ортогональных расстояний от прямой линии в координатах  $(\theta, \lg(R/R_0))$  для сетки значений углов закрутки. Метод применен к данным о пространственном распределении классических цефеид [30] в рамках двух предположений: отклонение объектов от средней линии сегмента вызывается 1) только дисперсией поперек рукава или 2) совместным влиянием дисперсии поперек рукава и неопределенности модулей расстояний объектов. Проведено тестирование алгоритма методом Монте-Карло, дисперсии поперек сегмента оценивались итеративно. Рассмотрены два варианта выборки цефеид и модели спиральной структуры с различным числом сегментов. По выборке с далекими объектами при модели с семью сегментами получена оценка  $R_0 = 7.5 \pm 0.3$  кпк (статистическая ошибка) в шкале расстояний используемого каталога. Обсуждается зависимость оценки углов закрутки от предполагаемого значения  $R_0$ .

Шкала расстояний и кинематика цефеид Галактики по данным TGAS рассматривалась А. С. Расторгуевым с коллегами<sup>2</sup> (Физической факультет и ГАИШ МГУ). К двум группам цефеид, включающих 220 объектов с собственными движениями каталога TGAS и поделенных по периоду с граничными значениями около 10 суток, применен метод статистических параллакс. Показано, что шкала расстояний короткопериодической группы систематически (примерно на 5–15% короче) как для моделей пространственной скорости, включающей чистое вращение, так и для более сложной модели с эффектами возмущений от спирального узора. После исправления двух шкал расстояний получено общее решение для кривой вращения галактического диска, хорошо согласующееся с ранее полученными данными для мазеров. Показано, что в лучших моделях радиальная и вертикальная дисперсии скоростей не зависят от радиуса вплоть до 12–14 кпк от галактического центра.

<sup>2</sup>[http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/Rastorguev\\_etal\\_Cepheids\\_1.pdf](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/Rastorguev_etal_Cepheids_1.pdf)

Также А. С. Расторгуев с соавторами<sup>3</sup> (Физический факультет и ГАИШ МГУ) изучали зависимость «период–светимость» цефеид Галактики по спектральным данным об их эффективных температурах. Впервые для 33 цефеид Галактики с мультифазными определениями эффективных температур, выполненных по спектрам с высокой дисперсией, методом Бааде–Беккера–Весселинка определены избытки цвета, светимости цефеид и параметры зависимости «период–светимость». Дополнительно по зависимости «период–радиус» найдены три цефеиды, предположительно пульсирующие в первом оберitone. Выведена калибровка эффективной температуры по нормальным цветам, значениям  $\lg g$  и металличности  $[Fe/H]$  с точностью определения температуры порядка 1.1% и зависимость «период–светимость» примерно на 0<sup>m</sup>3 более яркая, чем зависимость Бердникова.

Анализ кинематики звезд красного сгущения по данным каталога APOGEE-RC проведен Д. В. Волковым и И. И. Никифоровым<sup>4</sup> (СПбГУ). Выполнено моделирование поля лучевых скоростей звезд красного сгущения (ЗКС) по данным каталога APOGEE-RC. Применялась полиномиальная модель среднего закона вращения с выбором оптимального порядка на основе различных статистических критериев. Выделена максимально однородная выборка ЗКС, по ней получены предварительные оценки кинематических параметров и расстояния до центра Галактики  $R_0$ . Применялся статистически корректный гибкий алгоритм исключения объектов с избыточными невязками [31]. Надежную кривую вращения по этим данным удалось получить на промежутке галактоосевых расстояний от 4 до 12 кпк. Полученные результаты свидетельствуют в пользу корректности шкалы расстояний ЗКС в целом. Кривая вращения на указанном промежутке практически плоская, с прогибом за солнечным кругом. Настоящая работа является первым шагом в реализации алгоритма моделирования трехмерного поля скоростей галактической подсистемы, который после апробирования на данных о ЗКС впоследствии может быть применен к данным Gaia.

Статистическая корректировка расстояний до планетарных туманностей на основе пространственно-кинематического моделирования была выполнена С. Б. Кривошеиным и И. И. Никифоровым<sup>5</sup> (СПбГУ). Представлен пространственно-кинематический метод статистической калибровки

шкалы расстояний до планетарных туманностей, являющийся усовершенствованной реализацией предложенного ранее подхода этого типа. Данный подход заключается в построении модели вращения дисковой подсистемы планетарных туманностей (ПТ) Галактики на основе данных о лучевых скоростях и расстояниях до ПТ и в сравнении полученного расстояния до центра вращения подсистемы ПТ для принятой шкалы со средней («наилучшей») оценкой расстояния до центра, найденной по совокупности всех методов. Такое сравнение позволяет выполнить независимую (от астрофизической модели) калибровку масштаба шкалы. Настоящий метод интересен как в целях исследования кинематики ПТ с учетом ошибки калибровки шкалы, так и с точки зрения улучшения различных актуальных шкал расстояний до ПТ, а также сведения их к общему масштабу, позволяющему построить по нескольким шкалам синтетический каталог, статистически более точный и с калибровкой, согласованной с современными шкалами для галактических объектов. Были обработаны каталоги расстояний по шкалам, считающимся наиболее надежными в настоящее время.

В исследовании Т. В. Борковой (ЮФУ) были рассмотрены особенности распределения химических элементов в звездах гало Галактики. Звезды гало Галактики, вероятно, образуют две подсистемы: одна из них связана с эволюцией протодискового гало, а ко второй можно отнести звезды, принадлежащие потокам, сформировавшимся в разное время при разрушении галактик-спутников. Содержание различных химических элементов отражает историю звездообразования в ранней Галактике и в разрушенных карликовых галактиках. На основе каталога APOGEE проведен сравнительный анализ содержаний химических элементов звезд гало. Обсуждаются возможные сценарии химической эволюции Галактики.

Работа М. С. Кирсановой и др. (ИНАСАН) посвящена кинематике газа в областях образования массивных звезд из спирального рукава Персея. Представлены результаты обзора линий излучения молекул CS (2-1) и <sup>13</sup>CO (1-0) в направлении четырнадцати областей звездообразования из спирального рукава Персея на 20-м телескопе обсерватории Онсала (Швеция). Были получены карты десяти источников в обеих линиях. Для остальных источников были получены либо карты в одной линии, либо одиночные спектры. На основе новых и опубликованных в литературе данных рассмотрены соотношения между лучевой скоростью квазитепловых линий CS (2-1) и мазерных линий метанола на частоте 6.7 ГГц в направлении 24 областей образования массивных звезд из спирального рукава Персея. Обнаружено, что интервалы скоростей,

<sup>3</sup>[http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/Rastorguev\\_et\\_al\\_Cepheids\\_2.pdf](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/Rastorguev_et_al_Cepheids_2.pdf)

<sup>4</sup>[http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/Wolkow\\_DW.pdf](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/Wolkow_DW.pdf)

<sup>5</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/09/krivoshein.pdf>

где наблюдаются мазерные линии на 6.7 ГГц, в основном сдвинуты в красную сторону относительно линий CS (2-1) тех же источниках в рукаве Персея. Сделано предположение, что преобладание «красных» мазеров в рукаве Персея может быть связано с наличием преимущественного направления распространения истечений газа в рукаве Персея из-за крупномасштабных движений в Галактике. Предполагается, что галактические ударные волны, связанные со спиральной структурой, влияют на локальную кинематику в областях звездообразования. Рукав Персея в интервале галактических долгот с  $85^\circ$  до  $124^\circ$  вообще не содержит мазерных источников со скоростями, сдвинутыми в синюю сторону. Лучевые скорости источников в этой части рукава Персея максимальны, поэтому разница скоростей лучше проявляется по сравнению с другими частями рукава. Результаты работы опубликованы в статье [32].

Кинематика Галактики по данным о звездах с собственными движениями из каталога Gaia DR1 была темой исследования В. В. Бобылева и А. Т. Байковой (ГАО РАН). Рассмотрены три изученные ранее выборки звезд с различными шкалами расстояний. Первая выборка состоит из 98 массивных спектрально-двойных ОВ-звезд с фотометрическими оценками расстояний, вторая выборка содержит 250 ОВ-звезд, расстояния до которых определены по линиям межзвездного кальция, третья выборка содержит около 260 классических цефеид с оценками расстояний по соотношению «период—светимость». Все эти звезды расположены не далее 7 кпк от Солнца. По этим выборкам определены параметры вращения Галактики. Показано, что использование собственных движений звезд, взятых из каталога Gaia DR1, уменьшает случайные ошибки определения параметров вращения Галактики по сравнению с ранее известными результатами. Из сопоставления найденных по ОВ-звездам значений первой производной угловой скорости вращения  $\Omega'_0$  найден коэффициент шкалы расстояний каталога Gaia DR1, близкий к единице: 0.96. Результаты частично опубликованы в работах [33, 34].

Этими же авторами [35, 36] приведены результаты уточнения параметров моделей гравитационного потенциала Галактики по данным об объектах на расстояниях до 200 кпк. Рассмотрены шесть трехкомпонентных (балдж, диск, гало) моделей гравитационного потенциала Галактики, отличающихся выражением для гало темной материи. Центральная (балдж) и дисковая компоненты описываются выражениями Миямото и Нагаи. Для описания гало использованы модели I — Аллен—Сантьяна (1991), II — Вилкинсона—Эванса, III — Наварро, Фрэнка, Уайта, IV — Бинни, V — сфера Пламмера и VI — выражение Хернквиста. Для

уточнения параметров этих моделей использован набор современных наблюдательных данных в диапазоне галактоцентрических расстояний от 0 до 200 кпк. Подгонка модельных кривых вращения к наблюдаемым скоростям производилась с учетом ограничений на значения локальной плотности материи и вертикальной силы. Произведен сравнительный анализ моделей. Приводятся оценки массы Галактики, а также результаты интегрирования орбит различных галактических объектов.

## 5. ГАЛАКТИКИ

Работа М. Г. Шевченко, Е. О. Васильева и Ю. А. Щекинова [37] (ЮФУ) была посвящена исследованию эффективного процесса переноса газа из диска галактики в гало. Наличие в гало холодного газа, обогащенного металлами, следует из наблюдений, однако современные эволюционные модели галактик, как правило, это не учитывают. Считается, что таким механизмом могли бы быть вспышки сверхновых. В работе исследована зависимость эффективности переноса газа от шкалы высоты диска и высоты сверхновых, а также от частоты вспышек сверхновых. Были получены оценки массы газа, в том числе в виде плотных и холодных фрагментов (с температурой ниже 1000 К), выброшенного из диска на расстояния свыше нескольких значений шкалы высоты газа.

Один из методов, применяемых в настоящее время для оценки постоянной Хаббла, основан на измерении временной задержки между фазами яркости изображений переменного квазара, получающихся в результате сильного гравитационного линзирования. Работа Б. П. Артамонова (ГАИШ МГУ) [38] посвящена проблемам и ошибкам, возникающим на разных этапах проведения наблюдений гравитационных линз и обработки данных. Найденные таким способом оценки постоянной Хаббла сравниваются с оценками, полученными звездноастрономическими методами по наблюдениям цефеид на космическом телескопе им. Хаббла, а также другими методами, основанными на анализе реликтового излучения.

С. А. Шомшекова (Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова (АФИ)) и соавторы [39] представили результаты фотометрических исследований сейфертовской галактики NGC 7469 в фильтрах *B*, *V*, и *R*. Анализ колебания блеска в указанных фильтрах показал, что изменения блеска в целом происходят синхронно. Одним из возможных источников переменности могут быть активные процессы, протекающие вблизи центральной области галактики. На основании спектральных исследований масса последней оценивается в  $1-6 \times 10^7 M_\odot$ .



Для объяснения существования магнитных полей в дисках спиральных галактик применяется механизм динамо в так называемом «планарном» приближении. Однако ряд галактик обладает внешними кольцами, в которых также могут существовать магнитные поля. Их генерацию желательно описывать с учетом геометрических особенностей исследуемой галактики. Е. А. Михайлов (Физический факультет МГУ) предложил использовать специальную модель эволюции магнитного поля в торе. В работе [40] решаются уравнения для тороидальной составляющей поля и для части векторного потенциала, описывающей полоидальную компоненту. Получено, что при медленных движениях во внешних кольцах будет генерироваться поле квадрупольной симметрии. При более интенсивных процессах возможен рост дипольной составляющей.

Асимметричные галактики встречаются в различных морфологических типах. Одним из отличительных признаков асимметрии является смещение центра бара относительно центра диска, особенно характерное для галактик поздних типов SBcd–SBm. В дополнение к уже известным механизмам формирования таких систем — приливного воздействия и столкновения двух галактик с последующим слиянием — А. В. Хоперсков (Волгоградский государственный университет (ВолГУ)) с коллегами<sup>6</sup> рассмотрели возможность образования смещенного бара в процессе развития гравитационной неустойчивости в изолированной галактике. На основании исследования различных численных моделей  $N$ -тел, в которых варьировались число частиц (до 16 млн), методы вычисления гравитационной силы (TreeCode, прямой метод Particle–Particle), а также параметры диска, балджа и темного гало, были определены области параметров, допускающих формирование сильного смещения бара относительно остальных галактических подсистем.

Общепринятой является концепция, согласно которой линзовидные галактики возникали из спиральных под действием некоторых динамических механизмов, специфических для скоплений галактик — внутри крайне массивных темных гало, в окружении горячей (рентгеновской) межгалактической среды. Однако известно, что в ближней Вселенной большинство линзовидных галактик находится вне скоплений. В связи с этим интересен вопрос, есть ли кардинальные различия в структуре и, соответственно, в происхождении линзовидных галактик в скоплениях и в поле? Для поиска ответа О. К. Сильченко (ГАИШ, Физический факультет МГУ) с соавторами [41] использовали на-

блюдательные методы. На сети роботизированных метровых телескопов Las Cumbres Observatory (LCO)(США) в трех цветах были получены глубокие изображения нескольких десятков линзовидных галактик в скоплениях южного неба. Был представлен анализ радиальных профилей поверхностной яркости для этой выборки галактик, а также толщин звездных дисков, которые были определены оригинальным методом. Полученные результаты согласуются с выводами других исследователей, в соответствии с которыми у линзовидных галактик скоплений другие радиальные профили поверхностной яркости по сравнению с галактиками поля.

Численное исследование динамики столкновений газовых галактических гало является очень сложной и ресурсоемкой задачей. С. С. Храпов (ВолГУ), А. В. Хоперсков, В. И. Корчагин и др.<sup>7</sup> представили численный алгоритм моделирования динамики газовых самогравитирующих подсистем галактик, основанный на методе сглаженных частиц (SPH), в которых учет самогравитации газа осуществлялся методом прямого расчета гравитационного взаимодействия между частицами. Представленные ими результаты расчетов получены с использованием технологии распараллеливания OpenMP-CUDA. Были описаны особенности столкновения газовых галактических гало при различных параметрах процесса столкновения. Показана возможность образования сильных ударных волн, приводящих к значительному разогреву газа в гало. После взаимодействия часть вещества выбрасывается в окружающее пространство с образованием облаков с ненулевым угловым моментом.

Е. В. Поляченко (ИНАСАН) с коллегами был рассмотрен вопрос о влиянии галактик-спутников на формирование бара. Численные космологические модели образования большой спиральной галактики предсказывают наличие множества небольших гало темной материи. В проведенных им с коллегами численных экспериментах гало темной материи представлялись в виде галактик-спутников. Моделирование показало, что присутствие последних не влияет на конечные характеристики бара, такие как форма и скорость вращения. Однако может наблюдаться задержка или опережение формирования бара в результате взаимодействия спутников с баром в период его зарождения. В работе [42] показывается, что определяющим оказывается взаимодействие с наиболее массивными спутниками массой свыше 1 млрд масс Солнца, а эффект задержки может достигать 1 млрд лет.

<sup>6</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/Khoperskov.pdf>

<sup>7</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/khrapov.pptx>

Галактики с полярными кольцами представляют собой редкий класс объектов, в которых диск и кольцо вращаются в почти ортогональных плоскостях. К. И. Смирнова (УрФУ), Д. С. Вибе (ИНАСАН) и А. В. Моисеев (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН)) анализируют параметры, характеризующие состав межзвездной среды и звездообразования в комплексах звездообразования (КЗО) диска и полярного кольца NGC 660 — ближайшей галактики с полярным кольцом, для которой имеется достаточный набор наблюдательных данных. Для анализа использованы сведения об эмиссии пыли (8 и 22 мкм, Spitzer, WISE), излучении в линии HI (WSRT), H $\alpha$  (БТА), ультрафиолетовом излучении (GALEX). В работе [43] показано, что параметры эмиссии КЗО NGC 660 в ближнем ИК-диапазоне подчиняются корреляциям, найденным в других галактиках. Однако для КЗО в кольце характерны существенно более низкие ИК-потоки, чем в КЗО диска NGC 660 и других галактик со звездообразованием. Также для КЗО кольца характерна более яркая эмиссия атомарного водорода. В целом наблюдаемые характеристики КЗО в кольце NGC 660 согласуются с их очень небольшим возрастом.

Механизм генерации магнитных полей галактик в модели галактического динамо оказывается чувствителен к диффузионным свойствам среды, на которые в значительной степени влияют процессы интенсивного звездообразования и взрывы сверхновых. В. В. Пушкарев и Е. А. Михайлов (Физический факультет МГУ) представили работу [44] об учете звездообразования в исследовании формирования крупномасштабных структур галактического магнитного поля. Распределение таких областей можно считать случайным, поэтому коэффициенты, отвечающие за диффузию, зависят от времени и пространственных координат по случайному закону, связанному с поверхностной плотностью звездообразования, причем в отличие от предыдущих работ учитывается диссипация в плоскости диска. В работе получены оценки для скоростей экспоненциального роста при различных величинах поверхностной плотности звездообразования и показано, что даже небольшие флуктуации коэффициента турбулентной диффузии могут приводить к большим изменениям в эволюции магнитного поля. Так, интенсивное звездообразование в отдельных областях галактического диска может вытеснять крупномасштабное поле в соседние области.

Исследование И. П. Костюк (САО РАН) и О. К. Сильченко (ГАИШ МГУ) касалось темпов звездообразования в галактиках с внешней кольцевой структурой [45]. Для 34 дисковых галактик ранних морфологических типов (от S0 до Sb), у которых присутствует внешняя кольцевая структура

и имеется ультрафиолетовое излучение в кольце, были определены исправленные за внутреннее поглощение в галактиках темпы звездообразования SFR и их поверхностные плотности  $\sigma_{\text{SFR}}$  как во внешних кольцевых деталях, так и для всей галактики. Использовались данные космических миссий GALEX (в ультрафиолетовых полосах NUV и FUV) и WISE (в инфракрасной полосе W4, 22  $\mu\text{m}$ ). Среднее относительное отклонение исправленных SFR и  $\sigma_{\text{SFR}}$ , определенных в полосах NUV и FUV, составляет всего 19.0%, и поэтому далее для анализа использовались их средние значения. Приводятся распределения полученных оценок по морфологическому типу галактики и типу кольца и исследуется зависимость от абсолютной звездной величины галактики.

Количество рукавов в спиральных галактиках часто растет от центра к периферии. Л. В. Шпигель и Е. Поляченко (ИНАСАН) изучали возможный механизм формирования многорукавных спиралей на периферии дисковых галактик [46]. Было показано, что трехрукавные спирали могут быть объяснены быстрым охлаждением газовой компоненты, которое сопровождается появлением сгустков — молекулярных облаков. Последние в свою очередь индуцируют многорукавные спирали посредством механизма свингового усиления.

## 6. ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ

Эволюция функции масс в областях образования массивных звезд рассмотрена Б. М. Шустовым и Д. З. Вибе<sup>8</sup> (ИНАСАН). Взаимодействие молодых массивных звезд с окружающим веществом является важным фактором, определяющим многие параметры звездообразования, в том числе форму начальной функции масс (НФМ). Излучение молодых звезд может как стимулировать или ускорять процесс звездообразования за счет радиативной имплозии, так и разрушать прото-звездные сгустки или значительно уменьшать их массу за счет фотоиспарения. В результате НФМ в областях образования массивных звезд может сильно отличаться от НФМ в более спокойных областях. Наблюдения молекулярных линий в подобных объектах позволяют оценивать скорость потери массы сгустками и соотносить ее с параметрами окружения, в частности, с интенсивностью поля излучения.

Иерархическая структура межзвездных облаков и звездообразование рассмотрены в работе А. Е. Дудорова и С. А. Хайбрахманова [47] (Челябинский государственный университет (ЧелГУ)). Исследование проведено на основании численных

<sup>8</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/shustov.pdf>

МГД-вычислений. Расчеты показали, что межзвездные молекулярные волокна с параллельным магнитным полем и молекулярные ядра могут образоваться в ходе коллапса и фрагментации цилиндрических молекулярных облаков. Характеристики моделей молекулярных волокон хорошо согласуются с наблюдениями Пояса Гулда.

Обзор линий молекул в крупномасштабном волокне массивного молекулярного облака WB 673 осуществлен М. С. Кирсановой (ИНАСАН) с соавторами [48]. Известно, что большая часть звезд образуется в скоплениях. На ранней стадии эволюции скопления погружены в родительские молекулярные облака. Исследования последних нескольких лет показали, что молекулярное вещество в областях звездообразования характеризуется волокнистой структурой. Было получено, что на масштабах образования отдельных звезд плотные ядра облаков в составе гигантских молекулярных комплексов возникают не в случайных местах, а в центральных частях волокон. Но волокнистая структура большего масштаба, порождающая звездные скопления, на данный момент не изучена. Одна из предполагаемых моделей образования волокон — последовательное обжатие молекулярного газа ударными волнами от сверхновых и областей Н II. Предыдущие исследования распределения газа низкой плотности в линиях CO и поглощения пыли указывают на существование крупномасштабного волокна, соединяющего образующиеся звездные скопления в окрестности массивного молекулярного облака WB 673. Тем не менее до настоящего времени было неизвестно, содержит ли это вещество плотный газ, способный фрагментировать с последующим образованием богатых звездных скоплений. Авторы представляют результаты наблюдений линий излучения молекул CO, CS и др. в направлении на крупномасштабное волокно, связанное с массивным облаком WB 673, в котором образуется звездное скопление, содержащее звезды разных масс. Оно с одной стороны граничит с областью Н II, а с другой, вероятно, с остатком сверхновой. В работе показано, что линии CS — трассеры плотного молекулярного газа — наблюдаются не только в направлении на плотные молекулярные сгустки с погруженными (образующимися) скоплениями, но и между ними. Это означает, что волокно, ассоциирующееся с WB 673, является связным объектом, а не набором близлежащих погруженных молодых звездных скоплений. Данный результат согласуется с моделью образования волокон вблизи расширяющихся газовых оболочек.

Параметры звездного населения в областях звездообразования галактик были рассмотрены А. С. Гусевым (ГАИШ МГУ) с коллегами [49]. На

основе данных многоцветной оптической фотометрии, спектрофотометрии в линии H $\alpha$  и спектроскопии изучены характеристики не разрешенных на отдельные звезды молодых звездных группировок, связанных с областями Н II. Основываясь на данных взаимной морфологии ионизированного газа и звездных групп (скоплений, ассоциаций, комплексов), авторы выявляют области, в которых определяемое по эмиссионным спектрам поглощение в газе равно звездному поглощению. Для таких областей определяются «истинные» светимости и показатели цвета звездного населения и с помощью эволюционных моделей оцениваются их возраст и масса. Сравниваются параметры внегалактических молодых звездных групп с параметрами крупнейших молодых РС Галактики. Также обсуждаются зависимости «возраст–размер», «размер–масса» и «возраст–EW(H $\alpha$ )». Эти результаты подтверждают единую зависимость «размер–масса»:  $M \sim d^2$  для звездных комплексов и ГМО.

Звездообразование в гигантских Н II-областях рассматривалось Е. О. Васильевым и Ю. А. Шекиновым (ЮФУ) [50]. Образование звезд происходит главным образом в скоплениях — OB-ассоциациях. Дальнейшая их активность приводит к формированию гигантских Н II-областей и окружающих их оболочек Н I, которые в большом количестве наблюдаются в ближайших карликовых галактиках (Holmberg II, IC 2574 и др.). Наблюдения указывают на существование очагов звездообразования, стимулированных ударными волнами как в оболочках изолированных, так и взаимодействующих гигантских Н II-областей. В рамках трехмерной газодинамической модели исследована эффективность фрагментации газа в изолированной оболочке и при взаимодействии соседних гигантских областей. Обсуждается влияние процессов взаимодействия оболочек и стимулированного в них звездообразования на динамику галактических фонтанов и обогащение галактических гало.

Образование сложных органических молекул на ранних стадиях звездообразования исследовал А. И. Васюнин (УрФУ) с соавторами [51]. Были представлены результаты химического моделирования образования сложных органических молекул (СОМ) земного типа в условиях, характерных для дозвездных ядер — самых ранних стадий образования звезд. Авторы использовали дополненную газопылевую астрохимическую модель, в которую было добавлено детальное описание процесса химической десорбции, основанное на параметризации результатов экспериментов, а также учет многослойной структуры ледяных мантий межзвездных пылевых частиц. Чтобы получить радиальные профили содержаний СОМ, модель была сопряжена

с 1D-моделью физической структуры прототипического дозвездного ядра L1544. Используя сопряженную модель, авторы получили 1D-профили содержаний сложных органических молекул в дозвездном ядре L1544 для момента времени, на котором достигается наблюдаемая степень вымерзания молекулы CO в газовой фазе. Результаты расчетов показали, что сложные органические молекулы земного типа эффективно образуются в нашей модели, достигая относительных содержаний около 10(-10) по отношению к водороду. Радиальные профили содержаний большинства СОМ, таких как СНЗОСНЗ, НСООСНЗ, НСООН и других, имеют выраженный пик на расстоянии от центра L1544, близком к 4000 а.е., что согласуется с результатами наблюдений. Содержания сложных органических молекул в газовой фазе зависят от эффективности реактивной десорбции, которая в свою очередь зависит от химического состава наружных слоев ледяных мантий. В дозвездных ядрах внешние слои мантий включают значительную долю молекулы СО. Эффективность реактивной десорбции с СО-льда в несколько раз выше, чем с водяного, что обеспечивает эффективное образование сложных органических молекул в дозвездных ядрах.

Группа сотрудников УрФУ (В. А. Соколова, А. Б. Островский и А. И. Васюнин) исследовали влияние энергии десорбции атомарного кислорода на химическую эволюцию в областях звездообразования [52]. Энергии десорбции атомов и молекул в значительной степени определяют протекание химических процессов на поверхности пылевых частиц, а также химический состав межзвездной среды. Кислород является одним из наиболее химических активных и обильных элементов в межзвездной среде, а также одним из ключевых химических элементов, необходимых для возникновения и развития жизни. Долгое время при моделировании химических процессов использовалось теоретически оцененное значение энергии десорбции  $E_b = 800$  К, но в недавних исследованиях удалось экспериментально определить энергию десорбции атомарного кислорода, и оказалось, что она приблизительно в два раза превышает прежнее значение. В работе авторы рассмотрели, как использование вновь определенного значения  $E_b = 1850$  К влияет на скорость протекания химических реакций на поверхности пыли и в газовой среде. При моделировании процессов химической эволюции использовались модели холодного темного облака и коллапса из полупрозрачного облака в темное. Показано, что в целом значительных изменений химической эволюции в условиях выбранных моделей объектов не произошло, но формирование некоторых молекул оказалось чувствительным к замене традиционно принятого значения энергии

десорбции кислорода на вновь определенное. Таковыми молекулами оказались:  $O_3$  для модели холодного темного облака,  $O_2H$ ,  $H_2O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2C_3O$ ,  $HC_2O$  для первой «холодной» стадии модели коллапса и  $C$ ,  $O$ ,  $O_2$ ,  $CS$ ,  $SO$  на стадии нагрева в этой же модели. Для данных частиц был проведен анализ цепочек их формирования.

## 7. ДИНАМИКА ГРАВИТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Работа С. И. Путкова и В. М. Данилова (КАО УрФУ) посвящено исследованию областей генерации колебаний в моделях РЗС. Отличительной особенностью исследований является применение высокоточных схем численного интегрирования траекторий движения звезд в рамках задачи  $N$ -тел. В статье [53] были определены массы и радиусы центральных областей моделей РЗС, в которых производство энтропии мало или равно нулю. Выполнены оценки масс областей генерации колебаний в моделях РЗС по данным о фазовых координатах звезд этих моделей. Разработан новый метод оценки полных масс РЗС по данным о массе ядра скопления, радиусах скопления и его ядра, а также о радиальном распределении звезд в скоплении. Оценки динамических масс РЗС Плеяды, Ясли и М67 этим методом хорошо согласуются с оценками полных масс РЗС, полученными ранее с использованием спектрального метода и данных о собственных движениях звезд скопления. Построены и обсуждаются спектры и дисперсионные кривые колебаний поля азимутальных скоростей звезд в моделях РЗС.

О. В. Кияева (ГАО РАН) и Р. Я. Жучков (Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ)) представили результаты исследования кратных звезд [54]. На основе опубликованных высокоточных астрометрических наблюдений были вычислены массы компонентов и орбиты внутренней и внешней пары тесной тройной звезды со слабой иерархией Т Tau1. Полученные данные позволили провести анализ устойчивости, который показал малую вероятность распада, не превышающую 15%. Кроме того, были вычислены семейство орбит внешней пары четверной системы HIP 12780 и орбита внешней пары тройной звезды HIP 108917 на основе однородных наблюдений на 26-дюймовом рефракторе.

Б. П. Кондратьев (Физический факультет, ГАИШ МГУ) с соавторами представили аналитические расчеты энергии слоисто-неоднородных эллипсоидов, эллипсоидальных гало и оболочек. В работе [55] получены новые точные формулы для гравитационной энергии как отдельных слоисто-неоднородных оболочек, так и сплошных эллипсоидов. Аналитические выражения применяются для

вычисления взаимной энергии галактик и окружающих их гало, состоящих из темной материи.

Исследование Б. П. Кондратьева (Физический факультет, ГАИШ МГУ) и Е. Н. Киреевой (ГАО РАН) посвящено динамике нестационарного газопылевого бара, вложенного во вращающееся гало. В работе [56] в гидродинамическом приближении построена и исследована нестационарная модель галактики с баром, состоящая из вращающегося трехосного гало с перемычкой внутри него. Бар моделируется сильно вытянутым эллипсоидом. Установлено, что движение бара описывается периодическими изменениями его длины и либрацией его тела относительно главной оси гало. В зависимости от начальных условий нелинейные колебания бара могут происходить или только в вытянутом состоянии, или между вытянутой и сфероидальной формами.

Б. П. Кондратьев исследовал также процесс вылета отдельной звезды из шарового скопления. Была сделана оценка изменения кинетической энергии звезды наряду с оценкой действия иррегулярных сил в более высоком приближении, чем это делалось ранее.

Гравитационный потенциал неоднородных эллипсоидов вращения представляется в виде ряда по полиномам Лежандра, где в качестве коэффициентов разложения фигурируют так называемые коэффициенты Стокса. К. В. Холшевниковым (СПбГУ) с соавторами [57] было найдено замкнутое выражение для коэффициентов Стокса в двух случаях: для произвольного сжатого эллипсоида вращения, семейство поверхностей равной плотности которого состоит из произвольных непересекающихся сжатых эллипсоидов вращения, и для уровня эллипсоида вращения. Полученная асимптотика коэффициентов Стокса  $I_n$  при  $n$ , стремящимся к бесконечности, во всех случаях почти одинакова, что затрудняет получение информации о распределении масс внутри тела.

Г. Н. Дремова, В. В. Дремов (Российский федеральный ядерный центр (РФЯЦ), Снежинск) и А. В. Тутуков (ИНАСАН) анализируют возможные механизмы возникновения звезд с релятивистскими скоростями. С этой целью в работе [58] рассматривается модификация сценария возникновения сверхскоростных звезд путем динамического захвата двойной звездной системы полем сверхмассивной черной дыры (СМЧД) в рамках классической задачи трех тел: вместо одного из звездных компонентов предлагается рассмотреть вторую СМЧД. Это позволяет получать звезды со скоростью, близкой к скорости света. Данный сценарий может реализоваться при столкновении галактик, содержащих центральные СМЧД.

В звездной динамике получили распространение матричные методы расчета неустойчивых мод

галактических дисков. Аналогичных методов для газовых дисков до сих пор не существовало. Е. В. Поляченко (ИНАСАН) предложил новый эффективный способ расчета неустойчивых мод собственных колебаний газового диска с баротропным уравнением состояния. Метод основан на разложении возмущенных функций по радиальным конечным элементам и приводит к стандартной алгебраической задаче на собственные значения. В работе [59] воспроизведены расчеты гидродинамической модели с резким скачком угловой скорости вращения, а также численно получены решения в одной точно решаемой модели.

В отличие от задачи двух тел, задача трех тел не имеет удовлетворительного точного решения. В частности, до сих пор не известен критерий устойчивости для иерархических тройных систем. А. А. Мюллери (университет Сент-Джорджес, Гренада) с соавторами продолжали работу по нахождению эффективного критерия, способного определять устойчивые иерархические системы. Наличие такого критерия позволило бы значительно ускорить интегрирование (тесных) тройных систем при численном решении задачи  $N$  тел [60].

Э. Д. Кузнецов (УрФУ) и Л. Л. Соколов (СПбГУ) и др. анализировали возможность двукратного осреднения в задаче трех тел. В работе [61] на примере задачи «Земля—спутник—Солнце» рассмотрены некоторые варианты эффекта Лидова—Кодзаи, которые не описываются стандартной интегрируемой моделью. При разных начальных положениях возмущающего тела получаются различные виды динамической эволюции, включая «флипы» и падения на Землю. При осреднении по двум быстрым переменным, применяемому в стандартной модели, эта зависимость должна исчезнуть. Таким образом, можно сделать вывод о некорректности двукратного осреднения в рассматриваемых случаях.

В рамках гидродинамической концепции рассматривается возможность формирования спиральных структур благодаря наличию особенностей на кривых вращения. При этом влияние самогравитации на неустойчивость не исследовалось. Т. З. Омурканов (ИНАСАН) впервые изучает данный вопрос, анализируя поведение неустойчивых линейных мод газового галактического диска. В работе [62] было показано, что самогравитация оказывает стабилизирующее действие на такие неустойчивые моды, при этом скорость вращения спирального узора почти не меняется. Получены ограничения на параметры кривой вращения, при которых данная гидродинамическая неустойчивость способна породить спиральную волну.

В последнее время активно обсуждается вопрос о наличии среднemasсивной черной дыры в

центре шаровых скоплений. Особенности динамики шаровых скоплений с черными дырами промежуточных масс изучались сотрудниками ЮФУ М. В. Рябовой, Е. О. Васильевым, А. С. Горбаном и Ю. А. Щекиновым. В работе [63] проводится исследование влияния такой черной дыры на динамические характеристики звезд в скоплении, в частности, на популяцию двойных систем. Показано, что при отсутствии черной дыры в центре скопления в моделях без первичных двойных звезд наблюдается коллапс ядра, который заканчивается с образованием первых двойных систем. При наличии черной дыры коллапс ядра отсутствует, и двойные звезды не образуются. Среднемассивная черная дыра образует тесную двойную систему, которая оказывает значительное влияние на кинематику центральной части скопления.

Работа С. В. Жуйко (ГАИШ МГУ) и др. [64] посвящена обзору и анализу результатов наблюдений и численных исследований движения сверхскоростных звезд. В единой таблице приведены данные наблюдений и результаты численных исследований движения сверхскоростных звезд, которые могут быть применены для уточнения параметров модели галактического потенциала. До сих пор остается открытым вопрос об их происхождении. Большинство таких звезд летит по почти радиальным траекториям, что свидетельствует об их галактоцентрическом происхождении. Но есть исключения: небольшая часть сверхскоростных звезд появляется в галактическом диске. Возможные механизмы появления звезд со скоростями до  $10^3$  км с<sup>-1</sup> — это взаимодействие тесных двойных и тройных звездных систем с одиночной сверхмассивной черной дырой в галактическом центре (сценарий Хиллза). Однако возможно появление звезд со скоростями до  $10^5$  км с<sup>-1</sup> путем взаимодействия одиночных звезд с двойной сверхмассивной черной дырой массой от  $10^7$  до  $10^9 M_{\odot}$ , компоненты которой обращаются по эллиптической орбите (сценарий Ю и Тримейна).

Хаотическое поведение динамической системы характеризуется несколькими показателями, среди которых показатель Ляпунова, как правило, оказывается наиболее удобным для расчета. Работа Н. А. Степенко (СПбГУ) и др.<sup>9</sup> была посвящена определению старшего показателя Ляпунова по псевдоэкспериментальным временным данным, относящимся к траектории одной звезды, в стационарной ротационно-симметричной модели галактики. По полученным временным рядам производится реконструкция аттракторов, отвечающих основной траектории движения звезды. Отмечается эквивалентность реконструированных аттракторов

с реальными. По временным рядам рассчитываются старшие показатели Ляпунова, отражающие наличие или отсутствие хаотических режимов поведения для предложенной модели движения звезды при разных наборах параметров.

Ю. М. Торгашин и Т. З. Омурканов (ИНАСАН) исследовали глобальные гидродинамические моды в газовом диске галактики со скачком скорости на кривой вращения. В работе [65] приводятся результаты численного исследования глобальных гидродинамических мод в тонком газовом диске плоской галактики, кривая вращения которой имеет скачок скорости во внутренней области диска. Показано, что при разумных параметрах найденные неустойчивые моды способны формировать как глобальную спираль, так и квазикольцевую структуру, при этом соответствующие коротационные радиусы лежат в области скачка скорости. Проведен предварительный анализ свойств найденных мод в зависимости от параметров скачка скорости, а также от температуры газа и возможных градиентов поверхностной плотности в газовом диске. Характерные времена формирования глобальных структур — порядка 0.5–1.0 млрд лет. Нелинейное численное моделирование эволюции газового диска указывает на перераспределение газа: возникает депрессия поверхностной плотности в окрестности коротации, сопровождающаяся притоком газа к центру диска и на его периферию.

## 8. НОВЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Наблюдения мегамазера в NGC 4258 в рамках проекта РадиоАстрон и звезды в аккреционных дисках сверхмассивных черных дыр обсуждаются в работе группы авторов (А. М. Соболев (УрФУ) и др. [66]). Сверхдлинные базы наземно-космического интерферометра РадиоАстрон позволяют достичь сверхвысоких угловых разрешений [67]. При наблюдениях мегамазера в галактике NGC 4258 в рамках проекта РадиоАстрон был достигнут рекорд углового разрешения в мировой астрономии, составляющий 8 микросекунд дуги. Это разрешение достаточно для измерения параллакса мазерных источников в галактике-спутнике Большом Магеллановом Облаке. На расстоянии до этого объекта во многом основана шкала межгалактических расстояний. В работе [66] описаны полученные в рамках проекта РадиоАстрон результаты, данные об аккреционном диске вокруг сверхмассивной черной дыры в галактике NGC 4258, а также возможная связь между мазерным излучением и наличием звезд в аккреционном диске.

Космический эксперимент «Качка» и возможности оптической астрономии на пилотируемых космических станциях обсуждались в работе

<sup>9</sup>[http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/08/Davydenko\\_Stepenkov\\_MSA\\_17.pdf](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/08/Davydenko_Stepenkov_MSA_17.pdf)

М. Е. Прохорова и др.<sup>10</sup> (ГАИШ, Физический факультет МГУ). Целью эксперимента «Качка» является изучение угловых микроускорений отдельных модулей МКС и их взаимных изгибных и крутильных колебаний на частотах ниже 5 Гц. Планируемая длительность эксперимента — 1–3 года, ожидаемая точность измерений — 0''1. Среди приложений эксперимента — высокоскоростная связь космических аппаратов с Землей и друг с другом, дистанционное зондирование Земли высокого разрешения и астрономические наблюдения.

Состояние и перспективы космического обзора «Лира-Б» были представлены в исследовании А. И. Захарова, М. Е. Прохорова (ГАИШ, Физфак МГУ) и др.<sup>11</sup> Цель эксперимента «Лира-Б» — провести полный обзор неба до 16<sup>m</sup> (около 150 млн звезд). Для достижения этой цели планируется выполнить многократное, порядка 100 раз, сканирование небесной сферы в десяти спектральных полосах (195–1000 нм). В результате работы будут созданы высокоточные многоцветные фотометрические каталоги небесных объектов с точностью фотометрии 0<sup>m</sup>001–0<sup>m</sup>003 для объектов ярче 12<sup>m</sup> и 0<sup>m</sup>01 для остальных и с позиционной точностью (относительной) 0''001 для объектов ярче 12<sup>m</sup> и 0''01 для остальных.

## 9. ЭКЗОПЛАНЕТЫ

В работе С. В. Чернова, П. Б. Иванова (Астрокосмический центр Физического института им. Лебедева (АКЦ ФИАН)) и J. C. V. Papaloizou (University of Cambridge) [68] было проведено сравнение теории динамических приливов и наблюдений в системах, содержащих горячие юпитеры. Для исследования привлекался современный наблюдательный материал для четырех объектов (WASP-43b, Ogle-tr-113b, WASP-12b и WASP-18b). Был сделан вывод о том, что во всех системах, кроме Wasp-43, может, в принципе, выполняться режим умеренно быстрой диссипации, однако наблюдательные ошибки на сегодняшний день достаточно большие.

Динамика планет в экзопланетных системах с родительской звездой переменной массы обсуждалась в работе С. А. Шомшековой и М. Дж. Минглибаева<sup>12</sup> (АФИ). Совместное изучение эволюции экзопланетной системы с родительской звездой имеет важное значение для понимания образования и дальнейшей динамики планетных систем,

которые генетически взаимосвязаны. Вещество из протопланетного диска может падать вовнутрь родительской звезды, вызывая эпизодические неизотропные выбросы массы, которые могут сильно возмущать орбиты планеты и родительской звезды. Звезды теряют вещество на всех этапах своей эволюции, но особенно интенсивно — в начале и в конце жизни. Звезды ранних спектральных классов O и B теряют массу со скоростью порядка  $2 \times 10^{-6} M_{\odot}$  в год, звезды класса M — около  $10^{-10}$ – $10^{-12} M_{\odot}$  в год, а для Солнца — приблизительно  $10^{-14} M_{\odot}$  в год. Анизотропностью характеризуются джеты, струи — результаты эруптивной деятельности различных нестационарных звезд. Используя различные каталоги, был проведен статистический анализ экзопланетных систем около нестационарных родительских звезд разных спектральных классов. Большинство известных экзопланет вращается вокруг звезд спектральных классов F, G, K и M. Массы этих звезд составляют от 0.8 до 1.7  $M_{\odot}$ . Было обнаружено, что наибольшее количество экзопланетных систем — 430 — принадлежат звездам класса G. Количество экзопланетных систем, обнаруженных около звезд спектральных классов K, F, M, A, B, T и L равно соответственно 304, 154, 110, 22, 8, 3 и 1. Исследовалось влияние переменности масс родительской звезды класса M и планет в двухпланетной задаче трех тел с переменными массами, изменяющимися неизотропно различными темпами, как небесно-механическая модель нестационарных экзопланетных систем. Были получены дифференциальные уравнения движения для двухпланетной задачи трех тел в относительной системе координат с началом в центре родительской звезды при наличии реактивных сил. Выделена возмущающая функция, получены уравнения возмущенного движения в форме уравнений Лагранжа на базе аperiодического движения по квазиконическому сечению.

В исследовании Л. И. Шестаковой и Б. И. Демченко (АФИ) [69] обсуждались транзитные прохождения планетоидов около белого карлика WD 1145+017 и их термическая эволюция. В течение последних лет на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории (ТШАО) ведется регулярный поиск и исследование новых переменных звезд на телескопе Zeiss-1000. В 2016 г. на ТШАО по программе WET (Всемирный Наземный Телескоп) наблюдался белый карлик WD 1145+017. Наблюдения проводились с телескопом Zeiss-1000. По кривым блеска видны транзитные прохождения группы планетоидов с периодом около 4.5 часа, вызывающие ослабление блеска звезды до 40%. В феврале–апреле 2017 г. на ТШАО проведена повторная серия наблюдений, и обнаружено изменение конфигурации транзитов, что свидетель-

<sup>10</sup><https://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/prokhorov.pptx>

<sup>11</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/zakharov.pptx>

<sup>12</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/shomsheкова.ppt>

стает о быстрой динамической эволюции системы. Вследствие близости орбиты группы планетоидов и их фрагментов к горячей звезде — белому карлику — происходит также их термическая эволюция. В статье сделаны оценки времени жизни фрагментов разных размеров.

Работа А. С. Перминова и Э. Д. Кузнецова (УрФУ) [70] была посвящена исследованию динамической эволюции внесолнечных планетных систем на длительных интервалах времени. В настоящее время известно несколько десятков внесолнечных систем с тремя и более планетами. Возникает задача изучения динамической эволюции, резонансных свойств и устойчивости таких многопланетных систем на длительных интервалах времени. Представлена осредненная численно-аналитическая теория движения для четырехпланетной задачи. Гамильтониан планетной задачи строится в виде разложения в ряд Пуассона по элементам второй системы Пуанкаре и по степеням малого параметра. В качестве малого параметра выбрано отношение суммы масс планет к массе звезды. Осреднение гамильтониана задачи проводится методом Хори–Депри. Уравнения движения в средних элементах получены с точностью до второй степени малого параметра. Построенная теория движения применяется для изучения орбитальной эволюции планетных систем с умеренными значениями эксцентриситетов и наклонов орбит планет. Рассматриваются планетные системы звезд HD 141399 и  $\mu$  Ara. Осредненные уравнения движения интегрируются методом Эверхарта 15 порядка. Массы планет и элементы их орбит варьировались в диапазоне, соответствующем точности определения соответствующих значений.

Поиск транзитных экзопланет около переменных звезд обсуждался в работе К. В. Волкова и Е. А. Аввакумовой<sup>13</sup> (УрФУ). К апрелю 2017 г. известно более трех с половиной тысяч внесолнечных планет. Большинство из них открыто с помощью транзитной фотометрии. На данный момент становится возможным построение теоретических моделей образования планет, но активное развитие планетно-популяционного синтеза в целом затруднено из-за недостаточной статистики. Именно поэтому важна каждая достоверно подтвержденная внесолнечная экзопланета, которая будет увеличивать популяцию экзопланет и вносить вклад в общее понимание процессов образования планет. В Коуровской астрономической обсерватории с 2012 г. существует проект Kourouka Planet Search (KPS), цель которого — поиск кандидатов в транзитные экзопланеты. Для KPS была разработана методика обработки наблюдательных данных,

позволяющая регистрировать изменения блеска на уровне  $0^{\text{m}}01$ – $0^{\text{m}}02$ , характерные для транзитов планет типа «горячий юпитер». В ходе работы стало ясно, что большинство звезд демонстрируют изменения блеска из-за физических или геометрических факторов. Они исключаются из выборки объектов, пригодных для поиска транзитных сигналов. Целью работы является разработка автоматического метода выделения сигнала транзитной экзопланеты среди колебаний блеска родительской звезды. Разработанный метод будет использован для анализа накопленных рядов фотометрических наблюдений проекта KPS.

## 10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что исследования по теме «Звездная астрономия» в России проводятся на мировом уровне и охватывают широкий круг проблем: от изучения звезд и звездных скоплений в Галактике до поисков экзопланет. Это было также продемонстрировано на конференции «Современная звездная астрономия–2017», которая проводилась 14–16 июня 2017 г. в Уральском федеральном университете. Представленные в докладах результаты отличались новизной, оригинальностью и актуальностью.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Организаторы конференции благодарят руководство Уральского федерального университета, Института естественных наук и математики УрФУ и его подразделений: Коуровской астрономической обсерватории и Кафедры астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды. Работа АМС выполнена в рамках госзадания 3.8019.2017/6.7 и поддержана программой 211 Правительства Российской Федерации, соглашение 02.А03.21.0006.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. L. Gozha, V. A. Marsakov, and V. V. Koval', *Astrophysics* **61**, 41 (2018).
2. V. A. Marsakov, M. L. Gozha, and V. V. Koval, *Astronomy Reports* **62**, 50 (2018).
3. A. S. Miroshnichenko, S. Danford, S. V. Zharikov, et al., *Open Astronomy* **26**, 93 (2017).
4. O. Malkov, S. Karpov, E. Kilpio, et al., *Open Astronomy* **27**, 62 (2018).
5. A. P. Bisyarina, A. M. Sobolev, S. Y. Gorda, and S. Y. Parfenov, *Astrophysical Bulletin* **70**, 299 (2015).
6. V. V. Krushinsky, A. A. Popov, and A. F. Punanova, *Astrophysical Bulletin* **69**, 497 (2014).
7. V. E. Panchuk, M. V. Yushkin, and M. V. Yakopov, *Astrophysical Bulletin* **66**, 355 (2011).

<sup>13</sup><http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2017/10/volkov.pdf>



8. A. Bisyarina, A. Sobolev, and S. Gorda, in *Proc. conf. on Radiation Mechanisms of Astrophysical Objects: Classics Today; in honor of the 100th birthday of Academician Victor V. Sobolev, St. Petersburg, Russia, 2015*, Ed. by V. P. Grinin, H. Harutyunian, V. B. Il'in, et al. (Edit Print, Yerevan, 2017), p. 173.
9. A. Bisyarina, A. Sobolev, and S. Gorda, *ASP Conf. Ser.* **510**, 313 (2017).
10. S. A. Khokhlov, A. S. Miroshnichenko, S. V. Zharikov, et al., *Astrophys. J.* **856**, 158 (2018).
11. S. A. Khokhlov, A. S. Miroshnichenko, R. Mennickent, et al., *Astrophys. J.* **835**, 53 (2017).
12. E. I. Vorobyov, V. Elbakyan, T. Hosokawa, et al., *Astron. and Astrophys.* **605**, A77 (2017).
13. S. A. Alexeeva, A. M. Sobolev, S. Y. Gorda, et al., *Astrophysical Bulletin* **68**, 169 (2013).
14. V. V. Gvaramadze, N. Langer, L. Fossati, et al., *Nature Astronomy* **1**, 0116 (2017).
15. S. Y. Gorda, *Astrophysical Bulletin* **72**, 321 (2017).
16. V. P. Arkhipova, N. P. Ikonnikova, V. F. Esipov, and G. V. Komissarova, *Astronomy Letters* **43**, 416 (2017).
17. V. P. Arkhipova, O. G. Taranova, N. P. Ikonnikova, et al., *Astronomy Letters* **42**, 756 (2016).
18. Y. M. Gebrehiwot, S. B. Tessema, O. Y. Malkov, et al., *New Astronomy* **61**, 24 (2018).
19. A. I. Eremeeva, *History of Meteoritics. Origins. Birth. Becoming.* (Phoenix, Dubna, 2006).
20. A. M. Sobolev, S. Y. Gorda, and O. A. Davydova, *Inform. Bull. Variable Stars* **6061** (2013).
21. A. F. Seleznev, E. Avvakumova, M. Kulesh, et al., *Open Astronomy* **26**, 80 (2017).
22. A. V. Loktin and M. E. Popova, *Astrophysical Bulletin* **72**, 257 (2017).
23. A. A. Chemel, E. V. Glushkova, A. K. Dambis, et al., *Astrophysical Bulletin* **73**, 162 (2018).
24. W. H. Elsanhoury, E. S. Postnikova, N. V. Chupina, et al., *Astrophys. and Space Sci.* **363**, 58 (2018).
25. A. E. Tarasov, *Astrophysics* **60**, 273 (2017).
26. I. S. Potravnov, M. V. Eselevich, T. E. Kondratieva, and I. V. Sokolov, *Astronomy Letters* **44**, 603 (2018).
27. D. Kovaleva, A. Piskunov, N. Kharchenko, and R.-D. Scholz, *Open Astronomy* **26**, 219 (2017).
28. D. A. Ladeyschikov, M. S. Kirsanova, A. P. Tsvilev, and A. M. Sobolev, *Astrophysical Bulletin* **71**, 208 (2016).
29. A. V. Veselova and I. I. Nikiforov, *Proc. 13th Congress Intern. Pub. Organization «Astronomical Society» on Analysis of Segments of Spiral Arms of the Galaxy Traced by Classical Cepheids*, *Modern Star Astronomy*, Vol. 1: *Astronomy-2018 (XIII). Conf. Abstracts* (IZMIRAN, Moscow, 2018), pp. 100–103.
30. A. K. Dambis, L. N. Berdnikov, Y. N. Efremov, et al., *Astronomy Letters* **41**, 489 (2015).
31. I. I. Nikiforov, *Astron. Astrophys. Transactions* **27**, 537 (2012).
32. M. S. Kirsanova, A. M. Sobolev, and M. Thomasson, *Astronomy Reports* **61**, 760 (2017).
33. V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Astronomy Letters* **43**, 159 (2017).
34. V. V. Bobylev and A. T. Bajkova, *Open Astronomy* **26**, 106 (2017).
35. A. T. Bajkova and V. V. Bobylev, *Astronomy Letters* **42**, 567 (2016).
36. A. Bajkova and V. Bobylev, *Open Astronomy* **26**, 72 (2017).
37. M. G. Shevchenko, E. O. Vasiliev, and Y. A. Shchekinov, *Open Astronomy* **26**, 224 (2017).
38. V. Bonvin, F. Courbin, S. H. Suyu, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **465**, 4914 (2017).
39. S. A. Shomshekova, A. V. Kusakin, and I. V. Reva, *Baltic Astronomy* **25**, 275 (2016).
40. E. A. Mikhailov, *Astronomy Reports* **61**, 739 (2017).
41. O. K. Sil'chenko, A. Yu. Kniazev, and E. M. Chudakova, *Astron. J.* **156**, id. 118 (2018).
42. R. Moetazedian, E. V. Polyachenko, P. Berczik, and A. Just, *Astron. and Astrophys.* **604**, A75 (2017).
43. K. I. Smirnova, D. S. Wiebe, and A. V. Moiseev, *Open Astronomy* **26**, 88 (2017).
44. E. A. Mikhailov and V. V. Pushkarev, *Astrophysical Bulletin* **73**, 425 (2018).
45. I. Kostiuik and O. Silchenko, *Astrophysics* **61**, 1 (2018).
46. L. Spiegel and E. Polyachenko, *Open Astronomy* **27**, 70 (2018).
47. A. E. Dudorov and S. A. Khaibrakhmanov, *Open Astronomy* **26**, 285 (2017).
48. M. S. Kirsanova, S. V. Salii, A. M. Sobolev, et al., *Open Astronomy* **26**, 99 (2017).
49. A. Gusev, E. Shimanovskaya, N. Shatsky, et al., *Open Astronomy* **27**, 98 (2018).
50. E. O. Vasiliev and Y. A. Shchekinov, *Open Astronomy* **26**, 233 (2017).
51. A. I. Vasyunin, P. Caselli, F. Dulieu, and I. Jiménez-Serra, *Astrophys. J.* **842**, 33 (2017).
52. V. A. Sokolova, A. B. Ostrovskii, and A. I. Vasyunin, *Astronomy Reports* **61**, 678 (2017).
53. V. M. Danilov and S. I. Putkov, *Astrophysical Bulletin* **72**, 266 (2017).
54. O. V. Kiyayeva and R. Y. Zhuchkov, *Open Astronomy* **26**, 64 (2017).
55. B. P. Kondratyev, N. G. Trubitsyna, and E. N. Kireeva, *Astronomy Reports* **60**, 526 (2016).
56. B. P. Kondratyev and E. N. Kireeva, *Baltic Astronomy* **25**, 247 (2016).
57. K. V. Kholshchikov, D. V. Milanov, and V. Sh. Shaidulin, *Celestial Mechanics Dynamical Astronomy* **130**, id. 64 (2018).
58. G. N. Dremova, V. V. Dremov, and A. V. Tutukov, *Astronomy Reports* **61**, 573 (2017).
59. E. V. Polyachenko, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **478**, 4268 (2018).
60. A. Mylläri, M. Valtonen, A. Pasechnik, and S. Mikkola, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **476**, 830 (2018).
61. A. S. Perminov and E. D. Kuznetsov, *Solar System Research* **52**, 241 (2018).
62. T. Z. Omurkanov and E. V. Polyachenko, *Astronomy Letters* **40**, 724 (2014).

63. M. V. Ryabova, A. S. Gorban, Y. A. Shchekinov, and E. O. Vasiliev, *Open Astronomy* **27**, 1 (2018).
64. S. V. Zhuiko, V. V. Orlov, and K. S. Shirokova, *Astronomy Reports* **61**, 47 (2017).
65. Y. M. Torgashin and T. Z. Omurkanov, *Astronomische Nachrichten* **334**, 870 (2013).
66. A. M. Sobolev, N. N. Shakhvorostova, A. V. Alakoz, and W. A. Baan, *ArXiv e-prints* (2018).
67. N. S. Kardashev, A. V. Alakoz, A. S. Andrianov, et al., *Solar System Research* **51**, 535 (2017).
68. S. V. Chernov, P. B. Ivanov, and J. C. B. Papaloizou, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **470**, 2054 (2017).
69. L. I. Shestakova and B. I. Demchenko, *Solar System Research* **52**, 153 (2018).
70. A. S. Perminov and E. D. Kuznetsov, *Solar System Research* **50**, 426 (2016).

## Current Problems of Modern Stellar Astronomy and Main Research Results

**O. Yu. Malkov, E. V. Polyachenko, A. M. Sobolev, and A. S. Rastorguev**

We present an analytical review of the current state of the problems of stellar astronomy. We report the results obtained by Russian astronomers by 2017. We show that the studies conducted in Russia cover all major fields of stellar astronomy, use modern observational methods and data analysis techniques, and meet high scientific standards.

Keywords: *miscellaneous*