

СОВРЕМЕННАЯ ЗВЕЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ – 2022

© 2023 г. О. Ю. Малков^{1,*}, А. О. Жуков^{1,2}, О. Б. Длужневская^{1,**}

¹Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

²ФГБНУ “Аналитический центр”, Москва, Россия

*E-mail: malkov@inasan.ru

**E-mail: olgad@inasan.ru

Поступила в редакцию 11.07.2023 г.

После доработки 17.07.2023 г.

Принята к публикации 17.07.2023 г.

Представлен аналитический обзор современного состояния проблем звездной астрономии. Он преимущественно базируется на докладах, сделанных на конференции “Современная звездная астрономия” (КГО ГАИШ МГУ, ноябрь 2022).

Ключевые слова: звезды, звездные скопления и ассоциации, звездообразование, галактики, динамика гравитирующих систем

DOI: 10.31857/S0004629923100079, **EDN:** ZTADZU

1. ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлен аналитический обзор современного состояния проблем звездной астрономии. Он создан, преимущественно, по материалам докладов, представленных на двенадцатой конференции¹ из цикла “Современная звездная астрономия”. Она была проведена 8–10 ноября 2022 г. в КГО ГАИШ МГУ. Помимо ГАИШ МГУ организаторами конференции выступили ИНАСАН и Астрономическое общество.

Обзор разбит по следующим разделам: Звезды, Звездные скопления и ассоциации, Звездообразование, Галактики, Динамика гравитирующих систем. В последнем разделе приведены заключительные замечания.

2. ЗВЕЗДЫ

М.Л. Гожа (ЮФУ) обсуждала в своем докладе богатые металлами переменные звезды типа RR Лиры поля Галактики, особенности их кинематики и содержаний некоторых химических элементов. Был проведен анализ особенностей относительных содержаний ряда химических элементов в атмосферах высокометаллических переменных звезд типа RR Лиры галактического поля. Ранее было показано, что содержания титана, иттрия и скандия в таких звездах ниже, чем в звездах других типов аналогичной металличности. В данной работе были обнаружены металлические лириды с

низкими обилиями натрия, алюминия и никеля. Кинематические и орбитальные параметры всех исследуемых в работе богатых металлами переменных характерны для объектов тонкого или толстого дисков Галактики, однако химический состав свидетельствует о возможном внегалактическом происхождении некоторых из них.

Доклад А.С. Авдеевой (ИНАСАН, НИУ ВШЭ) был посвящен поиску коричневых карликов в больших фотометрических обзорах. Однородные и полные выборки коричневых карликов необходимы для разного рода исследований: кинематических исследований Галактики, исследований двойных звезд с коричневыми карликами, уточнение маломассивного конца начальной функции масс и др. По разным оценкам коричневые карлики могут составлять до 25% населения Галактики, тем не менее, открытие коричневых карликов спектроскопическими методами крайне трудоемко. Были предприняты многочисленные попытки поиска и создания набора коричневых карликов, используя их фотометрические параметры в качестве правила для выделения коричневых карликов в больших фотометрических обзорах. Большинство работ имеет дело с относительно далекими коричневыми карликами или ограничивается одним обзором. В докладе были представлены результаты кроссатчинга известных близких коричневых карликов с оптическим обзором DES и создание на основе полученных результатов фотометрических правил для обнаружения коричневых карликов в трех обзорах: WISE, 2MASS и DES [1]. Кроме того впер-

¹ http://www.inasan.ru/scientific_activities/conferences/msa/modern_stellar_astronomy_2022/

вые были представлены различные фотометрические правила для каждого из трех семейств коричневых карликов: яркие, транзитные и слабые [2].

Н.Н. Самусь (ИНАСАН, ГАИШ МГУ) доложил о Списках обозначений переменных звезд. В течение 2022 г. продолжалась подготовка материалов для новых Списков обозначений переменных звезд, через которые осуществляется включение новых объектов в Общий каталог переменных звезд (ОКПЗ). Опубликована итоговая статья по итогам перевода в ОКПЗ уверенно идентифицированных и дополнительно исследованных объектов из Нового каталога звезд, заподозренных в переменности блеска (каталога NSV), однако эту работу в 2022 г. удалось продолжить. Отобрано для обозначения около 1000 переменных звезд в нескольких шаровых скоплениях созвездия Стрельца, самого богатого такими скоплениями. В одном из этих шаровых скоплений для включения в ОКПЗ отобрано значительное количество звезд из недавних публикаций, по формальным причинам оставшихся не включенными в последнюю электронную версию канадского каталога переменных звезд в шаровых скоплениях.

Результаты исследования быстрой переменности Т Северной Короны обсуждались в докладе Н.А. Масленниковой (ГАИШ МГУ). Были представлены результаты спектрального мониторинга известной повторной симбиотической новой Т CrB, проведенного в 2020 г. на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ. С помощью спектрографа TDS в течение 2 ч было получено почти 50 спектров в области 3600–5500 Å и одновременно около 140 спектров в полосе 5500–7400 Å. Для учета влияния атмосферы Земли на потоки в линиях использована оригинальная методика редукции данных. Анализ показал наличие переменности потоков в эмиссионных линиях с различной амплитудой и характерным временем переменности. В линиях излучения водорода H_α и H_β амплитуда переменности составила около 3–4% при высокой корреляции с изменением потока в полосе B , мониторинг в которой проводился одновременно на телескопе RC600 КГО ГАИШ. Получены оценки параметров компонента, демонстрирующего быструю переменность (аккреционный диск), и туманности.

Доклад О.Ю. Малкова (ИНАСАН) был посвящен Базе данных двойных звезд BDB [3]. *Binary star DataBase (BDB)*² — это база данных двойных/кратных систем различных наблюдательных типов. BDB содержит данные о физических и позиционных параметрах 260 000 компонентов 120 000 звездных систем кратностью от 2 до более

20, взятые из большого количества опубликованных каталогов и баз данных. На регулярной основе в BDB добавляются новые каталоги, и этот процесс сопровождается перекрестной идентификацией объектов. Кроме того, в базу данных BDB добавляются новые наблюдательные типы двойных звезд.

П.В. Пахомова (ИНАСАН) представила Каталог разрешенных спектроскопических двойных. Разрешенные спектроскопические двойные являются уникальными объектами среди других типов двойных. Они предоставляют единственную (кроме тригонометрических параллаксов) возможность определять с высокой точностью расстояния до объектов — важнейшую характеристику в астрономии. Двойные системы этого типа достаточно малочисленны, однако исчерпывающего каталога на данный момент не существует, несмотря на попытки его создания. Авторами разработана пилотная версия нового каталога разрешенных спектроскопических двойных. В нем собрана информация об элементах орбит, массах компонентов, орбитальных параллаксах и других параметрах для 110 звезд. При наличии приводится и спектральная классификация. Недавно опубликованные в *Gaia* DR3 блески и параллаксы также включены в каталог. Таким образом, каталог представляет собой наиболее обширный список разрешенных спектроскопических двойных систем, известных на данный момент. Проведен предварительный анализ распределений звездных параметров объектов каталога, а также сравнение параллаксов и блесков *Gaia* с известными из более ранних источников [4].

Доклад Д.А. Чулкова (ИНАСАН) был посвящен визуальным двойным звездам с известными орбитами в каталоге *Gaia* EDR3. 3350 объектов шестого каталога орбит визуальных двойных звезд (ORB6) исследовались с привлечением данных *Gaia* EDR3. Показано, что две трети двойных с угловым расстоянием между компонентами 0.2"–0.5" не имеют опубликованного параллакса в EDR3. Особое внимание уделяется 521 разрешенным системам, для которых параллаксы измерены для обоих компонентов. Среди них 16 определены как оптические пары. Вместе с тем демонстрируются примеры надежно известных физических двойных с формально значительным отличием параллаксов EDR3. Показано, что заявленные ошибки параллаксов EDR3 недооценены по меньшей мере в три раза для источников с большим значением параметра RUWE. Всего около 30% двойных ORB6 не имеют опубликованного параллакса в EDR3. Для обогащения каталога ORB6 параллаксами используются далекие компоненты в кратных системах, выявленные благодаря анализу собственных движений и па-

² <https://bdb.inasan.ru>

раллаксам Hipparcos. Показано, что в ряде случаев измеренные параллаксы EDR3 непосредственных компонентов двойной являются менее достоверными, чем параллаксы далеких компонентов. Дополнительно привлечены астрометрические данные Gaia DR2, TGAS и Hipparcos. Получено синтетическое соотношение “масса—светимость” в полосе G для звезд главной последовательности. Проведены расчеты масс звездных систем каталога ORB6 с помощью соотношения “масса—светимость” и третьего закона Кеплера [5].

А.С. Позаненко (ИКИ РАН) поднял вопрос о том, нужен ли пересмотр классификации гамма-всплесков (сверхновая или килоновая)? Известно, что космические гамма-всплески могут иметь два типа прародителей: сверхновые с коллапсирующим ядром и слияния нейтронных звезд. Оба типа имеют как прямые наблюдаемые доказательства происхождения, так и феноменологические различия. Близкие к Земле гамма-всплески сопровождаются появлением сверхновой; для двух слияний нейтронных звезд GW 170817 и GW 190425 были обнаружены короткие гамма-всплески, а для GW 170817 — килоновая. Явным различием двух типов прародителей является длительность гамма-всплесков. Считается, что короткие гамма-всплески имеют прародителями сливающиеся нейтронные звезды, а длинные связаны со сверхновыми типа Ic. Недавние гамма-всплески GRB 200826A и GRB 211211A на первый взгляд ломают сложившуюся классификацию. Для короткого гамма-всплеска GRB 200826A был найден признак сверхновой в ИК-диапазоне, а для GRB 211211A, источник которого предположительно расположен на красном смещении $z = 0.076$, ожидалась сверхновая, которая не была найдена при последующем мониторинге. Авторы привели результаты наблюдений GRB 200826A и GRB 211211A и обсудили, необходимо ли пересматривать принципы феноменологической классификации, или же свойства этих двух гамма-всплесков можно уложить в известные рамки.

М.Е. Прохоров (ГАИШ МГУ) в своем докладе обсуждал массовые вычисления блеска звезд в произвольной спектральной полосе. Фундаментальная фотометрия астрономических объектов проводится в определенных фотометрических системах (наборах фотометрических полос). Самыми популярными системами сегодня являются $UBVR$ Джонсона и $ugriz$. В обеих системах получен большой наблюдательный материал, объем которого продолжает расти. Время от времени возникает задача вычисления блеска звезд (звезды) в какой-то другой полосе по измерениям в этих фотометрических системах. Один из примеров — объединение массивов наблюдений в системах Джонсона и $ugriz$, т.е. вычисление звезд-

ных величин в полосах Джонсона по $ugriz$ или наоборот. Другой пример из прикладной области — вычисление блеска звезд в широкой панхроматической полосе кремниевого приемника излучения, сенсibilизированного в красную или синюю области спектра. Такие приемники используются в оптико-электронных приборах для ориентации и навигации в космосе. Рассматриваемый в докладе метод ориентирован на максимально точный перевод блеска звезд в заданную полосу, но не для каждой отдельной звезды, а для основной массы звезд. Для небольшой доли “пеккулярных” объектов будут наблюдаться “выбросы” — отклонения от истинных значений их звездных величин [6].

А.И. Захаров (ГАИШ МГУ) доложил о новой версии каталога WBVR. В 1991 г. был опубликован фотометрический каталог средних блесков и колор-индексов в системе WBVR 13 876 ярких объектов (звезд и кратных звездных систем) северного неба. В новом веке появились космические каталоги, которые позволили сравнить каталог WBVR величин с высокоточными космическими наблюдениями. Эти сравнения выявили промахи в отождествлениях и систематические отклонения в каталоге WBVR величин. Это, в свою очередь, вызвало необходимость в переработке сохраненных данных наблюдений, полученных в Тань-Шаньской высокогорной обсерватории. Доклад был посвящен рассмотрению эффектов, могущих привести к систематическим ошибкам WBVR каталога.

В докладе А.В. Самохвалова (КГО ГАИШ МГУ) обсуждались первые результаты работы малого фотометрического телескопа, установленного в Кавказской Горной Обсерватории (КГО) ГАИШ МГУ и начавшего первые наблюдения в августе 2020 г., а также описывались решаемые на нем задачи. С начала работы и до настоящего времени проводятся исследования переменных звезд различных типов, в том числе: V354 Cam — переменной типа RRAB с эффектом Блажко, V3702 Oph — возможного фуора, показывающего большой инфракрасный избыток, пульсирующих переменных в шаровом звездном скоплении NGC 5466 и ряда других звезд, включая мультипериодические переменные типа DSCT. Были приведены кривые блеска указанных звезд в нескольких светочастотах и рассматривались перспективы углубленного исследования открытых ранее переменных звезд.

3. ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ И АССОЦИАЦИИ

В докладе А.С. Расторгуева (МГУ) обсуждалось изучение “погруженного” рассеянного скопления vdB 130. На основе данных Gaia DR3 проведена новая ревизия звездного состава в поле

радиусом $20'$ вокруг центра молодого рассеянного скопления vdB 130, входящего в звездную ассоциацию Суг OB1. Выделено 97 звезд и 39 протозвезд классов I/II/III с вероятностью членства в скоплении $P > 0.98$ по критерию близости собственных движений. Полное число возможных членов скопления с вероятностью принадлежности $P > 0.50$ составляет примерно 300, а возраст, оцениваемый методом наложения теоретических изохрон, не превышает 10 млн. лет. Тригонометрическое расстояние до скопления составляет $D \approx 1670 \pm 60$ пк, а избыток цвета $E(BP - RP) \approx 0.85 \pm 0.02^m$. Отмечено наличие значительного дифференциального поглощения [7].

Доклад М.Е. Сачкова (ИНАСАН) был посвящен цефеидам в рассеянных звездных скоплениях с Gaia DR3. Опубликованный в июне 2022 г. каталог цефеид Gaia DR3 содержит около 15000 звезд. Используя этот список, позиционную и кинематическую информацию Gaia и характеристики известных (в том числе недавно открытых) рассеянных звездных скоплений, авторы пересмотрели вероятности принадлежности к скоплениям для ранее известных и открытых Стгаia цефеид. Также были представлены оценки пульсационных радиусов рассматриваемых цефеид.

Е.С. Постникова (ИНАСАН) обсуждала звездную структуру скоплений в области Меча Ориона. Было рассмотрено строение группы рассеянных звездных скоплений (РЗС) в области Меча Ориона. Сделана выборка звезд из каталога Gaia EDR3 в области Меча Ориона. В этой области находятся РЗС NGC 1981, NGC 1977, NGC 1976, NGC 1980 и другие новые звездные группы. Взяты звезды Gaia DR3, расположенные на расстояниях от Солнца от 408 до 377 пк (рассчитаны по параллаксам, приведенным в каталоге Gaia). Прослежена связь скоплений Меча Ориона с молекулярными облаками по данным космического аппарата Гершель. В области меча Ориона также много молодых скоплений и молодых звезд с формирующимися экзопланетами.

И.И. Романюк (САО РАН) в своем докладе обсуждал магнитные поля в ассоциации молодых звезд в Орионе. Были представлены результаты измерений магнитного поля 55 химически пекулярных звезд в ассоциации Орион OB1. Найдено 14 новых магнитных звезд. Доказано, что магнитные поля более молодых звезд (с возрастом около 2–3 млн. лет) в 3 раза больше, чем у звезд с возрастом 10–10⁷ лет. Обсуждались различные механизмы образования таких особенностей. Наблюдения выполнены на 6-м телескопе.

Двойные и кратные звезды в рассеянных скоплениях обсуждались в докладе А.Ф. Селезнева (УрФУ). Данная работа является продолжением

исследования населения двойных и кратных звезд в рассеянных скоплениях, основанного на фотометрической диаграмме (H–W2)–W1–W2–(BP–K). Были получены оценки доли двойных и кратных звезд и параметры распределения отношения масс компонент q в скоплениях Альфа Персея, Ясли и NGC 1039. Процедура, предложенная ранее, была модифицирована: подсчеты звезд на диаграмме проводились автоматически, оценка ошибок получалась методом бутстраппинга. В связи с этим было повторно проведено исследование скопления Плеяды и исправлена неточность, допущенная ранее при определении распределения q . Получено, что доля двойных звезд в рассмотренных скоплениях составляет от 0.47 ± 0.03 до 0.73 ± 0.03 . Доля систем с кратностью больше 2 – от 0.11 ± 0.01 до 0.20 ± 0.02 . Распределение q хорошо аппроксимируется Гауссианой с модой от 0.22 ± 0.04 до 0.48 ± 0.01 и дисперсией от 0.10 ± 0.02 до 0.35 ± 0.07 . Все скопления показывают большую долю двойных систем с вторичными компонентами очень малой массы в двойных системах с массой первичных компонент меньше $0.5 M_{\odot}$ [8].

В докладе Д.А. Ковалевой (ИНАСАН) были представлены результаты исследования звезд с экзопланетами в рассеянных звездных скоплениях и движущихся группах. Были использованы астрометрические данные Gaia для поиска групп звезд, имеющих общее пространственное движение с известными звездами с экзопланетами (в том числе с кандидатами в звезды с экзопланетами, опубликованными в рамках Gaia DR3). Для выделенных кинематических групп предложены оценки возрастов с использованием теоретических изохрон.

И.У. Таджикибаев (НУУз) доложил о проблемах определения степени концентрации звезд к центру шаровых скоплений. Ранее авторами были найдены значения степени концентрации звезд к центру для 26 шаровых скоплений (ШС) двумя методами, введением трех неизвестных параметров минимизации. Удалось впервые решить проблему Шепли-Сойер классификации ШС. В данной работе авторы подробно обсуждают и сравнивают данные наблюдений видимой плотности ШС, полученные на телескопах HST и Gaia. Необходимо отметить, что построенные графики видимой плотности по программе Gaia во многих случаях имеют явно нерегулярный или колебательный характер. Нерегулярный характер видимой плотности ШС в более ранних работах, скорее всего, связан с тем, что в выборки были добавлены также и имеющиеся результаты наземных и HST наблюдений. К этим данным авторами был применен симплексный метод минимизации по трем параметрам. Полученные таким образом результаты оказались явно хуже, чем для случая из

26 ШС. В принципе, исключив отдельные ШС, имеющие нереальные и своеобразные графики плотности, можно составить, например, выборку из 34 ШС, которая удовлетворяет минимальным требованиям по значению корреляции с физическими характеристиками этих скоплений. Для разработки классификации ШС весьма важно именно наличие корреляции степени концентрации с их физическими характеристиками. В настоящее время авторы проводят расчеты в случае, когда теоретическая модель видимой плотности имеет четыре свободных параметра.

Темой доклада М.Э. Поповой (АО УрФУ) было исследование кинематики диска Галактики по данным о рассеянных звездных скоплениях разного возраста. Была исследована зависимость кинематических свойств подсистем рассеянных скоплений Галактики от их возрастов. По кривым вращения Галактики для разных возрастных интервалов на галактоцентрическом расстоянии от 6.5 до 12.5 кпк получено, что самые старые скопления (старше 1 млрд. лет) вращаются медленнее, чем молодые и скопления среднего возраста. Показано, что даже для околосолнечных окрестностей нельзя уверенно использовать модель чисто кругового вращения Боттлингера-Оорта для описания наблюдаемых движений объектов.

4. ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ

К.В. Плаkitина (ИНАСАН) представила результаты исследования химического состава и кинематики газа в области образования массивных звезд RCW 120. RCW 120 представляет собой область ионизированного водорода (HII) и является одной из наиболее интересных для изучения областей образования массивных звезд, вследствие ее близости (≈ 1.3 кпк) и относительно простой морфологии. На периферии RCW 120 наблюдаются плотные молекулярные сгустки с погруженными в них протозвездами, в т.ч. массивными. Несмотря на то что RCW 120 является одной из наиболее изученных областей звездообразования, работ по исследованию химического разнообразия в области образования протозвезд до сих пор не проводилось. Используя телескоп АРЕХ, авторы провели наблюдения радиолиний молекул в направлении этих протозвезд в диапазоне частот от 200 до 260 ГГц. Были получены карты интегральной интенсивности для различных молекул: от двухатомных (SO, CS) до сложных органических молекул (CH₃OH, CH₃CSN). Методом вращательных диаграмм по переходам CH₃CSN и CH₃CN были определены температуры и лучевые концентрации молекул. Анализ кинематики был проведен по изучению профилей молекулярных линий и диаграммам “пози-

ция–скорость молекул SiO и CH₃OH”, которые известны как трассеры истечений.

Е.О. Васильев (АКЦ ФИАН, ЮФУ) обсуждал проявления звездообразования и сверхмассивных черных дыр в спектрах запыленных активных ядер галактик на больших красных смещениях. Обнаружение с помощью ALMA квазаров на красных смещениях $z > 6$ привело к заключению об отличном (большем) значении отношения между массой сверхмассивной черной дыры (СМЧД) и звездного балджа от этой величины для галактик в локальной Вселенной. Возможными причинами этого могут быть как разная динамика роста СМЧД и эффективность звездообразования в ранней Вселенной, так и селекционные эффекты в наблюдениях. Пространственное разрешение современных телескопов не позволяет исследовать межзвездную среду и области звездообразования вокруг СМЧД в таких далеких галактиках. О соотношениях между этими структурными единицами можно судить только по суммарному спектру. В работе рассчитаны кумулятивные спектры запыленных галактик с активным галактическим ядром. Исследованы соотношения между потоками в разных спектральных диапазонах (от рентгеновского до миллиметрового). Обсуждаются возможности определения свойств звездного населения, газа и СМЧД в квазарах на больших красных смещениях [9].

Доклад А.С. Гусева (ГАИШ МГУ) посвящался регулярным цепочкам областей звездообразования в спиральных рукавах и кольцах дисковых галактик. Регулярность в распределении молодых звездных группировок вдоль спиральных рукавов галактик, впервые открытая в 1983 г. Брюсом и Деброй Элмегринами, считалась достаточно редким явлением. Исследования последних лет пространственной закономерности в распределении молодого звездного населения вдоль рукавов спиральных галактик NGC 628, NGC 895, NGC 5474, NGC 6946, M100 и вдоль колец спиральной галактики NGC 6217 и линзовидной галактики NGC 4324 показали, что пространственная (квази)регулярность в распределении молодого звездного населения или/и наличие регулярных цепочек областей звездообразования является достаточно распространенным явлением. Характерная шкала регулярности во всех галактиках равна 350–500 пк или кратна ей. Необходимо отметить, что теоретические модели предсказывают шкалу неустойчивости звездно-газового диска порядка нескольких кпк, что в несколько раз больше наблюдаемого [10].

И.В. Петрашкевич (УрФУ) обсуждал в своем докладе фракционирование дейтерия в области маломассивного звездообразования L1688. Авторы изучали фракционирование дейтерия в холод-

ных плотных (дозвездных) ядрах в области мало-массивного звездообразования L1688 в молекулярном облаке Змееносца. Изучение дозвездных ядер, первой стадии образования звезд, важно для понимания начальных условий этого процесса. Для дозвездных ядер характерны высокая плотность ($>10^5 \text{ см}^{-3}$), низкая температура газа и пыли ($<10 \text{ K}$), дозвуковая дисперсия скорости частиц газа и, благодаря таким физическим условиям, фракционирование дейтерия. Для исследования авторы построили наблюдательные карты четырех дозвездных ядер в линиях трассеров газа разной плотности: HCO^+ и DCO^+ (трассеры оболочки ядра) и N_2D^+ и N_2H^+ , NH_2D и NH_3 (трассеры центральных областей ядер). Авторы построили карты лучевых концентраций и доли дейтерия для пар этих соединений. И согласно пространственному распределению, и согласно значению доли дейтерия разных трассеров видно, что доля дейтерия увеличивается с плотностью ядра, от оболочки к центру.

К.И. Смирнова (УрФУ) представила результаты исследования молекулярного и атомарного газа в комплексах звездообразования галактик. Звездообразование (ЗО) является одним из основных процессов во Вселенной. Звезды формируются в областях, имеющих большую плотность межзвездного вещества, поэтому ЗО протекает по-разному в галактиках различного морфологического типа. Исследования процесса ЗО в галактиках основаны на наблюдениях различных индикаторов плотного газа и УФ-излучения, связанных с молодыми звездами. Особое место в этих исследованиях занимает соотношение между атомарным и молекулярным газом, которое считается мерой эффективности звездообразования. В данной работе авторы использовали наблюдения эмиссии CO и H I в комплексах звездообразования (КЗО) в галактиках различных морфологических типов и сравнили с излучением пыли в различных диапазонах. Из анализа полученных отношений был сделан вывод, что рассматриваемые КЗО делятся на две группы, различающиеся по своему пространственному распределению: КЗО из первой группы, в основном, расположены в центре галактики, а КЗО из второй группы — во внешнем диске [11].

Темой доклада Т.Ю. Магакяна (БАО НАН РА) являлись новые потоки и объекты Хербига-Аро вблизи ИК-источников в темных облаках. В ходе проводимого в БАО на 1-м телескопе Шмидта узкополосного обзора темных облаков для поиска новых объектов Хербига-Аро (BNBIS) обнаружено большое количество ранее неизвестных НН-объектов и коллимированных истечений. В данном докладе представлены новые оптические потоки, обнаруженные вблизи молодых ИК-источников, часть из которых не наблюдается в опти-

ческом диапазоне. Размеры потоков — от сотых долей пк до 1 пк, болометрическая светимость от 0.6 до $16 L_\odot$. Оценены расстояния до источников, составившие от 240 до 1200 пк. Поскольку потоки Хербига-Аро являются индикаторами активного звездообразования, эти данные позволили выявить ранее неизвестные, в том числе изолированные, области звездообразования.

Доклад Т.А. Мовсисяна (БАО НАН РА) был посвящен детальному кинематическому исследованию коллимированного истечения от PV Сер. Были приведены результаты наблюдений молодой эруптивной звезды PV Сер, полученных на 6-м телескопе CAO РАН, с помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо. Наблюдения были проведены в две эпохи, что позволило измерить собственные движения кинематически выделенных структур в истечении и получить пространственную скорость сгустков, а также угол потока относительно луча зрения. При сравнении изображений, полученных с интервалом в 17 лет, был обнаружен новый НН сгусток на расстоянии около $4''$ к северу от источника. Был оценен кинематический возраст этого сгустка, который в точности совпадает со временем вспышки PV Сер 2002–2004 гг., что является практически первым наблюдательным подтверждением гипотезы образования узлов при эпизодических эрупциях. Угол коллимации истечения оказался очень широким, особенно нужно отметить огромный дугообразный ударный фронт на расстоянии около одной угловой минуты от источника.

5. ГАЛАКТИКИ

Доклад Ю.А. Абдурасулова (АИ АН РУз) был посвящен анализу данных наблюдений cD-галактик. С целью изучения физики cD-галактик, наблюдаемых в центрах богатых скоплений галактик, авторами были собраны данные их наблюдений и создан каталог, состоящий из 660 объектов. Проведен статистический анализ данного каталога. В частности, построены необходимые гистограммы физических параметров cD-галактик и графики взаимосвязи их характеристик. Анализ полученных результатов показывает, что cD-галактики, в основном, являются эллиптическими, но также они могут быть линзовидными и спиральными галактиками. Найдены эмпирические зависимости, в частности, зависимость их возраста от соответствующего значения красного смещения, а также построены необходимые гистограммы.

Темой доклада А.В. Моисеева (CAO РАН) был ионизованный газ вокруг активных галактик в наблюдениях 2.5-м и 6-м телескопов (к 75-летию В.Л. Афанасьева). Наряду с релятивистскими джетами, ионизационные конусы являются од-

ним из наиболее крупномасштабных примеров воздействия активных галактических ядер на окружающую газовую среду как в самих галактиках, так и за их пределами. Исследование конусов ионизации позволяет не только тестировать предсказания унифицированной схемы активности галактического ядра и вносить ограничения на его параметры, но и изучить газовое окружение галактики и проследить как светимость ядра менялась со временем. Изучение кинематики и ионизационного состояния газа в дисках активных галактик было начато на 6-м телескопе САО РАН В.Л. Афанасьевым, одним из первых в мире он начал использовать для этого методы 3D-спектроскопии. В докладе был представлен обзор как ранних работ по данной теме, так и новых результатов, полученных на 6-м телескопе с приборами SCORPIO/SCORPIO-2 и на 2.5-м телескопе ГАИШ МГУ с прибором MaNGaL.

Ф.У. Ботиров (НУУз) обсуждал зависимости характеристик балджей от массы центральной черной дыры и теоретические аспекты их происхождения. Изучение зависимости между массой сверхмассивных черных дыр в центре спиральных галактик и характеристиками их балджей может помочь в проблемах происхождения и эволюции этих галактик. С этой точки зрения данное исследование является одним из наиболее важных и актуальных вопросов галактической астрономии и космогонии со времени открытия сверхмассивных черных дыр. С другой стороны, изучение этих зависимостей также может быть полезным инструментом для определения массы центральной черной дыры в других спиральных галактиках. Авторы пересматривают и исследуют эмпирические отношения между массами центральной черной дыры и звездными массами балджа, дисперсией скоростей и светимостью балджа. Для этого авторы создали выборку из спиральных галактик с классическими, дискообразными, арахисоподобными и ячикообразными типами балджей [12].

Доклад И.С. Герасимова (ГАИШ МГУ) посвящался кинематике ионизованного газа в карликовой галактике Sextans A. Ветер массивных звезд и сверхновые оказывают существенное влияние на структуру, кинематику межзвездной среды и распространение звездообразования в галактиках. Этот процесс (так называемый “фидбэк”) является важным ингредиентом в космологических симуляциях, однако понимание его механизмов в условиях низкой металличности все еще ограничено. Авторы исследовали области звездообразования в близкой ($D \approx 1.3$ Мпк) экстремально низкометаллической ($Z \approx 0.07 Z_{\odot}$) галактике Sextans A с целью выявить и проанализировать признаки влияния фидбэка от массивных звезд на кинематику ионизованного газа. Анализ ос-

нован на наблюдениях с интерферометром Фабри-Перо с высоким спектральным разрешением ($R \approx 16000$), длиннощелевой спектроскопии и изображениях в эмиссионных линиях, полученных на 6-м телескопе БТА САО РАН и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ. Авторы обнаружили 10 молодых (≈ 1 млн. лет) газовых оболочек, расширяющихся под действием фидбэка от массивных звезд. В двух регионах идентифицированы явные признаки истечения ионизованного газа из H II областей. В целом кинематика ионизованного газа в Sextans A сильно возмущена фидбэком от нескольких поколений массивных звезд и существенно отклоняется от кругового вращения, наблюдающегося в атомарном газе.

Д.А. Грачев (НИУ ВШЭ) представил результаты численного моделирования статистических моментов и корреляторов магнитного поля в некоторых задачах галактического динамо со случайными коэффициентами. Как правило, эволюция крупномасштабных магнитных полей в галактиках описывается при помощи уравнений динамо с детерминированными параметрами, характеризующими усредненные свойства межзвездной среды. Подобный подход представляется вполне разумным в случае “спокойных” галактик, однако он вряд ли оправдан по отношению к объектам, в которых происходят бурные процессы, связанные с массовым появлением горячих областей ионизованного водорода (звездообразование, взрывы сверхновых и т.д.). В работе авторы представили результаты численного моделирования основных статистических характеристик магнитных полей, полученных для некоторых стохастических моделей галактического динамо. В частности, впервые рассмотрен случай, когда и коэффициент турбулентной диффузии, и коэффициент, отвечающий за альфа-эффект, являются случайными параметрами.

К.Т. Миртаджиева (АИ АН РУз) посвятила доклад сравнению неустойчивостей кольцеобразных возмущений на фоне пульсирующих 2-х и 3-х-мерных самогравитирующих моделей. Легко представить себе формирование кольцеобразных структур в дискообразных системах. Интересно выяснить, могут ли формироваться кольцеобразные галактики при неустойчивости сферического коллапса? По этой причине авторы изучают проблему гравитационной неустойчивости кольцеобразных мод возмущений на фоне 2-х и 3-х-мерных нелинейно нестационарных самогравитирующих моделей. Авторами получены нестационарные аналоги дисперсионных уравнений для рассматриваемых мод возмущений в рамках двух моделей. Построены критические диаграммы начального вириального отношения от параметра вращения моделей для каждого случая. Выполнен также сравнительный

анализ инкрементов гравитационной неустойчивости кольцеобразных мод возмущений на фоне исследуемых сферической и дисковой моделей. Анализ полученных результатов показывает, что кольцеобразные моды возмущений являются более неустойчивыми преимущественно в нестационарном диске Маклорена по сравнению с неустойчивостями в сферической неравновесной модели независимо от значений параметров вращения и начального вириального отношения систем [13].

Галактические циррусы в SDSS Stripe 82 обсуждались в докладе А.А. Смирнова (ГАО РАН). Галактические циррусы часто затрудняют исследование слабых объектов как в нашей Галактике, так и структур низкой поверхностной яркости за ее пределами. В представленной работе проводилось исследование цветов отдельных циррусных филаментов, наблюдаемых в полосе SDSS Stripe 82. Сами филаменты идентифицировались и вручную, и методами машинного обучения по всем полям Stripe 82. Важным результатом работы является то, что методы машинного обучения позволяют находить циррусы с точностью, сопоставимой с точностью выделения облаков вручную. Фотометрический анализ отдельных волокон показывает, что, как правило, для ярких филаментов с поверхностной яркостью меньше 26^m с квадратной секунды в полосе r ошибка определения цветов в среднем меньше 0.05^m . При этом большинство филаментов имеют следующие цвета: $0.55 < g - r < 0.73$ и $0.01 < r - i < 0.33$. Данная работа обеспечивает полезную основу для будущих исследований объектов низкой поверхностной яркости (циррусов, приливных хвостов, звездных потоков и т. д.) в глубоких обзорах.

Доклад Д.А. Грачева (Физический факультет МГУ) был посвящен магнитным полям со случайными начальными условиями в дисках с кеплеровской кривой вращения. Магнитные поля большого количества объектов описываются с помощью механизма динамо. Соответствующие уравнения теории динамо в трехмерном случае оказываются достаточно сложными для решения, поэтому получили широкое распространение двумерные модели. В случае галактических и аккреционных дисков удобно использовать планарное приближение. Отдельного внимания заслуживают начальные условия для магнитного поля. В работе был изучен вопрос о генерации магнитного поля в случае кеплеровской кривой вращения, в наибольшей степени соответствующей аккреционным дискам. В рамках простых модельных предположений изучен процесс эволюции поля в тонком диске при довольно резком изменении скорости вращения [14].

6. ДИНАМИКА ГРАВИТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Г.Н. Дремова (РФЯЦ ВНИИТФ) обсуждала в своем докладе частоту приливных разрушений звезд в поле сверхмассивной черной дыры. Сегодня хорошо известно, что в ядре каждой галактики есть сверхмассивная черная дыра (СМЧД), активно контролирующая свою окрестность. Это подтверждают наблюдательные корреляции скорости звездообразования и темпа газовой аккреции. Одной из причин их общей активизации являются приливные разрывы звезд. Оценка их частоты осложнена эффектами наблюдательной селекции, большим разбросом в энергетике разрушений звезд и рядом неопределенностей, требующих знания плотности звездного окружения СМЧД и распределения их орбит по угловым моментам. Представляет интерес оценить частоту приливного разрушения звезд в двух режимах взаимодействия СМЧД: стационарном (со звездами балджа) и хаотическом (при столкновении звезд сливающихся галактик). Делается акцент на побочный продукт приливного разрушения звезд — сверхскоростные свободные планеты, воспроизводимые в модельных экспериментах.

Ж.М. Ганиев (НУУз) в своем докладе провел анализ спиралевидных возмущений на фоне пульсирующей модели самогравитирующего диска. Хорошо известно, что теория спиральной структуры галактик в исходном состоянии рассматривает равновесную дискообразную модель. Однако в реальности спиральное возмущение должно развиваться на фоне нестационарной модели. Поэтому в данной работе выполнено исследование спиралевидных возмущений на фоне нелинейно пульсирующей модели. Авторами получено соответствующее нестационарное дисперсионное уравнение (НДУ) для случая $m = 2$ и произвольного радиального волнового числа N . Однако трудно найти асимптотику данного НДУ в случае, когда N стремится к бесконечности. Поэтому авторы поэтапно увеличивали значение N , рассматривая физику конкретных случаев. Были построены критические диаграммы зависимости “вириальный параметр—степень вращения” для случаев $N = 10, 20$ и 30 . Неустойчивость для моды колебания $m = 2$; $N = 10$ начинается со значения вириального параметра $(2T/|U|)_0 \approx 0.217$ и доходит до 0.413 . Между значениями $(2T/|U|)_0 \approx 0.2174$ – 0.2178 имеется очень узкая область устойчивости, а между значениями $(2T/|U|)_0 \approx 0.2379$ – 0.2312 и $(2T/|U|)_0 \approx 0.375$ – 0.397 наблюдается заметный остров устойчивости. С ростом значения параметра вращения область неустойчивости явно растет. Неустойчивость для моды колебания $m = 2$; N начинается со значения вириального параметра $(2T/|U|)_0 \approx 0.128$ и дохо-

дит до 0.146, и в этом случае не наблюдается остров неустойчивости.

Доклад С.Н. Нуритдинова (НУУз) посвящался неустойчивости лопсайдального возмущения на фоне пульсирующего самогравитирующего диска с анизотропной диаграммой скоростей. Наземные и космические наблюдения показывают, что ядра многих дискообразных галактик являются явно смещенными от их геометрического центра. Этот факт подтверждают также изофоты плотности и кривые вращения на двух противоположных сторонах галактик. Данное лопсайдальное явление связано, в частности, с неустойчивостью моды возмущения с азимутальным волновым числом $m = 1$, а при этом радиальное волновое число $N = 3$. Ранее данная неустойчивость рассматривалась многими авторами на примере отдельных равновесных моделей. Однако в реальности формирование самого явления может происходить только на фоне нестационарных глобальных процессов. Поэтому в данной работе авторами построена пульсирующая самогравитирующая дискообразная модель с анизотропной диаграммой скоростей. На фоне этой нелинейной модели авторами изучены отдельные моды возмущения с $m = 1$. Построены соответствующие критические диаграммы зависимости вириального отношения от параметра вращения, а также графики для инкремента неустойчивости в зависимости от этих двух параметров нестационарной модели.

К.А. Маннапова (НУУз) доложила о результатах исследования эффекта гало в эволюции нестационарного диска спиральных галактик. Авторы рассматривали проблему эволюции дисковой подсистемы галактик с учетом гало. Глобальная структура диска галактик сильно зависит от массы и формы гало. С этой целью авторами была изучена численными методами эволюция нерадиальных колебаний нестационарного диска, который окружен пассивным эллипсоидальным гало с однородной плотностью. Получена система уравнений эволюции самогравитирующего диска с учетом гало в виде матричных дифференциальных уравнений и разработан метод их численного анализа. Численные расчеты проводились для различных значений параметров системы, такие как начальное возмущение, круговая скорость вращения диска и отношение массы гало к массе диска, были найдены временные зависимости большой и малой полуосей диска. Определены критические значения параметров системы, при которых гало стабилизирует нелинейно нерадиальные колебания дисковой подсистемы галактик на ранней стадии их эволюции [15].

В докладе Ф.Т. Шамшиева (НУУз) обсуждались случаи дальнейшей интегрируемости уравнения движения при наличии локального

интеграла движения в пространственной модели. Локальный интеграл, позволяющий сразу определять поле скоростей для некоторых конкретных начальных условий, был изучен авторами ранее. В данной работе авторы рассматривали случаи, когда интегрируемость траектории можно продвинуть дальше. Авторы получили аналитическую связь между x, y, z, t данной траектории, классифицировали возможные случаи и проанализировали один из них.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлен аналитический обзор современного состояния проблем звездной астрономии. Эта статья является очередным аналитическим обзором современных задач, стоящих перед звездной астрономией (предыдущие обзоры были опубликованы в [16–23]). Настоящий обзор создан, преимущественно, по материалам докладов, представленных на конференции “Современная звездная астрономия – 2022”, которая проводилась 8–10 ноября 2022 г. в КГО ГАИШ МГУ и была двенадцатой конференцией этого цикла. Предыдущие конференции проводились в ГАИШ МГУ (Москва), ГАО РАН (Санкт-Петербург), ЮФУ (Ростов), КГО ГАИШ МГУ (Кисловодск), УрФУ (Екатеринбург), ИНАСАН (Москва), САО РАН (Нижний Архыз).

Результаты, представленные на конференции, отличались новизной, оригинальностью и актуальностью, а доклады вызвали большой интерес у аудитории, что нашло отражение в большом количестве вопросов, заданных докладчикам, и в бурных дискуссиях в кулуарах. Очевидно, линейка конференций “Современная звездная астрономия” будет продолжена.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта № 075-15-2022-1228 (13.2251.21.0177).

БЛАГОДАРНОСТИ

Организаторы конференции благодарят руководство Кавказской горной обсерватории Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ за теплый прием и хорошие условия для проведения конференции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. S. Avdeeva, S. V. Karpov, and O. Y. Malkov, *Astrophys. Bull.* **78**, 217 (2023).
2. A. S. Avdeeva, S. V. Karpov, and O. Y. Malkov, *Open Astronomy* **32**, 214 (2023).

3. *P. Kaygorodov, N. Skvortsov, D. Kovaleva, and O. Malkov*, *Open Astronomy* **32**, 215 (2023).
4. *D. B. Zeleke, P. V. Pakhomova, S. B. Tessema, S. H. Negu, and O. Y. Malkov*, *Astron. Rep.* **67**, 576 (2023).
5. *D. Chulkov and O. Malkov*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **517**, 2925 (2022).
6. *M. E. Prokhorov, A. I. Zakharov, V. G. Moshkalyov, N. L. Krusanova, V. G. Moshkalyov, and M. S. Tuchin*, *Astron. Rep.* **67**, 565 (2023).
7. *A. S. Rastorguev, M. V. Zabolotskikh, T. G. Sitnik, D. S. Wiebe, A. M. Tatarnikov, A. A. Tatarnikova, A. P. Topchieva, and A. A. Tatarnikov*, *Astrophys. Bull.* **78**, 125 (2023).
8. *A. A. Malofeeva, V. O. Mikhnevich, G. Carraro, and A. F. Seleznev*, *Astron. J.* **165**, 45 (2023).
9. *E. O. Vasiliev, Y. A. Shchekinov, and B. B. Nath*, *Open Astronomy* **32**, 218 (2023).
10. *A. S. Gusev*, *Astron. Rep.* **67**, 458 (2023).
11. *K. I. Smirnova and D. S. Wiebe*, *Open Astronomy* **32**, 219 (2023).
12. *F. U. Botirov, S. N. Nuritdinov, and A. E. Ashurov*, *Astron. Rep.* **67**, 448 (2023).
13. *K. T. Mirtadjieva and S. N. Nuritdinov*, *Astron. Rep.* **67**, 502 (2023).
14. *D. A. Grachev, E. A. Mikhailov, and E. N. Zhikhareva*, *Open Astronomy* **32**, 216 (2023).
15. *K. A. Mannapova and K. T. Mirtadjieva*, *Open Astronomy* **32**, 224 (2023).
16. *O. Y. Malkov and A. S. Rastorguev*, *Open Astronomy* **26**, 62 (2017).
17. *O. Y. Malkov, A. S. Rastorguev, and N. N. Samus'*, in *Modern Star Astronomy. Vol. 1, Astronomy-2018* (XIII Congress of the Intern. Public Organization "Astronomical Society"). Conf. Abstracts (Moscow: IZMIRAN, 2018), p. 8.
18. *O. Y. Malkov, E. V. Polyachenko, A. M. Sobolev, and A. S. Rastorguev*, *Astrophys. Bull.* **74**, 93 (2019).
19. *O. Y. Malkov, E. V. Polyachenko, A. S. Rastorguev, and N. N. Samus'*, *INASAN Sci. Rep.* **5**, 103 (2020).
20. *N. N. Samus', O. Y. Malkov, and E. V. Polyachenko*, *INASAN Sci. Rep.* **5**, 169 (2020).
21. *O. Y. Malkov, E. V. Polyachenko, and N. N. Samus'*, *INASAN Sci. Rep.* **5**, 174 (2020).
22. *E. V. Polyachenko, N. N. Samus', and O. Y. Malkov*, *INASAN Sci. Rep.* **5**, 183 (2020).
23. *O. Y. Malkov and E. V. Polyachenko*, *Astron. Rep.* **66**, 693 (2022).

MODERN STELLAR ASTRONOMY – 2022

O. Yu. Malkov^a, A. O. Zhukov^{a,b}, and O. B. Dluzhnevskaya^a

^a*Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia*

^b*Federal State Budgetary Scientific Institution "Expert and Analytical Center", Moscow, Russia*

We provide an analytic review of problems of the modern stellar astronomy. It mostly based on talks presented at the twelfth annual conference on Modern Stellar Astronomy, held in Caucasian Mountain Observatory of Sternberg Astronomical Institute (Kislovodsk, Russia) in November 2022.

Keywords: stars, stellar clusters and associations, star formation, galaxies, dynamics of gravitating systems