

РАССТОЯНИЕ ДО СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 1672 И ЕЕ ЗВЕЗДНОЕ СТРОЕНИЕ¹

© 2020 г. Н. А. Тихонов^{1*}, О. А. Галазутдинова¹

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167, Россия

Поступила в редакцию 03.02.2020 г.

После доработки 03.07.2020 г.; принята к публикации 23.07.2020 г.

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла проведена звездная фотометрия спиральной сейфертовской галактики NGC 1672, расположенной в группе галактик Dorado (Золотая рыба). Расстояние до этой галактики, измеренное TRGB-методом ($D = 15.8 \pm 0.8$ Мпк), показало, что NGC 1672 действительно входит в группу Dorado. На диаграммах Герцшпрунга–Рассела выделены звезды разного возраста и светимости и изучено их распределение по телу галактики. Интенсивное звездообразование и асимметрия в распределении молодых звезд указывают на взаимодействие NGC 1672 с близкой галактикой NGC 1688, расположенной на расстоянии 200 кпк. Найдено, что в нескольких молодых звездных скоплениях содержатся звезды очень высокой светимости (до $M_I = -11^m$), которые можно определить как массивные гипергиганты.

Ключевые слова: группы галактик, группа NGC 1672, звездная фотометрия галактик: расстояния до галактик, звезды высокой светимости.

DOI: 10.31857/S0320010820090065

ВВЕДЕНИЕ

Яркая спиральная галактика южного неба NGC 1672 изучена достаточно подробно на всех длинах волн от радио до рентгена. Но до сих пор остается открытым вопрос о расстоянии до нее, несмотря на многочисленные измерения. В NED приводятся значения от 9.9 до 14.5 Мпк. Принятие того или иного значения ставит эту галактику либо в состав группы галактик, либо за пределы галактик окружения.

В созвездии Dorado (Золотая рыба) давно известна концентрация галактик с лучевыми скоростями от 700 до 1700 км/с. Среди них Шоббрук (1966) выделил 11 галактик, которые, по его мнению, составляли одну группу, названную им “Dorado”. В 1975 г. Вокулер (1975) из этих галактик выделил группу G16, которая состояла из 5 ярких галактик. В этом же году Сэндидж (1975) опубликовал списки групп галактик, где в группу Dorado включил 12 основных и 6 вероятных членов группы. В дальнейшем группа Dorado несколько

раз изменяла свой состав в зависимости от критериев отбора галактик.

Трудности при составлении списка галактик, входящих в группу Dorado, состояли в том, что галактики были значительно рассеяны по небу, кроме того, ни одна галактика не имела точного измерения расстояния. Имеющиеся в базе данных NED результаты измерений расстояний дают настолько разные значения для отдельных галактик Dorado (NGC 1433 — 8.2–11.6 Мпк, NGC 1533 — 13.4–30.1 Мпк, NGC 1566 — 5.5–18 Мпк), что невозможно на основе этих данных построить пространственную структуру группы. Более надежные значения расстояний можно получить простым делением лучевой скорости на постоянную Хаббла, но при этом не будут учитываться пекулярные скорости галактик, величины которых обычно находятся в интервале от 50 до 150 км/с, но внутри групп и скоплений эти скорости существенно больше из-за близких взаимодействий галактик.

По результатам из базы данных NED, среднее значение расстояния до двух десятков галактик группы Dorado равно 17.2 Мпк. Это ориентировочное значение мы принимаем как расстояние до всей группы Dorado. По мере получения более надежных измерений оно должно быть пересмотрено.

* Электронный адрес: ntik@sao.ru

¹Based on observations with the NASA/ESA Hubble Space Telescope, obtained at the Space Telescope Science Institute, which is operated by AURA, Inc. under contract No. NAS5-26555. These observations are associated with proposal 10354,15654.

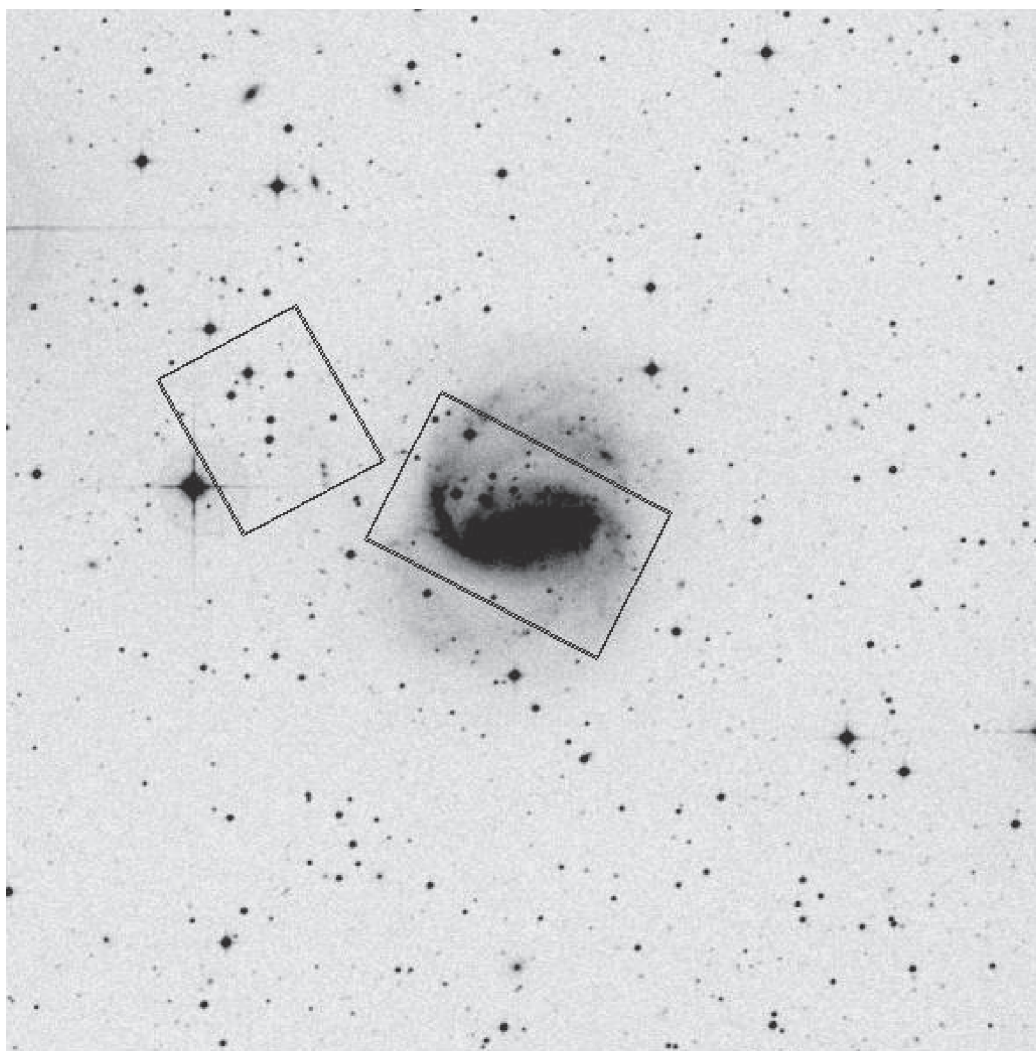


Рис. 1. Изображение NGC 1672 на снимке DSS обзора. Прямоугольниками отмечены поля космического телескопа Хаббла. Размер снимка $20' \times 20'$, север —верху.

ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Спиральная галактика NGC 1672 ((R'-1:)SB(r)bc Sy2 по классификации NED) входит в число самых ярких галактик группы Dorado. Галактика обладает активным ядром (Осмер и др., 1974; Верон-Цетти и др., 1981) и относится к сейфертовским галактикам второго типа. Галактика расположена на периферии группы, поэтому некоторые исследователи не включали ее в группу Dorado, тем более что расстояние до NGC 1672 оценивалось существенно меньше (11.9 Мпк, Талли и др., 2009), чем расстояние до группы Dorado.

Для изучения звездного состава NGC 1672 и определения расстояния до нее мы использовали архивные снимки космического телескопа Хаббла, полученные по заявкам ID10354 и ID15654 с камерами ACS/WFC и WFC3. На рис. 1 представлен DSS (Digitized Sky Survey) снимок галак-

тики NGC 1672 с разметкой положений снимков HST телескопа, а на рис. 2 показан HST снимок NGC 1672 в фильтре F814W (I) с разметкой звездных комплексов, содержащих яркие звезды.

Звездная фотометрия галактики выполнялась двумя пакетами программ: DAOPHOT II (Стетсон, 1987; Стетсон, 1994) и DOLPHOT 2.0². Фотометрия звезд в DAOPHOT II проводилась стандартным образом, как это описано нами ранее (Тихонов и др., 2009), а калибровочные зависимости получены на основе фотометрии звезд с разными светоприемниками и на разных телескопах (Тихонов, Галазутдинова, 2009). Полученные результаты фотометрии звезд прошли селекцию по параметрам “CHI” и “SHARP”, которые определяют форму фотометрического профиля каждой

² <http://americano.dolphin-sim.com/dolphot/dolphot.pdf>

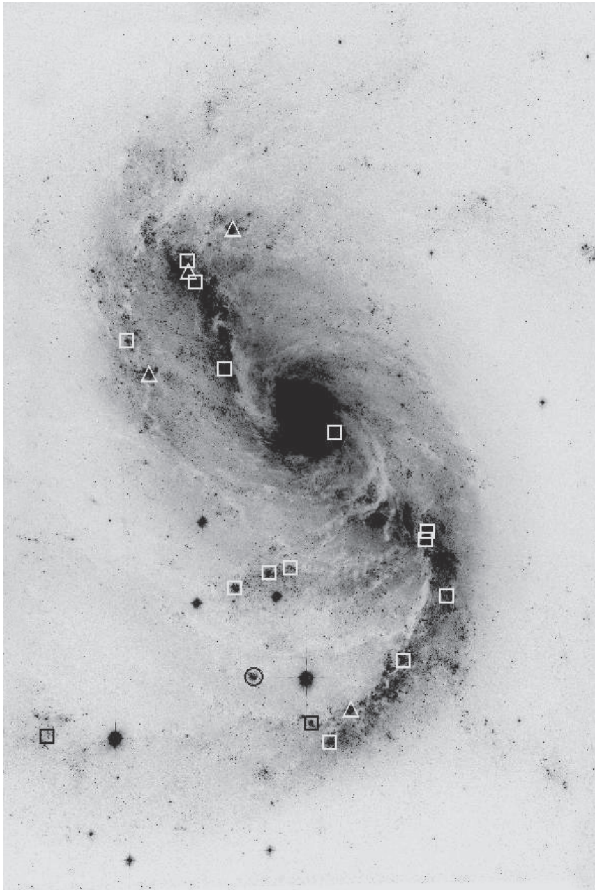


Рис. 2. Снимок HST телескопа NGC 1672 в фильтре F435W (В). Кружком отмечено скопление, изображение которого представлено на рис. 7, а СМ-диаграмма на рис. 8. Треугольниками отмечены скопления с яркими центральными объектами с $N\alpha$ эмиссией. Изображения этих скоплений помещены на рис. 11. Остальные молодые скопления отмечены квадратами.

измеряемой звезды (Стетсон, 1987), что позволило удалить из таблиц фотометрии все диффузные объекты: звездные скопления, далекие или компактные галактики, так как фотометрические профили этих объектов отличались от профилей изолированных звезд, выбранных нами в качестве стандартных.

Пакет DOLPHOT 2.0 использовался в соответствии с рекомендациями Долфина (2016), а процедура фотометрии состояла из предварительного маскирования плохих пикселей, удаления следов космических частиц и дальнейшей PSF-фотометрии найденных звезд в двух фильтрах. Селекция полученного списка звезд по параметрам профиля изображений “CHI” и “SHARP” проводилась так же, как и в DAORHOT II.

Принципы фотометрии программами DOLPHOT и DAORHOT одинаковы, но есть некоторые различия при их использовании. Например, в DAORHOT II в качестве PSF-звезд мы брали одиночные звезды из исследуемых полей, а в

DOLPHOT использовалась библиотека PSF-профилей. Различие результатов работы двух программ заметно при сравнении видимого распределения очень слабых звезд по полю снимка. Из-за неэффективности переноса заряда и существования остаточных следов космических частиц, DOLPHOT показывает избыточное число слабых звезд в центральной области поля, вместо их ровного распределения, а у DAORHOT распределение звезд более близко к реальному. Но в DAORHOT возникает проблема выбора PSF-звезд из-за большой концентрации звезд по телу галактики. Имея в виду плюсы и минусы двух пакетов программ, мы использовали их оба, сравнивая полученные результаты. Оба метода дали сходные результаты и значимых различий между ними не обнаружено.

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ

Полученная при фотометрии звезд диаграмма Герцшпрунга–Рассела (СМ-диаграмма) периферии галактики NGC 1672 представлена на рис. 3а. На диаграмме хорошо видны ветви голубых и красных сверхгигантов. Ветвь красных гигантов на этой диаграмме визуалью не видна из-за большого числа более ярких AGB звезд. После селекции по координатам X и Y , для того чтобы удалить из выборки яркие сверхгиганты областей звездообразования, а также звезды из области, которая засвечена очень яркой звездой, мы получили СМ-диаграмму, на которой видны красные гиганты и AGB-звезды (рис. 3б). Поскольку показатель цвета красных гигантов находится в диапазоне $1.2 < (V - I) < 1.6$, то после селекции по этому параметру мы получили функцию светимости, на которой виден TRGB-скачок при $I = 27^m.02 \pm 0.03$ (рис. 3с), положение которого соответствует началу ветви красных гигантов. Точность измерения TRGB-скачка определяется полушириной пика функции Собея (Мадоре, Фридман, 1995), которая на этой диаграмме показана тонкой линией. Максимумы функции Собея соответствуют резким изменениям численности звезд, что наблюдается на границе ветви красных гигантов.

Вместе с TRGB-скачком мы измерили показатель цвета вершины ветви гигантов $(V - I)_{TRGB} = 1.40$ и показатель цвета ветви гигантов $(V - I)_{-3.5} = 1.32$ на уровне $M_I = -3^m.5$. Используя эти величины в уравнениях Ли и др. (1993), мы определили металличность красных гигантов на периферии NGC 1672 и расстояние до нее: $[Fe/H] = -1.87$, $(m - M) = 30^m.99$, $D = 15.75$ Мпк, с внутренней ± 0.22 Мпк и внешней ± 0.82 Мпк точностью. Внутренняя точность измерения определяется точностью определения положения TRGB-скачка, а внешняя точность является результатом

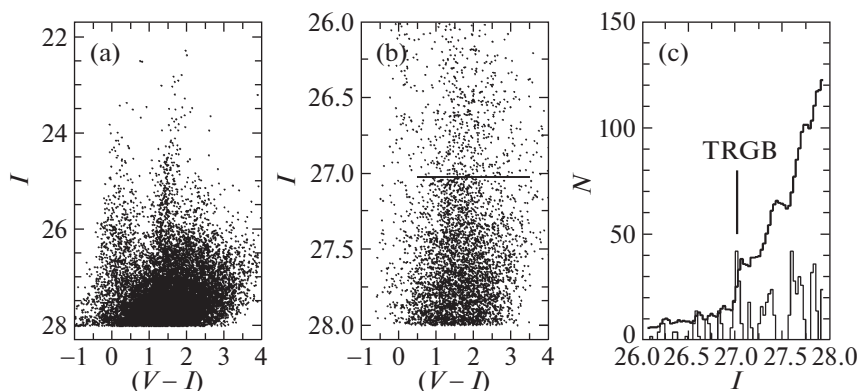


Рис. 3. CM-диаграмма звезд периферии NGC1672 (a) и CM-диаграмма звезд этого же поля (b) после удаления звезд областей звездообразования. Функция светимости красных гигантов и AGB-звезд (c) получена после селекции звезд диаграммы “b” по показателю цвета $(V - I)$. Тонкой линией показана функция Собеля, на которой отмечено положение TRGB-скачка при $I = 27^m.02$.

сложения нескольких возможных источников ошибок измерений. Точность метода Ли и др. (1993) составляет $0^m.1$. Точность определения положения TRGB-скачка принималась нами как полуширина пика функции Собеля и равна $0^m.03$. Средняя точность фотометрии звезды при $I = 27^m.0$ равна $0^m.10$, но измерение TRGB-скачка происходит по 10–15 звездам, что уменьшает ошибку измерения TRGB-скачка из-за точности фотометрии звезд до $0^m.03$. Сумма остальных составляющих ошибок измерений не превышает $0^m.02$. При учете всех названных ошибок мы получаем, что суммарная ошибка измерения TRGB-скачка равна $0^m.11$, что соответствует 0.82 Мпк. При измерении расстояния величина поглощения света в направлении на NGC 1672 принималась из работы Шлафли и Финкбайнера (2011): $A_V = 0^m.064$, $A_I = 0^m.035$.

Для звезд основного поля галактики (рис. 1) мы провели аналогичные измерения, однако из-за присутствия в выборке большого числа ярких сверхгигантов и AGB-звезд, TRGB-скачок виден слабо при $I = 26^m.9$. Сдвиг положения TRGB-скачка на $0^m.1$ объясняется влиянием металличности, которая всегда повышается от периферии к центру галактик. Аналогичный эффект был получен нами для центральных областей и периферии звезд галактики M87 (Тихонов и др., 2019). В дальнейшей работе мы используем значение расстояния $D = 15.75$ Мпк, полученное по звездам периферии галактики.

Сравнение полученного расстояния до NGC 1672 и принятого расстояния до группы Dorado показывает, что с учетом точности всех измерений галактика NGC1672 находится на таком же расстоянии, что и большинство галактик Dorado, т.е. входит в состав этой рассеянной группы.

ЗВЕЗДНЫЙ СОСТАВ NGC 1672

На рис. 1 и 2 видно, что форма NGC 1672 асимметрична. Вероятной причиной этой асимметрии могло быть взаимодействие с соседней галактикой. Возможно также близкое взаимодействие с карликовой галактикой, к настоящему времени слившейся с NGC 1672. Но более вероятным является предположение, что взаимодействующим объектом была маломассивная спиральная галактика NGC 1688. Лучевая скорость NGC 1672 — 1331 км/с, а NGC 1688 — 1228 км/с (NED), т.е. сходство лучевых скоростей подтверждает возможную пространственную близость этих галактик. Угловое расстояние между NGC 1672 и NGC 1688 равно $39'$, что соответствует 200 кпк при равенстве расстояний до обеих галактик. По NED расстояние до NGC1688 заключено в диапазоне от 10.5 до 18.9 Мпк, что соответствует расстоянию до NGC 1672. Кроме того, у NGC1688 также видна асимметрия спиральных ветвей (рис. 4), что подтверждает ее взаимодействие с другой галактикой.

Чтобы убедиться в возможном существовании пары галактик при таком расстоянии между компонентами, обратимся к наиболее подробной и обширной работе по изучению двойных галактик (Караченцев, 1987). Хотя при поиске двойных галактик внимание привлекают близкие пары, тем не менее в каталоге Караченцева (1987) есть несколько пар (12, 24, 128, 465, 530), у которых расстояние между компонентами больше чем 200 кпк, и они имеют нормальное отношение светимости к динамической массе. Таким образом, нет каких-либо причин считать эти пары случайной оптической проекцией. По светимости главной галактики, пара N24 из каталога Караченцева (1987) соответствует NGC 1672, что подтверждает возможность существования физической пары галактик NGC 1672 и NGC 1688.

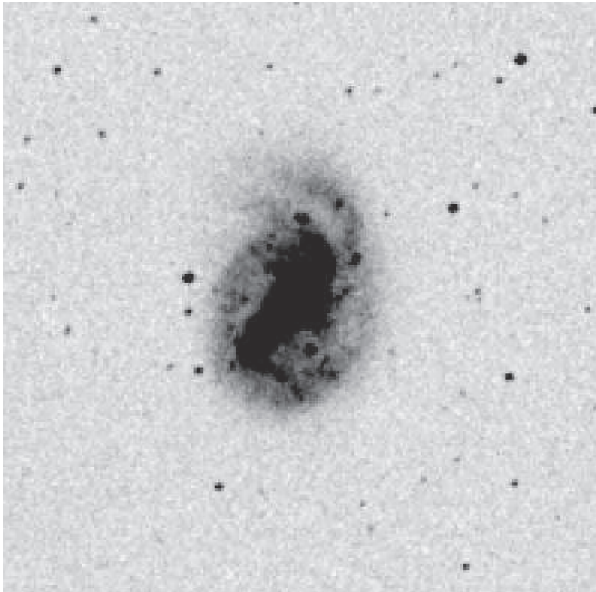


Рис. 4. Изображение NGC 1688 на снимке DSS-обзора. Асимметрия галактики, в виде яркой спиральной ветви, указывает на ее взаимодействие с NGC 1672, находящейся на расстоянии 200 кпк.

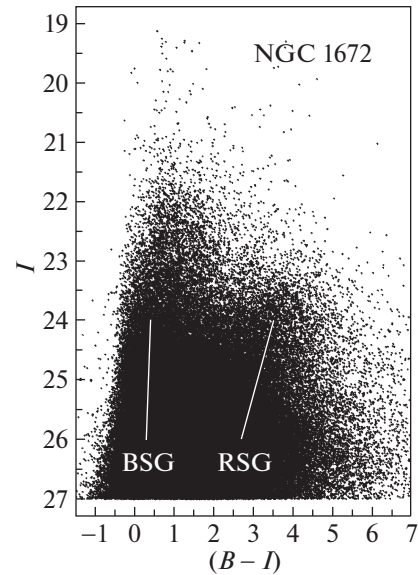


Рис. 5. CM-диаграмма звезд центральных областей галактики NGC 1672. Линиями отмечено положение ветви голубых сверхгигантов (BSG) и красных сверхгигантов (RSG).

Результаты фотометрии звезд центральных областей NGC 1672 приведены в виде CM-диаграммы (рис. 5), на которой линиями отмечены положения ветви голубых сверхгигантов (BSG) и красных сверхгигантов (RSG). Большое количество звезд ($N > 0.3$ млн) затрудняет визуальный анализ их распределения по телу галактики, поэтому была проведена селекция, и были выделены наиболее молодые голубые сверхгиганты с показателем цвета $(B - I) < 1$, а также более старые AGB звезды с показателем цвета $4 < (B - I) < 5$, возраст которых заключен в интервале от нескольких сот миллионов до 2–3 млрд лет. Распределение по телу галактики этих разных по возрасту звезд показано на рис. 6. В распределении молодых звезд (рис. 6а), возраст которых не превышает 100 млн лет, видна значительная асимметрия, что указывает на недавние процессы взаимодействия NGC 1672 с соседней галактикой.

Старые звезды, в противоположность молодым, имеют гладкое и симметричное распределение (рис. 6б). Такое распределение отвергает гипотезу поглощения карликовой галактики, которая могла бы объяснить асимметрию формы NGC 1672 и присутствие в ней многочисленных областей звездообразования. Если после поглощения карликовой галактики не произошло несколько оборотов NGC 1672, чтобы звезды поглощенной галактики равномерно распределились по телу NGC 1672, на что требуется около миллиарда лет, то на теле NGC 1672 была бы видна область с повышенным содержанием малометаллических старых звезд, но

этого не наблюдается. Если же поглощение карлика случилось давно и его звезды равномерно рассеялись по телу NGC 1672, то такое давнее слияние карликовой галактики не могло создать асимметрию молодых областей звездообразования, наблюдаемую в NGC 1672. Таким образом, гладкое распределение старых звезд отвергает гипотезу поглощения карликовой галактики и, кроме того, указывает на слабое взаимодействие с соседней галактикой, что могло произойти только при достаточно больших расстояниях между ними. Галактика NGC 1688 по всем параметрам подходит на роль такого соседа.

Определить давно прошедшие вспышки звездообразования в галактиках можно на основе изучения распределения численности AGB звезд в зависимости от их светимости. Возраст AGB-звезд заключен в интервале от 100 млн до нескольких млрд лет. Чем больше возраст AGB-звезд, тем меньше их светимость, поэтому, используя теоретические изохроны, можно светимость AGB-звезд “привязать” к их возрасту.

При равномерных процессах звездообразования зависимость между светимостью AGB-звезд и их численностью имеет гладкий вид. Если в галактике произошла вспышка звездообразования, то первоначально в этой области будет наблюдаться повышенное число голубых сверхгигантов. Через несколько десятков миллионов лет здесь будет повышенное число красных сверхгигантов, а через сотни миллионов лет — повышенное число AGB-звезд определенной светимости, которая соответ-

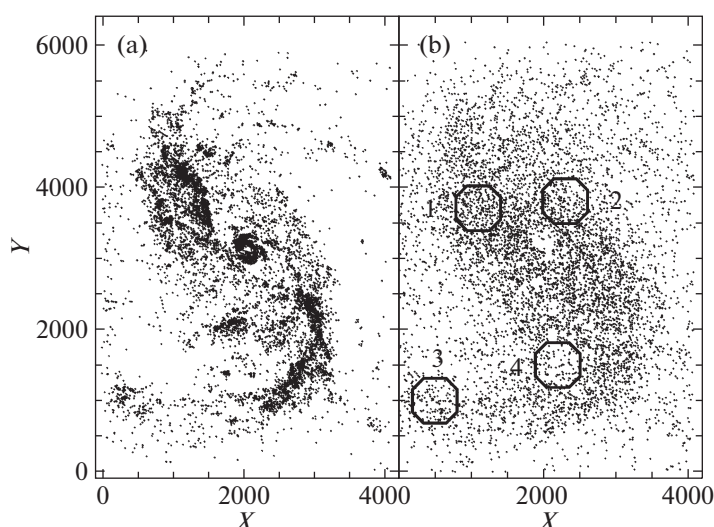


Рис. 6. Распределение молодых и старых звезд по телу галактики NGC1672. Асимметричное распределение молодых звезд объясняется взаимодействием NGC 1672 с соседней галактикой NGC 1688. На распределении старых звезд кружками отмечены поля, в которых изучались AGB-звезды для выявления прошедших вспышек звездообразования.

стует возрасту этих AGB-звезд. При увеличении возраста увеличивается и размер области, занятой звездами из бывшей области звездообразования, и в конечном этапе все звезды рассеиваются по телу галактики. Указанный метод мы использовали ранее, когда установили одновременность процессов звездообразования у двух взаимодействующих галактик — NGC 672 и IC 1727 (Тихонов и др., 2014).

Для изучения функций светимости AGB-звезд мы выбрали в NGC 1672 четыре поля (рис. 6). Поля 1, 2, 4 расположены в центральных областях галактики, но в местах с разной концентрацией молодых звезд. Поле 3 находится далеко от центра галактики, на конце яркой спиральной ветви. Функции светимости AGB-звезд всех полей представлены на рис. 7. На этих диаграммах можно отметить, что в полях 1, 2, 4 при $I = 25^m8 \pm 0.1$ видны пики в численности AGB звезд. Используя изохроны Бертелли и др. (1994), мы нашли, что этим пикам соответствует возраст вспышки звездообразования $t = 260$ млн лет, при металличности AGB-звезд равной металличности Солнца. В поле 3 распределение AGB-звезд соответствует равномерному темпу звездообразования. Небольшие отклонения находятся в пределах статистических ошибок. Полученные результаты указывают, что 260 млн лет назад в центральных областях галактики NGC 1672 произошла сильная вспышка звездообразования. Если это влияние NGC 1688, то влияние дальше, поскольку за этот интервал времени NGC 1688 не могла удалиться на современное значение 200 кпк после близкого прохождения около NGC 1672.

В галактике NGC 1672 видны многочисленные звездные скопления и более протяженные области звездообразования разного возраста. На изображении, полученном делением двух снимков в фильтрах F658N ($H\alpha$) и F814W (I), вокруг молодых скоплений видны кольцевые газовые оболочки, не

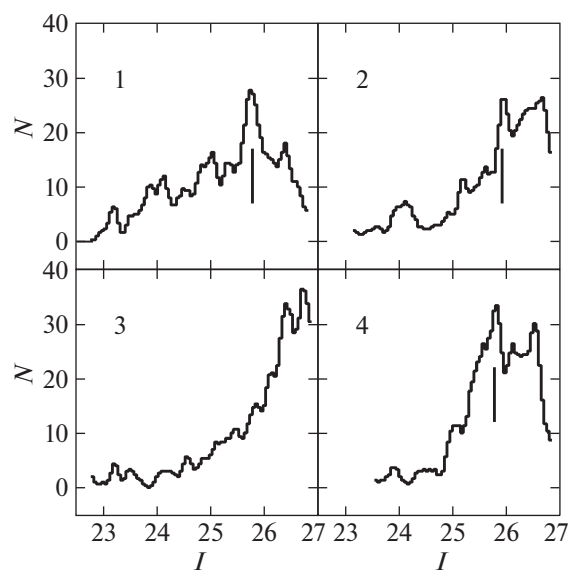


Рис. 7. Функции светимости AGB-звезд четырех областей, отмеченных на рис. 6. На периферии галактики (поле 4) процессы звездообразования протекали равномерно и функция светимости имеет гладкую форму. В центральных областях галактики (поля 1, 2, 4) примерно 250–300 млн лет назад произошла вспышка звездообразования, на что указывают пики функций светимости этих областей при $I = 25^m8 - 25^m9$.

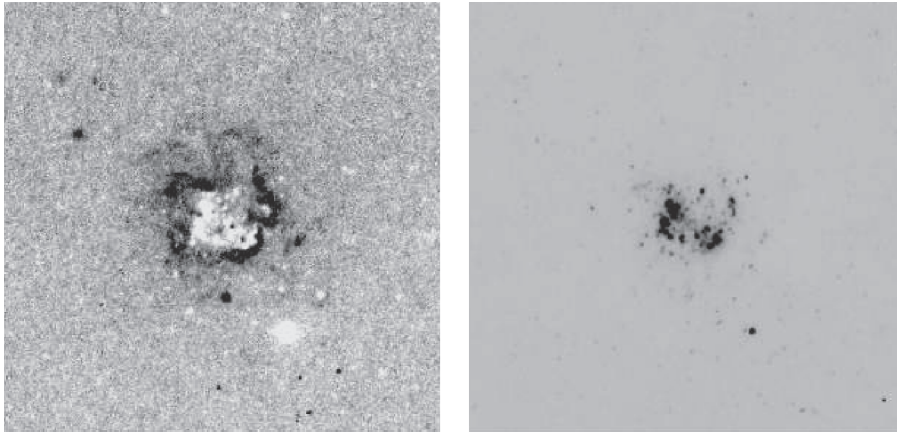


Рис. 8. Вид молодого скопления, отмеченного кружком на рис. 2, на снимках HST телескопа в фильтрах F814W/F658N и F435W. Вокруг скопления видная газовая оболочка, а само скопление содержит звезды светимостью $M_I = -10^m$.

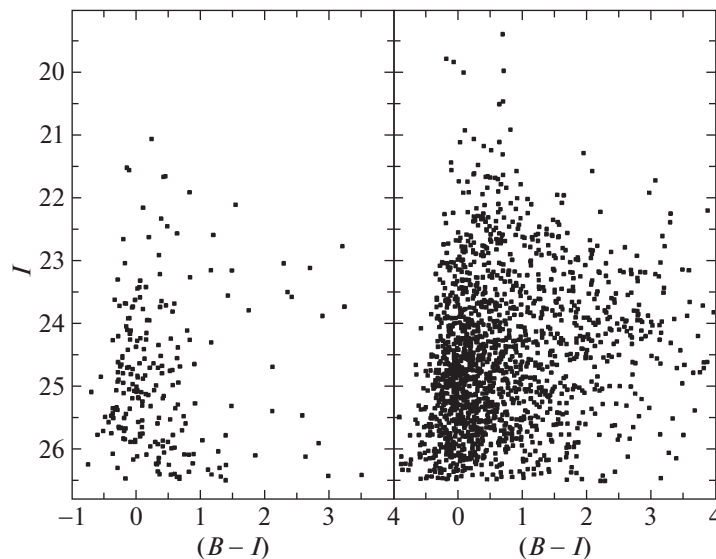


Рис. 9. CM-диаграмма звезд скопления, показанного на рис. 8 и отмеченного кружком на рис. 2, а также общая CM-диаграмма молодых звездных скоплений. Яркость некоторых звезд доходит до $I = 20^m - 21^m$, что с учетом расстояния означает, что это яркие гипергиганты со светимостью M_I от -10^m до -11^m .

успевшие рассеяться в пространстве. На рис. 8 представлено одно из ярких молодых скоплений вблизи восточной спиральной ветви галактики, а на рис. 9 показана CM-диаграмма этого скопления. Анализ видимого распределения звезд полученной CM-диаграммы показывает, что в центре скопления находятся более старые звезды, переходящие в стадию красного сверхгиганта, а на краях скопления расположены более яркие голубые гипергиганты, чья светимость доходит до $M_I = -10$. По морфологии это скопление похоже на скопление R136 из Большого Магелланова облака.

В центре некоторых скоплений видны очень яркие голубые звездообразные объекты, однако

на основе имеющихся данных невозможно установить, являются ли они звездами или компактными скоплениями. Общая CM-диаграмма 20 молодых скоплений показана на рис. 9. На диаграмме видно, что самые яркие звезды имеют блеск $I = 20^m - 21^m$, что соответствует их абсолютной звездной величине M_I от -10^m до -11^m . Возможно, что часть этих объектов могут оказаться компактными звездными группами, которые даже на снимках HST выглядят как одиночные звезды. Для поиска ярких массивных звезд можно использовать имеющиеся снимки в линии $H\alpha$. У массивных гипергигантов из-за их нестабильного состояния происходит непрерывное истечение ве-

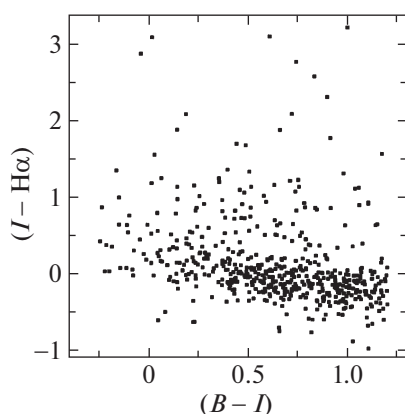


Рис. 10. Диаграмма $(B - I) - (I - H\alpha)$ для ярких звезд ($20^m < I < 23^m$) NGC 1672. Звезды без эмиссии в $H\alpha$ занимают полосу при $(B - I) < 0$. Выше этой полосы располагаются звезды с $H\alpha$ эмиссией разной интенсивности.

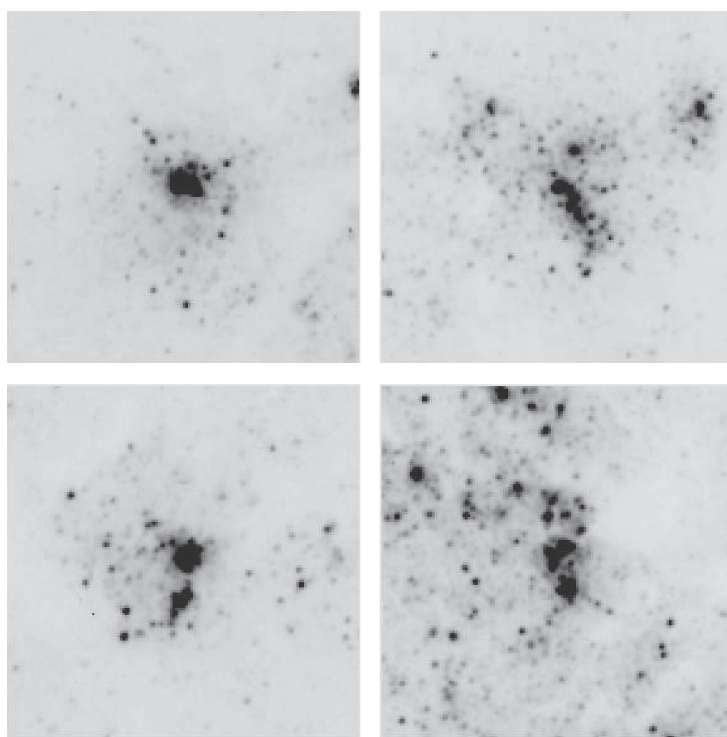


Рис. 11. Яркие звездообразные объекты с избытком излучения в линии $H\alpha$, выбранные на основе диаграммы рис. 10, оказались центральными объектами молодых звездных скоплений. Данные объекты могут быть яркими массивными звездами или компактными группами молодых звезд.

щества, в результате которого вокруг звезд образуются газовые оболочки и облака, а в спектрах таких звезд наблюдается яркая эмиссионная линия $H\alpha$, наличие которой позволяет выделить такие звезды среди других звезд.

На рис. 10 показана диаграмма $(B - I) - (I - H\alpha)$ ярких звезд ($I < 23$) NGC 1672. Звезды с нормальными спектрами занимают полосу при $(I - H\alpha) = 0$, а звезды с эмиссией в линии $H\alpha$ расположены выше. Чем больше показатель $(I - H\alpha)$,

тем более сильная эмиссионная линия присутствует в спектре звезды. На основе представленной диаграммы мы выделили четыре наиболее ярких объекта с повышенным значением показателя $(I - H\alpha)$. Все объекты оказались в центре очень молодых звездных скоплений (рис. 11). Являются ли указанные объекты массивными звездами или группами звезд, можно установить на основе спектральных наблюдений, которые пока не получены. Положения объектов 1 и 4 на рис. 11 совпадают

с положениями ULXs (ультраярких рентгеновских источников) (Дженкинс и др., 2011), что подтверждает возможную природу этих объектов как массивных звезд.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На основе архивных снимков HST телескопа проведена звездная фотометрия спиральной сейфертовской галактики NGC 1672. Получено распределение молодых и старых звезд по телу галактики, и на этой основе сделан вывод о недавнем взаимодействии NGC 1672 с соседней галактикой, по всей видимости с NGC 1688. Впервые измерено точное расстояние до NGC 1672 ($D = 15.8 \pm \pm 0.8$ Мпк), полученное при определении границы ветви красных гигантов (TRGB-метод). Найденное расстояние дает возможность уточнить светимость сейфертовского ядра галактики, а также провести поиски молодых массивных звезд. Поскольку кроме высокой светимости в спектрах массивных звезд присутствует эмиссионная линия $H\alpha$, то имеющиеся HST снимки NGC 1672 с фильтром F658N ($H\alpha$) позволяют выделить такие звезды на диаграмме $(B - I) - (I - H\alpha)$. Несколько найденных таким способом объектов оказались центрами молодых звездных скоплений.

Мы представляем точное расстояние до одной галактики NGC 1672, но сделанные нами аналогичные измерения для других, самых ярких галактик группы Dorado: NGC 1433, NGC 1533, NGC 1566 показывают, что расстояния до этих галактик находятся в интервале от 14.2 до 15.9 Мпк (Тихонов, Галазутдинова, 2020). Так как указанные галактики являются самыми массивными членами группы и определяют положение центра масс, то это означает, что вся группа Dorado расположена на 15.0 Мпк, т.е. ближе, чем значение 17.2 Мпк, которое мы приняли в качестве первого приближения.

Работа основана на наблюдениях с космического телескопа Хаббла NASA/ESA, полученных в Научном институте космического телескопа, который управляется AURA, Inc. по контракту № NAS5-26555. Эти наблюдения связаны с заявками 10354 и 15654. В настоящей работе были использованы базы данных NED, HyperLeda.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Национального научного фонда Болгарии в рамках научного проекта № 19-52-18007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бертелли и др. (G. Bertelli, A. Bressan, C. Chiosi, F. Fagotto, and E. Nasi), *Astron. Astrophys.* **106**, 275 (1994).
2. Верон-Цетти и др. (M.P. Veron-Cetty, P. Veron, and E.J. Zuiderwijk), *Astron. Astrophys.* **98**, 34 (1981).
3. Вокулер (G. Vaucouleurs), *Stars and Stellar Systems* **9**, 557 (1975).
4. Дженкинс и др. (L.P. Jenkins, W.N. Brandt, E.J.M. Colbert, B. Koribalski, K.D. Kuntz, A.J. Levan, R. Ojha, T.R. Roberts, M.J. Ward, and A. Zezas), *Astrophys. J.* **734**, 33 (2011).
5. Долфин (A. Dolphin), DOLPHOT: Stellar photometry, Astrophysics Source Code Library ascl:1608.013 (2016).
6. Караченцев (I.D. Karachentsev), *Двойные галактики* (М.: Наука, 1987).
7. Ли и др. (M.G. Lee, W.L. Freedman, and B.F. Madore), *Astrophys. J.* **417**, 553 (1993).
8. Мадоре, Фридман (B. Madore and W. Fridman), *Astron. J.* **109**, 1645 (1995).
9. Осмер и др. (P.S. Osmer, M.G. Smith, and D.W. Weedman), *Astrophys. J.* **192**, 279 (1974).
10. Стетсон (P.B. Stetson), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **99**, 191 (1987).
11. Стетсон (P.B. Stetson), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 250 (1994).
12. Сэндидж (A. Sandage), *Astrophys. J.* **202**, 563 (1975).
13. Талли и др. (R.B. Tully, L. Rizzi, E.J. Shaya, H.M. Courtois, D.I. Makarov, B.A. Jacobs), *Astron. J.* **138**, 323 (2009).
14. Тихонов и др. (N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova, and E.N. Tikhonov), *Astron. Lett.* **35**, 559 (2009).
15. Тихонов, Галазутдинова (N.A. Tikhonov and O.A. Galazutdinova), *Astron. Lett.* **35**, 748 (2009).
16. Тихонов, Галазутдинова (N.A. Tikhonov and O.A. Galazutdinova), *Astrophys. Bull.* (2020), в печати.
17. Тихонов и др. (N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova, and V.S. Lebedev), *Astron. Lett.* **40**, 1 (2014).
18. Тихонов и др. (N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova, and G.M. Karataeva), *Astrophys. Bull.* **74**, 257 (2019).
19. Хухра, Геллер (J.P. Huchra and M.J. Geller), *Astrophys. J.* **257**, 423 (1982).
20. Шоббрук (R.R. Shobbrook), *MNRAS* **131**, 365 (1966).
21. Шлафли, Финкбайнер (E.F. Schlafly and D.P. Finkbeiner), *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).