

УДК 524.74:520.82

РАССТОЯНИЕ ДО ИРРЕГУЛЯРНОЙ ГАЛАКТИКИ КАССИОПЕЯ-1, РАСПОЛОЖЕННОЙ В ЗОНЕ МЛЕЧНОГО ПУТИ

© 2019 Н. А. Тихонов^{1*}¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 4 апреля 2019 года; после доработки 12 июля 2019 года; принята к публикации 12 июля 2019 года

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла проведена звездная фотометрия карликовой иррегулярной галактики Кассиопея-1 (Cas 1), находящейся в зоне Млечного пути. На полученной диаграмме Герцшпрунга–Рессела выделены голубые сверхгиганты, которые концентрируются в областях звездообразования. Найдено, что видимая на диаграмме Герцшпрунга–Рессела ветвь красных звезд состоит из многочисленных AGB-звезд и небольшого числа более ярких красных сверхгигантов. На функции светимости красных гигантов и AGB-звезд, выбранных на периферии галактики, виден TRGB-скачок при $I = 23^m67$, который соответствует началу ветви красных гигантов. Используя TRGB-метод, мы определили модуль расстояния до галактики Cas 1, который равен $(m - M) = 26.01 \pm 0.08$, что соответствует расстоянию $D = 1.6 \pm 0.1$ Мпк. Полученное значение показывает, что галактика находится вблизи Местной группы и изолирована от других галактик. Абсолютная светимость Cas 1 на основе нового измерения расстояния равна $M_V = -14.2$, то есть это действительно карликовая галактика. Расположение ветви AGB-звезд на диаграмме Герцшпрунга–Рессела и измеренная металличность красных гигантов показывает, что галактика Cas 1 обладает очень низкой металличностью $[Fe/H] = -2.8$.

Ключевые слова: галактики: карликовые — галактики: индивидуальные: Cas 1 galaxy — галактики: звездное население

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время расстояния до галактик, находящихся не далее 20 Мпк, достаточно надежно определяют TRGB-методом [1]. Суть метода состоит в определении положения верхней границы ветви красных гигантов на диаграмме Герцшпрунга–Рессела (СМ-диаграмме), полученной после проведения звездной фотометрии снимков галактики. На основе глубоких снимков космического телескопа Хаббла (HST) с камерами WFPC2, ACS и WFC3 этим методом уже получены сотни измерений расстояний до галактик. TRGB-метод позволяет получить точность определения модуля расстояния до галактики в 0^m06 [2].

Однако, если ветвь красных гигантов находится вблизи фотометрического предела снимков, или на диаграмме Герцшпрунга–Рессела присутствует много звезд других типов, например, фоновых звезд нашей Галактики или звезд асимптотической ветви гигантов (AGB-звезды), то ветвь красных гигантов теряется среди них, и точность измерения расстояния ухудшается. Чтобы повысить в выборке процентное содержание красных гигантов, следует

провести селекцию звезд. Это может быть селекция по показателям цвета, так как показатели цвета красных гигантов и других звезд немного различаются. Но наиболее эффективной является пространственная селекция. Поскольку AGB-звезды и красные гиганты имеют разные градиенты падения численной плотности вдоль радиуса галактики [3, 4], то при удалении от центра галактики в выборке будет увеличиваться процентное содержание красных гигантов относительно AGB-звезд. Размеры полученных снимков галактики почти всегда ограничены, и чем более удаленная от центра галактики площадка используется для выборки звезд, тем меньше ее размеры, что ведет к уменьшению количества звезд в выборке. В каждом конкретном случае вопрос о такой селекции решается на основе получаемых результатов.

Галактика Кассиопея-1 (Cas 1) находится в зоне Млечного пути. Она была открыта при наблюдениях на 100-метровом радиотелескопе в Эффельсберге [5]. По невысокой лучевой скорости ($v_h = 35 \text{ км с}^{-1}$) ее отнесли к группе IC342–Maffei. Галактика была классифицирована как иррегулярная, что подтверждалось малой шириной линии H I ($w_{50} = 49 \text{ км с}^{-1}$). Оптические наблюдения галактики Cas 1, проведенные в САО РАН в 1994 году,

*E-mail: ntik@sao.ru

показали, что она разрешается на звезды даже на 1-м телескопе Цейсс-1000, несмотря на то, что испытывает значительное поглощение света на газопылевых облаках нашей Галактики. На основе фотометрии снимков, полученных на телескопах Цейсс-1000 и 6-м БТА, в работе [6] найдено, что поглощение света в направлении на Cas 1 составляет $A_V = 4^m0$, а расстояние до нее, оцененное по методу ярчайших звезд [7], равно $D = 790$ кпк, т.е. галактика Кассиопея-1 должна находиться в пределах Местной группы галактик. Караченцев и др. [8] по снимкам 6-м телескопа БТА оценили поглощение света в направлении на Cas 1 как $A_B = 5^m5$ (это соответствует $A_V = 4^m16$), а расстояние по методу ярчайших звезд составило $D = 1.7$ Мпк. Более точно величина поглощения света была определена по спектральным наблюдениям галактики. Вайнбергер и Саурер [9] получили $A_V = 2^m5$ и увеличили оценку расстояния до галактики Cas 1 до $D = 3$ Мпк. В настоящее время принимают, что в направлении на эту галактику поглощение света $A_V = 2^m79$ [10].

Радионаблюдения Cas 1 на VLA (Very Large Array) обсерватории NRAO позволили определить структуру галактики в Н I [11]. Подобно другим иррегулярным галактикам, Cas 1 имеет клочковатое строение с несколькими яркими областями излучения в Н I. Интересно, что ярчайшая область Н I не совпадает с видимым в оптическом диапазоне телом галактики. Было найдено, что размер галактики в Н I превосходит видимый размер оптического изображения в три раза. Наблюдения в инфракрасном диапазоне выявили в Cas 1 области низкой поверхностной яркости. Вадувеску и др. [12] проследили изменение яркости галактики в фильтрах K_S и J до радиуса $1'.7$, а Фингерхат и др. [13] до радиуса $3'.3$ в фильтре K_S , что превышает размеры, которые были получены из радионаблюдений в Н I.

Если величина поглощения света в направлении на Cas 1 известна с приемлемой точностью, то определенности в оценках расстояния до галактики нет. Хухтмейер и др. [5] считали, что галактика находится на расстоянии 3 Мпк и входит в группу IC 342. Тихонов [6] оценил расстояние в 0.8 Мпк, а Караченцев и др. [8] — в 1.5 Мпк. Вайнбергер и Саурер [9] приняли значение в 3 Мпк, а изучавшие галактику Cas 1 в радиодиапазоне Марвел и Вилкотс [11] считали, что галактика находится на расстоянии 4.5 Мпк. В настоящее время в базе данных SAO РАН для галактик Местного объема¹ для галактики Cas 1 приводится значение расстояния $D = 5.27$ Мпк.

В 1999 году на космическом телескопе Хаббла были получены снимки галактики (ID 8192)

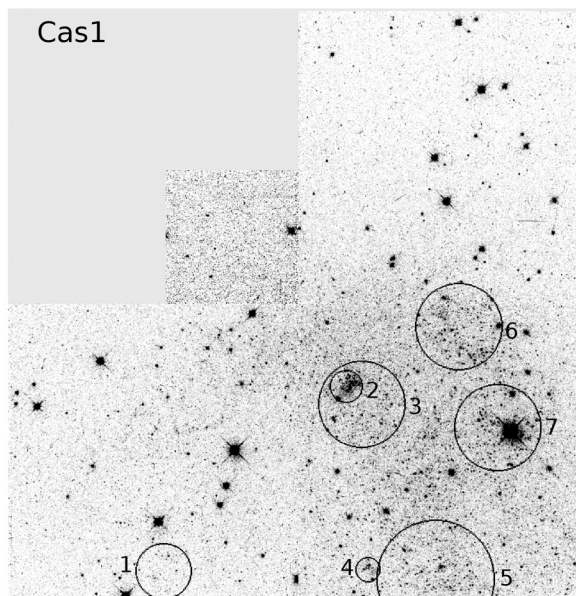


Рис. 1. Изображение галактики Кассиопея-1 на WFPC2 снимке космического телескопа Хаббла. Кружками обозначены видимые на снимке звездные комплексы, содержащие голубые сверхгиганты. Размер снимка $2'.5 \times 2'.5$.

с камерой WFPC2 в фильтрах F606W (600 с) и F814W (600 с), но остались без измерений. Мы использовали их для определения расстояния до галактики.

2. ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

На рис. 1 и рис. 2 показано усредненное из двух снимков изображение галактики Cas 1, полученное на космическом телескопе Хаббла (HST) с разметкой видимых звездных комплексов. На рис. 2 видно, что эти комплексы, за исключением двух, имеют рыхлую структуру и не имеют четких границ. Это указывает на то, что комплексы не молодые, и их возраст составляет многие десятки, возможно, до нескольких сотен миллионов лет. Компактный звездный комплекс N2 (рис. 2) был отождествлен с Н II областью [9] по снимкам с $H\alpha$ фильтром. На более подробных снимках с $H\alpha$ фильтром в Cas 1 видно четыре протяженные Н II области, две из которых совпадают с комплексами N2 и N4, а третья область — с небольшим гущением молодых звезд на краю комплекса N6. Кроме протяженных областей, на снимке в $H\alpha$ фильтре в галактике видно несколько звездообразных объектов², возможных молодых звезд с $H\alpha$ эмиссией.

Для звездной фотометрии снимков камеры WFPC2 использовался DAOPHOTII в программе

¹<http://www.sao.ru/lv/lvgdb/>

²<http://www.sao.ru/lv/lvgdb/>

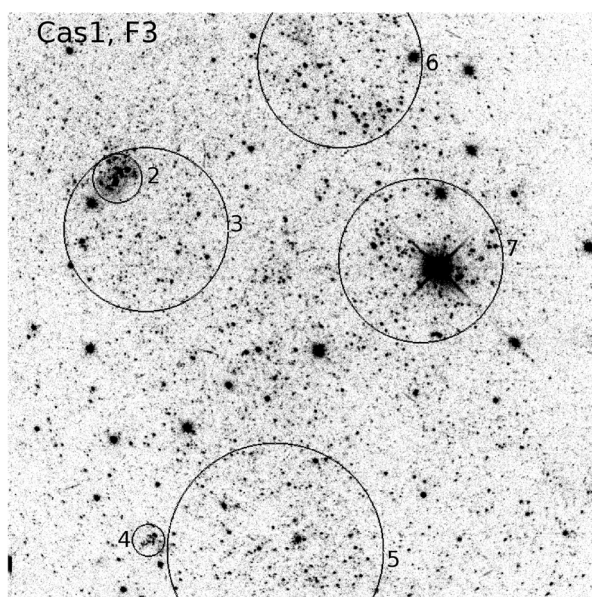


Рис. 2. Фрагмент изображения рис. 1, показывающий центральную часть галактики Кассиопея-1. Хорошо заметна концентрация звезд в обозначенных на рис. 1 звездных комплексах. Размер снимка $1'3 \times 1'3$.

MIDAS [14, 15]. Следы космических частиц на изображениях устранялись использованием стандартной программы FILTER/COSMIC. Полученные результаты фотометрии прошли селекцию по параметрам «CHI» и «SHARP», которые определяют форму фотометрического профиля каждой измеряемой звезды [14], 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.

Итоговая таблица фотометрии звезд представлена в виде диаграммы Герцшпрунга–Рессела на рис. 3. На диаграмме хорошо видна полоса фоновых звезд (field) нашей Галактики от $I = 17^m$ до 23^m . Из звезд галактики Cas 1 на диаграмме рис. 3 видна ветвь голубых сверхгигантов, сдвинутая в красную сторону примерно на 1^m4 , и ветвь красных звезд, образованная красными сверхгигантами и AGB-звездами. Ветвь красных звезд пересекается с полосой фоновых звезд, что вносит в используемую нами выборку красных звезд галактики небольшое количество объектов фона, но не принципиально для наших дальнейших измерений. Ветвь красных гигантов на общей CM-диаграмме не видна, поскольку множество более ярких AGB-звезд маскирует ее и требуется селекция, чтобы выявить присутствие красных гигантов.

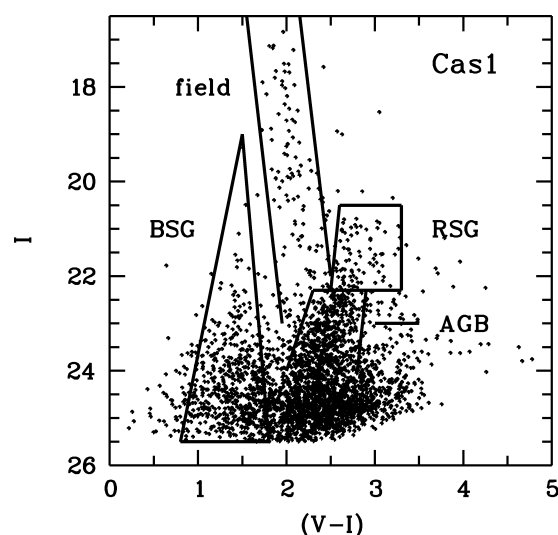


Рис. 3. CM-диаграмма звезд полного снимка HST телескопа. Видна полоса фоновых звезд нашей Галактики, а также ветвь голубых и ветвь красных звезд, с увеличенными показателями цвета из-за покраснения света на газопылевых облаках Галактики.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ

Прежде чем измерять расстояние, необходимо выяснить, какие типы звезд видны на полученной нами CM-диаграмме. Фоновые звезды мы обсуждать не будем. Ветвь голубых звезд при $(V - I) = 1^m4$ можно уверенно отождествить с ветвью голубых сверхгигантов, но их светимость нам пока неизвестна. Ветвь красных звезд при $(V - I) = 2^m5$ ясно разделяется на две части, с границей между ними по $I = 22^m2$. Поскольку совершенно аналогичный вид CM-диаграмм имеют карликовые иррегулярные галактики, то очень заманчиво принять ветвь красных звезд ниже $I = 22^m2$ за ветвь красных гигантов, а звезды выше $I = 22^m2$ считать AGB-звездами. Тогда расстояние до галактики, с учетом поглощения света, будет $D = 0.8$ Мпк. Но далее мы покажем, что это предположение неверно.

Чтобы принять или опровергнуть эту гипотезу, необходимо определить типы звезд, а для этого следует изучить их видимое распределение по телу галактики, так как для каждого типа звезд оно имеет свой характерный вид. Выделив ветвь голубых звезд, мы построили их видимое распределение (рис. 4). Как и ожидалось, эти звезды большей частью входят в состав звездных комплексов, которые обозначены кружками на рис. 1 и рис. 2. Кружки с такими же координатами центров построены на диаграмме видимого распределения голубых звезд (BSG) (рис. 4). Видно, что голубые звезды еще не покинули границы своих комплексов, поэтому их возраст находится в интервале от нескольких миллионов до сотни миллионов лет, т.е. они являются голубыми сверхгигантами (BSG).

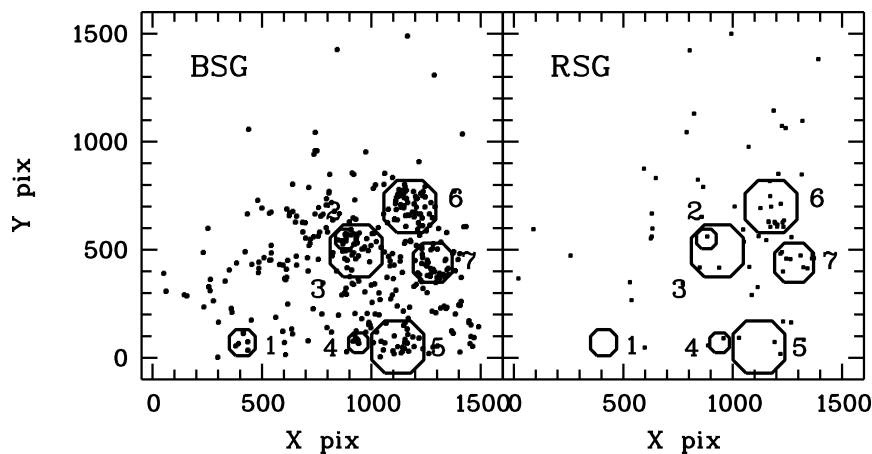


Рис. 4. Видимое распределение по телу галактики голубых (BSG) и красных (RSG) сверхгигантов. Кружками отмечены звездные комплексы, показанные на снимках галактики (рис. 1 и рис. 2).

Наиболее молодые голубые сверхгиганты видны в компактных комплексах N2 и N4.

На рис. 4 рядом с распределением голубых звезд показано распределение звезд красной ветви при $I < 22^m2$. На распределении видно, что в некоторых комплексах (N6 и N7) заметна концентрация ярких красных звезд, а в остальных комплексах (N1, N2, N3, N4 и N5) этих звезд мало или нет совсем. Указанное различие объясняется недостаточной статистикой в численности звезд, в также разностью возраста. Комплексы N1, N2 и N4 слишком молодые, чтобы там могли находиться какие-либо иные яркие звезды кроме голубых сверхгигантов. В границах комплексов N3 и N5 видно несколько красных сверхгигантов, но из-за малой статистики нельзя сделать вывод о принадлежности этих звезд данным комплексам, поскольку возможны эффекты проекции. Концентрация ярких красных звезд в тех же комплексах, что и голубые сверхгиганты, означает, что возраст этих звезд не может значительно отличаться от возраста голубых сверхгигантов, иначе бы они вышли за пределы звездных комплексов, то есть они могут быть только красными сверхгигантами.

Рассмотрим ветвь красных звезд слабее $I = 22^m2$. Поскольку звезды ярче этой границы мы отождествили с красными сверхгигантами, то звезды слабее ее должны быть AGB-звездами с включением небольшого количества красных сверхгигантов. На CM-диаграммах малометаллических галактик, к которым относится Cas 1, ветви красных сверхгигантов и AGB-звезд располагаются вблизи друг друга, поэтому они сливаются в одну ветвь. Скачок числа звезд при $I = 22^m2$ на границе перехода от красных сверхгигантов к AGB-звездам показывает, что при $I > 22^m2$ красных сверхгигантов меньше, чем AGB-звезд, и их влияние на видимое распределение AGB-звезд будет несущественным.

Между возрастом AGB-звезд и их светимостью существует зависимость. Чем меньше средняя светимость выборки AGB-звезд, тем больше их возраст, доходящий до нескольких миллиардов лет. Так как вид распределения звезд по телу галактики зависит от их возраста, то разделим ветвь предполагаемых AGB-звезд на две части по их светимости и рассмотрим вид распределения каждой выборки по телу галактики. Первая выборка (AGB1) состоит из звезд в интервале $22^m2 < I < 23^m0$, а вторая (AGB2) — из звезд в интервале $23^m0 < I < 23^m6$ (рис. 5). Границы по светимости выбраны на том основании, что при $I > 23^m67$, как это будет показано далее, в выборку попадают красные гиганты, возраст которых составляет несколько миллиардов лет, а их распределение по телу галактики отличается от распределения более молодых звезд. Граница разделения AGB-звезд при $I = 23^m0$ выбрана произвольно. Важно было только разделить AGB-звезды на относительно молодые и на более старые.

На рис. 5 видно, что более яркие звезды концентрируются около звездных комплексов, а более слабые проявляют концентрацию около центра галактики. Диаграммы рис. 5 доказывают, что ветвь красных звезд от $I = 22^m2$ и слабее не может быть ветвью красных гигантов, поскольку звезды с возрастом в несколько миллиардов лет не могут концентрироваться около существенно более молодых звездных комплексов, как это наблюдается на диаграмме рис. 5 для звезд AGB 1.

На основе полученных распределений рис. 5 мы можем утверждать, что ветвь красных звезд при $I > 22^m2$ является ветвью AGB-звезд. Теоретические изохроны AGB-звезд показывают, что их возраст заключен в интервале от 100 миллионов (яркие AGB-звезды) до нескольких миллиардов лет (слабые звезды). Это различие в возрасте объясняет, почему яркие звезды концентрируются вокруг комплексов, а слабые, имеющие возраст

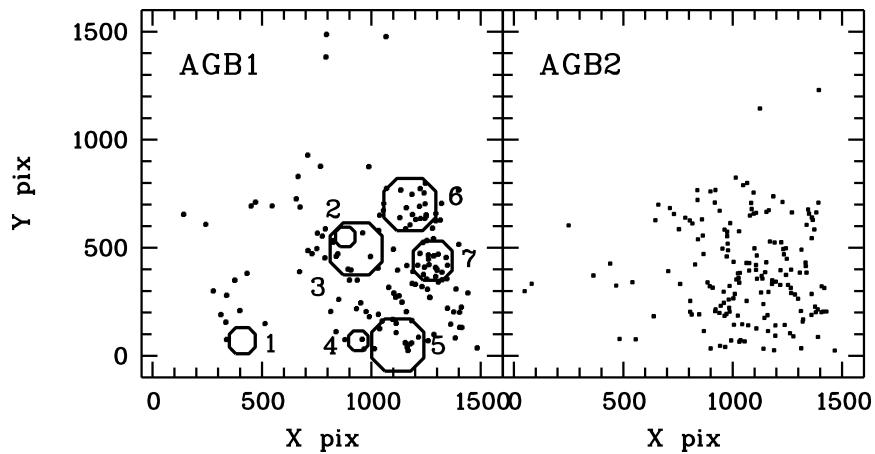


Рис. 5. Видимое распределение по телу галактики AGB-звезд разного возраста. Более молодые AGB-звезды концентрируются вблизи комплексов (AGB 1), а старые звезды (AGB2) показывают концентрацию к центру галактики.

в миллиарды лет, давно покинули области своего рождения и концентрируются вокруг центра галактики.

Для определения расстояния необходимо найти TRGB-скачок, который соответствует началу ветви красных гигантов. На CM-диаграмме (рис. 3) AGB-звезды начинаются с $I > 22^m.2$. В иррегулярных галактиках различие между положением TRGB-скачка красных гигантов и положением верхней границы AGB-звезд составляет примерно 1–2 звездные величины. Это различие зависит от возраста и металличности AGB-звезд и в среднем равно примерно $1^m.5$.

На общей CM-диаграмме (рис. 3) ветвь красных гигантов не видна из-за присутствия множества фоновых и AGB-звезд. Чтобы увеличить в выборке содержание красных гигантов, проведем селекцию звезд по показателю цвета, ограничивая его значением $2.0 < (V - I) < 2.8$. В этом интервале показателя цвета должны находиться красные гиганты вместе с AGB-звездами. Полученная функция светимости представлена на рис. 6 (левая диаграмма). На диаграмме видно начало ветви AGB-звезд при $I = 22.2$. На этой диаграмме TRGB-скачок практически не виден. Чтобы уменьшить число AGB-звезд в выборке, проведем вторую селекцию по радиусу от центра галактики, то есть оставим звезды только на периферии галактики за пределами радиуса $\text{Rad} > 400 \text{ pix}$, что соответствует $0'.66$. Функция светимости после проведения второй селекции показана на рис. 6 (правая диаграмма). На этой диаграмме проявляется TRGB-скачок при $I = 23^m.67$, который хорошо определяется как TRGB-скачок красных гигантов. Различие между началом ветви красных гигантов и ветви AGB-звезд составляет $1^m.5$, что соответствует ожидаемому значению. На рис. 7 показаны те же самые диаграммы, что и на рис. 6,

но в логарифмическом масштабе, при котором более четко видно появление TRGB-скачка. Измерение положения верхней части ветви красных гигантов показало, что ее показатель цвета $(V - I)_{\text{TRGB}} = 2.38$ на периферии галактики ($\text{Rad} > 400 \text{ pix}$) и $(V - I)_{\text{TRGB}} = 2.46$ для центральной части галактики ($\text{Rad} < 400 \text{ pix}$). Различие в $0^m.08$ появляется из-за присутствия в центральных областях Cas 1 небольшого количества газопылевых облаков, на что указывает существование областей звездообразования. Кроме того, почти во всех иррегулярных галактиках металличность звезд центральных областей всегда выше металличности звезд периферии. Галактика Cas 1 не является исключением.

Определив положение TRGB-скачка и принимая из работы Шлафли и Финкбайнера [10] значение поглощения света в направлении на Cas 1: $A_V = 2.790$, $A_I = 1.532$ и $E(V - I) = 1.268$, мы TRGB-методом вычислили расстояние до галактики Cas 1 на основе уравнения из работы [1]. Полученные значения: $(m - M) = 26.01$, $D = 1.61 \text{ Мпк}$ и $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.77$, показывают, что галактика Кассиопея-1 находится вблизи Местной группы галактик и обладает очень низкой металличностью звезд. Кроме того, в направлении на Cas 1 не наблюдается каких-либо галактик на таком же расстоянии, то есть Cas 1 относится к изолированным галактикам, и ее эволюция проходит без влияния соседей.

После определения положения TRGB-скачка мы можем использовать теоретические изохроны для проверки полученных результатов. Низкая металличность красных гигантов ($[\text{Fe}/\text{H}] = -2.77$) и почти вертикально расположенная ветвь AGB-звезд подсказывают, что в CM-диаграмму Cas 1 следует вписывать изохроны низкой металличности. Действительно, используя теоретические изо-

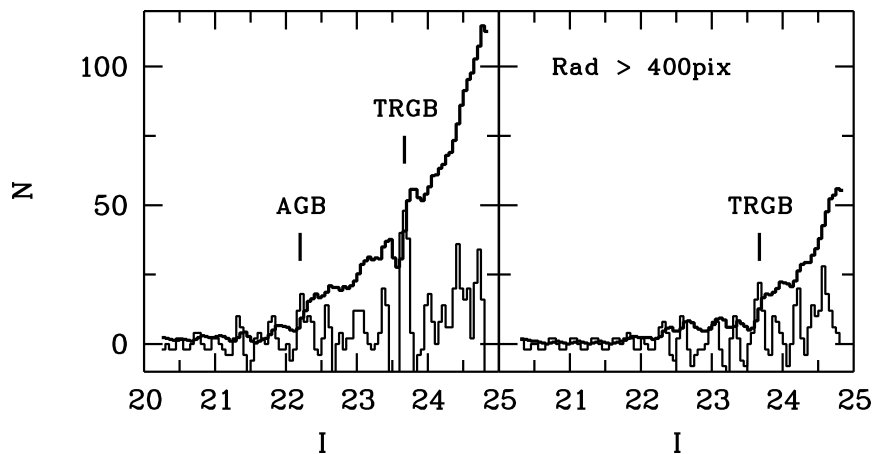


Рис. 6. Функция светимости AGB-звезд и красных гигантов Cas 1 при селекции выборки по показателю цвета $2.0 < (V - I) < 2.8$ (слева) и с добавочной селекцией по радиусу галактики ($\text{Rad} > 350 \text{ pix}$) (справа).

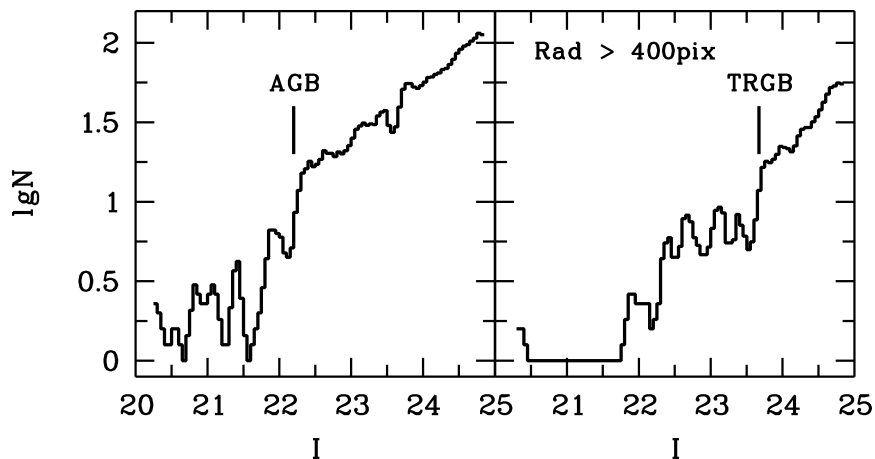


Рис. 7. Функция светимости звезд из рис. 6, но в логарифмическом масштабе, при селекции выборки по показателю цвета (слева) и с добавочной селекцией по радиусу галактики (справа).

хроны Бертелли и др. [16], мы нашли, что положения звезд на CM -диаграмме наилучшим образом описываются изохронами с $Z = 0.0004$ (рис. 8). Можно заметить, что некоторое количество звезд находится за пределами используемых изохрон, то есть их металличность может быть выше, чем $Z = 0.0004$, но применяя изохроны с $Z = 0.001$ мы нашли, что металличность звезд Cas 1 ниже этого значения. Вероятно, что значение $Z = 0.0007$ будет наиболее точно описывать полученную CM -диаграмму галактики Cas 1, но таблиц изохрон звезд с такой металличностью нет в работе [16].

Изохроны позволяют проверить величину поглощения света в галактике Cas 1. Для этого необходимо измерить показатель цвета голубых сверхгигантов одной и той же светимости у галактики Cas 1 и у теоретических изохрон. Для измерений мы использовали интервал светимостей $22^m5 < I < 23^m5$ у Cas 1, что соответствует $-4.2 < M_I < -5.2$ у теоретических изохрон с

$Z = 0.0004$. У голубых сверхгигантов в комплексах N1–N7 пик распределения находится на $(V - I) = 1.40$, а у сверхгигантов на теоретических изохронах — при $(V - I) = -0.03$. Разность 1^m43 возникает из-за поглощения света на газопылевых облаках нашей Галактики и самой Cas 1. Полученное значение 1^m43 отличается от значения 1^m27 из работы [10], принятого нами ранее. Однако надо иметь в виду, что методом сравнения положений голубых сверхгигантов мы получаем величину покраснения света только для них, но не для красных гигантов, которые рассеяны по галактике и не подвержены тому дополнительному поглощению света, которое может существовать в звездных комплексах Cas 1, где были взяты для сравнения голубые сверхгиганты. Если использовать измеренное по голубым сверхгигантам комплексов поглощение света (покраснению $(V - I) = 1.43$ соответствует поглощение $A_I = 1.74$), то расстояние до Cas 1 будет равно $D = 1.40 \text{ Мпк}$. Одна-

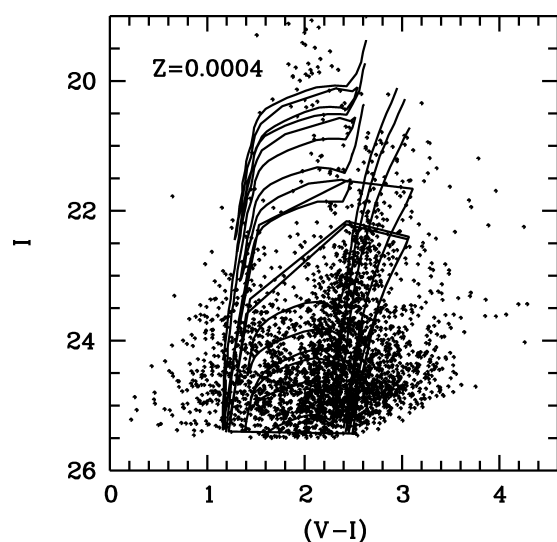


Рис. 8. CM-диаграмма галактики Cas I и система изохрон с металличностью $Z = 0.0004$ и возрастом от 16 млн. лет до 11 млрд. лет.

ко при использовании измеренного покраснения металличность звезд становится неправдоподобно низкой, что указывает на излишне высокое значение покраснения света. Мы проверили существование поглощения света в скоплениях тем, что выбрали для сравнения голубые сверхгиганты за пределами скоплений. Таких звезд нашлось немного. Возможно, что часть из них находится на периферии скоплений и также подвержена действию поглощения света на газопылевых облаках скоплений. Результаты сравнения оказались интересными: распределение этих звезд по цвету показывает два максимума — один, $(V - I) = 1.43$, точно соответствует полученному ранее значению, а второй, более высокий максимум, находится на $(V - I) = 1.18$. Покраснение света, измеренное по второму максимуму, равно $E(V - I) = 1.21$, что даже меньше, чем значение $E(V - I) = 1.27$ из работы [10]. Поскольку за пределами скоплений нашлось всего лишь 38 голубых сверхгигантов, то статистическая точность полученного значения $E(V - I) = 1.21$ невысока, и в дальнейших измерениях мы принимаем значение поглощения света из работы [10], которое оказывается средним значением между двумя нашими измерениями.

Диаметр галактики превышает размер поля камеры WFPC 2, поэтому невозможно измерить светимость галактики. Если взять значение $V = 14^m66$ из работы [6], то абсолютная величина Cas I будет $M_V = -14.16$, что соответствует ее видимой морфологии, в виде рыхлой структуры и нескольких слабых областей звездообразования.

4. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла изучены видимые распределения различных типов звезд и сделан вывод о присутствии на полученной CM-диаграмме голубых и красных сверхгигантов, AGB-звезд и красных гигантов. С помощью TRGB-метода впервые определено точное расстояние до галактики Cas I. Полученное значение, $D = 1.61$ Мпк, показывает, что галактика находится на границе Местной группы галактик. В направлении на Cas I неизвестно какой-либо другой галактики на таком же расстоянии, т.е. галактика Cas I является хорошо изолированной галактикой, а ее эволюция происходит без влияния соседей. Вероятно, что существование одиночной галактики вблизи населенной группы не является чем-то необычным. Несколько лет назад была открыта изолированная галактика, также расположенная на границе Местной группы галактик [17, 18]. Измерение металличности красных гигантов Cas I показало их очень низкую металличность. Низкой металличностью обладают и более молодые AGB-звезды. То есть, несмотря на процессы звездообразования, накопление металлов в Cas I происходит очень медленно.

БЛАГОДАРНОСТИ

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 No. NAS5-26555. These observations are associated with proposals 8192.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. G. Lee, W. L. Freedman, and B. F. Madore, *Astrophys. J.* **417**, 553 (1993).
2. I. S. Jang and M. G. Lee, *Astrophys. J.* **835**, 28 (2017).
3. N. A. Tikhonov, *Astronomy Reports* **49**, 501 (2005).
4. N. A. Tikhonov, *Astronomy Reports* **50**, 517 (2006).
5. W. K. Huchtmeier, G. Lercher, R. Seeberger, et al., *Astron. and Astrophys.* **293**, L33 (1995).
6. N. Tikhonov, *Astronomische Nachrichten* **317**, 175 (1996).
7. I. D. Karachentsev and N. A. Tikhonov, *Astron. and Astrophys.* **286**, 718 (1994).
8. I. Karachentsev, I. Drozdovsky, S. Kajsın, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **124**, 559 (1997).
9. R. Weinberger and W. Saurer, *Astron. and Astrophys.* **332**, 523 (1998).

10. E. F. Schlafly and D. P. Finkbeiner, *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
11. K. B. Marvel and E. M. Wilcots, *Astron. J.* **120**, 2038 (2000).
12. O. Vaduvescu, M. L. McCall, M. G. Richer, and R. L. Fingerhut, *Astron. J.* **130**, 1593 (2005).
13. R. L. Fingerhut, M. L. McCall, M. Argote, et al., *Astrophys. J.* **716**, 792 (2010).
14. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **99**, 191 (1987).
15. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 250 (1994).
16. G. Bertelli, A. Bressan, C. Chiosi, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **106**, 275 (1994).
17. A. I. Kopylov, N. A. Tikhonov, S. Fabrika, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **387**, L45 (2008).
18. N. A. Tikhonov, S. N. Fabrika, O. N. Sholukhova, and A. I. Kopylov, *Astronomy Letters* **36**, 309 (2010).

Distance to Irregular Galaxy Cas 1 Located near the Milky Way

N. A. Tikhonov

We conducted the stellar photometry using the archive images of the Hubble Space Telescope of the dwarf irregular galaxy Cas 1 located near the Milky Way. Blue supergiants detected in the obtained Hertzsprung–Russell diagram are concentrated in star-forming regions. We found that the red star branch consists of numerous AGB stars and a small number of brighter red supergiants. In the luminosity function of the peripheric red giants and AGB stars selected, the TRGB discontinuity is observed with $I = 23^m67$ which corresponds to the beginning of the red giant branch. Using the TRGB method, we determined the distance modulus to the Cas 1 ($m - M$) = 26.01 ± 0.08 which corresponds to the distance $D = 1.6 \pm 0.1$ Mpc. This estimate shows that the galaxy is near the Local Group and isolated from other galaxies. The absolute luminosity of Cas 1 based on the new distance measurement is $M_V = -14.2$, i.e. it is definitely a dwarf galaxy. The position of the red giant branch of AGB stars in the Hertzsprung–Russell diagram and measured metallicity of red giants shows that the galaxy Cas 1 has a very low metallicity $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.8$.

Keywords: *galaxies: dwarf—galaxies: individual: Cas 1 galaxy—galaxies: stellar content*