

УДК 524.74:520.82

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ГРУППА ГАЛАКТИК IC 342/Maffei? ¹

© 2018 Н. А. Тихонов*, О. А. Галазутдинова

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 2 мая 2018 года; принята в печать 26 июня 2018 года

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла проведена звездная фотометрия в инфракрасном и видимом диапазонах полей в галактиках Maffei 1, Maffei 2 и IC 342, свет от которых испытывает сильное поглощение газопылевыми облаками нашей Галактики. На полученных диаграммах Герцшпрунга–Рессела выделены ветви красных гигантов и определены положения их верхних границ и показателей цвета. Сравнение показателей цвета ветви красных гигантов с аналогичными показателями у галактик, не испытывающих поглощения света, позволило определить величину поглощения света у Maffei 1, Maffei 2 и IC 342: $A_V = 3.06, 3.65$ и 0.95 , соответственно. Найдено, что эти галактики расположены на расстояниях 6.6, 6.8 и 3.9 Мпк. Полученные значения существенно отличаются от расстояний до этих же галактик (3.4, 3.5 и 3.5 Мпк), измеренных Ву и др. в 2014 году по тем же снимкам. Проведенные нами измерения показывают, что Maffei 1 и Maffei 2 не образуют единую группу с галактикой IC 342, как это считалось ранее.

Ключевые слова: *галактики: группы: индивидуальные: IC 342/Maffei — галактики: индивидуальные: IC 342, Maffei 1, Maffei 2*

1. ВВЕДЕНИЕ

В 1968 году Пауло Маффей на инфракрасных пластинках открыл две галактики в области Млечного пути, эллиптическую и спиральную, получившие названия Maffei 1 и Maffei 2 [1]. В направлении на эти галактики расположены газопылевые облака нашей Галактики, которые ослабляют свет на несколько звездных величин. Спустя три года после открытия было установлено, что Maffei 1 и Maffei 2 имеют малые лучевые скорости [2–4] (современные значения по NED: $v_h = 66 \text{ км с}^{-1}$ и -17 км с^{-1}), что указывало на возможную близость или даже вхождение этих галактик в состав Местной группы [2, 5, 6].

Изучение открытых галактик затруднялось сильным поглощением света, величина которого оставалась малоизвестной и варьировалась от публикации к публикации [2, 7–16]. Большое число работ указывает на трудности измерений и их малую точность. Неопределенность величины поглощения света приводила, в свою очередь, к малой точности в измерении расстояний. В

опубликованных работах расстояния до Maffei 1 и Maffei 2 принимают значения в интервале от 2.5 до 4.4 Мпк [8, 10–15, 17–19], при средней величине 3.5 Мпк.

Наличие асимметрии в морфологии Maffei 2 и повышенный уровень звездообразования в этой галактике указывали на возможное взаимодействие с близким соседом, возможно с Maffei 1 [9, 20], что вело к предположению о близком пространственном расположении этих галактик.

Примерно на таком же расстоянии, как Maffei 1 и Maffei 2, находится соседняя гигантская спиральная галактика IC 342 [21, 22], поэтому объединение этих галактик стали называть группой IC 342/Maffei [11, 17].

В 2014 году была опубликована работа [16], в которой на основе снимков с космического телескопа Хаббла, полученных в видимом и инфракрасном диапазоне, были определены расстояния до Maffei 1, Maffei 2 и IC 342: 3.37, 3.52 и 3.45 Мпк соответственно, а также величины поглощения света в направлении на эти галактики: $A_V = 3.74, 3.73$ и 1.73 . Измеренные расстояния мало отличались друг от друга, поэтому можно было считать, что группа IC 342/Maffei реально существует. Авторы работы [16] установили, что величины поглощения света у галактик Maffei 1 и Maffei 2 равны, что противоречило полученным ранее результатам о более сильном поглощении света у Maffei 2 по сравнению с Maffei 1 ([15] и

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 proposals 10131, 11360, 11712, 13691, 13737, 14166 and 14678.

*E-mail: ntik@sao.ru

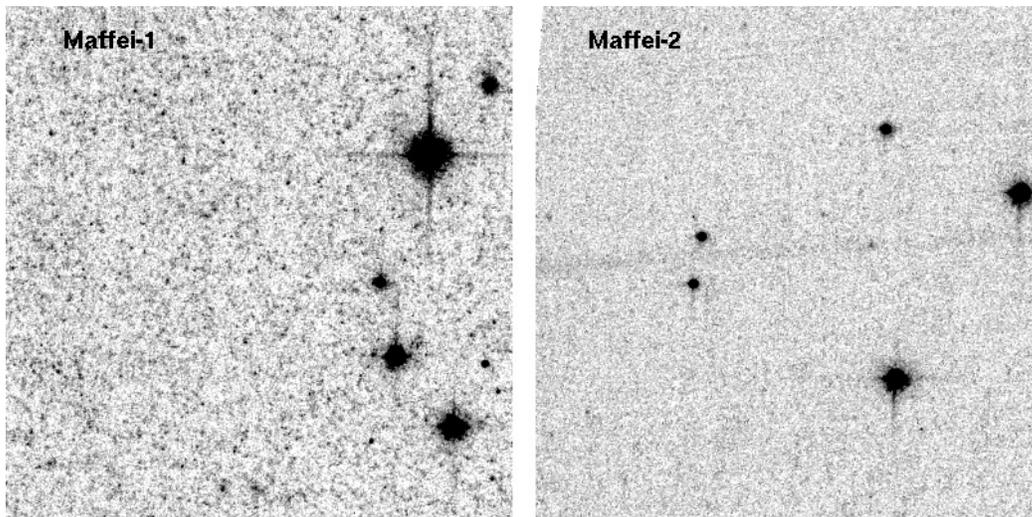


Рис. 1. Изображения фрагментов снимков галактик Maffei 1 и Maffei 2, полученных на космическом телескопе Хаббла в фильтре *F814W*. Большое количество звезд в поле Maffei 1 и почти их полное отсутствие у Maffei 2 может объясняться различиями в коэффициентах экстинкции, разностью расстояний и расположением полей на изображениях галактик.

ссылки в ней). Ву и др. [16] оставили без внимания и некоторые несоответствия между полученными ими результатами и визуальным сравнением снимков. Кроме инфракрасных изображений, где хорошо видны красные гиганты и AGB звезды, на космическом телескопе Хаббла были получены достаточно глубокие снимки Maffei 1 и Maffei 2 в фильтрах *F814W* (*I*) и *F606W* (*V*) с одинаковыми экспозициями для обеих галактик. Поскольку, согласно работе [16], галактики находятся почти на одинаковом расстоянии и испытывают одинаковое поглощение света, то и фотометрический предел в полях обеих галактик должен быть примерно одинаков. Однако сравнение показывает, что на снимке галактики Maffei 1 видно большое количество звезд, а на снимке Maffei 2 звезды почти полностью отсутствуют, а то небольшое их число, которое можно найти на снимке, выглядит явно слабее, чем у Maffei 1 (рис. 1). Из этого следует, что либо галактики находятся на разных расстояниях, т.е. измерения расстояний в работе [16] ошибочны, либо неверны определения поглощения света, что тоже ведет к неправильным результатам измерения расстояний. Возможно и третье предположение, что в поле снимка Maffei 2 с фильтром *F814W* звезды просто отсутствуют, поэтому их и не видно. Так как все спиральные галактики имеют протяженные звездные гало, состоящие из красных гигантов, то звезды на снимке Maffei 2 должны быть той же яркости, что и у Maffei 1 и присутствовать на снимке, хотя бы в небольшом количестве.

Указанные несоответствия побудили нас проверить сделанные Ву и др. оценки [16] и провести фотометрию галактик Maffei 1, Maffei 2 и IC 342 на основе тех же наблюдательных данных.

2. ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Для изучения структуры звездных подсистем галактик Maffei 1 и Maffei 2 и определения расстояний мы использовали архивные снимки космического телескопа Хаббла (HST), полученные по заявке ID10131.

Расположение снимков космического телескопа Хаббла (инфракрасных и в видимом диапазоне) относительно галактик показано на рис. 2, а ИК-снимки этих полей, полученные на космическом телескопе Хаббла, показаны на рис. 3. Для звездной фотометрии использовались два пакета программ: DAOPHOT II и DOLPHOT 2.0. Фотометрия звезд пакетом программ DAOPHOT II [23, 24] проводилась стандартным образом, как это описано нами ранее [25]. Полученные результаты прошли селекцию по параметрам “CHI” и “SHARP”, которые определяют форму фотометрического профиля каждой измеряемой звезды [23], что позволило нам удалить из таблиц с результатами 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 PSF-звезд.

Как отмечалось нами ранее [26], на чипах матрицы ACS/WFC из-за влияния космического излучения со временем появилась большая неэффективность переноса заряда, ведущая к зависимости результата фотометрии от координаты звезды по оси “Y”. Поэтому мы исключили из рассмотрения результаты фотометрии объектов на средней части матрицы, с координатами “Y” от 800 до 3300 пикселей. Естественно, это снижало объем нашей статистической выборки звезд и делало невозможным

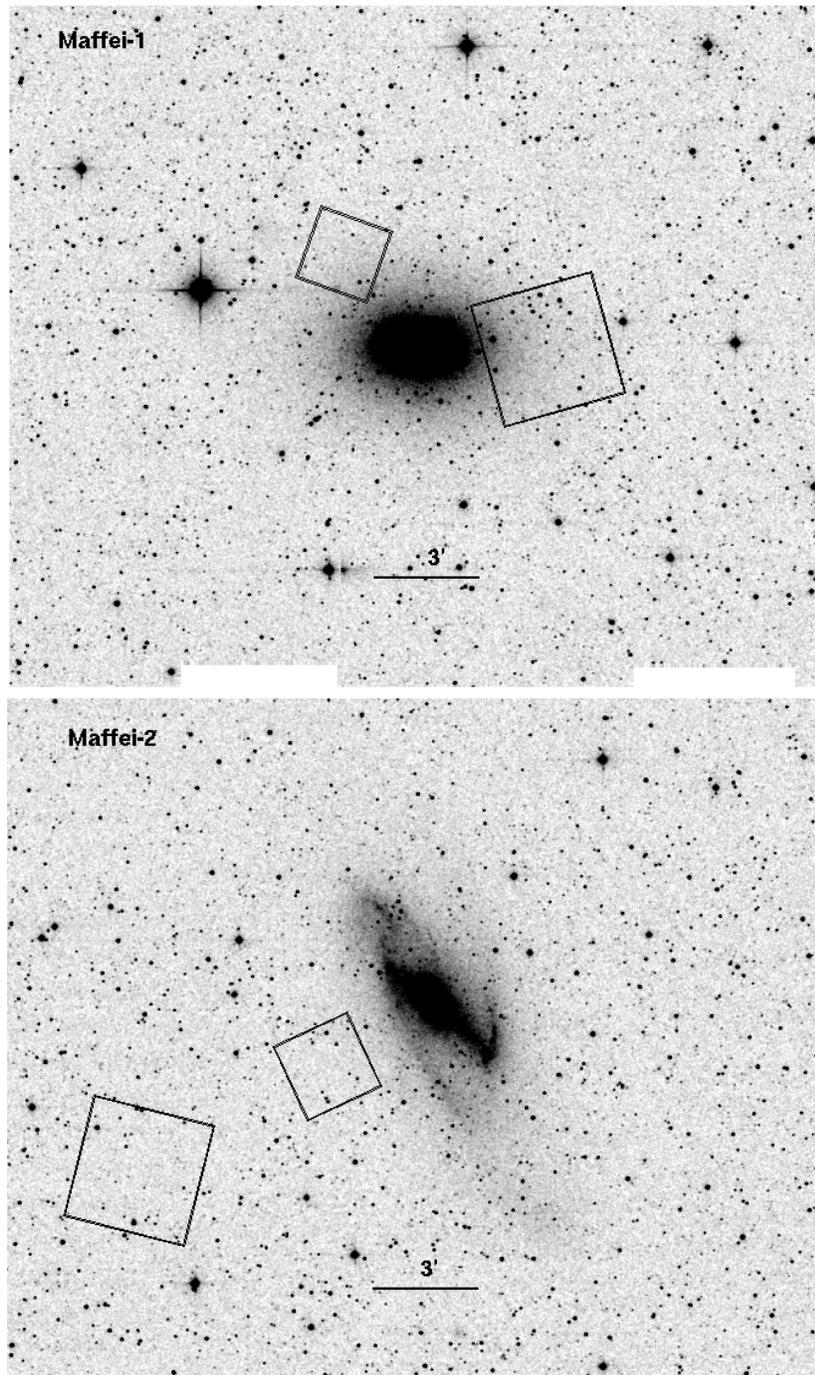


Рис. 2. Изображения галактик Maffei 1 и Maffei 2 на снимках 2MASS обзора в фильтре K_s . Квадратами отмечены поля снимков космического телескопа Хаббла с камерами ACS/WFC (размер поля $3.5' \times 3.5'$) и WFC3 (размер поля $2.1' \times 2.1'$). Север вверху.

изучение их видимого распределения по оси “Y”, но давало более высокую точность фотометрии.

Пакет DOLPHOT 2.0 использовался в соответствии с рекомендациями Долфина¹. В про-

¹<http://americano.dolphin-sim.com/dolphot/dolphot.pdf>

цессе фотометрии проводилось маскирование “плохих” пикселей, удаление следов космических частиц, PSF-фотометрия детектированных звезд в двух фильтрах и селекция списка звезд по параметрам профиля изображений “Chi” < 1.5 и “|SHARP|” < 0.3 .

При измерении расстояний до галактик TRGB-

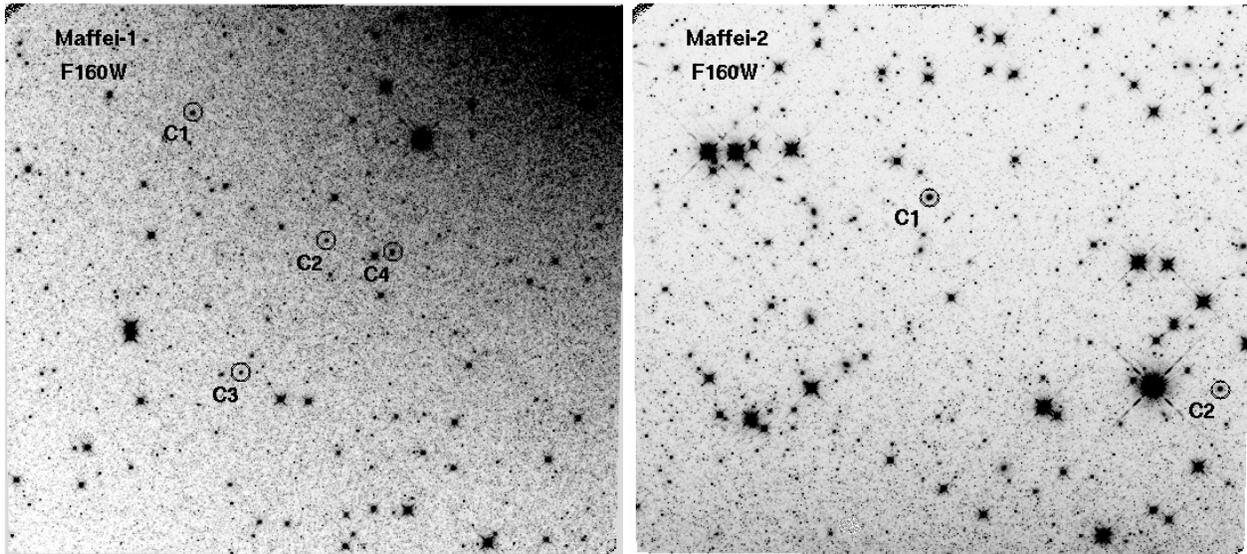


Рис. 3. ИК-снимки полей галактик Maffei 1 и Maffei 2, полученные на космическом телескопе Хаббла с камерой WFC3 в фильтре $F160W$. Кругами выделены возможные шаровые скопления.

методом [27] использовалась ветвь красных гигантов, положение верхней границы которой определялось применением фильтра Собея [28] к функции светимости красных гигантов и AGB звезд. Максимумы функции Собея показывают места резкого изменения градиента функции светимости, что наблюдается при переходе от AGB звезд к началу ветви красных гигантов. В галактиках Maffei 1 и Maffei 2 из-за сильного поглощения света красные гиганты на кадрах в полосе $F606W$ (V) находятся вблизи фотометрического предела снимков, но в $F814W$ (I) эти звезды видны вполне отчетливо. Совместная фотометрия снимков в фильтрах $F814W$ и $F606W$ устанавливает предел фотометрии по наименее глубокому снимку ($F606W$). В DAOPHOT II возможна фотометрия звезд только в одном фильтре, например $F814W$, что позволяет определить TRGB-скачок на основе наиболее глубоких изображений. Однако в этом случае отсутствие снимка $F606W$ не позволяет определить показатель цвета и затрудняет выявление красных гигантов.

Использование только одного фильтра ($F814W$) для определения TRGB-скачка и вычисления расстояния до галактики имеет свои особенности. Поскольку нет возможности получить диаграмму Герцшпрунга-Рессела (СМ-диаграмму) и на ней выделить по цвету красные гиганты, то полученная функция светимости будет функцией светимости всех объектов поля. При наличии в поле большого числа красных гигантов с низкой металличностью TRGB-скачок всегда хорошо виден даже при использовании снимка в одном фильтре. Если же в выборке имеются и высокометаллические и

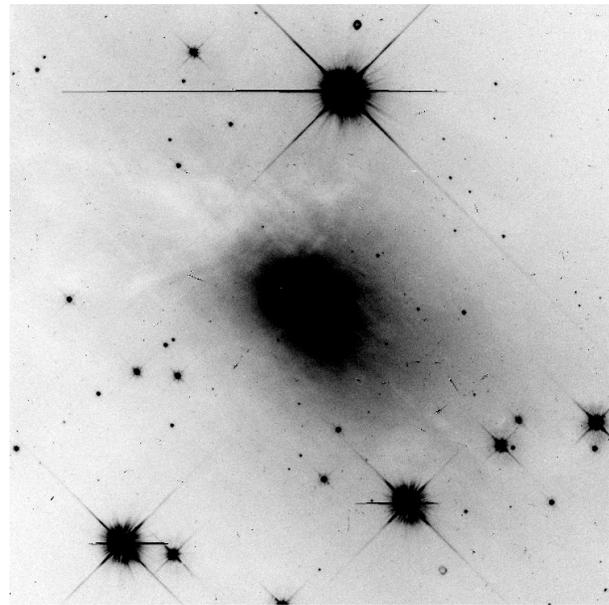


Рис. 4. Снимок центральной области Maffei 1 с камерой WFPC2 космического телескопа Хаббла в фильтре $F606W$. Светлые, неправильной формы области — газопылевые облака Maffei 1.

малометаллические звезды, как это наблюдается в эллиптических галактиках, то TRGB-скачок будет малозаметен и проявится как изменение градиента функции светимости. Во многих случаях такое изменение градиента лучше заметно при представлении численности звезд в логарифмическом масштабе.

В DAOPHOT II для преобразования инструментальных звездных величин в V и I -величины

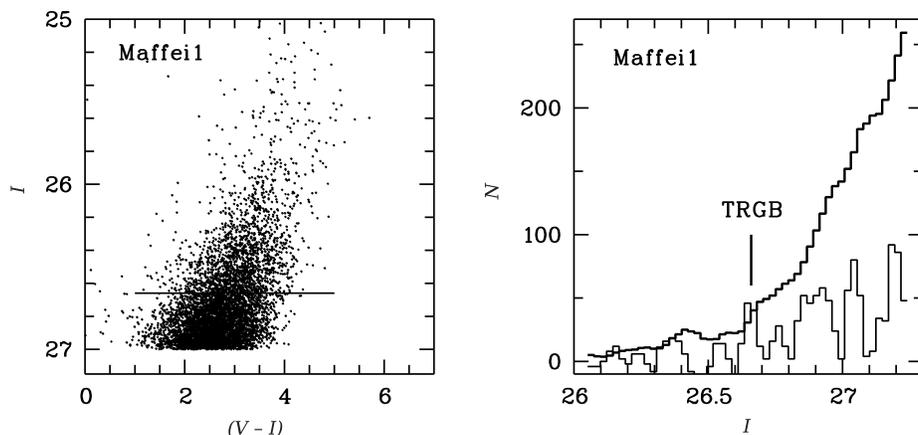


Рис. 5. (а) CM-диаграмма звезд поля Маффеи 1. Горизонтальная линия — граница ветви красных гигантов (TRGB-скачок); (б) функция светимости, вертикальный отрезок отмечает положение TRGB-скачка.

системы Крона–Казинса использовались уравнения перехода, полученные нами ранее [25]:

$$(V - I) = 1.3213 \times (v - i) + 1.133, \quad (1)$$

$$I = i + 0.0592 \times (V - I) + 25.972, \quad (2)$$

где $(v - i)$ и i — инструментальные звездные величины, а $(V - I)$ и I — звездные величины в системе Крона–Казинса.

Согласно второму уравнению зависимость получаемой светимости звезды в фильтре I от показателя цвета звезды $(V - I)$ мала, т.е. если мы подставим в уравнение (2) уже примерно известное значение “покрасневшего” показателя цвета красных гигантов $(V - I) = 3.0$, то звезды краснее или голубее на 0^m5 будут иметь ошибку измерения светимости в фильтре I всего лишь 0^m03 . Понятно, что такое преобразование не подходит для одновременного перевода в I величины голубых и красных звезд, но в тех полях, где проводилась фотометрия, молодые голубые звезды отсутствуют. Функцию светимости на основе снимков в одном фильтре, $F814W$ (I), как более глубокую, мы использовали при работе с галактикой Маффеи 2.

3. Maffei 1

На снимках центральной области галактики Маффеи 1 с камерой WFPC2 видны протяженные газопылевые облака (рис. 4). Неясно, насколько далеко они тянутся от центра галактики, но их присутствие вблизи центра позволяет предполагать, что они вносят добавочное покраснение в общий показатель цвета всей галактики, и, кроме того, возможна переменность величины поглощения света в направлении на разные участки Маффеи 1.

На снимках Маффеи 1 в фильтрах $F814W$ и $F606W$ камеры ACS/WFC видно множество

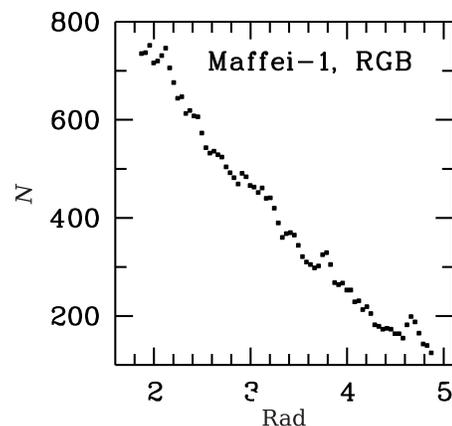


Рис. 6. Распределение численной плотности красных гигантов на снимке с фильтром $F814W$ в направлении на центр галактики Маффеи 1. Увеличение числа звезд к центру подтверждает их принадлежность галактике Маффеи 1.

AGB звезд и красных гигантов, которые принадлежат Маффеи 1. Часть такого снимка показана на рис. 1. Результаты фотометрии звезд этого поля показаны на рис. 5а в виде CM-диаграммы. В диапазоне показателей цвета $2 < (V - I) < 4$ видна ветвь красных гигантов, выше которой расположены более яркие AGB звезды. На рис. 5б показана функция светимости AGB звезд и красных гигантов с отметкой начала ветви гигантов (TRGB-скачок) при $I = 26.66 \pm 0.03$. За пределом TRGB-скачка виден резкий рост числа звезд, что обычно наблюдается на функции светимости при переходе на ветвь красных гигантов.

На рис. 6 показано распределение по полю численной плотности красных гигантов в диапазоне яркости от $I = 26^m7$ до $I = 27^m0$. Видно, что численность звезд в направлении галактики

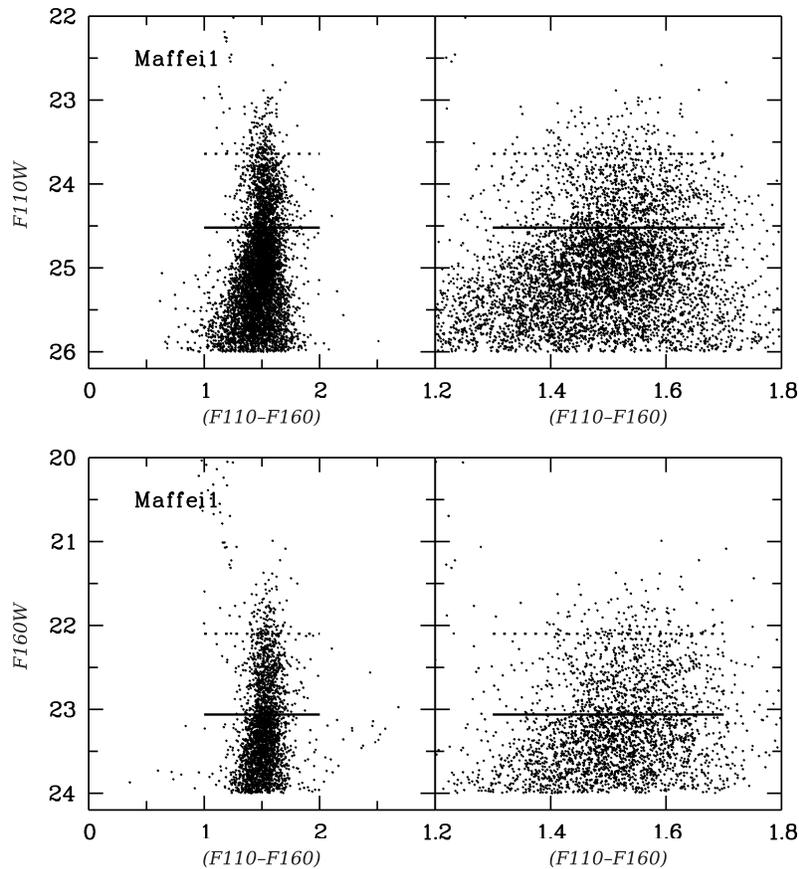


Рис. 7. CM-диаграмма звезд поля Маффеи 1 в инфракрасном диапазоне, для фильтров $F110W$ (вверху) и $F160W$ (внизу). Горизонтальной линией отмечена граница ветви красных гигантов, для визуального подтверждения границы ветви красных гигантов эта же функция показана справа в увеличенном по оси X масштабе. Пунктиром отмечено место TRGB-скачка по работе Ву и др. [16].

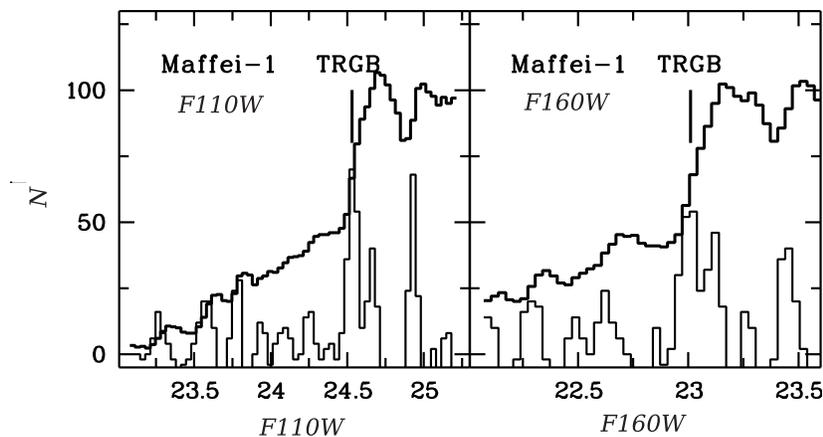


Рис. 8. Функции светимости AGB звезд и красных гигантов Маффеи 1 для диапазонов $F110W$ и $F160W$. Вертикальными отрезками показаны положения TRGB-скачков.

возрастает, т.е. они действительно принадлежат галактике Маффеи 1. Полученной диаграммы (рис. 5а) было бы достаточно для определения расстояния до Маффеи 1, если бы величина поглощения света

в направлении на эту галактику была известна. Можно воспользоваться результатами из NED на основе работы Шлафли и Финкбайнера [29]

и принять: $A_I = 1.755$ и $E(V - I) = 1.442$. Тогда получим, что расстояние до Maffei 1 равно 6.3 Мпк. При больших величинах поглощения света могут быть различия между реальными значениями и оценками Шлафли и Финкбайнера [29], поэтому последние можно использовать, если нет других возможностей для определения покраснения. В нашем случае есть данные фотометрии галактик в инфракрасном диапазоне.

В ИК-диапазоне Maffei 1 прекрасно разрешается на звезды (рис. 3а). Трудность фотометрии заключается в избыточной численной плотности звезд, поэтому при всех вычислениях мы не использовали половину поля, которая наиболее близко расположена к центру галактики и имеет очень высокую звездную плотность. На ИК-снимке (рис. 3а) мы выделили четыре вероятных шаровых скопления, которые имеют меньшие видимые размеры по сравнению с действительно шаровыми скоплениями Maffei 2. Возможно, это далекие галактики.

Результаты фотометрии инфракрасных снимков представлены в виде СМ-диаграмм на рис. 7 в виде двойных диаграмм, где справа изображены те же данные, что и слева, но с увеличенным масштабом по оси абсцисс, чтобы были видны подробности строения СМ-диаграмм. Функции светимости для фильтров $F110W$ и $F160W$ с указанием положений TRGB-скачков представлены на рис. 8. На этих диаграммах видно, что ветвь красных гигантов начинается при $F110W = 24.53$ и $F160W = 23.02$, а не при $F110W = 23.64$ и $F160W = 22.10$, как это указано в работе Ву и др. [16]. Различие составляет около одной звездной величины, что ведет к существенному изменению оценки расстояния до галактики.

4. Maffei 2

На снимках центра Maffei 2 с камерой WFPC2 галактика разрешается, хотя и на пределе, на отдельные звезды, а вдоль спиральных ветвей видны плотные газопылевые облака, между которыми просматриваются звезды (рис. 9). Наличие облаков указывает, так же, как и для Maffei 1, на возможную переменность величины поглощения света в зависимости от расположения изучаемого поля. На периферии галактики влияние этих облаков должно быть небольшим, поскольку газ и пыль чаще всего концентрируются в центральных областях галактик.

Поле для снимков в видимом диапазоне с камерой ACS/WFC было выбрано слишком далеко от центра галактики (рис. 2b), и, по всей видимости, только звезды гало попадают в это поле. Поэтому их численная плотность по полю должна быть меньше, чем это наблюдается у Maffei 1.

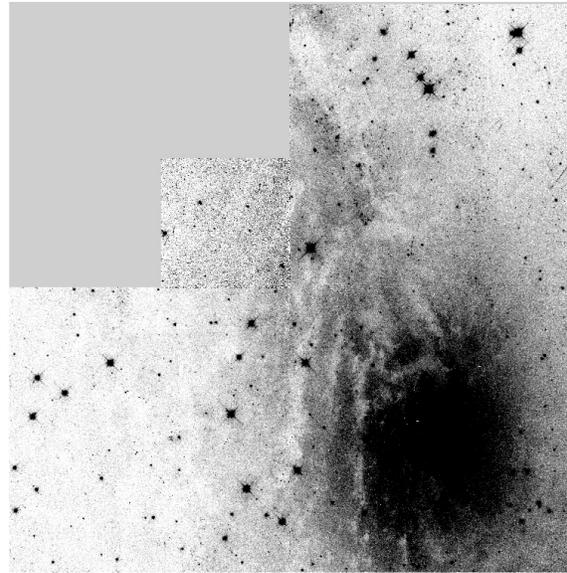


Рис. 9. Снимок центральной области Maffei 2 с камерой WFPC2 космического телескопа Хаббла в фильтре $F814W$. Вдоль спиральных рукавов видны протяженные газопылевые облака, сквозь которые просматриваются ярчайшие звезды и скопления.

После процедуры фотометрии и построения СМ-диаграммы (рис. 10) становится ясно, что красные гиганты Maffei 2 находятся вблизи предела снимков. Распределение звезд на функции светимости указывает на TRGB-скачок при $I = 27.09 \pm 0.08$ (рис. 10). Из-за близости TRGB-скачка к фотометрическому пределу снимка (который находится при $I = 28$), точность определения TRGB-скачка существенно ниже, чем у Maffei 1.

В ИК-диапазоне Maffei 2, так же, как и Maffei 1, прекрасно разрешается на звезды (рис. 3b). На изображениях хорошо видны два шаровых скопления, периферия которых также разрешается на звезды. Результаты фотометрии ИК-снимков представлены в виде СМ-диаграмм на рис. 11, а на рис. 12 — функции светимости и положения TRGB-скачков. На обеих СМ-диаграммах и функциях светимости видно начало ветви красных гигантов при $F110W = 24.81$ и $F160W = 23.25$, а не при $F110W = 23.60$ и $F160W = 22.02$, как это указано в работе Ву и др. [16].

Можно проверить, действительно ли в удаленном от центра галактики поле с фильтрами $F814W$ и $F606W$ должны присутствовать красные гиганты? Для этого на рис. 13 представлено распределение численной плотности красных гигантов по полю ИК-снимков, которое находится ближе к центру галактики. Падение численной плотности звезд в этом поле происходит в направлении на поле с фильтром $F814W$ (рис. 2b). При экстраполяции

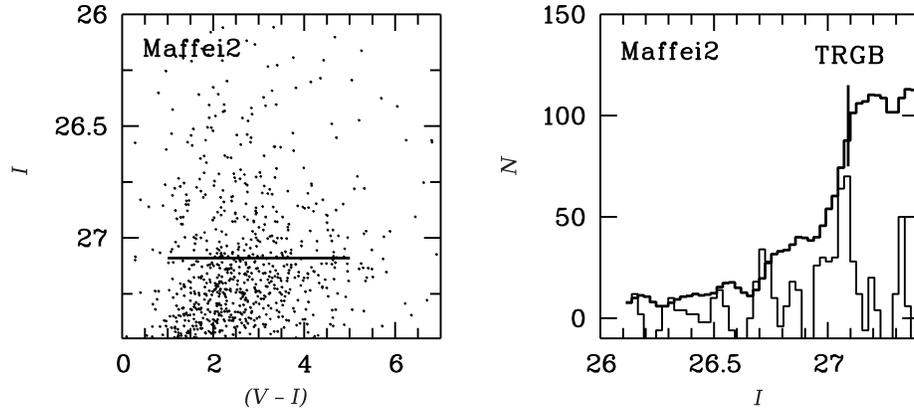


Рис. 10. (а) CM-диаграмма звезд поля Maffei 2. горизонтальная линия — граница ветви красных гигантов (TRGB-скачок); (б) функция светимости звезд, вертикальный отрезок отмечает положение TRGB-скачка.

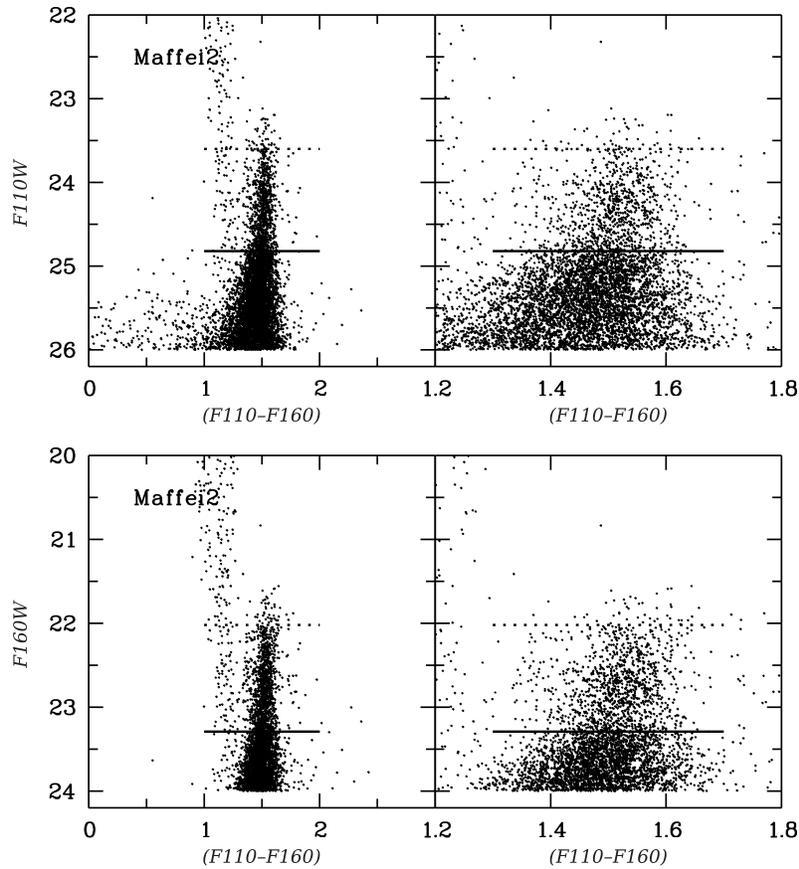


Рис. 11. CM-диаграммы звезд поля Maffei 2 в инфракрасном диапазоне для фильтров $F110W$ и $F160W$ (справа в увеличенном по оси абсцисс масштабе). Горизонтальной линией отмечена граница ветви красных гигантов (TRGB-скачок), а пунктирная линия отмечает место TRGB-скачка по работе Ву и др. [16].

данных диаграммы на рис. 13 до расстояния, где находится поле $F814W$, видно, что красные гиганты на таком расстоянии должны присутствовать, хотя и в небольшом количестве. Их наличие в этом

месте подтверждает CM-диаграмма с фильтрами $F814W$ и $F606W$ (рис. 10).

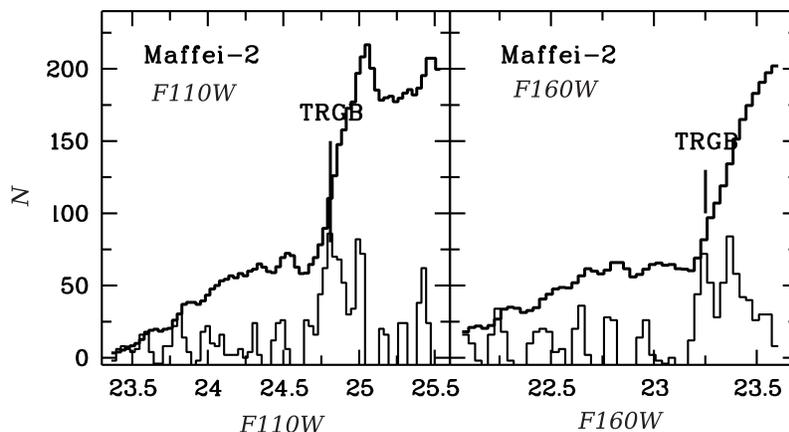


Рис. 12. Функции светимости AGB звезд и красных гигантов Мaffeй 2 для фильтров $F110W$ и $F160W$. Вертикальными отрезками показаны положения TRGB-скачков.

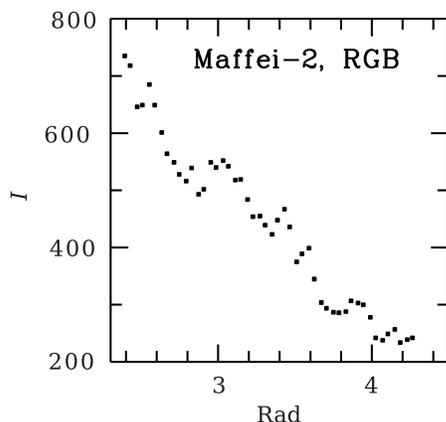


Рис. 13. Распределение численной плотности красных гигантов вдоль поля WFC3 в направлении на поле снимков $F814W$ и $F606W$. Экстраполяция этого распределения показывает, что красные гиганты на поле $F814W$ должны присутствовать, хотя и в незначительном количестве. Масштаб по оси абсцисс указан в угловых минутах.

5. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА И ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

Вид зависимости между длиной волны света и величиной поглощения хорошо известен (Карделли и др. 1989). При известной разности величин поглощения в двух фильтрах, например $E(B - V)$, можно вычислить величину поглощения в любом другом фильтре: A_V , A_I или A_J , используя зависимости между величинами поглощения света из работы Карделли и др. [30] и информацию из базы NED.

В NED приведены данные по величинам поглощения света для стандартных фильтров, в частности, для фотометрической системы $J(1.25 \mu m)$ и $H(1.66 \mu m)$. Поскольку она немного отличается

Таблица 1. Величины TRGB-скачков Maffeй 1 и Maffeй 2

Фильтр	TRGB		Разность TRGB
	Maffeй 1	Maffeй 2	
$F814W$	26.66	27.09	0.43
$F110W$	24.53	24.81	0.28
$F160W$	23.02	23.25	0.23

от системы космического телескопа Хаббла, где используются фильтры $F110W$ и $F160W$, то мы вычислили зависимости для системы Хаббла и получили следующие соотношения:

$$A_I = 3.730 \times E(F110W - F160W) \quad (3)$$

$$A_V = 6.796 \times E(F110W - F160W) \quad (4)$$

$$E(V - I) = 3.066 \times E(F110W - F160W) \quad (5)$$

$$A_I = 2.404 \times E(F814W - F110W) \quad (6)$$

$$A_I = 1.462 \times E(F814W - F160W). \quad (7)$$

В таблице 1 для галактик Maffeй 1 и Maffeй 2 представлены полученные значения TRGB-скачков в фильтрах $F814W$, $F110W$ и $F160W$.

Можно заметить, что для фильтров $F814W$, $F110W$ и $F160W$ между обеими галактиками существует непрерывно уменьшающаяся разность TRGB-скачков: 0.43, 0.28, 0.23. Если бы поглощение света было одинаковым для двух галактик, то эти разности были бы постоянными и соответствовали только разности расстояний. Для галактик, находящихся на одинаковом расстоянии, но испытывающих разное поглощение света, они были бы просто разностями поглощения света у этих галактик в фильтрах $F814W$, $F110W$ и $F160W$. Величины поглощения света в разных фильтрах связаны

между собой уравнениями (3–7). Предположим, что Maffei 1 и Maffei 2 находятся на одинаковом расстоянии, при этом разность TRGB-скачков в фильтре $F814W$ равна 0.43. Тогда из уравнений (3–7) в фильтре $F160W$ разность TRGB-скачков должна быть 0.14, а реально измерено — 0.23, то есть кроме разности в поглощении света у этих галактик существует и разность расстояний.

Воспользуемся уравнениями (3–7) и измеренными разностями TRGB-скачков для вычисления раздельно разностей расстояний и поглощений света для галактик Maffei 1 и Maffei 2. Если разность расстояний между Maffei 1 и Maffei 2 в звездных единицах обозначить как $DR1$ для пары фильтров $F814W$ и $F160W$ и $DR2$ для пары $F814W$ и $F110W$, а величины поглощения света в разных фильтрах у галактик Maffei 1 и Maffei 2 как $A1^*$ и $A2^*$, то можно составить следующие соотношения для первой пары фильтров:

$$A2_I - A1_I + DR1 = 0.43 \quad (8)$$

$$A2_{160} - A1_{160} + DR1 = 0.23 \quad (9)$$

$$A_{160} = 0.316 \times A_I. \quad (10)$$

Из этих соотношений находим, что $DR1 = 0.20$, $A2_I - A1_I = 0.23$, т.е. разность расстояний между галактиками на основе измерений по этой паре фильтров равна 0^m20 , а разность поглощений света в фильтре I — 0^m23 .

Аналогичные соотношения можно составить для фильтров $F814W$ и $F110W$:

$$A2_I - A1_I + DR2 = 0.43 \quad (11)$$

$$A2_{110} - A1_{110} + DR2 = 0.28 \quad (12)$$

$$A_{110} = 0.584 \times A_I, \quad (13)$$

откуда $A2_I - A1_I = 0.36$, а $DR2 = 0.07$, т.е. для этой пары фильтров разность расстояний между галактиками равна 0^m07 , а разность поглощений света в фильтре I — 0^m36 .

Для двух пар фильтров: ($F814W$, $F110W$) и ($F814W$, $F160W$), мы получили несколько различающиеся результаты, что объясняется как точностью измерений, так и ее потерей при арифметическом действии — вычитании почти равных величин. В среднем, по результатам этих вычислений следует принять, что 0^m30 в фильтре I дает различие величин поглощения света у двух галактик, а 0^m13 дает различие расстояний между ними, причем Maffei 2 расположен дальше и испытывает большее поглощение света. Таким образом, не определив пока еще конкретных расстояний до галактик, мы вычислили разность расстояний между галактиками и различие в поглощении света.

На CM-диаграммах в ИК-диапазоне у Maffei 1 и Maffei 2 ветви красных гигантов смещены от своего нормального положения. Поскольку величина смещения зависит от величины поглощения

света, то это дает возможность вычислить значения поглощения света для каждой галактики. Основная трудность этого метода — поиск объекта сравнения, где ветвь красных гигантов занимала бы это нормальное положение. На CM-диаграмме показатель цвета ветви красных гигантов зависит от металличности звезд. Однако металличность звезд галактики, например эллиптической, как Maffei 1, зависит от расстояния до центра этой галактики и массы самой галактики. Оказалось, что невозможно в архивах найти измерения звезд в галактиках, которые морфологически были бы подобны исследуемым нами, но имели бы точно измеренные расстояния, а поглощение света в их направлении было бы минимальным.

Подбирая галактики сравнения, подходящие для эллиптической галактики Maffei 1, мы провели фотометрию эллиптических галактик слабее и ярче, чем Maffei 1, для поиска зависимости между светимостью (массой) галактики и показателем цвета ветви красных гигантов ($F110W - F160W$). У карликовой галактики IC 3586 ($B = 14^m4$) из скопления Virgo показатель цвета красных гигантов ($F110W - F160W$) = 0^m93 . У более яркой галактики NGC 4458 ($B = 12^m9$), также из скопления Virgo, измерения на расстоянии 7 кпк от центра галактики показывают, показатель цвета ($F110W - F160W$) = 1^m01 . Галактика M 85 из Virgo превосходит по яркости Maffei 1 примерно на одну звездную величину. Измерения цвета ветви красных гигантов M 85 показали значение ($F110W - F160W$) = 1^m07 на расстоянии 8 кпк. Исходя из этих данных, мы можем считать, что при отсутствии поглощения света показатель цвета ветви красных гигантов в галактике Maffei 1 имел бы значение ($F110W - F160W$) = 1.04. Измеренное значение для этой же галактики ($F110W - F160W$) = 1.49, т.е. имеет место покраснение ветви гигантов на 0^m45 , что дает возможность определить для этого поля поглощение света в направлении на Maffei 1. На основании зависимостей (3–7) можно вычислить, что $A_I = 1.678$, $A_V = 3.058$ и $E(V - I) = 1.380$.

Определенная нами величина поглощения в фильтре I всего лишь на 0^m077 отличается от оценки поглощения на основе работы Шлафли и Финкбайнера [29], что можно считать хорошим соответствием. Используя полученное значение поглощения света и наши результаты фотометрии Maffei 1 с фильтрами $F814W$ и $F606W$, можно более точно определить расстояние до галактики Maffei 1. При $I_{TRGB} = 26.66$ и величине поглощения $A_I = 1.678$ модуль расстояния равен $(m - M) = 29.08$, что соответствует $D = 6.56$ Мпк. Тогда, на основании вышеприведенных зависимостей, находим, что у Maffei 2 модуль расстояния $(m - M) = 29.21$, что

соответствует расстоянию $D = 6.95$ Мпк. С учетом ранее определенной нами разности поглощения света у двух галактик можно вычислить для Maffei 2 величины поглощения света: $A_I = 1.98$, $A_V = 3.61$ и $E(V - I) = 1.63$.

Смещенное положение ветви красных гигантов у Maffei 2 также можно использовать для независимого измерения поглощения света. Однако здесь возникают неопределенности, которых не было в случае Maffei 1. Спиральные галактики, к которым относится Maffei 2 обладают большим разнообразием морфологии, чем эллиптические галактики. Мы профотометрировали несколько ярких спиральных галактик в ИК-диапазоне и нашли, что показатель цвета ветви красных гигантов изменяется у них довольно значительно. У спиральной галактики M 83 на площадке, удаленной на $2'8$ от центра галактики, показатель $(F110W - F160W)$ изменяется от 0^m95 до 0^m99 при приближении к центру галактики. Для NGC 4526 из скопления Virgo показатель цвета $(F110W - F160W) = 0^m92$ на расстоянии $3'25$ от центра (что соответствует 12.7 кпк). У гигантской M 101 для шести площадок на расстояниях от $4'3$ до $14'6$ от центра галактики, что соответствует 8.5–28.9 кпк, значение показателя цвета практически не изменяется и равно $(F110W - F160W) = 0^m95$. Учитывая близость исследуемой ИК-площадки к центру Maffei 2, мы можем принять для нее значение $(F110W - F160W) = 0^m96$. Тогда разность показателей цвета, измеренных и предполагаемых, будет $(1.50 - 0.96) = 0.54$. Используя зависимости (3–7), мы получаем $A_I = 2^m014$, что всего лишь на 0^m03 отличается от определенной нами другим способом величины поглощения света. При средней из двух значений величине поглощения света $A_I = 2^m00$ и значении TRGB-скачка в видимом диапазоне $I = 27.09$ модуль расстояния $(m - M) = 29.16$, что соответствует $D = 6.83$ Мпк, в согласии с полученным ранее результатом.

Кроме показателей цвета ветви красных гигантов в ИК-диапазоне измерены положения TRGB-скачков, и можно использовать TRGB-метод для определения расстояний. Однако, в отличие от надежно прокалиброванного TRGB-метода в фильтрах I и V , в ИК-диапазоне даже для калибровочных галактик наблюдается значительное рассеяние [16, 31]. Особенно существенно оно в случае галактик с высокой металличностью звезд, где показатели цвета $(F110W - F160W)$ превышают 1^m0 , т.е. галактик высокой светимости, к которым относятся Maffei 1 и Maffei 2. Поэтому результаты, которые можно получить на основании ИК-наблюдений, будут иметь заведомо более низкую точность. ИК-данные можно будет использовать

для определения расстояний по мере уточнения калибровочных зависимостей для этого диапазона.

6. IC 342

Гигантская спиральная галактика IC 342 находится дальше от плоскости Галактики, чем Maffei 1 и Maffei 2, поэтому ее излучение в меньшей степени испытывает поглощение газопылевыми облаками, и для измерения расстояния нет необходимости переходить в инфракрасный диапазон. Ранее мы определили расстояние до этой галактики, но исследуемое поле было расположено в яркой части ее тела галактики, что вызвало трудности в измерении поглощения света [32]. По результатам указанной работы значение расстояния $D = 3.97 \pm 0.10$, что значительно отличается от расстояния, полученного Ву и др. [16] по инфракрасным снимкам ($D = 3.31$ Мпк), и более близко к оценкам этих же авторов по снимкам в видимом диапазоне ($D = 3.56$ Мпк). Учитывая изученность TRGB-метода и его хорошую точность измерений, полученную в работах многих исследователей, и с другой стороны — существенное рассеяние точек на калибровочных диаграммах в ИК-диапазоне [16, 31], можно утверждать, что значение расстояния $D = 3.56$ Мпк является более достоверным, чем $D = 3.31$ Мпк. Из-за расхождения результатов для относительно близкой галактики IC 342 мы провели ее фотометрию на основе тех же снимков, которые использовали Ву и др. [16].

На рис. 14 представлен DSS-кадр IC 342 с разметкой полей космического телескопа Хаббла, сами снимки в видимом и ИК-диапазонах показаны на рис. 15a и 15b. В каждом из полей отмечено по одному шаровому скоплению, для звезд периферии которых можно построить CM-диаграммы. Фотометрия полей IC 342 была проведена совершенно так же, как и для галактик Maffei 1 и Maffei 2. На рис. 16 представлена CM-диаграмма звезд в фильтрах $F814W$ и $F606W$. На диаграмме видна ветвь голубых сверхгигантов, большая часть которых, как оказалось, принадлежит единственной в этом поле компактной области звездообразования, отмеченной кружком на рис. 15a. Наличие области звездообразования дает возможность точно измерить поглощение света без использования ИК-снимков. Анализ функций светимости красных гигантов и AGB звезд для разных областей поля показал, что значения TRGB-скачков различаются для разных участков поля. Для верхней части поля (рис. 15a) TRGB-скачок наблюдается при $I = 24^m85$, а для нижней — при $I = 24^m62$ (рис. 17). Различие довольно большое и объясняется, вероятно, неравномерностями поглощения света. Для измерения величины поглощения света и покраснения звезд в области звездообразования

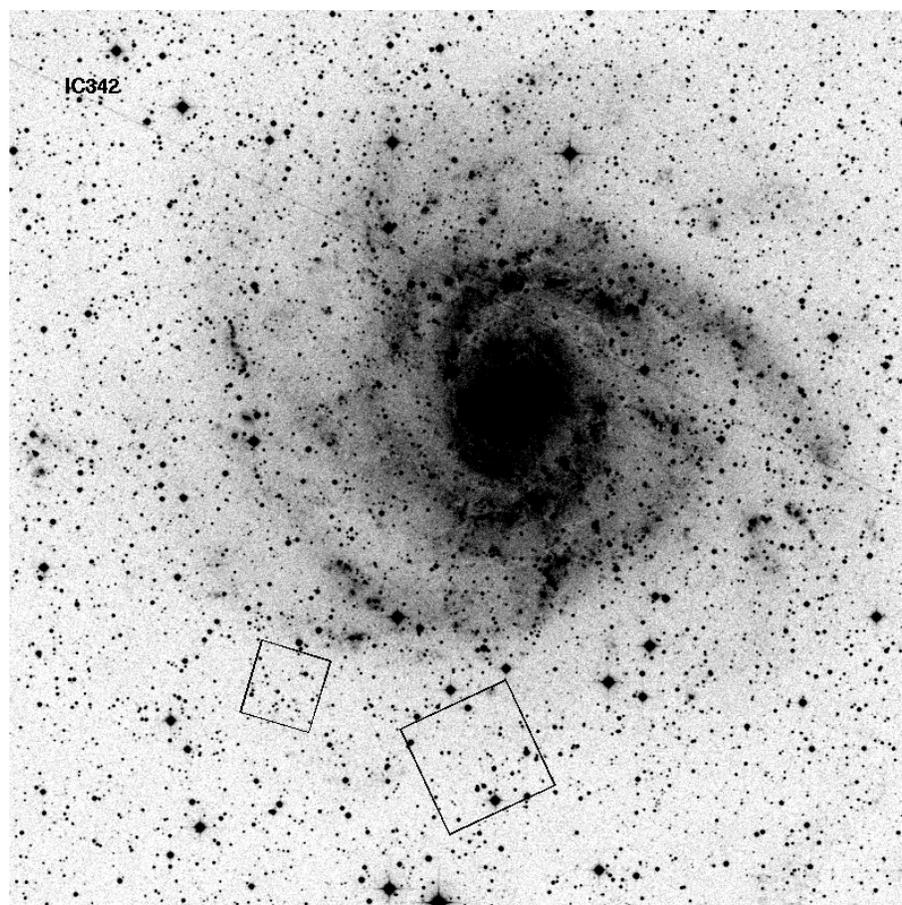


Рис. 14. Изображение галактики IC 342 на снимке DSS-обзора. Квадратами отмечены поля снимков космического телескопа Хаббла с камерами ACS/WFC (размер поля $3.5' \times 3.5'$) и WFC3 (размер $2.1' \times 2.1'$). Север вверху.

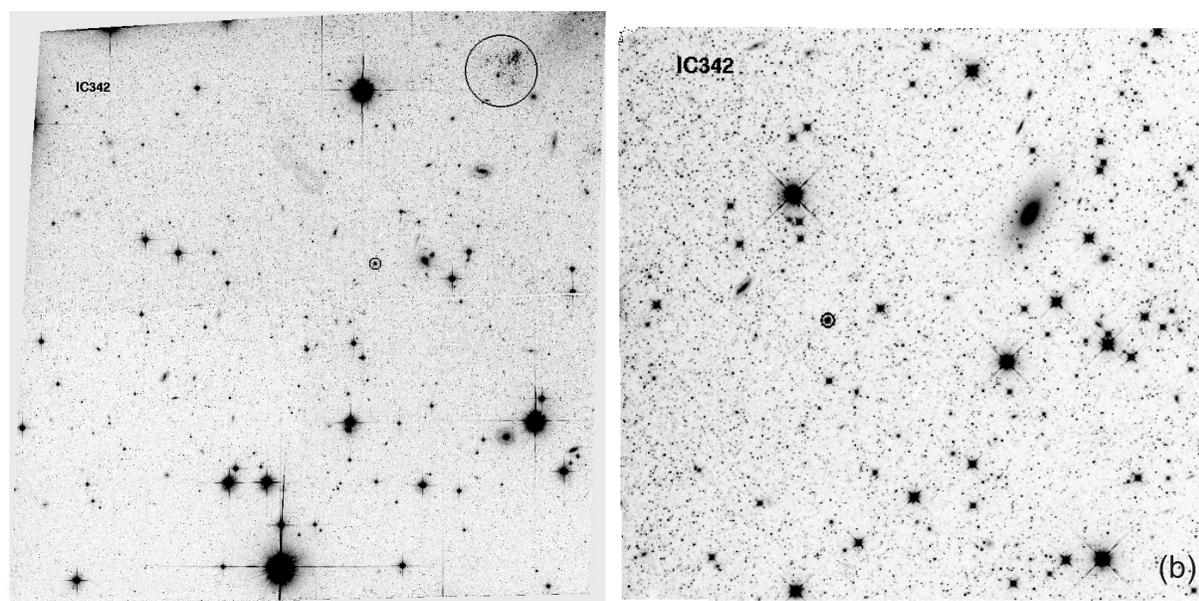


Рис. 15. Снимки поля в галактике IC 342, полученные на космическом телескопе Хаббла с камерой WFC3 в фильтрах $F814W$ (слева) и $F110W$ (справа). Большим кружком отмечена область звездообразования, малыми кружками — шаровые скопления.

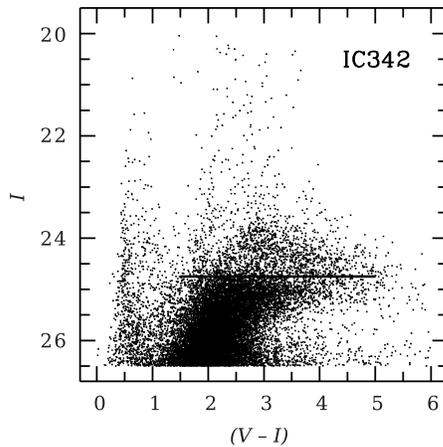


Рис. 16. CM-диаграмма звезд поля IC 342. Горизонтальной линией отмечена граница ветви красных гигантов (TRGB-скачок) для звезд вблизи области звездообразования.

Таблица 2. Результаты измерений галактик Maffei 1, Maffei 2 и IC 342

Параметр	Оценка	
	This work	Бу и др. [16]
Maffei 1		
$TRGB_I$	26.66	
$TRGB_{110}$	24.53	23.642
$TRGB_{160}$	23.02	22.097
$E(B - V)$	0.986	1.169
D , Мпк	6.56	3.43
Maffei 2		
$TRGB_I$	27.09	
$TRGB_{110}$	24.81	23.602
$TRGB_{160}$	23.25	22.021
$E(B - V)$	1.180	1.165
D , Мпк	6.83	3.52
IC 342		
$TRGB_I(1)$	24.85	24.697
$TRGB_I(2)$	24.75	23.697
$E(B - V)$	0.514	0.541
$D(1)$, Мпк	4.11	3.56
$D(2)$, Мпк	3.93	3.56

мы вписали в ее CM-диаграмму теоретические изохроны Бертелли и др. [33]. Наилучшим образом вписались изохроны с металличностью $Z = 0.02$, возрастом звезд от 8 до 15 млн. лет и покраснением $E(V - I) = 0.72$ (рис. 18), что соответствует поглощению света $A_I = 0.876$. Поскольку TRGB-скачок наблюдается при $I = 24^m85$ в той части поля, которая наиболее близко расположена к области звездообразования, то расстояние до IC 342 будет равно $D = 4.11$ Мпк при металличности красных гигантов $[Fe/H] = -0.92$ и модуле расстояния $(m - M) = 28.07$. Если принять за основу значение TRGB-скачка при $I = 24^m62$, как это наблюдается в нижней части поля (рис. 17), то получится расстояние $D = 3.75$ Мпк. Поскольку эта часть поля максимально удалена от места измерения поглощения света, то значимость этого измерения минимальна. И, наконец, если взять среднее значение TRGB-скачка по всему полю при $I = 24^m75$, которое близко к тому значению $I = 24^m697$, которое получили авторы работы [16], то расстояние будет $D = 3.93$ Мпк. Это значение почти совпадает с результатом ($D = 3.97$ Мпк), который был получен нами ранее по другому полю [32]. Все результаты наших измерений отличаются от значений, полученных Бу и др. [16]. В оптическом диапазоне это происходит из-за неточного учета поглощения света, а в ИК-диапазоне дополнительно вносят свой вклад еще и неточности используемых калибровок.

Полученные нами результаты фотометрии и оценки расстояний приведены в таблице 2, где также представлены результаты работы Бу и др. [16]. Для галактики IC 342 указано измерение расстояния по звездам вблизи области звездообразования (индекс 1) и при использовании среднего по полю значения (индекс 2).

Точность наших измерений расстояний равна 0^m15 и обусловлена точностью самого TRGB метода [27] с учетом потерь примерно в 0^m05 при фотометрии звезд и определении поглощения света. Величина 0^m15 соответствует точноности 0.48 Мпк для оценки расстояний до Maffei 1 и Maffei 2, и 0.30 Мпк для галактики IC 342.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На основе фотометрии снимков космического телескопа Хаббла определены расстояния до галактик, свет от которых испытывает сильное поглощение в газопылевых облаках. На снимках с фильтрами $F110W$ и $F160W$ в галактиках видны AGB звезды, красные гиганты и вероятные шаровые скопления. Для достижения такого же отношения сигнал/шум для этих объектов в видимом диапазоне понадобились бы значительно большие

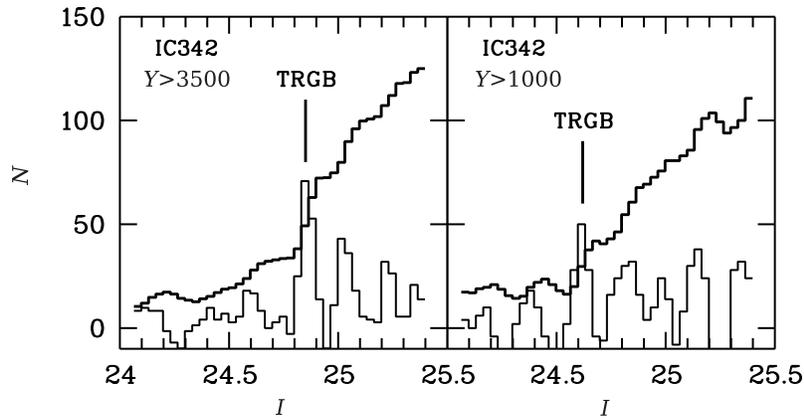


Рис. 17. Функции светимости звезд для двух участков поля IC 342. Вертикальными линиями отмечены положения TRGB-скачков. Видно различие границ ветви красных гигантов для звезд разных участков поля.

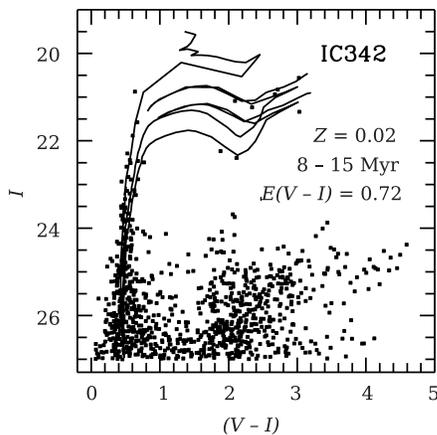


Рис. 18. CM-диаграмма звезд области звездообразования IC 342, отмеченной на рис. 15а большим кружком. Вписаны изохроны Бертелли и др. [33] с параметрами, наиболее подходящими для данной диаграммы.

экспозиции. Сравнение CM-диаграмм Maffei 1 и Maffei 2 с диаграммами галактик без поглощения света позволило определить величины экстинкции. Величины A_V , 3.06 для Maffei 1 и 3.65 для Maffei 2, оказались меньше значений, которые принимались ранее. Одна из причин различий кроется, вероятно, в присутствии газа и пыли в самих галактиках Maffei 1 и Maffei 2, что видно на снимках центральных областей этих галактик, полученных на космическом телескопе Хаббла (рис. 4 и рис. 9). Вторая причина различий состоит в ошибке фотометрии протяженных объектов в условиях сильного покраснения и наличия большого числа окружающих фоновых звезд.

Следует отметить, что использование наблюдений в ИК-диапазоне для измерения расстояний TRGB-методом затрудняется из-за отсутствия калибровочных данных по стандартным эллиптиче-

ским и спиральным галактикам, что существенно снижает точность измерений. Результаты нашей работы показывают, что галактики Maffei 1 и Maffei 2 находятся на расстояниях $D = 6.6$ и 6.8 Мпк, т.е. на большом удалении от галактики IC 342 ($D = 3.9$ Мпк) и физическую группу с ней не образуют.

В связи с изменением расстояний до галактик Maffei 1 и Maffei 2 возникает проблема скоростей этих галактик. Как указывалось ранее, галактики имеют малые лучевые скорости, т.е. вероятно обладают аномальными пекулярными скоростями, но, возможно, что лучевые скорости измерены с большой ошибкой, поскольку обе галактики расположены в плоскости Млечного пути. Вторая проблема возникает из-за переноса трех массивных галактик на большее расстояние. Многие годы считалось, что вокруг них существует окружение из карликовых галактик, расстояния до которых хорошо соответствовали прежнему положению трех массивных галактик. Удаление этих галактик с их центрального положения среди карликов на такое расстояние, где они уже не занимают центр или вообще не относятся к оставшейся группе карликовых галактик, заставляет пересмотреть пространственное строение и кинематику галактик в этом районе.

Поскольку при измерении расстояний Ву и др. [16] использовали для сравнения хорошо изученные звезды M 31, то неправильные результаты для Maffei 1 и Maffei 2 привели к гипотезе о пекулярной светимости звезд Maffei 1 [34]. Полученные нами оценки расстояний в такой гипотезе нет необходимости.

БЛАГОДАРНОСТИ

Т.Н.А. благодарит Российский научный фонд (проект №14-50-00043) за финансовую поддержку при работе над публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Maffei, Publ. Astron. Soc. Pacific **80**, 618 (1968).
2. H. Spinrad, W. L. W. Sargent, J. B. Oke, et al., Astrophys. J. **163**, L25 (1971).
3. L. Bottinelli, P. Chamaraux, E. Gérard, et al., Astron. and Astrophys. **12**, 264 (1971).
4. G. S. Shostak and L. Weliachew, Astrophys. J. **169**, L71 (1971).
5. J.-Q. Zheng, M. J. Valtonen, and G. G. Byrd, Astron. and Astrophys. **247**, 20 (1991).
6. M. J. Valtonen, G. G. Byrd, M. L. McCall, and K. A. Innanen, Astron. J. **105**, 886 (1993).
7. H. Spinrad, J. Bahcall, E. E. Becklin, et al., Astrophys. J. **180**, 351 (1973).
8. R. J. Buta and M. L. McCall, Monthly Notices Royal Astron. Soc. **205**, 131 (1983).
9. R. L. Hurt, K. M. Merrill, I. Gatley, and J. L. Turner, Astron. J. **105**, 121 (1993).
10. G. A. Luppino and J. L. Tonry, Astrophys. J. **410**, 81 (1993).
11. R. J. Buta and M. L. McCall, Astrophys. J. Suppl. **124**, 33 (1999).
12. T. J. Davidge, Astron. J. **124**, 2012 (2002).
13. R. L. Fingerhut, M. L. McCall, M. De Robertis, et al., Astrophys. J. **587**, 672 (2003).
14. T. J. Davidge and S. van den Bergh, Publ. Astron. Soc. Pacific **117**, 589 (2005).
15. R. L. Fingerhut, H. Lee, M. L. McCall, and M. G. Richer, Astrophys. J. **655**, 814 (2007).
16. P.-F. Wu, R. B. Tully, L. Rizzi, et al., Astron. J. **148**, 7 (2014).
17. M. Krismer, R. B. Tully, and I. M. Gioia, Astron. J. **110**, 1584 (1995).
18. T. J. Davidge and S. van den Bergh, Astrophys. J. **553**, L133 (2001).
19. R. Buta and M. L. McCall, Astron. J. **125**, 1150 (2003).
20. A. I. Sargent, E. C. Sutton, C. R. Masson, et al., Astrophys. J. **289**, 150 (1985).
21. R. B. Tully, *Nearby galaxies catalog* (1988).
22. A. Saha, J. Claver, and J. G. Hoessel, Astron. J. **124**, 839 (2002).
23. P. B. Stetson, Publ. Astron. Soc. Pacific **99**, 191 (1987).
24. P. B. Stetson, Publ. Astron. Soc. Pacific **106**, 250 (1994).
25. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, Astronomy Letters **35**, 748 (2009).
26. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, Astronomy Letters **42**, 428 (2016).
27. M. G. Lee, W. L. Freedman, and B. F. Madore, Astrophys. J. **417**, 553 (1993).
28. B. F. Madore and W. L. Freedman, Astron. J. **109**, 1645 (1995).
29. E. F. Schlafly and D. P. Finkbeiner, Astrophys. J. **737**, 103 (2011).
30. J. A. Cardelli, G. C. Clayton, and J. S. Mathis, Astrophys. J. **345**, 245 (1989).
31. J. J. Dalcanton, B. F. Williams, J. L. Melbourne, et al., Astrophys. J. Suppl. **198**, 6 (2012).
32. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, Astronomy Letters **36**, 167 (2010).
33. G. Bertelli, A. Bressan, C. Chiosi, et al., Astron. and Astrophys. Suppl. **106**, 275 (1994).
34. T. J. Davidge, D. R. Andersen, O. Lardièrre, et al., Astrophys. J. **811**, 133 (2015).

Does the IC 342/Maffei Galaxy Group Really Exist?

N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova

Based on the archival images of the Hubble Space Telescope we performed stellar photometry in the infrared and visible ranges in the fields of the Maffei 1, Maffei 2 and IC 342 galaxies, the light from which undergoes strong absorption by the interstellar gas and dust clouds of our Galaxy. The resulting Hertzsprung-Russell diagrams reveal red giant branches and the positions of their upper boundaries and color indices. A comparison of color indices of the red giant branch with similar indices in the galaxies not experiencing extinction made it possible to determine the amount of extinction in Maffei 1, Maffei 2 and IC 342 as follows: $A_V = 3.06, 3.65$ and 0.95 , respectively. We found that these galaxies are located at the distances of 6.6, 6.8 and 3.9 Mpc. The values obtained substantially differ from the distances to these same galaxies (3.4, 3.5 and 3.5 Mpc), measured by Wu et al. in 2014 using the same images. The measurements we carried out show that Maffei 1 and Maffei 2 do not form a single group with the IC 342 galaxy, as previously thought.

Keywords: *galaxies: groups: individual: IC 342/Maffei — galaxies: individual: IC 342, Maffei 1, Maffei 2*