

РАССТОЯНИЯ ДО 18 КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК ИЗ ОБЗОРА АРЕСИБО¹

© 2019 г. Н. А. Тихонов^{1*}, О. А. Галазутдинова¹

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Поступила в редакцию 07.08.2019 г.; после доработки 30.09.2019 г.; принята к публикации 23.10.2019 г.

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла проведена звездная фотометрия 18 карликовых галактик. На полученных диаграммах Герцшпрунга–Рессела видны ветви молодых и старых звезд. Используя результаты фотометрии красных гигантов и применяя TRGB-метод, мы впервые определили точные расстояния для всех 18 галактик. Минимальное расстояние имеет галактика AGC238890 ($D = 5.1$ Мпк), а максимальное — AGC747826 ($D = 12.0$ Мпк). Расстояния до остальных галактик заключены в этом диапазоне. По измерению показателей цвета ветви красных гигантов выделены галактики с низкой металличностью: AGC102728, AGC198691, AGC205590, AGC223231, AGC731921 и AGC747826. Определено расстояние до галактики AGC198691, обладающей рекордно низкой металличностью. Галактики AGC223254, AGC229053, AGC229379, AGC238890, AGC731921 и AGC742601 расположены в проекции на скопления галактик Virgo, поэтому можно использовать полученные нами расстояния совместно со скоростями этих галактик, ранее измеренными на Аресибо, для уточнения эффекта падения галактик на скопление Virgo.

Ключевые слова: карликовые галактики, звездная фотометрия галактик: расстояния до галактик.

DOI: 10.1134/S0320010819110081

ВВЕДЕНИЕ

При проведении обзора ALFALFA (Джиованелли и др., 2005; Хайнес и др., 2011) на радиотелескопе Аресибо был составлен каталог почти 16 тысяч объектов, для которых были измерены координаты, потоки в HI, лучевые скорости и ширины линии водорода HI. Кроме того, было проведено отождествление этих радиоисточников с оптическими объектами по обзору неба SDSS (Sloan Digital Sky Survey Data). Большинство объектов каталога оказались внегалактическими источниками, многие из которых отождествляются с карликовыми галактиками. 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 протекает крайне медленно. Такие галактики имеют очень низкую поверхностную яркость и поэтому отсутствуют в оптических обзорах, но из-за наличия водорода они уверенно

регистрируются на радиотелескопе (Яновицкий и др., 2015).

Наблюдения в радиодиапазоне позволяют найти в окрестностях Местной группы или ближайших групп галактик их карликовое население (Кэннон и др., 2011), что может существенно изменить вид функции светимости групп галактик на участке их маломассивных членов. Особый интерес вызывают карликовые галактики, содержащие водород и находящиеся вдали от соседних галактик. Эволюция в таких галактиках проходит без постороннего влияния, и это позволяет изучить причины, которые запускают в этих галактиках процессы звездообразования.

Но для изучения природы галактик недостаточно одних только радиоданных. Чтобы вычислить массы галактик или определить существование соседей, нам необходимо знать точные расстояния до галактик, привлекая для этого оптические наблюдения. В настоящее время наиболее точным и массовым методом является TRGB-метод (Ли и др., 1993), основанный на измерении положения ветви красных гигантов (Tip of Red Giants Branch). Этот метод мы использовали при определении расстояний до 18 галактик, снимки которых были получены на космическом телескопе Хаббла в 2015 г., но определения расстояний не были проведены.

* Электронный адрес: tik@sao.ru

¹ Based on observations with the NASA/ESA Hubble Space Telescope, obtained at the Space Telescope Science Institute, which is operated by AURA, Inc. under contract № NAS5-26555. These observations are associated with proposals 13750, 15243.

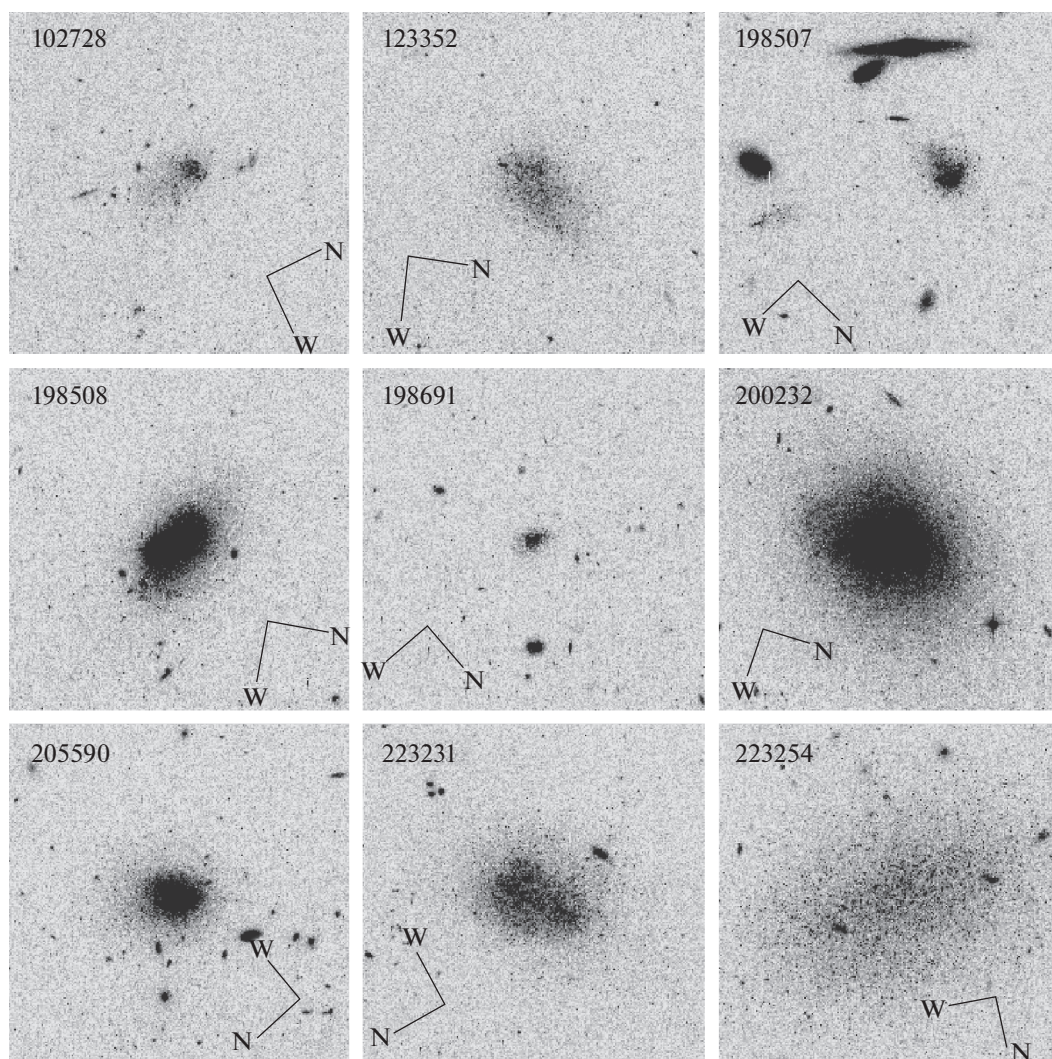


Рис. 1. Изображения галактик на ACS/WFC снимках космического телескопа Хаббла. Размер каждого снимка $1.0' \times 1.0'$. Хорошо видно большое различие размеров исследуемых галактик.

ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Снимки космического телескопа Хаббла были получены по заявке ID13750 (J. Cannon) с камерой ACS/WFC в фильтрах F814W и F606W с экспозициями 2648 с и 2510 с. Для галактики AGC198691, которая оказалась карликовой галактикой с очень низкой металличностью (Хиршауер и др., 2016), по заявке ID15243 (К. McQuinn) на телескопе Хаббла были получены дополнительные снимки с камерой WFC3 в фильтрах F814W и F606W с экспозициями 18618 и 15018 с.

Усредненные изображения галактик с фильтрами F814W и F606W представлены на рис. 1. Все изображения представлены в одном масштабе, что наглядно показывает разнообразие линейных размеров и масс исследуемых галактик, даже несмотря

на различие в расстояниях до этих галактик. Наименьшая среди 18 галактик, AGC198691, имеет размер 0.43 кпк, а AGC731921 почти в 10 раз больше — 3.4 кпк. Линейный размер галактик оценивался по распределению красных гигантов вдоль их радиуса. Экспоненциальное распределение красных гигантов в логарифмическом масштабе представляется линейной функцией, что позволяет достаточно точно установить предельный радиус, при котором распределение красных гигантов сливается с фоном, состоящим из далеких галактик и шума матрицы.

Звездная фотометрия всех галактик выполнялась двумя пакетами программ: DAOPHOT II (Стетсон, 1987, 1994) и DOLPHOT 2.0 (Дол-

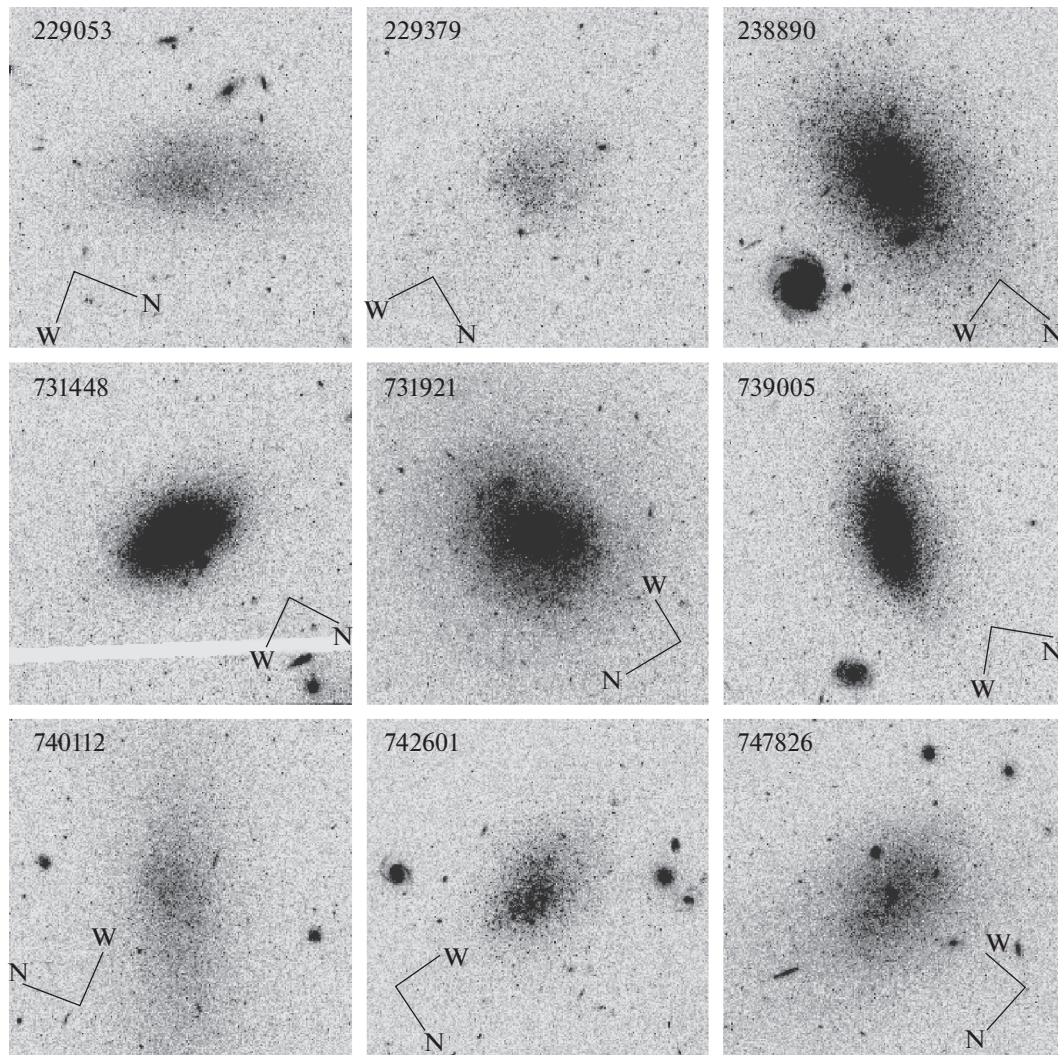


Рис. 1. Продолжение.

фин, 2016)¹. 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 и Галазутдинова, 2009). Полученные результаты фотометрии звезд прошли селекцию по параметрам “CHI” и “SHARP”, которые определяют форму фотометрического профиля каждой 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.

¹ <http://americano.dolphinim.com/dolphot/dolphot.pdf>

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.

Принципы фотометрии программами DOLPHOT и DAOPHOT одинаковы, но есть некоторые различия при их использовании. Например, в DAOPHOT в качестве PSF-звезд мы использовали звезды на снимках исследуемых галактик, а в DOLPHOT использовалась библиотека PSF-профилей. Различие результатов работы двух программ видно при сравнении видимого распределения очень слабых звезд по полю снимка.

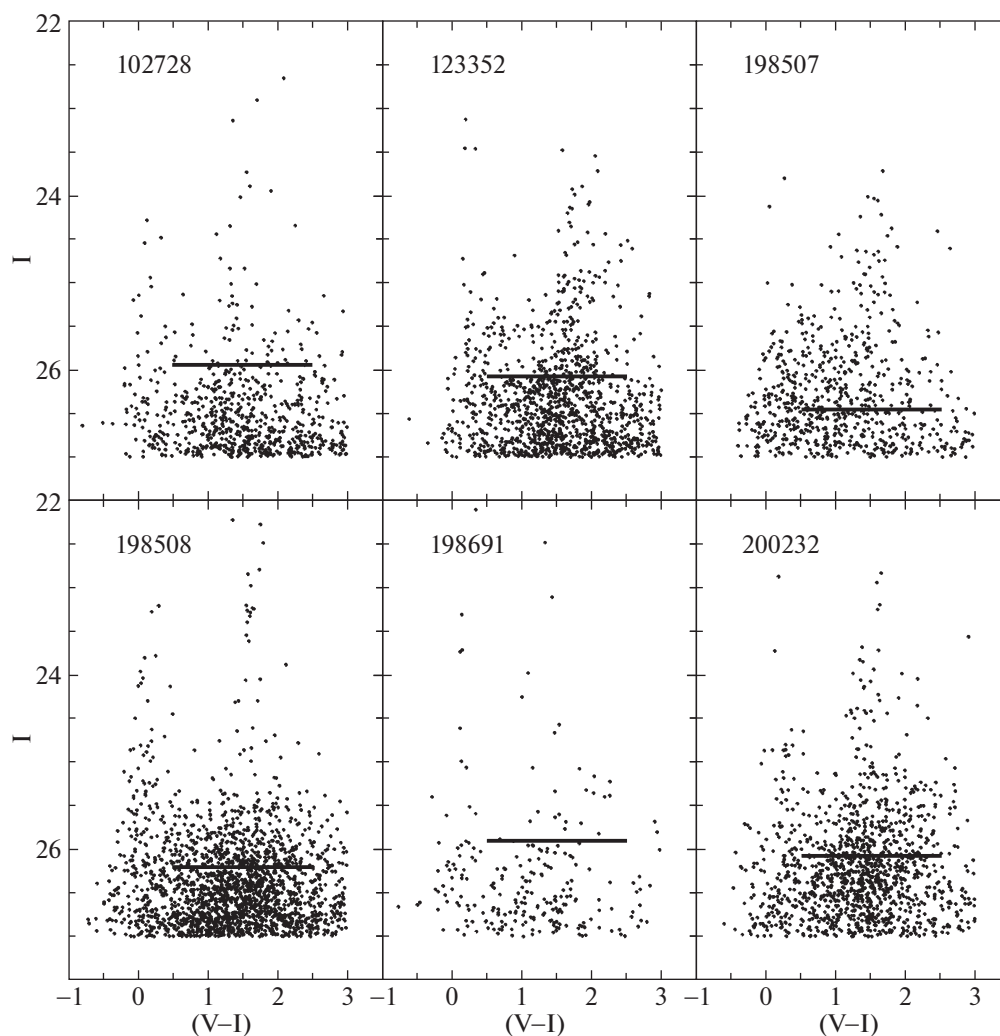


Рис. 2. CM-диаграммы для шести галактик списка. Горизонтальными линиями отмечены положения TRGB-скачков. Для галактик, где положения TRGB-скачков вызывают сомнения, на рис. 3 представлены функции светимости с дополнительной селекцией звезд, подробности которой описаны в тексте.

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 DAOPHOT распределение звезд более близко к реальному. Но в DAOPHOT возникает проблема выбора нормальных PSF-звезд, из-за появления “хвостов” вследствие неэффективности переноса заряда. Имея в виду плюсы и минусы двух пакетов программ, мы использовали их оба, сравнивая полученные результаты. Поскольку для измерений TRGB-скачков и металличности звезд использовались звезды на две и более величины ярче фотометрического предела снимков, то оба метода давали сходные результаты и значимых различий между ними не обнаружено.

Полученные при фотометрии звезд диаграм-

мы Герцшпрунга–Рессела (CM-диаграммы) 18 галактик представлены на рис. 2. Горизонтальными линиями отмечены TRGB-скачки, т.е. положения верхних границ ветвей красных гигантов, которые использовались нами для определения расстояний до галактик.

ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Интенсивное использование красных гигантов для определения расстояний до галактик TRGB-методом началось после работы Ли и др. (1993), и к настоящему времени этим методом измерены точные расстояния до нескольких сотен галактик. Как и у любого метода измерения расстояний, у TRGB-метода есть свои трудности применения. Малое число красных гигантов в галактике на

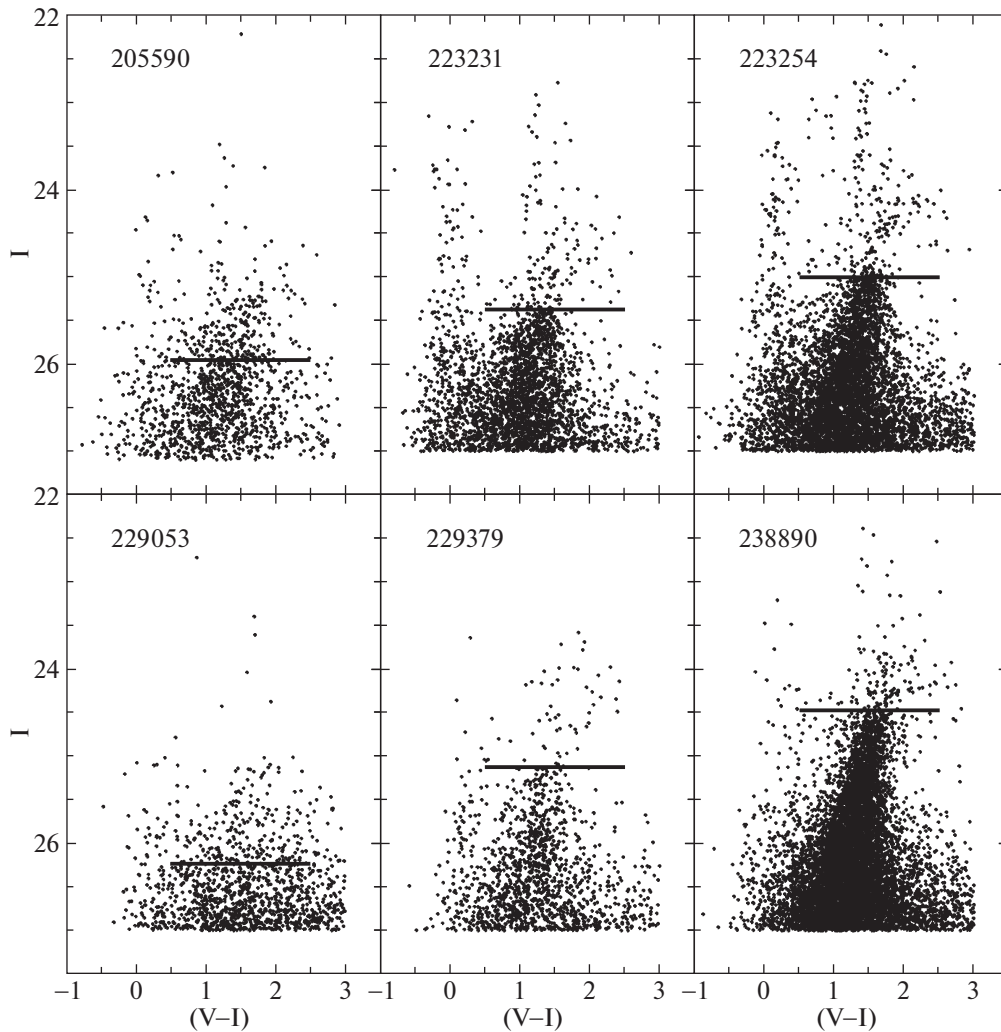


Рис. 2. Продолжение.

полученной CM-диаграмме или недостаточный фотометрический предел снимков приводят к большим неопределенностям в измерении положения TRGB-скачка, а значит и к малой точности в измерении расстояния до галактики. Кроме того, следует принимать во внимание, что за время работы в условиях космического излучения у ПЗС матриц камеры ACS/WFC появилась неэффективность переноса заряда (Андерсон, Бедин, 2010; Массей и др., 2010; Тихонов, Галазутдинова, 2016), которая с каждым годом становится все больше. Из-за этого эффекта центральная часть поля ACS/WFC матриц стала практически непригодной для точных фотометрических измерений. Имея это в виду, мы там, где это было возможно не использовали центральную часть поля ACS/WFC камеры при $1200 \text{ пикс} < Y < 3000 \text{ пикс}$. Кроме красных гигантов, в каждой галактике присутствуют более яркие

звезды асимптотической ветви гигантов (AGB звезды), которые размывают TRGB-скачок на CM-диаграмме и затрудняют измерение расстояния. Поскольку красные гиганты и AGB звезды имеют разные градиенты падения численной плотности вдоль радиуса галактики (Тихонов, 2005, 2006), то, используя для измерений только периферию галактики, мы можем уменьшить численность AGB-звезд в выборке, что позволяет более точно измерить положение TRGB-скачка.

Для большинства галактик начало ветви красных гигантов видно на CM-диаграммах достаточно уверенно, но для нескольких галактик это положение не очевидно. Для этих галактик на рис. 3 представлены функции светимости красных гигантов и AGB-звезд. При построении указанных функций светимости мы использовали выборки звезд на периферии галактик. В такой выборке отсутствуют яркие сверхгиганты, и значительно

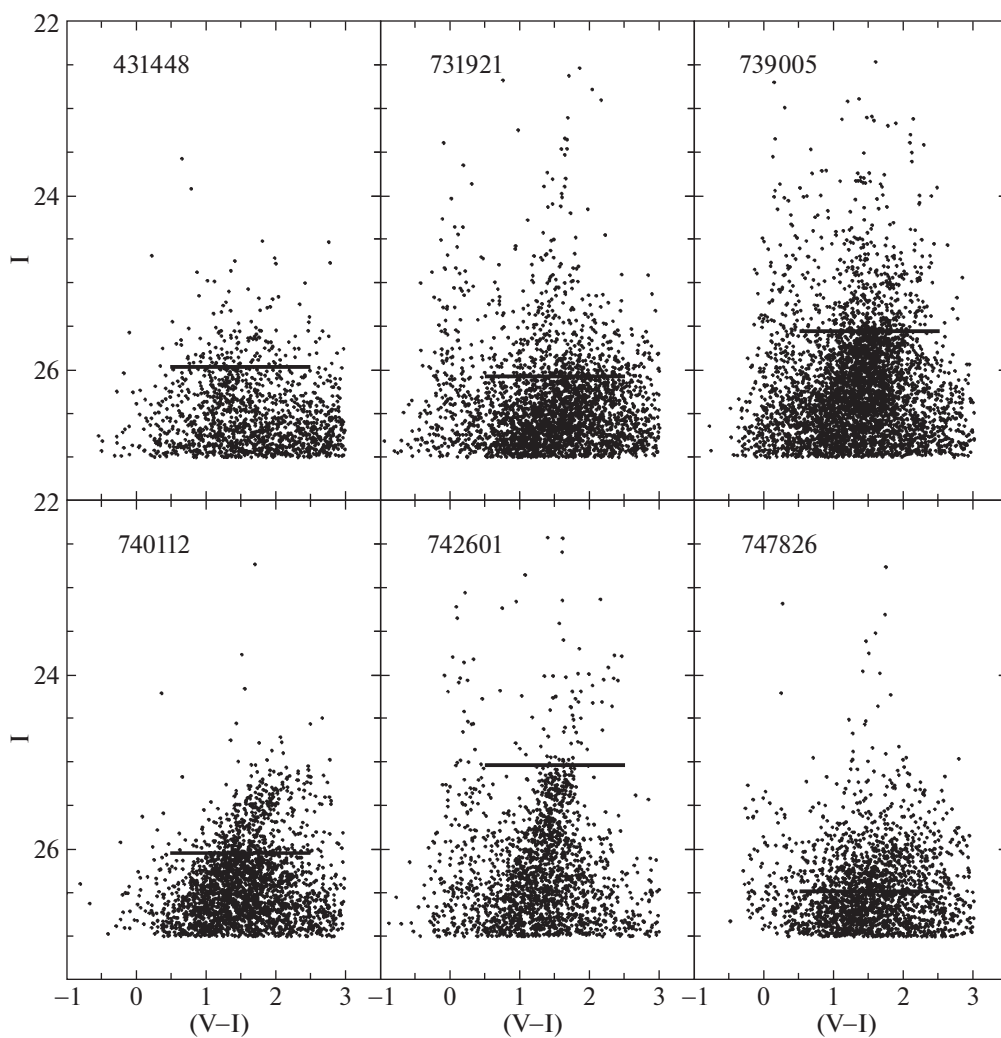


Рис. 2. Окончание.

сокращено количество нежелательных AGB-звезд. На функции светимости каждой галактики (рис. 3) тонкой линией показана функция Собеля (Мадоре, Фридман, 1995), максимумы которой соответствуют резким изменениям численности звезд, что наблюдается на границе ветви красных гигантов и определяется как TRGB-скачок.

В галактиках, где ветвь красных гигантов хорошо видна, для определения TRGB-скачка было достаточно селекции по “CHI”, “SH” и координатам матрицы $Y > 3000$. Для удаленных галактик этих селекций оказывалось недостаточно, и применялись дополнительные селекции. Удалялись звезды центральных частей галактик, что увеличивало процентное содержание красных гигантов в такой выборке, а кроме того, проводилась селекция по цвету, обычно $1.0 < (V-I) < 1.7$, что устраняло в выборке звезды главной последовательности и AGB звезды с большим показателем цвета. Так как

изучались карликовые галактики, у которых видны малонаселенные ветви красных гигантов, то было достаточно различия в десять звезд на каждый бин функции светимости, чтобы TRGB-скачок был уверенно виден. Контроль действительного положения TRGB-скачка проводился просмотром имеющейся функции светимости в логарифмических координатах численности звезд. Как правило, на функции светимости виден излом в точке TRGB-скачка, что подтверждало правильность выбора.

При определении расстояний мы измерили положения TRGB-скачков, а также показатели цвета вершин ветви красных гигантов $(V-I)_{TRGB}$ и показатели цвета ветви гигантов $(V-I)_{-3.5}$ на уровне $M_I = -3.5$. Используя эти величины в уравнениях 1–5 из работы Ли и др. (1993), мы определили металличности красных гигантов и модули расстояний до галактик.

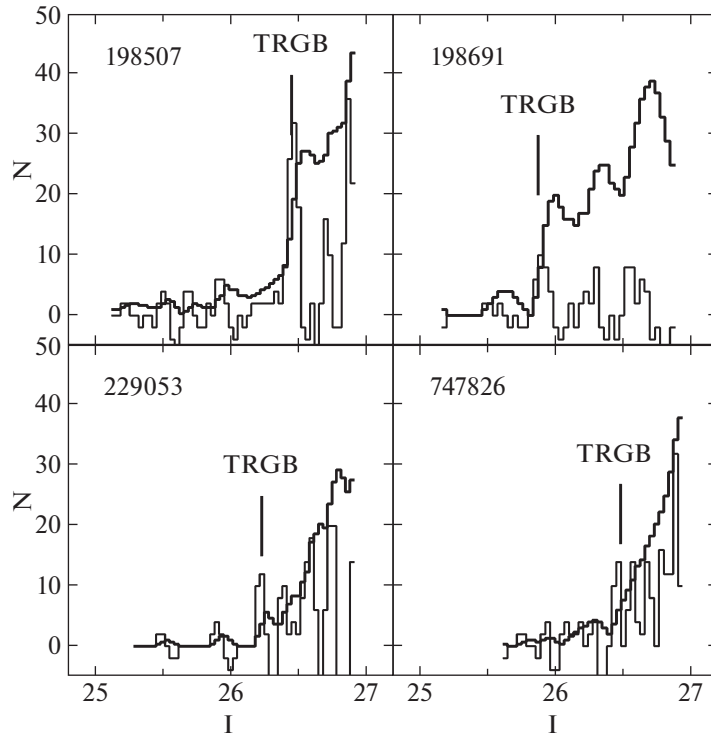


Рис. 3. Функции светимости звезд галактик, у которых на CM -диаграмме трудно определить положение TRGB-скачка. Для получения указанных функций светимости из выборки звезд удалялись звезды центральных областей галактик, где располагается большинство AGB-звезд.

Модуль расстояния галактики определяется как разница между видимой и абсолютной величинами звезд:

$$(m - M) = I_{TRGB} - M_I. \quad (1)$$

Абсолютная величина является разностью между болометрической величиной и болометрической поправкой за температуру звезды:

$$M_I = M_{bol} - BC_I. \quad (2)$$

Эти величины в свою очередь определяются из следующих уравнений:

$$BC_I = 0.881 - 0.243(V - I)_{TRGB}, \quad (3)$$

$$M_{bol} = -0.19[Fe/H] - 3.81. \quad (4)$$

Необходимая для вычислений металличность звезды находится из уравнения

$$[Fe/H] = -12.64 + 12.6(V - I)_{-3.5} - 3.3(V - I)_{-3.5}^2. \quad (5)$$

Величина поглощения света в направлении на каждую галактику принималась из работы Шлафли и Финкбайнера (2011). Полученные результаты приведены в табл. 1, где α и δ — прямое восхождение и склонение галактики, I_{TRGB} —

положение TRGB-скачка на функции светимости в фильтре I , A_V — экстинкция в фильтре V в звездных величинах, $(m - M)$ — модуль расстояния, $[Fe/H]$ — металличность красных гигантов на периферии галактики, D — расстояние до галактики в мегапарсеках, ΔD — внешняя точность измерения расстояния, $\Delta_{M87-galaxy}$ — угловое расстояние (в градусах) от галактики до M87, центральной галактики скопления Virgo.

Точность определения расстояния индивидуальна для каждой галактики. Однако все галактики можно условно разделить на две группы по полученной точности измерения расстояния. В первую группу входит большинство галактик, у которых ветвь красных гигантов хорошо видна, и положение TRGB-скачка определяется с точностью $0.02^m - 0.03^m$. Для этих галактик внутренняя точность определения расстояния равна 0.2 Мпк. Для определения внешней точности следует принять во внимание точность самого TRGB-метода, которая равна 0.1^m . С учетом точности других величин, внешняя точность определения расстояний для таких галактик будет 0.4–0.5 Мпк. Для галактик, где ветвь красных гигантов видна хуже (рис. 3), точность измерения TRGB-скачка равна $0.04^m - 0.06^m$. Для этих галактик внутренняя

Таблица 1. Параметры 18 AGC-галактик

N	AGC	α	δ	I_{TRGB}	A_V	$(m - M)$	[Fe/H]	D	ΔD	$\Delta_{M87-galaxy}$
01	102728	00 00 21.42	+31 01 18.7	25.94	0.126	29.73	-2.77	08.84	0.68	136
02	123352	02 48 39.19	+23 16 27.1	26.07	0.678	29.64	-2.18	08.47	0.65	131
03	198507	09 15 25.79	+25 25 10.4	26.45	0.090	30.37	-2.19	11.85	0.85	48
04	198508	09 22 56.97	+24 56 48.5	26.20	0.098	30.09	-2.22	09.97	0.70	46
05	198691	09 43 32.40	+33 26 58.2	25.90	0.038	29.74	-2.88	08.88	0.75	44
06	200232	10 17 26.50	+29 22 11.0	26.07	0.082	30.01	-1.80	10.06	0.72	35
07	205590	10 00 36.56	+30 32 10.1	25.95	0.051	29.85	-2.23	09.34	0.68	39
08	223231	12 22 52.68	+33 49 44.4	25.37	0.035	29.26	-2.46	07.13	0.46	22
09	223254	12 28 05.07	+22 17 28.2	25.00	0.057	28.94	-1.96	06.15	0.40	10
10	229053	12 18 15.49	+25 34 05.1	26.23	0.049	30.21	-1.84	11.02	0.82	14
11	229379	12 30 34.01	+23 12 20.2	25.12	0.075	29.03	-2.18	06.40	0.41	11
12	238890	13 32 30.35	+25 07 24.5	24.47	0.036	28.53	-1.22	05.08	0.37	19
13	731448	10 23 44.97	+27 06 39.8	25.96	0.077	29.94	-1.61	09.73	0.70	33
14	731921	12 05 34.27	+28 13 56.2	26.07	0.057	29.98	-2.23	09.89	0.72	17
15	739005	09 13 38.98	+19 37 07.8	25.55	0.121	29.47	-1.80	07.83	0.50	48
16	740112	10 49 55.40	+23 04 06.2	26.04	0.122	29.98	-1.61	09.90	0.70	26
17	742601	12 49 36.87	+21 55 05.6	25.03	0.095	29.00	-1.60	06.31	0.40	11
18	747826	12 07 49.99	+31 33 07.9	26.48	0.055	30.40	-2.16	12.01	0.87	20

точность равна 0.3–0.4 Мпк, а внешняя точность соответствует 0.7–0.8 Мпк. В табл. 1 для каждой галактики указана внешняя точность измерения расстояния, определенная по ширине пика функции Собеля, точности фотометрии PSF-звезд и точности самого TRGB-метода.

Для галактики AGC198691, в которой Хиршауер и др. (2016) получили рекордно малое значение металличности, заявителям наблюдательной программы не удалось измерить расстояние по снимкам с ACS камерой (ID13750), поэтому Мак-Квинн получил для нее более глубокие снимки с камерой WFC3 (ID15243). Мы обработали

эти дополнительные снимки (рис. 4) указанным выше способом и на рис. 5 представили SM-диаграмму и функцию светимости с отметкой положения TRGB-скачка. Расстояние, полученное по WFC3 снимкам, соответствует расстоянию, полученному по снимкам с ACS камерой.

БЛИЗКИЕ СОСЕДИ

Размер снимков космического телескопа Хаббл равен 3.5'. Для галактики на расстоянии 10 Мпк это равно 10 кпк. Если рядом с AGC галактикой окажется соседняя галактика на расстоянии менее 5 кпк, то она будет видна на этом же снимке. Такое

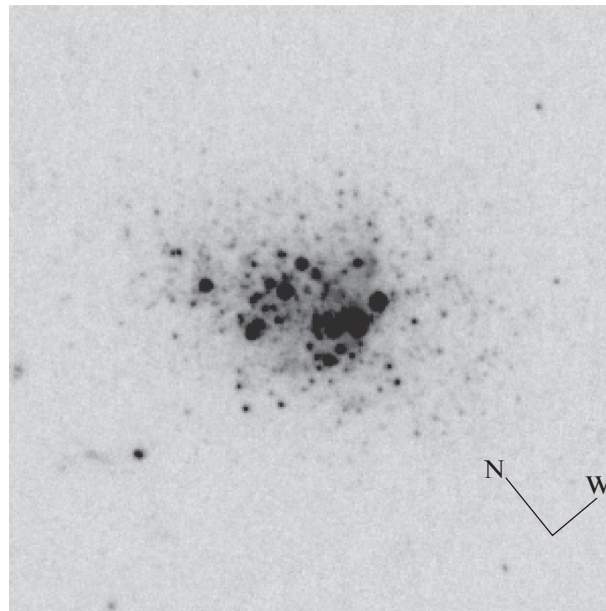


Рис. 4. Снимок AGC198691 в фильтре F606W с камерой WFC3. Размер снимка $15'' \times 15''$.

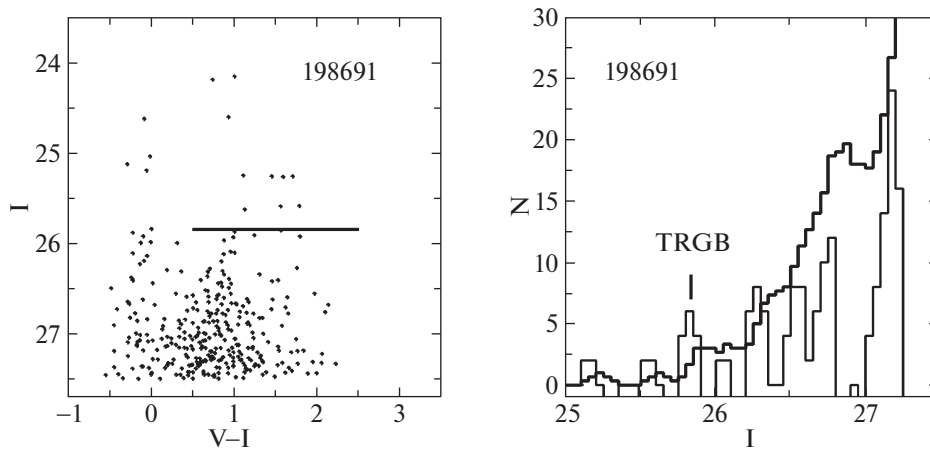


Рис. 5. CM-диаграмма звезд AGC198691 по снимкам с камерой WFC3 и функция светимости AGB-звезд и красных гигантов.

соседство наблюдается у AGC198507, где на расстоянии $30''$ (что равно 1.8 кпк) видна карликовая галактика, которую можно назвать AGC198507A (рис. 1). Эта галактика содержит мало звезд, но нам удалось измерить положение TRGB-скачка и определить, что расстояние до этой галактики в пределах ошибок измерений равно расстоянию до основной AGC198507. Таким образом, эти галактики составляют физическую пару. Возможно, что асимметрию форм этих галактик можно объяснить их взаимодействием.

В видимом распределении звезд галактики AGC739005 наблюдаются два центра. Особенно это заметно в распределении молодых звезд — красных сверхгигантов. На основе видимой морфологии AGC739005 можно представить в виде двух галактик, расположенных друг от друга на расстоянии 0.73 кпк, одна из которых симметричная Sph/Irr галактика, другая иррегулярная. Поскольку в распределении красных гигантов видны тоже два центра концентрации звезд (рис. 6), один из которых соответствует AGC739005A, то этот спутник не может быть областью звездообразования,

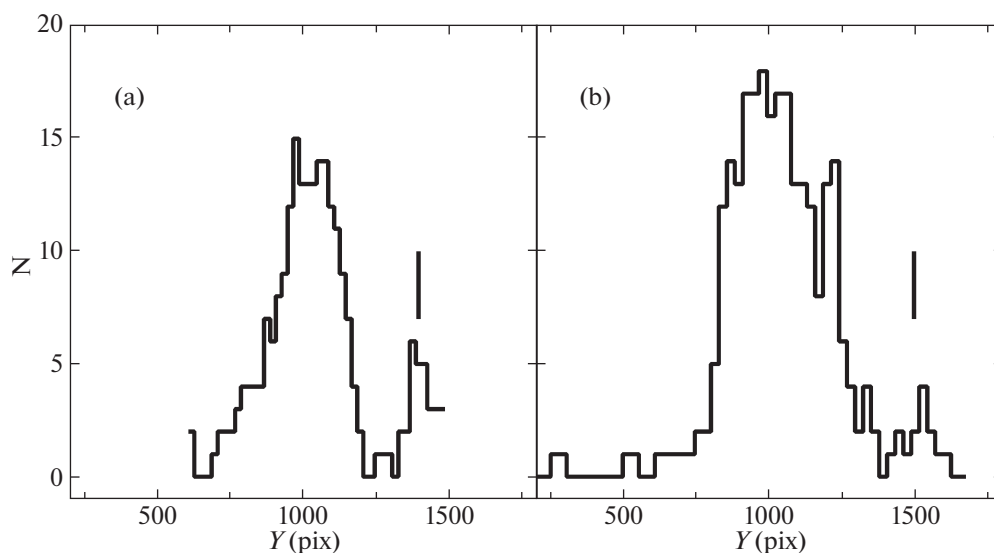


Рис. 6. Распределение молодых (а) и старых звезд (б) вдоль большой оси галактики AGC739005. Вертикальной линией отмечено положение карликового спутника рядом с основной галактикой. Центры концентрации красных гигантов и молодых звезд немного смещены друг относительно друга из-за малой статистики и реальной асимметрии области звездообразования.

а является карликовой иррегулярной галактикой с молодым и старым звездным населением и очень низкой металличностью звезд.

Примерно аналогичный вид имеет AGC198508, где на краю галактики расположена область звездообразования или малая галактика. Проверить это на основании имеющихся результатов не представляется возможным. Точно так же у AGC731921 на тело галактики проецируется область звездообразования или очень малая галактика. Из-за малого числа звезд сделать какие-либо выводы невозможно.

Несколько галактик: AGC102728, AGC123352, AGC229379 и AGC229053 имеют асимметричную форму, которую можно было бы объяснить взаимодействием с соседями, но вблизи не наблюдается галактик с аналогичными расстояниями.

ВОЗМОЖНЫЕ СОСЕДНИЕ ГАЛАКТИКИ

Вопрос о поиске соседних галактик представляется нам отдельной большой работой, поэтому мы только кратко коснемся этого сложного вопроса. Все исследованные нами AGC галактики имеют малые массы и могут входить в состав групп галактик в качестве карликовых членов. Если принять, что радиус группы галактик может быть 0.5 Мпк, то в пределах этого радиуса и следует искать яркие галактики, образующие группы, в состав которых могут входить AGC галактики. Для расстояния 10 Мпк радиус в 0.5 Мпк равен 2.9° . Для более близких групп этот размер

еще больше. В поисковых базах данных (NED², HyperLeda³) можно найти десятки галактик со скоростями менее 1000 км/с, которые находятся в пределах указанного радиуса вокруг каждой AGC галактики из нашего списка, и они могут входить в те же группы, что и AGC галактики. Почти все эти галактики имеют очень малые размеры и для них отсутствуют измерения расстояний. Среди 18 AGC галактик семь из них расположены на угловом расстоянии меньше 20° от M87, которую можно считать центральной галактикой скопления Virgo, поэтому в радиус поиска соседей попадают галактики периферии Virgo, расстояния до которых пока неизвестны или измерены ненадежно. Для выделения действительных соседей мы не можем использовать лучевые скорости этих галактик для определения расстояния, поскольку из-за движения галактики внутри скопления ее скорость может изменяться в больших пределах.

Поиск соседей около аналогичных AGC галактик провели Адамс и др. (2015) на основе сравнения лучевых скоростей из обзора ALFALFA. Они нашли, что карликовая галактика AGC226967 входит в систему таких же карликовых галактик: AGC229490 и AGC229491, что очень похоже на систему AGC198507 из списка представляемых нами галактик. Около нескольких AGC галактик находятся более массивные соседи с похожими лучевыми скоростями. Вероятно, эти галактики вместе с AGC галактиками входят в состав более

² <https://ned.ipac.caltech.edu>

³ <http://leda.univ-lyon1.fr>

Таблица 2. Возможные соседи у 18 AGC-галактик

<i>N</i>	Имя галактики	α (deg)	δ (deg)	v_h , км/с	R , (')	D , Мпк	Метод определения расстояний
01	AGC 102728	0.088333	31.01056	566		08.84	TRGB*
02	AGC 123352	42.147500	23.27278	467		08.47	TRGB*
03	AGC 198507	138.855833	25.41972	502		11.85	TRGB*
	SDSS J091815.92+260841.2	139.566370	26.14481	515	58	—	
04	AGC 198508	140.739583	24.94750	519		09.97	TRGB*
05	AGC 198691	145.888750	33.45333	514		08.88	TRGB*
	UGC 05186	145.753333	33.26306	549	13	8.31	TF [1]
06	AGC 200232	154.357917	29.36694	450		10.06	TRGB*
	SDSS J101902.38+284321.5	154.759941	28.72267	305	44	—	
07	AGC 205590	150.144167	30.53917	494		09.34	TRGB*
	SDSS J095935.89+304845.5	149.899577	30.81266	651	21	—	
	UGC 5340(DDO68)	149.195417	28.82556	507	114	12.00	TRGB [2]
						12.10	TRGB [3]
						12.80	TRGB [4]
	UGC 5427	151.168750	29.36389	494	88	11.29	TRGB [5]
						7.69	TRGB [6]
						7.11	BS [7]
	UGC 5272	147.595000	31.48583	520	143	7.11	BS [7]
						3.80	BS [8]
						6.50	TF [9]
08	AGC 223231	185.719583	33.83111	571		07.13	TRGB*
	UGC 7427	185.477917	35.05056	725	74	—	
09	AGC 223254	187.022083	22.28889	603		06.15	TRGB*
	UGC 7584	187.017083	22.58694	602	18	9.20	TF [1]
						9.95	TF [6]
	NGC 4455	187.185417	22.82167	643	34	6.70–12.50	TF [1,6,9–16]
10	AGC 229053	184.563750	25.57139	425		06.40	TRGB*
	AGC 229100	185.12 9150	25.37056	221	33	—	
	SDSS J121531.12+253944.4	183.879686	25.66236	226	37	—	
	SDSS J121934.24+262531.5	184.892677	26.42542	242	54	—	
11	AGC 229379	187.662917	23.20000	624		11.02	TRGB*
	NGC 4455	187.185417	22.82167	643	34	6.70–12.50	TF [1,6,9–16]
	UGC 7584	187.017083	22.58694	602	18	9.20	TF [1]
						9.95	TF [6]

Таблица 2. Окончание

<i>N</i>	Имя галактики	α (deg)	δ (deg)	v_h , км/с	R , (')	D , Мпк	Метод определения расстояний
12	AGC 238890	203.134583	25.11417	360		05.08	TRGB*
	SDSS J133130.60+242313.3	202.877519	24.38705	335	46	—	
	SDSS J132959.46+243140.9	202.497765	24.52804	227	49	—	
	UGC 8638	204.834167	24.77000	274	95	4.03	TRGB [5]
						4.29	TRGB [15]
						4.29	TRGB [6,18]
						2.30	BS [19]
13	AGC 731448	155.938750	27.11806	517		09.73	TRGB*
	SDSS J102746.49+272030.9	156.943724	27.34195	377	55	—	
14	AGC 731921	181.386250	28.23250	505		09.89	TRGB*
	AGC220071	181.350833	28.36750	565	8	—	
15	AGC 739005	138.409583	19.61889	429		07.83	TRGB*
	2MASS J09124191+1928561	138.174618	19.48237	348	16	—	
	SDSS J091558.74+193914.1	138.994769	19.65395	377	33	—	
	SDSS J091056.45+194931.9	137.735219	19.82554	342	40	—	
16	AGC 740112	162.477083	23.09000	609		09.90	TRGB*
	SDSS J104825.55+232323.3	162.106467	23.38982	796	28	—	
	SDSS J105230.99+230005.0	163.129177	23.00141	783	36	—	
	NGC3344	160.879167	24.92056	588	141	9.82	TRGB [6]
						6.10–9.91	TF [9,20]
17	AGC742601	192.400833	21.91806	539		06.31	TRGB*
	IC 3840	192.942362	21.73640	583	32	5.50	TF [1]
	UGC 08011	193.096250	21.63056	765	42	21.40	TF [9]
18	AGC747826	181.965833	31.55444	558		12.01	TRGB*
	SDSS J120634.52+312034.7	181.64 3833	31.34297	568	20	—	
	SDSS J120531.04+310434.1	181.379354	31.07615	569	41	—	
	NGC 4062	181.021250	31.90028	766	52	9.7–23.0	TF [6,9,10,12,13,20-26]
	IC 2992	181.316250	30.85306	611	53	12.7	TF [1]

Примечание. В последнем столбце указаны методы определения расстояний до объектов, взятые из NED: TRGB — по вершине ветви красных гигантов, TF — метод Талли-Фишера, BS — по ярчайшим звездам. Координаты и скорости взяты из базы HyperLeda. Для большинства объектов они определены на основе обзора ALFALFA (Хайнес и др., 2018). При отсутствии объекта в базе HyperLeda использовались данные из NED.

* Расстояние определено в данной работе.

[1] — Караченцев и др. (2013); [2] — Тихонов и др. (2014); [3] — Саки и др. (2016); [4] — Макаров и др. (2017); [5] — Тихонов (2018); [6] — Талли и др. (2013); [7] — Макарова и Караченцев (1998); [8] — Шульце-Ладбек и Хоп (1998); [9] — Талли и Фишер (1988); [10] — Талли и др. (2016); [11] — Сприноб и др. (2009); [12] — Ботинелли и др. (1985); [13] — Вилик и др. (1997); [14] — Ясуда и др. (1997); [15] — Талли и др. (2009); [16] — Насонова и др. (2011); [17] — Караченцев и др. (2006); [18] — Якобс и др. (2009); [19] — Макарова и др. (1998); [20] — Ботинелли и др. (1984); [21] — Аронсон и Молд (1983); [22] — Талли и др. (1992); [23] — де Вакулёр и др. (1981); [24] — Сорс и др. (2014); [25] — Фьюрау и др. (2007); [26] — Екхом и др. (2000).

протяженных по размеру групп. Результаты поиска соседей у галактик приведены в табл. 2, где v_h — гелиоцентрические скорости AGC галактик, взятые из HyperLeda, D — расстояние до галактики, R — угловое расстояние до соседней галактики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На основе снимков космического телескопа Хаббла для 18 карликовых галактик получены СМ-диаграммы, на которых видны как молодые звезды — голубые и красные сверхгиганты, так и старое звездное население — красные гиганты. Для каждой галактики определены положение верхней границы ветви красных гигантов (TRGB-скачок) и показатель цвета ветви гигантов. Это позволило нам на основе уравнений из работы Ли и др. (1993) определить расстояния до галактик и металличность красных гигантов в этих галактиках. AGC102728, AGC198691, AGC223231 имеют очень низкую металличность, причем крайне низкое содержание металлов в одной из галактик (AGC198691) было определено при спектральных наблюдениях (Хиршауер и др., 2016).

Во всех галактиках протекают процессы звездообразования разной интенсивности и пространственной концентрации молодых звезд. В большинстве случаев молодые звезды распределены по телу галактики, но в некоторых галактиках молодые звезды концентрируются в небольших областях звездообразования. Галактики AGC198507 и AGC739005 оказались двойными галактиками, но этот результат получен только из-за очень близкого расположения соседей, которые попали на снимки телескопа Хаббла. При удалении их за пределы снимка найти такие галактики было бы невозможно. Видимую асимметрию галактик можно объяснить взаимодействием с соседями, но во многих случаях соседние галактики нам неизвестны. Поскольку вокруг исследованных нами галактик наблюдается много слабых карликовых галактик с неизвестными расстояниями, то возможно, что при получении новых измерений найдутся близкие соседи для AGC галактик из нашего списка.

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 13750, 15243. В настоящей работе были использованы базы данных NED, HyperLeda. Авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, позволившие улучшить первый вариант статьи.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аронсон, Молд (M. Aaronson and J. Mould), *Astrophys. J.* **265**, 1 (1983).
2. Адамс и др. (E.A.K. Adams, J.M. Cannon, K.L. Rhode, W.F. Janesh, S. Janowiecki, L. Leisman, R. Giovanelli, M.P. Haynes, et al.), *Astron. Astrophys.* **580**, 134 (2015).
3. Андерсон, Бедин (J. Anderson and L.R. Bedin), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **122**, 1035 (2010).
4. Ботинелли и др. (L. Bottinelli, L. Gouguenheim, G. Paturel, G. de Vaucouleurs), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **56**, 381 (1984).
5. Ботинелли и др. (L. Bottinelli, L. Gouguenheim, G. Paturel, G. de Vaucouleurs), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **59**, 43 (1985).
6. Вилик и др. (J.A. Willick, S. Courteau, S.M. Faber, D. Burstein, A. Dekel, M.A. Strauss), *Astroph. J. Suppl. Ser.* **109**, 333 (1997).
7. де Вакулёр и др. (G. de Vaucouleurs, W.L. Peters, L. Bottinelli, L. Gouguenheim, G. Paturel), *Astrophys. J.* **248**, 408 (1981).
8. Дживанелли и др. (R. Giovanelli, M.P. Haynes, B.R. Kent, P. Perillat, A. Saintonge, N. Brosch, B. Catinella, G.L. Hoffman), *Astron. J.* **130**, 2598 (2005).
9. Долфин (Dolphin A.), DOLPHOT: Stellar photometry, *Astrophysics Source Code Library ascl:1608.013* (2016).
10. Екхольм и др. (T. Ekholm, P. Lanoix, P. Teerikorpi, P. Fouque, G. Paturel), *Astron. Astrophys.* **355**, 835 (2000).
11. Караченцев и др. (I.D. Karachentsev, A. Dolphin, R.B. Tully, M. Sharina, L. Makarova, D. Makarov, V. Karachentseva, S. Sakai, et al.), *Astron. J.* **131**, 1361 (2006).
12. Караченцев и др. (I.D. Karachentsev, D.I. Makarov, E.I. Kaisina), *Astron. J.* **145**, 101 (2013).
13. Кэннон и др. (J.M. Cannon, R. Giovanelli, M.P. Haynes, S. Janowiecki, A. Parker, J.J. Salzer, E.A.K. Adams, E. Engstrom, et al.), *Astrophys. J. Lett.* **739**, L22 (2011).
14. Ли и др. (M.G. Lee, W.L. Freedman, and B.F. Madore), *Astrophys. J.* **417**, 553 (1993).
15. Мадоре, Фридман (B. Madore and W. Fridman), *Astron. J.* **109**, 1645 (1995).
16. Макаров и др. (D.I. Makarov, L.N. Makarova, S.A. Pustilnik, S.B. Borisov), *MNRAS* **466**, 556 (2017).
17. Макарова, Караченцев (L.N. Makarova and I.D. Karachentsev), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **133**, 181 (1998).
18. Макарова и др. (L.N. Makarova, I.D. Karachentsev, L.O. Takalo, P. Heinaemaeki, M. Valtonen), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **128**, 459 (1998).
19. Массей и др. (R. Massey, C. Stoughton, A. Leauthaud, J. Rhodes, A. Koekemoer, R. Ellis, E. Shaghoulain), *MNRAS* **401**, 371 (2010).
20. Насонова и др. (O.G. Nasonova, J.A. de Freitas Pacheco, I. D. Karachentsev), *Astron. Astrophys.* **532**, 104 (2011).

21. Саки и др. (E. Sacchi, F. Annibali, M. Cignoni, A. Aloisi, T. Sohn, M. Tosi, R. P. van der Marel, A. J. Grocholski, et al.), *Astrophys. J.* **830**, 3 (2016).
22. Сорс и др. (J.G. Sorce, R.B. Tully, H.M. Courtois, T.H. Jarrett, J.D. Neill, E.J. Shaya), *MNRAS* **444**, 527 (2014).
23. Сприноб и др. (C.M. Springob, K.L. Masters, M.P. Haynes, R. Giovanelli, C. Marinoni), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **182**, 474 (2009).
24. Стетсон (P.B. Stetson), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **99**, 191 (1987).
25. Стетсон (P.B. Stetson), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 250 (1994).
26. Талли и др. (R.B. Tully, H.M. Courtois, A.E. Dolphin, J.R. Fisher, P. Heraudeau, B.A. Jacobs, I.D. Karachentsev, et al.), *Astron. J.* **146**, 86 (2013).
27. Талли и др. (R.B. Tully, H.M. Courtois, J.G. Sorce), *Astron. J.* **152**, 50 (2016).
28. 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).
29. Талли и др. (R.B. Tully, E.J. Shaya, M.J. Pierce), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **80**, 479 (1992).
30. Талли, Фишер (R.B. Tully R.B. and J.R. Fisher), *Catalog of Nearby Galaxies*, pp. 224. ISBN 0521352991 (Cambridge, UK: Cambridge Univer. Press, 1988).
31. Тихонов (Н.А. Тихонов), *Астрон. журн.* **82**, 563 (2005) [N.A. Tikhonov, *Astron. Rep.* **49**, 501 (2005)].
32. Тихонов (Н.А. Тихонов), *Астрон. журн.* **83**, 579 (2006) [N.A. Tikhonov, *Astron. Rep.* **50**, 517 (2006)].
33. Тихонов (Н.А. Тихонов), *Астрофиз. Бюлл.* **73**, 23 (2018) [N.A. Tikhonov, *Astrophys. Bull.*, 73, 22 (2018)].
34. Тихонов Н.А., Галазутдинова О.А., *Письма в Астрон. журн.* **35**, 829 (2009) [N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova, *Astron. Lett.* **35**, 748 (2009)].
35. Тихонов Н.А., Галазутдинова О.А., *Письма в Астрон. журн.* **42**, 476 (2016) [N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova, *Astron. Lett.* **42**, 428 (2016)].
36. Тихонов Н.А., Галазутдинова О.А., Лебедев В.С., *Письма в Астрон. журн.* **40**, 3 (2014) [N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova and V.S. Lebedev, *Astron. Lett.* **40**, 1 (2014)].
37. Тихонов Н.А., Галазутдинова О.А., Тихонов Е.Н., *Письма в Астрон. журн.* **35**, 665 (2009) [N.A. Tikhonov, O.A. Galazutdinova and E.N. Tikhonov, *Astron. Lett.* **35**, 559 (2009)].
38. Фьюрау и др. (G. Theureau, M.O. Hanski, N. Coudreau, N. Hallet, J.-M. Martin), *Astron. Astrophys.* **465**, 71 (2007).
39. Хайнес и др. (M.P. Haynes, R. Giovanelli, A.M. Martin, K.M. Hess, A. Saintonge, E.A.K. Adams, G. Hallenbeck, et al.), *Astron. J.* **142**, 170 (2011).
40. Хайнес и др. (M.P. Haynes, R. Giovanelli, B.R. Kent, E.A.K. Adams, T.J. Balonek, D.W. Craig, D. Fertig, et al.), *Astrophys. J.* **861**, 49 (2018).
41. Хиршауер и др. (A.S. Hirschauer, J.J. Salzer, E.D. Skillman, D. Berg, K.B.W. McQuinn, J.M. Cannon, A.J.R. Gordon, et al.), *Astrophys. J.* **822**, 108 (2016).
42. Шлафли, Финкбайнер (E.F. Schlafly and D.P. Finkbeiner), *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
43. Шульце-Ладбек, Хоп (R.E. Schulte-Ladbeck and U. Hopp), *Astron. J.* **116**, 2886 (1998).
44. Якобс и др. (B.A. Jacobs, L. Rizzi, R.B. Tully, E.J. Shaya, D.I. Makarov, L. Makarova), *Astron. J.* **138**, 332 (2009).
45. Яновицкий и др. (S. Janowiecki, L. Leisman, G. Jozsa, J.J. Salzer, M.P. Haynes, R. Giovanelli, K.L. Rhode, et al.), *Astrophys. J.* **801**, 96 (2015).
46. Ясуда и др. (N. Yasuda, M. Fukugita, S. Okamura), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **108**, 417 (1997).