

УДК 524.7–323.3; 524.74; 524.77

«ПОЛУТЕМНАЯ» КАРЛИКОВАЯ ГАЛАКТИКА СОМА Р НА ПЕРИФЕРИИ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК VIRGO

© 2020 Н. А. Тихонов^{1*}, О. А. Галазутдинова¹, Г. М. Каратаева²¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия²Санкт-Петербургский государственный университет, Старый Петергоф, 198504 Россия

Поступила в редакцию 14 мая 2019 года; после доработки 26 февраля 2020 года; принята к публикации 26 февраля 2020 года

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббл проведена звездная фотометрия карликовой галактики Сомы Р, расположенной вблизи скопления галактик Virgo. Выделение слабосветящихся областей галактики показало, что Сомы Р состоит из двух взаимодействующих карликовых галактик, в одной из которых протекает слабое звездообразование, а вторая галактика имеет очень низкую поверхностную яркость, в ней отсутствует звездообразование и ее можно назвать «темной» галактикой. Расстояние до этой пары галактик, измеренное TRGB-методом ($D = 12.7 \pm 0.9$ Мпк), показало, что Сомы Р находится на периферии скопления галактик Virgo.

Ключевые слова: галактики: скопления: индивидуальные: Virgo — галактики: карликовые — галактики: расстояния и красные смещения

1. ВВЕДЕНИЕ

При наблюдениях на радиотелескопе Аресибо (обзор ALFALFA) Haynes et al. (2011) составили каталог почти 16 000 объектов, для которых были измерены их координаты, потоки в HI, лучевые скорости и ширины линии водорода HI. Кроме того, было проведено отождествление радиоисточников с оптическими объектами по обзору неба SDSS (Sloan Digital Sky Survey Data Release 7). Подавляющее большинство объектов каталога оказалось внегалактическими источниками. Некоторые объекты — вероятные галактики — были видны в радиодиапазоне, но отсутствовали в оптических обзорах неба. Предполагалось, что это так называемые «темные» галактики, т.е. галактики, где звездообразование еще не начиналось, или происходит крайне медленно. Такие галактики должны иметь очень низкую поверхностную яркость, и поэтому будут отсутствовать в оптических обзорах.

Среди «темных» объектов обзора ALFALFA Janowiecki et al. (2015) нашли и подробно исследовали систему из трех объектов, которые располагались на малом угловом расстоянии друг от друга и имели примерно равные скорости. На радиотелескопе WSRT (Westerbork Synthesis Radio Telescope) были получены карты распределения водорода HI в указанных объектах, а на 3.5-м телескопе WIYN были получены глубокие оптические снимки. На этих снимках один из объектов (AGC 229385) системы HI 1232+20 выглядел

как иррегулярная галактика низкой поверхностной яркости, а два других объекта на снимках отсутствовали. На основании оценки лучевой скорости и расположения AGC 229385 вблизи скопления Virgo Janowiecki et al. (2015) оценили расстояние до этой галактики как $D = 25$ Мпк, т.е. дальше самого скопления Virgo.

Спектральное исследование в радиодиапазоне самой яркой галактики (AGC 229385) из системы HI 1232+20 выполнили Ball et al. (2018) на телескопах Westerbork Synthesis Radio Telescope и Karl G. Jansky Very Large Array. Были изучены кинематика и динамика галактики AGC 229385, которая авторами была названа как Сомы Р. В работе Ball et al. (2018) приводится диаграмма Герцшпрунга–Рессела для звезд галактики Сомы Р, полученная Brunker et al. (2017) на основе снимков космического телескопа Хаббл, и указывается расстояние до этой галактики $D = 5.5$ Мпк, измеренное с применением TRGB-метода.

Малое расстояние и большая лучевая скорость ($v_h = 1348 \pm 1$ км с⁻¹) делали эту галактику уникальной из-за аномально большой пекулярной скорости, что вызвало подозрение в правильности измерения расстояния. Anand et al. (2018) провели независимую фотометрию полученных ранее снимков космического телескопа Хаббл и нашли, что галактика расположена на расстоянии 10.9 Мпк, а ее лучевая скорость соответствует скорости падения галактики на скопление Virgo.

Таким образом за короткий интервал времени галактика AGC 229385 (Сомы Р) «успела побы-

*E-mail: ntik@sao.ru

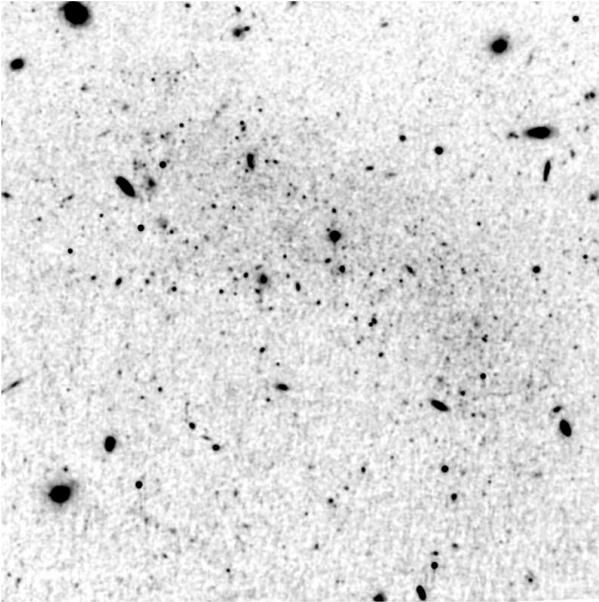


Рис. 1. Основное тело галактики Сомма Р на снимке космического телескопа Хаббл. Для лучшей визуализации размеры изображений звезд увеличены фильтром Гаусса. Размер изображения $1'3 \times 1'3$, север справа.

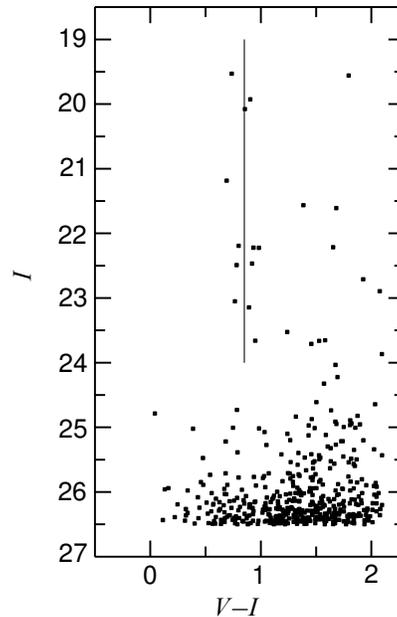


Рис. 2. CM-диаграмма звезд полного поля галактики Сомма Р. Вертикальной линией отмечено положение фоновых звезд нашей Галактики. Возможно, что две ярчайшие звезды галактики Сомма Р могут находиться среди фоновых звезд.

вать» на расстояниях 25, 5.5 и 11 Мпк. Чтобы выяснить причины столь больших различий в измерении расстояния, мы провели независимые измерения этих же архивных снимков. На рис. 1 показано изображение галактики Сомма Р, полученное медианным сложением двух снимков космического телескопа Хаббл с последующим увеличением размеров звезд фильтром Гаусса для лучшей визуализации всех звезд галактики. На снимке Сомма Р выглядит как типичная иррегулярная галактика без областей интенсивного звездообразования.

2. ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Снимки космического телескопа Хаббл были получены по заявке ID 14108 (J. Salzer) с камерой ACS/WFC в фильтрах $F814W$ и $F606W$ с экспозициями 2648 и 2510 с. Звездная фотометрия выполнялась двумя программами: DAOPHOT II (Stetson 1987; 1994) и DOLPHOT 2.0 (Dolphin 2016). Фотометрия звезд в DAOPHOT II проводилась стандартным образом, как это описано нами ранее (Tikhonov et al. 2009), а калибровочные зависимости получены на основе фотометрии звезд с разными светоприемниками и на разных телескопах (Tikhonov and Galazutdinova 2009). Полученные результаты фотометрии звезд прошли селекцию по параметрам «CHI» и «SHARP», которые определяют форму фотометрического профиля каждой измеряемой звезды (Stetson 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, 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 DAOPHOT II.

Полученная диаграмма Герцшпрунга–Рессела (CM-диаграмма) для звезд всего ACS/WFC-снимка представлена на рис. 2. На этой диаграмме при показателе цвета вблизи значения $(V - I) = 0.8$ видна последовательность звезд, которая соответствует положению фоновых звезд, принадлежащих нашей Галактике. В полях галактического диска эта последовательность очень населенная, а в высоких галактических широтах, где находится Сомма Р, она всегда малочисленная.

На CM-диаграмме основного тела галактики Сомма Р (рис. 3) выделяется ветвь звезд, которую можно принять за ветвь красных гигантов, как это сделали Brunker et al. (2017) и Ball et al. (2018). Однако этому предположению противоречит большой показатель цвета звезд: $(V - I)_{\text{TRGB}} = 1.8$,

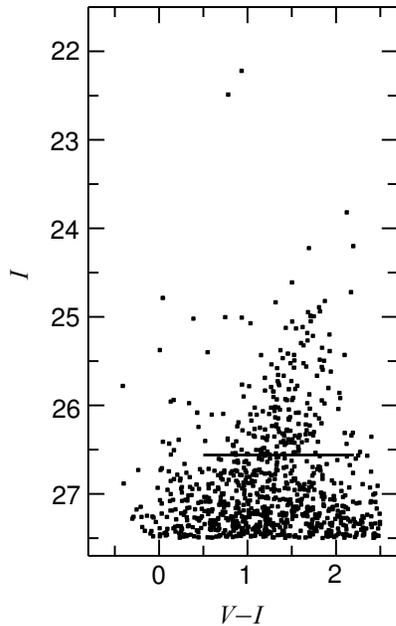


Рис. 3. CM-диаграмма звезд видимого на рис. 1 основного тела галактики Coma P. Горизонтальной линией отмечено положение TRGB-скачка, который хорошо виден на рис. 7, где выборка звезд проводится по периферии галактики, что уменьшает количество AGB-звезд, более ярких, чем красные гиганты.

что приводит при вычислениях к излишне высокой металличности красных гигантов для такой малой по светимости галактики. Кроме того, видимое клочковатое распределение этих звезд по телу галактики не соответствует гладкому и протяженному распределению красных гигантов. Таким образом, на основе изучения морфологии распределения этих звезд и их фотометрии стало понятно, что они не могут быть красными гигантами.

В работе Janowiecki et al. (2015) указывается на голубой цвет галактики. Чтобы выявить области галактики с разными показателями цвета, мы на изображениях с фильтрами $F814W$ и $F606W$ увеличили профили звезд фильтром Гаусса и поделили изображение $F814W$ на $F606W$, усилив при визуализации контраст полученного результата (Рис. 4). На этом рисунке более темные цвета соответствуют более голубым участкам галактики. Основное тело галактики имеет действительно голубой цвет. Совершенно неожиданным оказалось то, что выявилась невидимая до этого форма галактики в виде подковы или даже замкнутого кольца, верхнюю часть которого представляет сама галактика Coma P. Удивительная форма галактики не является следствием процедуры деления изображений, так как аналогичная форма, хотя и с меньшим контрастом, видна на одиночном снимке в фильтре $F606W$.

Выделив на CM-диаграмме область слабых голубых звезд ($-0.5 < (V - I) < 0.4$), мы построили

распределение их численной плотности вдоль оси Y (рис. 5a). На полученной диаграмме хорошо видна форма распределения с двумя максимумами, характерная для оболочек или колец: увеличение численности звезд на границе и падение в центре. Аналогичное распределение показывают и слабые красные звезды, AGB-звезды и красные гиганты ($1.1 < (V - I) < 1.5$) (рис. 5b). Полученные распределения голубых и красных звезд доказывают, что кольцевая структура галактики является реальным образованием. Вероятно, что здесь наблюдается взаимодействие двух карликовых галактик.

При изучении в HI структуры и кинематики галактики Coma P Ball et al. (2018) указали, что простая модель вращающегося диска не объясняет кинематику этой галактики, а лучше подходит модель из двух HI-дисков. Этот вывод хорошо подтверждает наше предположение о двух взаимодействующих галактиках. Тот факт, что вторая галактика не видна ни на радиотелескопе, ни на оптическом снимке телескопа WIYN, можно объяснить недостаточной чувствительностью этих наблюдений. На очень малые массы водорода у второй галактики указывает отсутствие в этой области каких-либо ярких молодых звезд.

3. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ

Интенсивное использование красных гигантов для определения расстояний до галактик TRGB-методом (Tip of the Red Giant Branch) началось после публикации работы Lee et al. (1993). Brunker et al. (2017) и Ball et al. (2018) при определении расстояния до галактики Coma P считали, что хорошо видимая на CM-диаграмме ветвь красных звезд с границей примерно при $I = 24^m5$ является ветвью красных гигантов, на основе чего и появилось значение расстояния $D = 5.5$ Мпк. Anand et al. (2018) считали, что это ветвь AGB-звезд, а не красных гигантов. Указывая на сгущение звезд при $F814W = 26^m12$ как на TRGB-скачок и подтверждая это предположение вписыванием подходящих изохрон в CM-диаграмму звезд Coma P, Anand et al. (2018) получили расстояние $D = 10.9$ Мпк. Однако в указанной работе остались без объяснения вопросы принадлежности к Coma P ярких звезд CM-диаграммы, которые определяли положение изохрон, а также отсутствие функции светимости, где положение TRGB-скачка подтверждало бы правильность измерения расстояния.

Что касается принадлежности к галактике Coma P ярких звезд, отмеченных на CM-диаграмме рис. 2 вертикальной линией, то все 12 ярких звезд не показывают какой-либо концентрации к галактике. В пределах видимого тела галактики расположены только две звезды, которые попадают в области, где, как было указано в

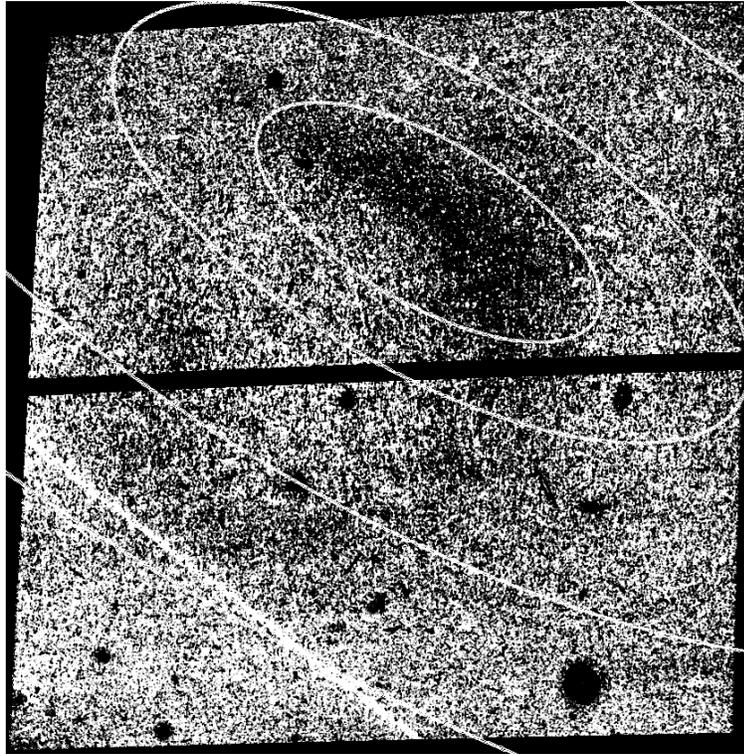


Рис. 4. Результат деления снимка в фильтре $F814W$ на $F606W$ показан с увеличенным контрастом. Более темные области соответствуют более голубому показателю цвета объекта. На этом снимке видимое на рис. 1 тело галактики Сомы Р составляет только верхнюю часть кольцеобразного объекта. Нижняя часть кольца не видна ни на оптических снимках, ни на радиотелескопе. Вписанные эллипсы соответствуют разным участкам функции распределения численной плотности звезд вдоль эллиптического радиуса, как показано на рис. 6.

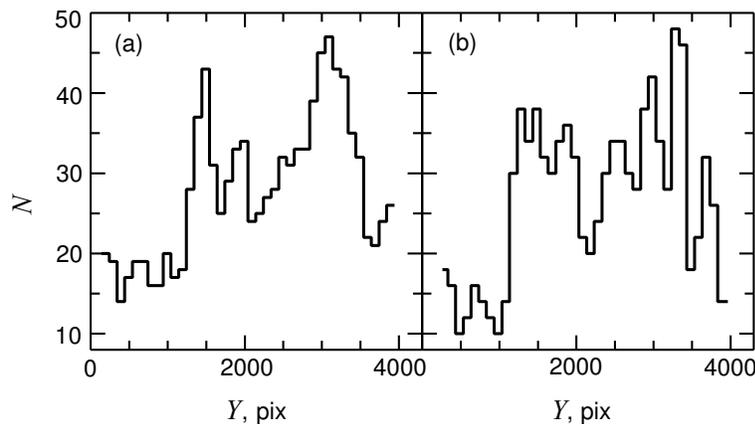


Рис. 5. Распределение численной плотности слабых голубых звезд (а) с показателем цвета $-0.5 < (V - I) < 0.4$ вдоль вертикальной оси Y HST-снимка. Двойной максимум плотности звезд соответствует их кольцеобразному распределению в соответствии с формой объекта на рис. 4. На диаграмме (b) представлено распределение численной плотности красных гигантов и AGB-звезд ($1.1 < (V - I) < 1.5$) также вдоль оси Y . Форма распределения красных звезд подобна форме распределения голубых. Сравнение двух диаграмм показывает преобладание голубых звезд в более ярком фрагменте галактики Сомы Р по сравнению со слабым компаньоном.

работе Ball et al. (2018), концентрируются молодые голубые звезды. Таким образом, из пяти ярких звезд, определяющих в работе Anand et al. (2018) положение изохрон на СМ-диаграмме, только

две звезды могут предположительно считаться принадлежащими галактике Сомы Р. Поскольку галактика Сомы Р занимает на снимке определенную площадь, есть вероятность проекции фоновых

звезд на тело галактики, и поэтому нельзя считать, что две яркие звезды, расположенные в пределах галактики, принадлежат Coma P, принимая за основу их видимое положение. Из этого следует, что нет какого-либо основания считать, что изохроны, вписанные Anand et al. (2018) в CM-диаграмму галактики, правильно описывают ее эволюционное состояние. Поскольку в названной работе функция светимости звезд и положение на ней TRGB-скачка не приводятся, то указанное авторами значение расстояния до галактики Coma P на основе TRGB-метода и положения изохрон является скорее ориентировочной оценкой, а не результатом измерения расстояния.

Чтобы корректно выбрать область галактики для измерения TRGB-скачка, следует определить размеры звездных подсистем галактики и найти границы, где заканчивается звездный диск или гало. Для определения размеров звездного диска и гало мы использовали систему вписанных эллипсов, определяя численную плотность звезд при увеличении размеров эллипсов.

Вся система эллипсов центрировалась на основном тело галактики, а фотометрические параметры выборки звезд, которые мы использовали для вычисления звездной плотности ($1.1 < (V - I) < 1.6$), соответствовали AGB-звездам и красным гигантам. Полученное распределение численной плотности вдоль эллиптического радиуса (REL) показано на рис. 6. На диаграмме видно, что от центра галактики до значения эллиптического радиуса $REL = 400$ пикселей численная плотность звезд резко падает, что соответствует вероятному диску главного компонента Coma P. При увеличении радиуса до $REL = 950$ пикселей падение численной плотности звезд происходит с меньшим градиентом. Этот участок можно отождествить с толстым диском или гало. Резкое падение плотности при $REL = 1000$ пикселей объясняется подходом увеличивающегося радиуса к ближайшей границе снимка, за пределами которой звезды отсутствуют. При дальнейшем увеличении радиуса в выборку начинают попадать звезды нижней части кольца, и при $REL = 1500$ пикселей снова наблюдается увеличение численной плотности. При еще большем увеличении радиус уходит за пределы кольцевой структуры галактики, поэтому при $REL = 2200$ пикселей численная плотность звезд резко снижается. Эллипсы, радиусы которых отмечены на диаграмме рис. 6, показаны на фоне общего вида галактики (рис. 4). Форма распределения численной плотности звезд на диаграмме рис. 6 показывает, что красные гиганты и некоторое число AGB-звезд присутствуют на всем поле снимка. То есть галактика Coma P имеет размер не меньше чем $3'$, что соответствует 3.1 кпк.

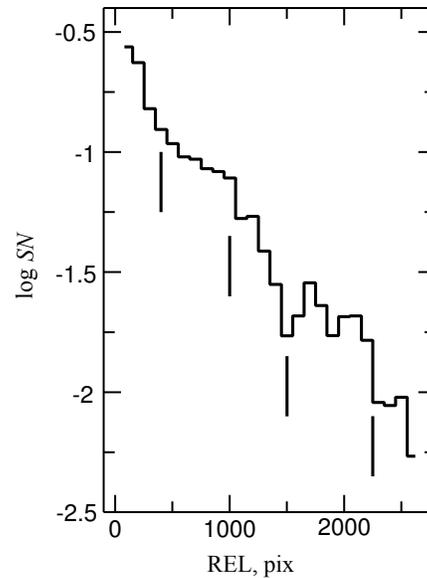


Рис. 6. Диаграмма распределения логарифма численной плотности красных гигантов и AGB-звезд вдоль эллиптического радиуса (REL) галактики. Вертикальные линии отмечают положения эллипсов, обозначенных на рис. 4.

При выборе области измерения TRGB-скачка следует принимать во внимание, что за время работы в условиях космического излучения у ПЗС-матриц камеры ACS/WFC появилась неэффективность переноса заряда (Tikhovov and Galazutdinova 2016), которая с каждым годом становится все больше. Из-за этого эффекта центральная часть поля стала практически непригодной для точных фотометрических измерений. Имея это в виду, мы не использовали центральную часть поля ACS/WFC-камеры при $1200 < Y < 3000$ пикселей.

CM-диаграмма звезд периферии галактики Coma P и функция светимости этих звезд представлены на рис. 7. Тонкой линией показана функция Собеля (Madore and Fridman 1995), максимумы которой соответствуют резким изменениям численности звезд, что наблюдается на границе ветви красных гигантов. На диаграмме рис. 7 пик функции Собеля показывает увеличение численности при $I = 26^m 56 \pm 0^m 05$. На функции светимости видно, что только при этом значении происходит рост числа звезд, а на всех других участках увеличение численности сменяется падением, что не соответствует виду функции светимости ветви красных гигантов. Один из таких локальных скачков при $I = 26^m 12$ Anand et al. (2018) приняли за реальный TRGB-скачок и получили расстояние $D = 10.9$ Мпк.

При определении расстояния мы измерили показатели цвета ветви красных гигантов:

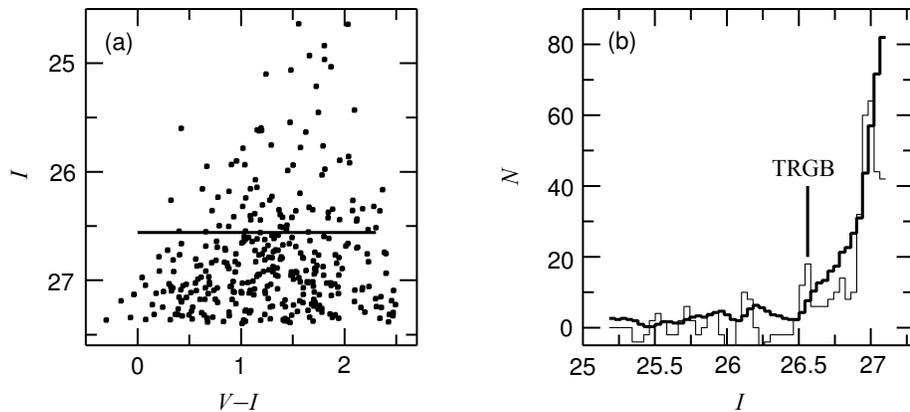


Рис. 7. CM-диаграмма звезд периферии галактики Сомы Р и функция светимости красных гигантов и AGB-звезд. Тонкой линией показана функция Собеля с максимумом при $I = 26^{\text{m}}56$, что соответствует началу ветви красных гигантов (TRGB-скачок).

$(V - I)_{\text{TRGB}} = 1.42$ (показатель цвета вершины ветви гигантов) и $(V - I)_{-3.5} = 1.33$ (показатель цвета ветви гигантов на уровне $M_I = -3.5$). Используя эти величины в уравнениях Lee et al. (1993), мы определили металличность красных гигантов и расстояние до галактики Сомы Р:

$$\begin{aligned}
 [\text{Fe}/\text{H}] &= -1.9, \\
 (m - M) &= 30^{\text{m}}51, \\
 D &= 12.66 \pm 0.90 \text{ Мпк}.
 \end{aligned}$$

Величина поглощения света в направлении на галактику Сомы Р взята из работы Schlafly and Finkbeiner (2011): $A_V = 0^{\text{m}}086$, $A_I = 0^{\text{m}}047$. При фотометрии звезд программой DOLPHOT TRGB-скачок виден при $I = 26^{\text{m}}52$, однако пик функции Собеля был виден менее контрастно, поэтому за основу мы приняли результаты измерений программой DAOPHOT.

Сравнение полученной нами оценки расстояния с прежними результатами показывает, что наиболее близкое значение приведено в работе Anand et al. (2018), в которой верно определен состав хорошо видимой на CM-диаграмме ветви AGB-звезд. Однако отсутствие функции светимости с указанием положения на ней TRGB-скачка и подтверждение результата измерения расстояния на основе вписанных изохрон с неопределенной принадлежностью ярких звезд привело авторов этой работы к меньшему, чем у нас, значению расстояния.

Измерив расстояние, мы вписали систему изохрон (Bertelli et al. 1994) с металличностью $Z = 0.001$ в CM-диаграмму звезд основного тела галактики (рис. 8). Изохроны с еще меньшей металличностью ($Z = 0.0004$) не описывают на CM-диаграмме положения наиболее красных звезд Сомы Р. По всей видимости, изохроны

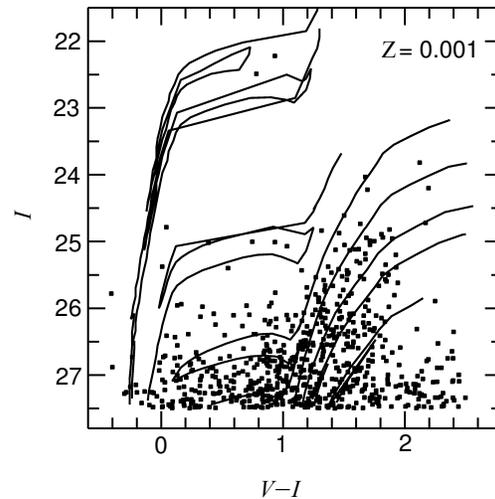


Рис. 8. CM-диаграмма звезд главного тела галактики Сомы Р и вписанные изохроны Bertelli et al. (1994) с металличностью $Z = 0.001$ и возрастом от 12 млн лет до 12 млрд лет.

с $Z = 0.0008$ будут наиболее точно описывать полученную диаграмму, но изохрон с такой металличностью нет в таблицах Bertelli et al. (1994).

Две яркие звезды на CM-диаграмме также можно описать изохронами возраста 12 млн лет, но остается сомнение в их принадлежности к галактике Сомы Р. Дело в том, что на CM-диаграмме нет других звезд примерно такого же возраста, но немного иной светимости. Если принять гипотезу принадлежности этих звезд к галактике Сомы Р, то следует согласиться, что два ярких голубых сверхгиганта образовались изолированно, что противоречит функции распределения масс Сальпетера, согласно которой вместе с одной массивной звездой должны рождаться десятки менее массивных звезд. Но таких звезд нет в Сомы Р. Наличие

красных гигантов в обеих галактиках указывает на то, что звездообразование в них началось более миллиарда лет назад. Звездообразование чаще всего является результатом взаимодействия галактик, но две галактики Coma P вряд ли могли столь долгий срок находиться вблизи друг друга, поэтому для начала первичного звездообразования могли быть иные причины.

4. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При детальном изучении морфологии галактики Coma P оказалось, что вместо одиночной галактики наблюдается либо одиночная сильно деформированная галактика, либо, что вероятнее всего, система двух взаимодействующих галактик. Более яркая галактика имеет низкую поверхностную яркость: $26^m6/\square''$ в фильтре g' (Janowiecki et al. 2015), а вторая галактика не видна ни на картах радиообзора, ни на снимке 3.5-м WYIN-телескопа и ее поверхностная яркость существенно слабее. В этой галактике отсутствуют яркие звезды и она может называться «темной» галактикой, а к системе Coma P можно применять термин «полутемная» галактика. Мы полагаем, что для выяснения природы необычной морфологии Coma P следует изучить ее свойства на глубоких снимках в инфракрасном диапазоне, где красные гиганты галактики будут хорошо видны.

Уже после представления нашей статьи в публикацию появилась работа Bruncker et al. (2019), в которой авторы снова оценивают расстояние до Coma P в 5.5 Мпк. Выше мы уже указывали, почему это значение расстояния не может быть верным, поэтому можно только отметить факт появления такой работы. Измеренное нами значение расстояния до галактики Coma P ($D = 12.7$ Мпк) ставит эту галактику ближе к скоплению галактик Virgo, чем это указано в работах Anand et al. (2018), Ball et al. (2018), Janowiecki et al. (2015). Иррегулярное скопление Virgo не имеет четких границ и состоит из нескольких групп галактик, концентрирующихся вокруг массивных эллиптических галактик (Fouque et al. 2001, Mei et al. 2007, Neilsen and Tsvetanov 2000, Solanes et al. 2002). Наши измерения TRGB-методом показали, что массивная галактика M 87, считающаяся центром скопления, находится на переднем крае скопления, на расстоянии 15.4 ± 0.6 Мпк (Tikhonov et al. 2019). Расстояния до нескольких случайно выбранных карликовых галактик, видимых между галактиками M 87 и M 86, заключены в диапазоне от 14.5 до 16.3 Мпк (Tikhonov 2017). Это указывает на то, что ближайший край группы M 87 находится на расстоянии не далее 14.5 Мпк. В работах Kim et al. (2014; 2016), Lee et al. (2014) вводится понятие протяженного скопления Virgo,

угловой размер которого авторы доводят до 25° , что соответствует 7 Мпк. Если скопление имеет сферическую форму, то при разности расстояний в 2.7 Мпк между Coma P и центральной галактикой M 87 карликовая галактика Coma P может располагаться на периферии скопления, хотя и находится вне пределов вириальных радиусов всех массивных галактик. Поскольку радиус сферы нулевой скорости скопления Virgo, который обычно считают от галактики M 87, равен примерно 7 Мпк (Karachentsev et al. 2018), то Coma P входит в зону влияния скопления Virgo и со временем будет приближаться к этому скоплению.

Отсутствие вблизи Coma P какой-либо яркой галактики, взаимодействие с которой могло бы вызвать наблюдаемое звездообразование, хотя и очень слабое, делает вероятным предположение о двух взаимодействующих карликовых иррегулярных галактиках, одна из которых является «темной».

Переопределение расстояния до галактики Coma P началось из-за несоответствия между малым расстоянием и большой скоростью этой галактики. Ее гелиоцентрическая скорость определена с высокой точностью, $v_h = 1348 \pm 1$ км с⁻¹, а в NED указана ее галактоцентрическая скорость $v_{GSR} = 1322 \pm 1$ км с⁻¹. Из-за относительно близкого расстояния к скоплению Virgo галактика Coma P движется к центру масс этого скопления. На основе модели кинематики галактик относительно скопления Virgo по работе Shaya et al. (2017) создан калькулятор вычисления скорости галактики, падающей на скопление (<http://edd.ifa.hawaii.edu/calculator/>). Вычисления на этом калькуляторе показывают, что скорость Coma P при расстоянии 12.66 Мпк должна быть $v_{GSR}(\text{model}) = 1314$ км с⁻¹, что хорошо соответствует ее измеренной галактоцентрической скорости $v_{GSR} = 1322 \pm 1$ км с⁻¹. Если для Coma P принять расстояние 5.5 Мпк, то калькулятор дает предполагаемую скорость $v_{GSR}(\text{model}) = 523$ км с⁻¹, что на 800 км с⁻¹ отличается от реальной скорости этой галактики. Это различие ставит под сомнение предлагаемое Bruncker et al. (2019) расстояние в 5.5 Мпк. Но по нашему мнению, основное доказательство ошибочности расстояния 5.5 Мпк состоит в том, что становится совершенно нереальной получающаяся высокая металличность звезд этой карликовой галактики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность рецензенту за конструктивные замечания и советы, которые способствовали улучшению статьи. В статье использованы результаты наблюдений

NASA/ESA Hubble Space Telescope, полученные Space Telescope Science Institute, управляемым AURA, Inc., по контракту No. NAS5-26555. Наблюдения проводились в рамках заявки 14108.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-50-00043)

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. S. Anand, R. B. Tully, I. D. Karachentsev, et al., *Astrophys. J.* **861**, L6 (2018).
2. G. Bertelli, A. Bressan, C. Chiosi, et al., *Astron. and Astrophys.* **106**, 275 (1994).
3. C. Ball, J. M. Cannon, L. Leisman, et al., *Astron. J.* **65** (2018).
4. S. Brunker, J. J. Salzer, K. B. McQuinn, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **230**, 214.03 (2017).
5. S. Brunker, K. B. McQuinn, J. J. Salzer, et al., *Astron. J.* **157**, 76 (2019).
6. A. Dolphin, *DOLPHOT: Stellar photometry*, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016ascl.soft08013D>.
7. P. Fouque, J. M. Solanes, T. Sanchis, and C. Balkowski, *Astron. and Astrophys.* **375**, 770 (2001).
8. M. P. Haynes, R. Giovanelli, A. M. Martin, et al., *Astron. J.* **142**, 170 (2011).
9. S. Janowiecki, L. Leisman, G. Jozsa, et al., *Astrophys. J.* **801**, 96 (2015).
10. I. D. Karachentsev, L. N. Makarova, R. B. Tully, et al., *Astrophys. J.* **858**, 62 (2018).
11. S. Kim, S.-C. Rey, H. Jerjen, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **215**, 22 (2014).
12. S. Kim, S.-C. Rey, M. Bureau, et al., *Astrophys. J.* **833**, 207 (2016).
13. J. Lee, S.-C. Rey, and S. Kim, *Astrophys. J.* **791**, 15 (2014).
14. M. G. Lee, W. L. Freedman, and B. F. Madore, *Astrophys. J.* **417**, 553 (1993).
15. B. Madore and W. Fridman, *Astron. J.* **109**, 1645 (1995).
16. S. Mei, J. Blakeslee, P. Cote and J. Tonry, *Astrophys. J.* **655**, 144 (2007).
17. E. H. Neilsen and Z. Tsvetanov, *Astrophys. J.* **536**, 255 (2000).
18. E. F. Schlafly and D. P. Finkbeiner, *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
19. E. J. Shaya, R. B. Tully, Y. Hoffman, and D. Pomarede, *Astrophys. J.* **850**, 207 (2017).
20. J. M. Solanes, T. Sanchis, E. Salvador-Sole, et al., *Astron. J.* **124**, 2440 (2002).
21. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **99**, 191 (1987).
22. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 250 (1994).
23. N. A. Tikhovov *Pis'ma Astron. Zh.* **43**, 21 (2017).
24. N. A. Tikhovov and O. A. Galazutdinova, *Pis'ma Astron. Zh.* **35**, 748 (2009).
25. N. A. Tikhovov and O. A. Galazutdinova, *Pis'ma Astron. Zh.* **42**, 428 (2016).
26. N. A. Tikhonov, O. A. Galazutdinova and G. M. Karataeva, *Astrophysical Bulletin* **74**, 257 (2019).
27. N. A. Tikhovov, O. A. Galazutdinova, and E. N. Tikhonov, *Pis'ma Astron. Zh.* **35**, 599 (2009).

“Semi-Dark” Dwarf Galaxy Coma P on the Periphery of the Virgo Galaxy Cluster

N. A. Tikhonov, O. A. Galazutdinova, and G. M. Karataeva

Based on archived images from the Hubble Space Telescope, stellar photometry of the dwarf galaxy Coma P, located near the Virgo galaxy cluster, was performed. The selection of weakly luminous regions of the galaxy showed that Coma P consists of two interacting dwarf galaxies, one of which has a weak star formation, and the second galaxy has a very low surface brightness, there is no star formation in it, and it can be called a “dark” galaxy. The distance to this pair of galaxies, measured by the TRGB method ($D = 12.7 \pm 0.9$ Mpc), showed that Coma P is located on the periphery of the Virgo galaxy cluster.

Keywords: *galaxies: clusters: individual: Virgo—galaxies: dwarf—galaxies: distances and redshifts*