

УДК 524.74

## РАССТОЯНИЕ ДО ГИГАНТСКОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ГАЛАКТИКИ М 87 И РАЗМЕР ЕЁ ЗВЁЗДНОЙ ПОДСИСТЕМЫ

© 2019 Н. А. Тихонов<sup>1\*</sup>, О. А. Галазутдинова<sup>1</sup>, Г. М. Каратаева<sup>2</sup><sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия<sup>2</sup>Астрономический институт Санкт-Петербургского государственного университета, Старый Петергоф, 198504 Россия

Поступила в редакцию 25 декабря 2017 года; после доработки 4 марта 2019 года; принята к публикации 4 марта 2019 года

На основе архивных снимков космического телескопа Хаббла проведена звездная фотометрия девяти полей вокруг гигантской эллиптической галактики М 87 из скопления галактик в Деве. На полученных диаграммах Герцшпрунга–Рессела видны населенные ветви красных гигантов и AGB-звезд. Найдено изменение положения границы ветви красных гигантов (TRGB-скачка) в зависимости от расстояния до центра галактики. Это можно интерпретировать как влияние высокометаллических красных гигантов на процедуру измерения TRGB-скачка, либо как существование вокруг М 87 слабого газопылевого облака, протяженностью по радиусу до 10' при поглощении в фильтре  $I$  до  $0^m2$  вблизи центра галактики. Среднее значение модуля расстояния по удаленным от центра М 87 полям равно  $(m - M) = 30.91 \pm 0.08$ , что соответствует расстоянию  $D = 15.4 \pm 0.6$  Мпк. Показано, что звезды поля, расположенного между галактиками М 86 и М 87 на расстояниях 37' и 40', не являются межгалактическими звездами, а принадлежат галактике М 87, т.е. звездное гало этой галактики хорошо видно на расстоянии 190 кпк от ее центра. Измерены расстояния до четырех карликовых галактик: P4apop, NGC 4486A, VCCA039 и dSph-D07, изображения которых видны в исследуемых полях. Три первые галактики являются спутниками М 87, а dSph-D07 расположена дальше и принадлежит группе М 86.

Ключевые слова: галактики: скопления: индивидуальные: Virgo — галактики: индивидуальные: М 87

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В скоплении галактик в Деве, где наблюдается большая пространственная плотность галактик, при гравитационном взаимодействии соседей должно происходить «обдирание» звездной периферии галактик и появление межгалактических звезд [1]. В результате процессов взаимодействия должны изменить свою морфологию и звездные подсистемы галактик, особенно протяженные гало. Однако при изучении галактик в нескольких полях скопления Дева, снимки которых получены на космическом телескопе Хаббла, мы нашли, что звездная подсистема каждой карликовой галактики простирается на большие расстояния от ее центра [2] и занимает на снимках всю площадь. Найти в этих полях вероятные межгалактические звезды среди более многочисленных звезд периферии галактик, доказать их межгалактический статус и провести изучение параметров крайне сложно.

В скоплении галактик Дева очень немного полей, для которых получены глубокие снимки кос-

мического телескопа Хаббла. Одно из них, рассмотренное в работе Вильямса и др. [3] для поиска и изучения межгалактических звезд, расположено между двумя гигантскими эллиптическими галактиками М 86 и М 87 на расстоянии 37' и 40' соответственно, что составляет примерно 170 и 190 кпк при среднем расстоянии до скопления Дева в 16.5 Мпк. При выборе места этого поля были изучены глубокие снимки скопления Дева [4], которые получены на 0.6-м телескопе Шмидта и доходят до изофоты 29 зв. величины в фильтре  $B$ . На этих снимках, а также на полученных позднее теми же авторами [5], видно, что указанное поле лежит за пределами протяженного гало соседних гигантских галактик М 86 и М 87. Однако Яновицкий и др. [6] на основе все тех же снимков [4] нашли, что гало М 87 простирается до расстояния 40', т.е. в этом случае данное поле должно располагаться в пределах гало М 87.

Вильямс и др. [3], изучая снимки с космического телескопа Хаббла и принимая во внимание работу [4], полагали, что исследуемое поле значительно

\*E-mail: ntik@sao.ru

удалено от гигантских галактик и их вклад в выборку звезд пренебрежимо мал, поэтому найденные параметры звезд они приписали межгалактическим звездам скопления Дева.

Об открытии межгалактических звезд в скоплении Дева ранее уже объявлялось в работе [7], автор которой изучил два поля на снимках, полученных с камерой ACS/WFC космического телескопа Хаббла. Мы рассмотрели тот же наблюдательный материал и пришли к заключению, что межгалактические звезды в этих полях отсутствуют, либо их там крайне мало [2]. Поэтому мы посчитали необходимым исследовать поле из работы [3], чтобы независимо проверить существование в нем межгалактических звезд и изучить их параметры.

В работе [2] было показано, что для определения принадлежности звезд какого-либо поля к той или иной галактике или межгалактической среде необходимо изучить распределение звезд соседних галактик. Метод поверхностной фотометрии, использованный в работе [4] для определения структуры гало вокруг галактик, не позволяет работать с изофотами слабее 29–30 звездной величины и определять типы звезд, образующих это гало. Поэтому мы использовали метод подсчета звезд и дополнили исследование поля Вильямса и др. [3], получившего в нашей работе обозначение P9, исследованием еще восьми, также разрешаемых на звезды, полей вокруг галактики M87 (рис. 1), чтобы изучить изменение параметров звезд при удалении от центра галактик. На основании полученных результатов мы сделали вывод о природе звезд поля P9, который и представляем в данной работе.

По данным NASA Extragalactic Database<sup>1</sup> (NED) эллиптическая галактика M86 слабее M87 и имеет меньшие размеры звездной подсистемы, однако поле P9 (рис. 1) расположено на большой оси M86, где галактика имеет максимальные размеры своего звездного гало. Поэтому звезды изучаемого поля могут быть как межгалактическими звездами, так и принадлежать периферии галактик M86 и M87. Измерить в этом поле соотношение численности звезд, принадлежащих разным галактикам, можно на основе звездной фотометрии этого поля и соседних галактик.

Главным признаком принадлежности звезд изучаемого поля к той или иной галактике является равенство расстояний до галактики и до звезд этого поля (если только они не распределены широко вдоль луча зрения). Вероятно, что единственным методом определения расстояния в данном случае будет TRGB-метод (Tip of Red Giants Branch) [8], который достаточно точно и надежно определяет расстояние до группы звезд — красных гигантов.

## 2. ВЫБОР ПОЛЕЙ И ЗВЕЗДНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Для изучения пространственной структуры звездных подсистем галактик M86 и M87 из скопления Дева, определения точных расстояний и изучения межгалактических звезд мы использовали архивные снимки, полученные на космическом телескопе Хаббла (HST) по нескольким заявкам: ID 10131, 10543, 12532, 12989 и 13731. Основным критерием выбора была длительность экспозиции не менее 2000 секунд в фильтре *F814W (I)* с камерой ACS/WFC. Наличие снимков этого же поля в другом фильтре было необязательным, хотя и очень полезным. В общей сложности в архиве мы нашли глубокие снимки 9 полей, далее P1–P9, расположенных на разных расстояниях от M87. Для галактики M86 нашлось 4 поля, но как показали результаты фотометрии, галактика M86 находится на 2.0–2.5 Мпк дальше звезд поля P9, поэтому в данной работе мы ее не рассматриваем. Расположение полей P1–P9 относительно галактики M87 показано на снимке из DSS (Digital Sky Survey) (рис. 1), а изображения из архива HST — на рис. 2.

Отметим разнородность используемых нами данных. Для полей P1, P5 и P9 имеются глубокие снимки в фильтрах *F814W (I)* и *F606W (V)*, что наиболее оптимально для измерения расстояний. Для остальных есть менее глубокие снимки в фильтрах *F814W (I)* и *F475W (B)*. См. таблицу 1, где даны сведения о длительности экспозиций и фильтрах снимков. Для определения расстояний TRGB-методом используются красные гиганты, которые на снимках с голубым фильтром *F475W (B)* находятся вблизи фотометрического предела снимка, но в фильтре *F814W (I)* эти звезды видны вполне отчетливо. Совместная фотометрия снимков в фильтрах *F814W* и *F475W*, как это делается в пакете DOLPHOT [9], устанавливает общий предел фотометрии по наименее глубокому снимку с фильтром *F475W*. В пакете DAOPHOT II [10, 11] в среде MIDAS достаточно фотометрии звезд в одном, наиболее глубоком фильтре *F814W*, что позволяет определить TRGB-скачок на основе более глубоких снимков, хотя из-за отсутствия информации о цвете звезд является некоторая трудность в выявлении красных гигантов.

Фотометрия звезд проводилась стандартным образом пакетом программ DAOPHOT II, как это описано нами ранее [12]. При проведении апертурной фотометрии мы использовали уменьшенные, по сравнению с рекомендованными стандартными, размеры апертур (таблица 2), чтобы они располагались более тесно и более точно описывали

<sup>1</sup><https://ned.ipac.caltech.edu/>

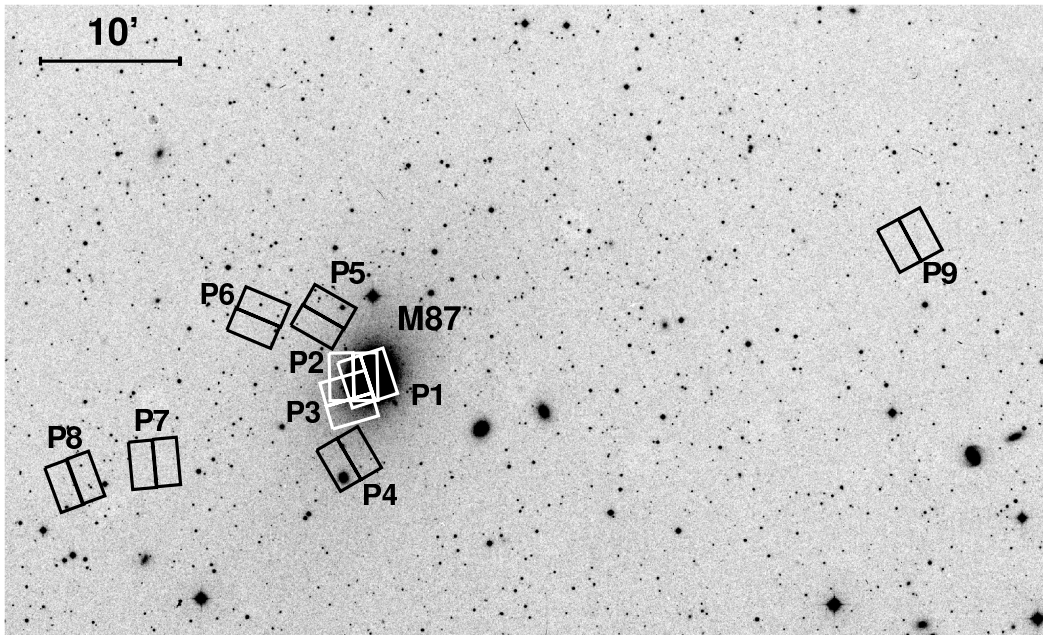


Рис. 1. Изображение области скопления галактик Дева с галактикой М 87 на снимке DSS. Квадратами отмечены поля P1–P9 по наблюдениям космического телескопа Хаббла с камерой ACS/WFC, север — вверх.

Таблица 1. Времена экспозиций снимков полей P1–P9 (в секундах)

Filter	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
<i>F814W (I)</i>	73800	4270	2589	2282	12860	2282	2282	2282	26880
<i>F606W (V)</i>	24500	—	—	—	12050	—	—	—	63440
<i>F475W (B)</i>	—	—	2729	2351	—	2351	2351	2351	—

поведение фотометрического профиля в центре звезды.

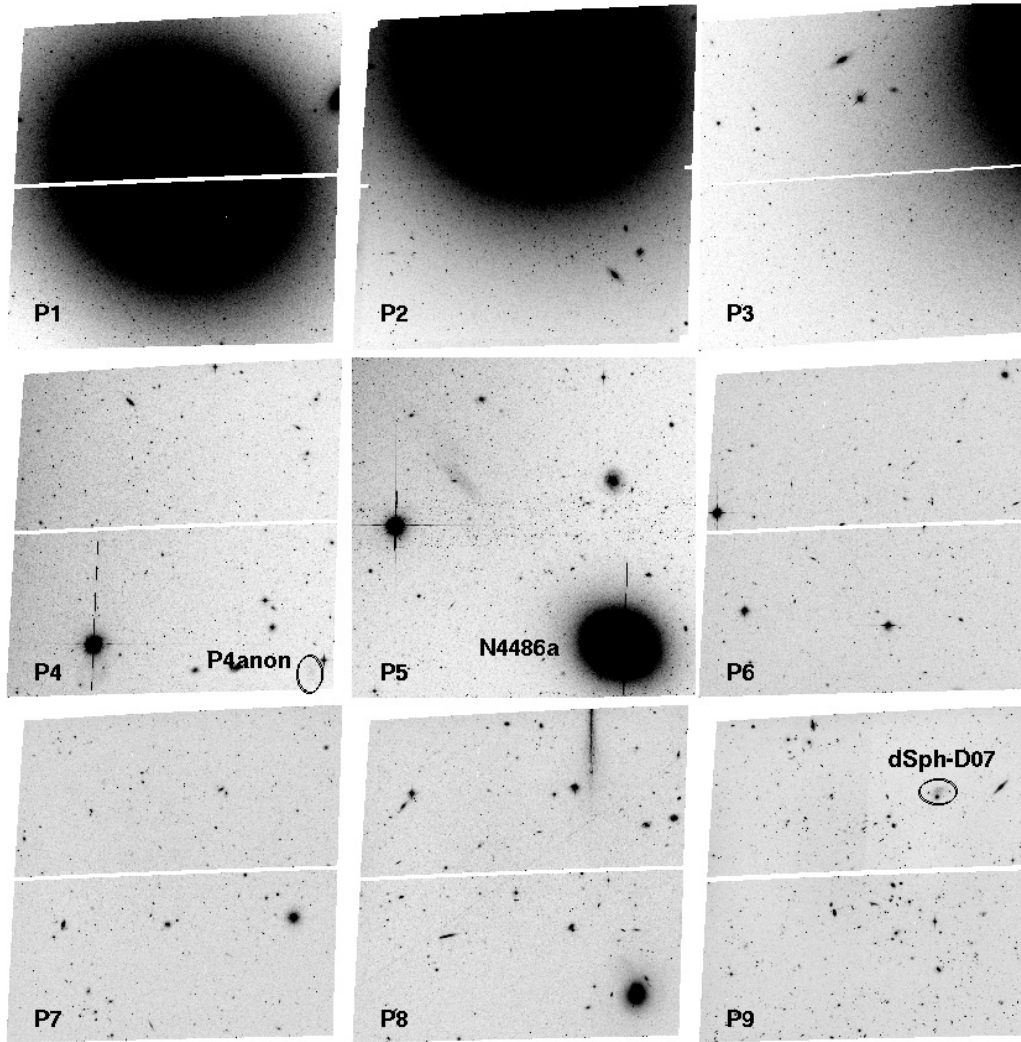
Мы провели селекцию полученных результатов фотометрии звезд по параметрам «СНІ» < 1.5 и «|SHARP|» < 0.3, которые определяют форму фотометрического профиля каждой измеряемой звезды [10], что позволило удалить из таблиц фотометрии все диффузные объекты: звездные скопления, далекие или компактные галактики, так как фотометрические профили этих объектов отличались от профилей изолированных звезд, выбранных нами в качестве стандартных.

Пакет DOLPHOT 2.0<sup>2</sup> использовался в соответствии с рекомендациями, указанными в инструкции (<http://americano.dolphinim.com/dolphot/dolphot.pdf>). Процедура фотометрии состояла из предварительного маскирования «плотных» пикселей, удаления следов космических частиц и дальнейшей PSF-фотометрии найденных звезд в двух фильтрах. Селекция звезд полученного

списка по параметрам профиля изображений «СНІ» и «|SHARP|» проводилась так же, как и в DAOPHOT II. Для фотометрии звезд центральной области галактики М 87 (поле P1) мы совместили и усреднили более 200 изображений. Но несмотря на очень большую экспозицию, в центральной части этого поля из-за большой скученности звезд и яркости галактики фотометрический предел снимков сильно понижен.

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. Но если выборка звезд состоит из смеси высокометаллических и малометаллических звезд, как это наблюдается в

<sup>2</sup><http://americano.dolphinim.com/dolphot/>



**Рис. 2.** Изображения полей P1–P9 на снимках с космического телескопа Хаббла. В полях P4 и P9 эллипсами отмечены карликовые галактики. Размер каждого снимка 3'5 × 3'5.

**Таблица 2.** Размеры апертур при фотометрии в DAOPHOT II снимков ACS/WFC HST

Апертура	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	AA	AB	AC	IS	OS
Радиус, пикс	1.5	1.7	2.0	2.4	2.9	3.5	4.2	5.0	5.8	7.9	8.5	10.0	12	20

эллиптических галактиках, то TRGB-скачок будет виден только как изменение градиента функции светимости. Во многих случаях такое изменение градиента лучше заметно при логарифмическом масштабе численности звезд.

В DAOPHOT II для преобразования инструментальных звездных величин в  $V$  и  $I$  величины системы Крона–Казинса мы использовали уравнения перехода, полученные нами ранее:

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

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

где  $(v - i)$  и  $i$  — инструментальные звездные величины, а  $(V - I)$  и  $I$  — звездные величины в системе Крона–Казинса. Приведенные уравнения получены нами на основе фотометрии одних и тех же звезд с разными телескопами и светоприемниками: 6-м БТА, 1-м Цейсс-1000 и телескопом HST с камерой WFPC2 [13]. Точность уравнений перевода составляет  $0^m02$  для фильтра  $I$  и  $0^m03$  для показателя цвета  $(V - I)$ .

Во втором уравнении видна малая зависимость получаемой светимости звезды в фильтре  $I$  от цвета

**Таблица 3.** Точность звездной фотометрии полей P1–P9 вокруг M 87 в фильтре *F814W*

$m^*$	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
25	0.02	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02
26	0.04	0.08	0.05	0.04	0.07	0.06	0.05	0.07	0.02
27	0.12	0.15	0.10	0.13	0.14	0.14	0.12	0.14	0.03
28	0.30	0.35	0.25	0.32	0.30	0.32	0.28	0.33	0.07

\*  $m$  — видимая звездная величина в фильтре *F814W*

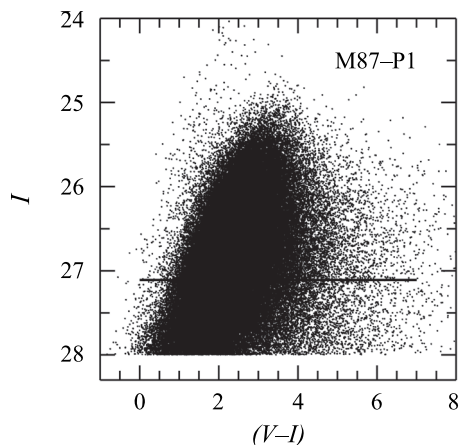
звезды ( $V - I$ ). Т.е., если мы будем использовать среднее значение показателя цвета  $(V - I) = 1.6$ , что близко к реальным цветам красных гигантов эллиптических галактик, то звезды краснее или голубее на  $0^m.2$  будут иметь ошибку измерения светимости всего лишь  $0.01$  звездной величины. Понятно, что такое преобразование не подходит для одновременного перевода в  $I$  величины голубых и красных звезд, но в тех полях, где проводилась фотометрия, голубые звезды отсутствуют.

Поля P2–P9 были профотометрированы в DAORHOT II, а в полях P1, P4–P9 фотометрия была выполнена, кроме того, и с пакетом DOLPHOT. Точность проведенной фотометрии звезд в фильтре *F814W* показана в таблице 3.

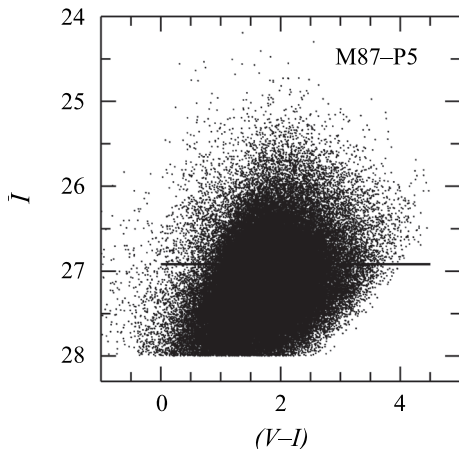
Поглощение света в нашей Галактике в направлении на поля P1–P9 учитывалось на основе работы Шлафли и Финкбайнера [14]. Величина поглощения света для всех полей незначительна и изменяется в пределах от  $A_I = 0^m.040$  для поля P8 до  $A_I = 0^m.032$  для поля P4.

### 3. ЗВЕЗДНЫЕ ПОДСИСТЕМЫ M 87

На рис. 3, 4 и 5 показаны CM-диаграммы полей P1, P5 и P9. На диаграмме поля P1 (рис. 3) видно большое число очень ярких AGB-звезд, располагающихся выше TRGB-скачка, значение которого для этого поля равно  $I = 27.10$ . Поскольку такая диаграмма типична для любой яркой эллиптической галактики, то совершенно непонятно, каким образом Бирд и др. [15], выполнив фотометрию этих же самых изображений, оставили на CM-диаграмме только красные гиганты, убрав все более яркие AGB-звезды. Кроме AGB-звезд на CM-диаграмме рис. 3 присутствует большое число высокометаллических красных гигантов, показатели цвета которых доходят до  $(V - I) = 6^m.0$ . На CM-диаграмме поля P5, более удаленного от центра галактики чем P1, видны многочисленные AGB-звезды, но среди них отсутствуют звезды очень высокой светимости, такие, как в поле P1. Наиболее глубокий фотометрический предел имеет поле P9.



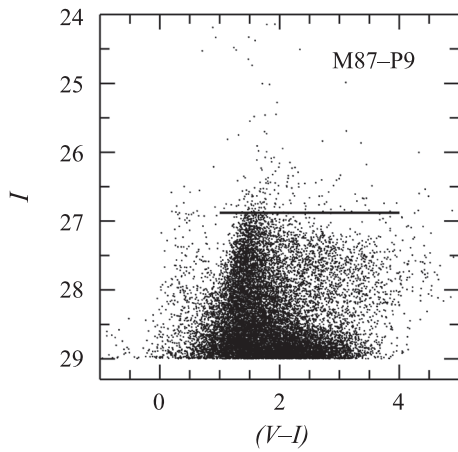
**Рис. 3.** CM-диаграмма звезд центрального поля P1 галактики M87. Горизонтальной линией отмечена верхняя граница ветви красных гигантов — TRGB-скачок. Выше TRGB-скачка расположена область очень ярких AGB-звезд.



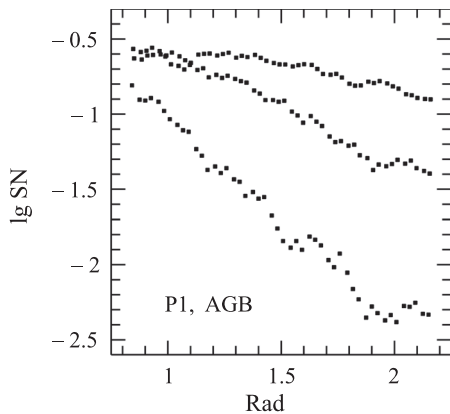
**Рис. 4.** CM-диаграмма звезд поля P5. Горизонтальная линия показывает положение TRGB-скачка. Очень яркие AGB-звезды почти отсутствуют, но достаточно много AGB-звезд средней яркости.

На CM-диаграмме этого поля видна ветвь мало-металлических красных гигантов, а также небольшая область красных гигантов с более высоким содержанием металлов. AGB-звезды присутствуют в этом поле в очень небольшом количестве. Слабая ветвь голубых объектов при  $(V - I) = 0^m.4$  создается фоновыми объектами и к M87 не относится. В поле P9 звезды имеют наиболее точную фотометрию и, соответственно, дают наиболее точное измерение положения TRGB-скачка и расстояния до M87.

Наглядное представление по изменению морфологического состава звезд вдоль радиуса галактики дает рис. 6, на котором показаны изменения численной плотности AGB-звезд разной светимости вдоль радиуса галактики в поле P1. Видно, что



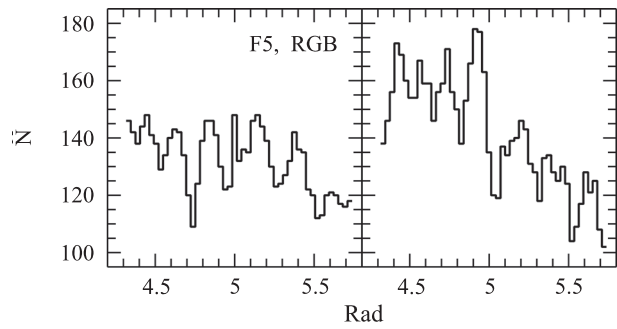
**Рис. 5.** CM-диаграмма звезд поля P9. При  $(V - I) = 1^m.5$  видна почти вертикально расположенная ветвь малометаллических красных гигантов. Горизонтальной линией отмечен TRGB-скачок на этой ветви. В области от  $I = 27^m.2$  до  $I = 28^m.5$  и  $(V - I)$  от  $2^m.0$  до  $4^m.5$  расположены красные гиганты высокой металличности. Выше TRGB-скачка видны малочисленные AGB-звезды низкой светимости.



**Рис. 6.** Распределение вдоль радиуса галактики численной плотности AGB-звезд разной светимости в центральном поле P1. Чем выше светимость звезд, тем больше градиент падения плотности. По горизонтальной оси указано расстояние в угловых минутах от центра M87.

чем выше светимость звезд, тем больше градиент падения численной плотности. Поведение звезд в соответствии с диаграммой рис. 6 означает, что на сравнительно небольшом расстоянии от центра M87 мы не увидим очень яркие AGB-звезды. А на большом расстоянии останется очень мало AGB-звезд даже и средней яркости. CM-диаграммы на рис. 3–5 это полностью подтверждают.

На рис. 7 для поля P5 представлена диаграмма изменения вдоль радиуса галактики численной плотности малометаллических и высокометаллических красных гигантов. Видно, что малометаллические

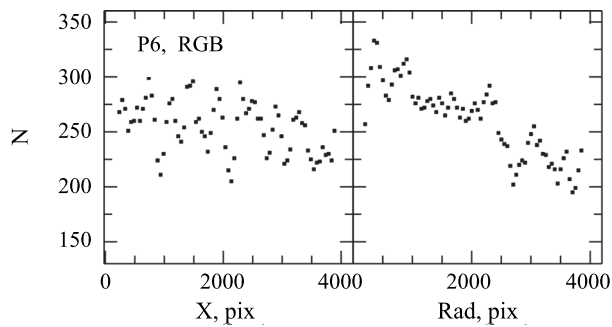


**Рис. 7.** Распределение численной плотности красных гигантов разной металличности вдоль радиуса галактики в поле P5. Малометаллические красные гиганты имеют меньший градиент падения плотности вдоль радиуса, чем гиганты с высокой металличностью, что ведет к изменению морфологии выборки звезд вдоль радиуса галактики. По горизонтальной оси указано расстояние в угловых минутах от центра M87.

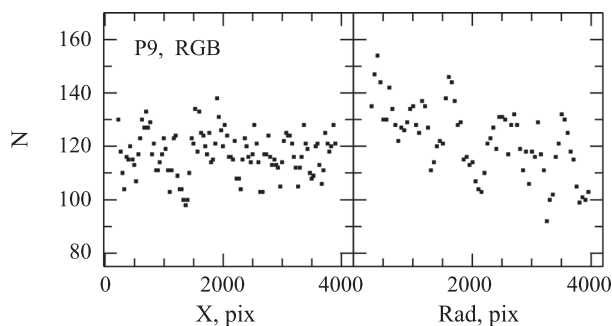
гиганты имеют более пологое распределение вдоль радиуса галактики. Действие этой зависимости ведет к изменению соотношения малометаллических и высокометаллических красных гигантов вдоль радиуса M87. Все найденные зависимости не испытывают каких-либо резких изменений своего поведения в зависимости от изменения металличности звезд. Это означает, что законы пространственного распределения для звезд средних значений металличности будут соответствовать промежуточным значениям между малометаллическими и высокометаллическими звездами.

Различия вдоль радиуса галактики градиентов падения численной плотности разных типов звезд вызывает изменение показателей цвета вдоль радиуса. Монтес и др. [16] использовали такие фотометрические изменения для вычисления металличности и возраста звезд вдоль радиуса галактики. Этот метод позволяет проследить изменения цвета центральной области M87, но он остается «слепым» в интерпретации типа населения этой области, поскольку в измеряемом поле регистрируется сумма светимостей всех типов звезд и нет возможности разделить, например, вклад AGB-звезд высокой и низкой светимости, поскольку они имеют почти одинаковые показатели цвета.

Принадлежность звезд к галактике M87 в полях P1–P5 сомнения не вызывает из-за ее присутствия на изображениях, но в полях P6–P9 галактики не видно. Могут ли звезды этих полей принадлежать другим галактикам? Частично могут, поскольку в полях P7 и P9, например, расположены две карликовые галактики, расстояния до которых мы определили. Но основное число звезд полей P6–P9 принадлежит M87. Мы построили распределение численной плотности красных гигантов в направлении, перпендикулярном радиусу M87, и вдоль него для поля P6 и самого дальнего поля P9 (рис. 8



**Рис. 8.** Распределение численной плотности красных гигантов в поле P6 в перпендикулярном к радиусу M87 направлении и вдоль него. Небольшой градиент распределения на панели (а) объясняется не совсем точным расположением поля P6 вдоль радиуса галактики.



**Рис. 9.** То же, что на рис. 8, для поля P9. Наблюдаемое равномерное распределение численности звезд в направлении, перпендикулярном радиусу M87 (ось X), и увеличение численности вдоль него, при приближении к галактике указывают на принадлежность звезд поля P9 к периферии галактики M87.

и рис. 9). Видно увеличение числа звезд в направлении на M87 и равномерное их распределение в перпендикулярном. Эти диаграммы, совместно с равенством расстояний до разных полей вокруг M87, что будет показано далее, полностью доказывают принадлежность AGB-звезд и красных гигантов этих полей к протяженным звездным подсистемам M87. Небольшие искажения в эту глобальную структуру вносят проекции карликовых галактик, но это не изменяет основной вывод о том, что звездная периферия M87 продолжается до радиуса в  $40'$  и, судя по численности звезд в самом далеком поле, простирается еще дальше.

Известно, что массивные галактики имеют протяженные звездные гало [17–20], которые наблюдаются вокруг галактик либо методами поверхностной фотометрии, либо методом измерения численной плотности звезд, при условии разрешения этих галактик на звезды. Измерения отдельных гигантских галактик показали существование у них протяженных звездных гало. У галактики NGC 5128 из скопления в Центавре, обладаю-

щей меньшей светимостью, чем M86 и M87 из скопления в Деве, Рехкуба и др. [19] проследили протяженность звездной периферии до расстояния в 140 кпк. Михос и др. [21] методом поверхностной фотометрии обнаружили у галактики M49 звездное гало на расстоянии 100 кпк от центра. Корменди и др. [22], оценивая на основе поверхностной фотометрии размеры звездной периферии M87, нашли, что звездная составляющая этой галактики простирается до 200 кпк. Олдхэм и Аугер [23], используя в предложенной ими модели строения M87 результаты Корменди и др. [22], оценили размеры звездной составляющей в 1 Мпк. Естественно, никакие реальные измерения не смогут подтвердить или опровергнуть это значение, поскольку присутствие ярких соседних галактик не позволит измерить чрезвычайно слабое гало на таком расстоянии, даже если оно существует.

Следует заметить, что в скоплении галактик метод поверхностной фотометрии можно использовать только до определенной изофоты. Из-за большой концентрации галактик, эффектов проекции галактик на одно поле, хотя и пространственно разделенных большими расстояниями, а также из-за возможного свечения межгалактических объектов: звезд [3, 24, 25], планетарных туманностей [26–28] и шаровых скоплений [29, 30], переход к очень глубоким изофотам приведет к тому, что слабые изофоты всех объектов сольются между собой в одно большое облако. И в этом случае станет невозможно определить границы слабых изофот отдельных объектов. Метод звездных подсчетов для измерения размеров гало галактик мало подвержен влиянию фоновых объектов, но он требует наличия глубоких снимков, которые не всегда возможно получить.

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

Расстояния до галактик M86 и M87 измерялись многократно и разными методами. В базе NED можно найти более сотни оценок расстояний. Среднее и медианное значения для M86 равны 16.08 и 16.80 Мпк, а для M87 — 16.56 и 16.40 Мпк (NED). Некоторые методы, например, по планетарным туманностям, дают значения ниже среднего (14.6 Мпк для M87), а измерения на основе яркости новых звезд — выше среднего (18.8 Мпк для M87). По всей видимости, это связано с калибровкой нуль-пунктов, и возможно, что обширная программа по изучению Новых звезд в M87 [31, 32], изменит ситуацию.

В NED приведены результаты измерений всеми методами, дающими разную точность, поэтому для выяснения действительных расстояний следует

ориентироваться, например, на TRGB-метод, который в настоящее время является наиболее точным из применяемых методов для эллиптических галактик. Этим методом для М87 получены значения: 15.1 Мпк [33], 15.2 Мпк [34], 16.0 Мпк [35], 16.7 Мпк [15], 19.4 Мпк [34]. Если убрать явный промах в 19.4 Мпк, то среднее значение расстояния равно 15.75 Мпк. Следует отметить, что измерения расстояния TRGB-методом в указанных выше работах проводились в каждом случае по единичному полю. Для большинства галактик таких измерений вполне достаточно, но для М87, как показали наши измерения, необходимо использовать несколько полей, расположенных на разных расстояниях от центра галактики.

Для М86 в NED отсутствуют данные по измерению расстояния TRGB-методом, но полученные нами ранее [2], а также новые оценки расстояния по 4 полям, указывают на более далекое положение галактики М86, примерно на 2 Мпк, по сравнению с М87. Если в поле Р9, расположенном между М86 и М87, будут присутствовать звезды двух галактик, то мы увидим два отдельных TRGB-скачка на функции светимости красных гигантов.

На CM-диаграммах полей М87 (рис. 3, 4 и 5) присутствуют красные гиганты, которые при расстояниях менее  $10'$  фотометрируемого поля от центра галактики маскируются более яркими AGB-звездами. Наличие красных гигантов дает возможность использовать для измерения расстояний TRGB-метод согласно Ли и др. [8]. Положение верхней границы ветви красных гигантов определялось применением фильтра Собея [36] 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. У гигантских эллиптических галактик TRGB-скачок обычно почти не виден из-за присутствия в изучаемой выборке звезд различной металличности. В этом случае вместо TRGB-скачка наблюдается изменение градиента функции светимости. Положение TRGB-скачка на функции светимости в фильтре  $I$  немного зависит от металличности красных гигантов, поэтому при использовании TRGB-метода необходимо знать металличность этих звезд. В методе Ли и др. [8] измерение металличности происходит по двум величинам:  $(V - I)_{\text{TRGB}}$  — показателю цвета вершины ветви гигантов и  $(V - I)_{-3.5}$  — показателю цвета ветви гигантов на уровне  $M_I = -3.5$ . После определения на функции светимости положения TRGB-скачка, а на CM-диаграмме — показателей цвета ветви красных гигантов, можно на основе работы [8] вычислить расстояние до исследуемой галактики.

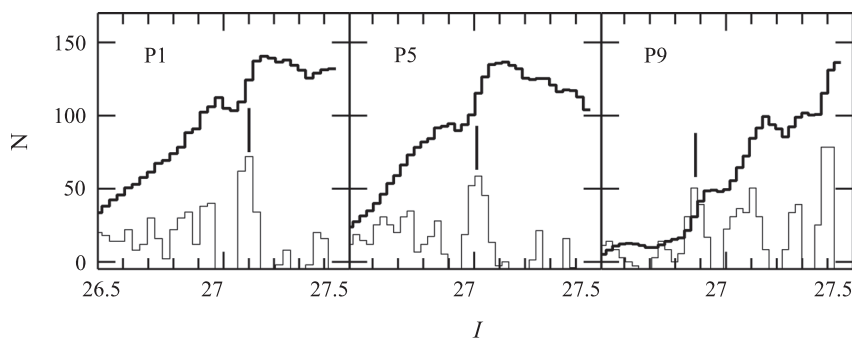
На рис. 10 представлены функции светимости звезд полей Р1, Р5 и Р9. В поле Р1, несмотря на очень большие экспозиции, увидеть TRGB-скачок можно только на функции светимости звезд, находящихся в удалении от центра галактики на  $\text{Rad} > 90''$ . Центральная часть М87 настолько яркая и переполнена звездами, что красные гиганты теряются среди более ярких и многочисленных AGB-звезд. Изменение градиента функции светимости звезд этого поля (TRGB-скачок) наблюдается при  $I = 27.10$ . У звезд более удаленного от центра галактики поля Р5 функция светимости изменяет свой градиент при  $I = 27.01$ , что и является TRGB-скачком. В еще более удаленном поле Р9 изменение градиента функции светимости видно при  $I = 26.89$ .

Для полей Р3, Р7 и Р9 функции светимости приведены на рис. 11. Для поля Р9 функция светимости построена по результатам фотометрии звезд только в одном фильтре  $I$ . Сравнение с рис. 10, где аналогичная функция светимости построена на основе фотометрии в двух фильтрах и выборе красных гигантов после селекции CM-диаграммы, не показывает различия результатов по измерению TRGB-скачка. Т.е. вполне возможно для определения TRGB-скачка использовать снимки в одном фильтре  $I$ , принимая во внимание, естественно, возможное наличие звезд других типов, кроме красных гигантов.

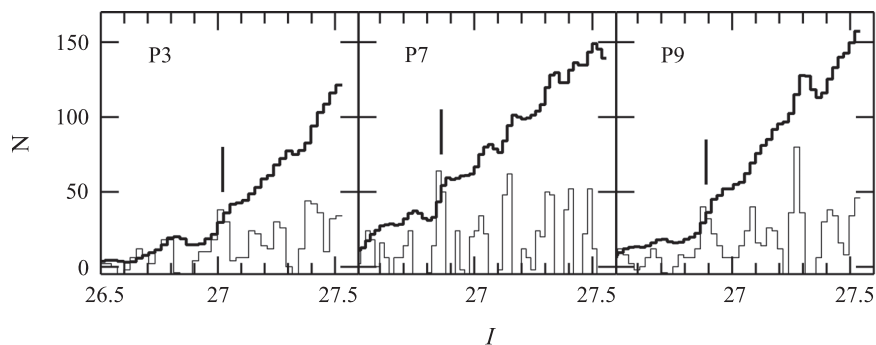
Результаты всех измерений представлены в таблице 4 и на диаграмме рис. 12. Парные значения TRGB-скачков для каждого радиуса появляются из-за фотометрии каждого поля двумя пакетами программ: DAOPHOT и DOLPHOT. На диаграмме рис. 12 обращает внимание изменение значения TRGB-скачка от  $I = 27.1$  до 26.9 в зависимости от расстояния до центра галактики. При радиусе больше 10 угловых минут значение TRGB-скачка не изменяется в пределах ошибок измерений. Возможные причины такого изменения рассматриваются в разделе «Результаты и обсуждения». Но в любом случае, наиболее достоверные значения расстояния можно получить по результатам фотометрии полей Р7–Р9.

Используя результаты фотометрии этих полей мы нашли, что для М87 среднее значение модуля расстояния по шести измерениям в трех полях, исправленное за поглощение света в нашей Галактике, равно  $(m - M) = 30.91 \pm 0.08$ , что соответствует расстоянию  $D = 15.39 \pm 0.57$  Мпк. Такое значение расстояния ставит галактику М87 не в центр скопления, а на его передний край, если только само скопление не расположено ближе, как это считали Фоку и др. [37].

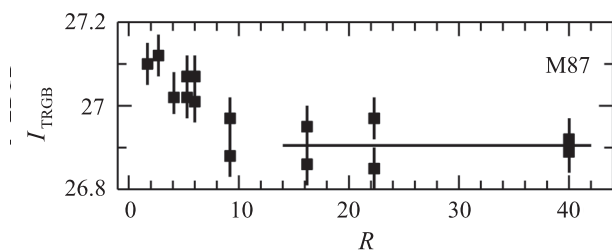




**Рис. 10.** Функции светимости звезд вблизи границы ветви красных гигантов для полей P1, P5 и P9. Из-за присутствия в выборке звезд разной металличности TRGB-скачок наблюдается на функции светимости как изменение градиента. Тонкой линией изображена функция Собеля, показывающая максимальные градиенты функции светимости. Вертикальные отрезки указывают на положения TRGB-скачков, которые для данной выборки звезд соответствуют границе красных гигантов.



**Рис. 11.** Функции светимости звезд полей P3, P7 и P9. В отличие от рис. 10, где выборка звезд проходила селекцию по цвету ( $V - I$ ), представленные функции светимости построены на основании фотометрии звезд только в одном фильтре  $I$ . Сравнение диаграммы поля P9 с аналогичной на рис. 10 показывает их сходство, т.е. подтверждается возможность для измерения TRGB-скачка на основании фотометрии звезд в одном только фильтре  $I$ .

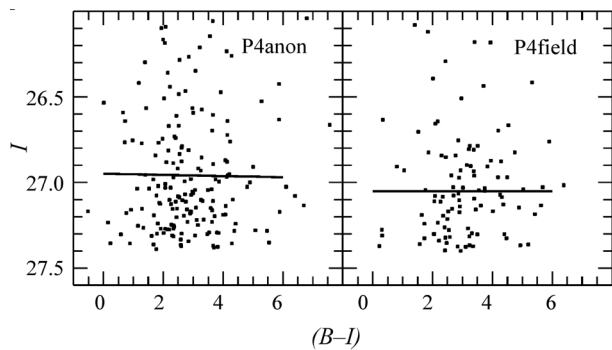


**Рис. 12.** Изменение положения TRGB-скачка на функции светимости звезд в зависимости от удаления изучаемой площадки от центра галактики. По всей видимости, наблюдается влияние высокометаллических красных гигантов, число которых уменьшается при удалении от центра. За пределами радиуса  $10'$  систематического изменения TRGB-скачка не происходит, поэтому результаты площадок P7–P9 дают реальную оценку расстояния до M87.

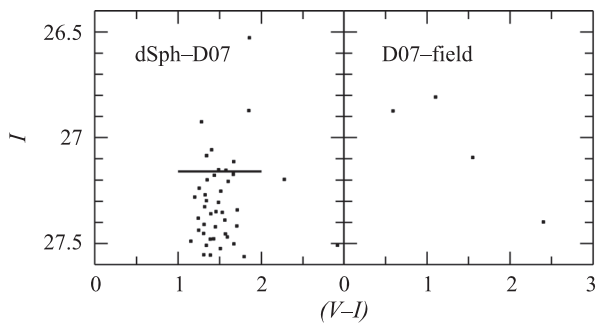
## 5. РАССТОЯНИЯ ДО КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК

На снимках полей P4 и P9 (рис. 2) видны проецирующиеся на M87 очень слабые галактики, которые также разрешаются на звезды. При

определении расстояния до такой галактики в выборку попадают звезды двух галактик: изучаемой карликовой и огромной фоновой M87, на которую этот карлик проецируется. Чтобы увеличить в выборке относительную численность звезд карликовой галактики по сравнению со звездами фоновой M87, мы уменьшали размеры площади выборки до границ карликовой галактики. Кроме того, при определении TRGB-скачка мы проводили сравнение функции светимости звезд карликовой галактики с функцией светимости звезд фоновой площадки, расположенной вблизи и содержащей только звезды M87. Из-за своих малых размеров и небольшого числа звезд наиболее сложный случай представляет анонимная карликовая галактика в поле P4 — P4(anonymous), далее P4anon. Выборка звезд этой галактики содержит 202 звезды, а фоновая площадка, расположенная рядом, содержит 132 звезды. CM-диаграммы этих площадок показаны на рис. 13. Несмотря на малое число звезд TRGB-скачок этой галактики определяется вполне уверенно, а его значение отличается от TRGB-скачка фоновых звезд, который можно определить



**Рис. 13.** CM-диаграммы карликовой галактики P4anon и фоновой площадки, расположенной рядом. Выборка звезд галактики состоит из 202 звезд, а фоновой площадки — из 132 звезд, т.е. третью часть выборки дают красные гиганты карликовой галактики. Положение TRGB-скачка на функции светимости галактики P4anon показывает (рис. 15), что она расположена перед гигантской M87 и является ее спутниками.



**Рис. 14.** CM-диаграммы карликовой галактики P9(dSph-D07) и фоновой площадки, расположенной рядом. Выборка звезд галактики состоит из 40 звезд, а фоновой площадки — из 4 звезд. Значение TRGB-скачка при  $I = 27.16$  указывает, что эта галактика находится на 2 Мпк дальше, чем M87.

не по малой выборке, показанной на рис. 13, а при использовании площадки большего размера. Карликовая галактика в поле P9 содержит всего лишь 40 звезд, но в расположенной рядом площадке сравнения находится только 4 звезды (рис. 14), поэтому TRGB-скачок виден хорошо и измерение расстояния до этой галактики не является проблемой.

Галактики NGC 4486a (поле P5) и VCCA 39 (поле P7) имеют значительно большие размеры, чем карлики полей P4 и P9, но их центральные области не разрешаются на звезды из-за высокой плотности звезд и повышенной яркости. Для этих галактик строились диаграммы распределения численной плотности звезд вдоль радиуса галактик и определялось значения радиуса  $R_{gal}$  при котором плотность звезд галактики начинает повышаться над плотностью звезд фона, который

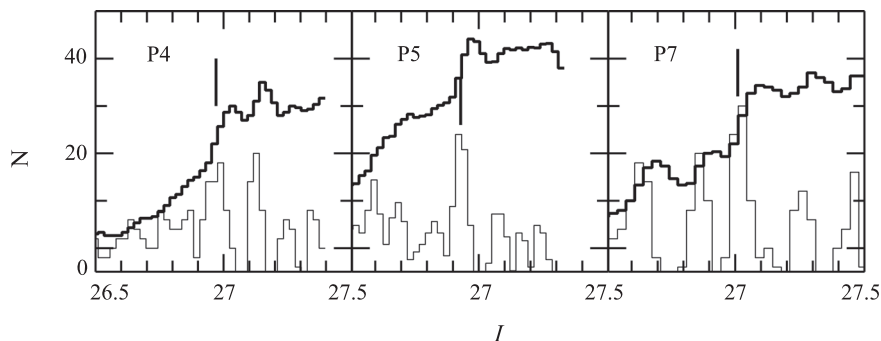
состоит из звезд M87. После определения величины  $R_{gal}$  выборка звезд для функции светимости проводилась внутри кольца с радиусом  $R < R_{gal}$ . Центральные области галактик не использовались. На рис. 15 показаны полученные функции светимости для трех галактик, расстояния до которых ранее не определялись TRGB-методом. Для галактик P4anon, NGC 4486a и VCCA 39 в таблице 4 приведены значения TRGB-скачков ( $I_{TRGB}$ ). Измеренные расстояния для этих галактик равны соответственно: 15.6, 15.6 и 16.1 Мпк. Точность измерения расстояния прямо зависит от точности определения положения TRGB-скачка и точности уравнений перевода этого положения в линейные единицы расстояния. Точность уравнений перевода по [8] равна  $I = 0^m10$  и примерно  $0^m03$  составляет точность определения TRGB-скачка. Уравнения перевода инструментальных величин в систему Казинса имеют точность  $0^m02$  и примерно столько же составляет точность определения PSF профилей звезд. Суммарный вклад всех ошибок измерений составляет  $0^m16$ , что эквивалентно точности измерения расстояния в 1.3 Мпк для каждой галактики.

Расстояния до галактик P4anon, NGC 4486a и VCCA 39 мало отличаются от расстояния до M87, т.е. они являются спутниками гигантской M87. Четвертая карликовая галактика, расположенная в поле P9 (dSph-D07), известна давно и имеет более ранние измерения расстояния:  $D = 16$  Мпк [3],  $D = 17.6 \pm 1.4$  Мпк [38],  $D = 18.3 \pm 1.4$  [39]. Наше измерение расстояния дало значение  $D = 17.1 \pm 1.5$  Мпк при металличности красных гигантов  $[Fe/H] = -1.8$ , что в пределах ошибок измерений согласуется с прежними измерениями. Эта карликовая сфероидальная галактика находится почти на 2 Мпк дальше M87 и относится к группе более далекой M86, которая имеет  $D = 18.5 \pm 0.5$  Мпк [2].

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Поставив цель — изучить параметры звезд в площадке между галактиками M86 и M87 и сделать вывод об их происхождении, мы пришли к заключению о необходимости расширить исследование и изучить строение звездной подсистемы M87, а также определить пространственное положения этой галактики в скоплении Дева.

При решении этих задач была показана эффективность метода подсчета звезд. Практически невозможно другим методом изучить морфологию и звездный состав слабой и протяженной периферии галактики. Используя метод подсчета звезд для нескольких полей, расположенных на разных расстояниях от центра M87, мы показали изменение численной плотности вдоль радиуса галактики AGB-звезд и красных гигантов разной светимости



**Рис. 15.** Функции светимости карликовых галактик P4anop, NGC 4486A и VCCA039. Обозначения аналогичны обозначениям рис. 10 и 11. Значения TRGB-скачков мало отличаются от значения скачка для M 87, т.е. эти галактики расположены на таком же расстоянии, как и M 87 и являются ее спутниками.

**Таблица 4.** Значения TRGB-скачков в полях P1–P9 вокруг M 87 и у карликовых галактик

Object	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
M 87 (DAO)*	—	27.12	27.03	27.07	27.01	26.88	26.99	26.85	26.89
M 87 (DOL)*	27.10	—	—	27.02	27.05	26.97	26.86	26.95	26.92
P4anop	—	—	—	26.97	—	—	—	—	—
NGC 4486a	—	—	—	—	26.93	—	—	—	—
VCCA 039	—	—	—	—	—	—	27.01	—	—
dSph-D07	—	—	—	—	—	—	—	—	27.16

\* по результатам фотометрии с помощью DAOPHOT (DAO) и DOLPHOT (DOL)

и металличности (рис. 6 и рис. 7). Было установлено, что наибольший градиент падения плотности имеют AGB-звезды самой высокой светимости, и градиент уменьшается при переходе к звездам меньшей светимости. Для красных гигантов была найдена зависимость между металличностью звезд и градиентом изменения численной плотности вдоль радиуса галактики. Полученные результаты объясняют звездный состав поля между галактиками M 86 и M 87 и дают основание утверждать, что звезды этого поля (P9 по нашей нумерации) в подавляющем большинстве принадлежат периферии галактики M 87. То есть нет какого-либо основания считать их вероятными межгалактическими звездами, которые если и входят в выборку, то не изменяют ее параметров из-за своей малочисленности. Присутствие звезд M 87 на расстоянии 190 кпк от центра галактики показывает, что размер звездного гало не меньше этого значения. На снимках Михос и др. [4, 5] видно, что гало M 87 имеет форму правильного эллипса, поэтому регистрация звезд гало в одном месте этого эллипса определяет размеры всего гало до этого радиуса. На диаграмме рис. 5 видно большое число звезд, принадлежащих самому удаленному полю

M 87. Поскольку численная плотность звезд гало уменьшается плавно, то можно заключить, что гало продолжается за пределы этого поля, расположенного на расстоянии 190 кпк от центра галактики. То есть размеры гало больше, чем 190 кпк.

Полученные в данной работе выводы, а также результаты наших более ранних исследований [2] показывают, что звезды во всех изученных нами полях скопления Дева принадлежат периферии соседних галактик и не являются межгалактическими звездами, как это предполагалось в ряде работ [3, 7]. По всей видимости, процесс обдирания галактик [1] не является эффективным механизмом для появления межгалактических звезд в скоплениях.

Определение расстояния до галактики M 87 на основе TRGB-метода выявило изменение значения TRGB-скачка при удалении от центра галактики (рис. 12). Этот эффект можно объяснить изменением морфологического состава выборки звезд: более близкие к центру галактики поля содержат красные гиганты с более высоким значением металличности, что и вызывает систематический сдвиг TRGB-скачка именно таким образом, как это наблюдается на диаграмме рис. 12.

Возможна вторая, менее вероятная причина наблюдаемой зависимости на рис. 12. Гигантская галактика М87 за время своей жизни поглотила немалое число карликовых галактик. Возможно, что пыль этих галактик образовала вокруг М87 слабое гало, которое вызывает поглощение света и сдвиг TRGB-скачка. В этом случае будет наблюдаться мнимое увеличение расстояния при приближении выборки звезд к центру галактики. Вероятно, что этим эффектом можно объяснить и систематически большее расстояния до М87 при использовании метода Новых звезд, которые чаще всего вспыхивают в центральных областях галактики. Возможно, что проведенные масштабные исследования Новых звезд в М87 [31, 32] решат вопрос об измерении расстояния этим методом. Мы считаем, что наиболее точное расстояние до М87 дают измерения TRGB-методом полей P7–P9 на периферии галактики.

Полученное нами расстояние до М87 ставит ее на передний край скопления, если только все скопление не расположено ближе, как это считали Фуко и др. [37]. Асимметричное положение М87 в скоплении не является чем-то неожиданным. Например, малые расстояния до М87 давали все измерения по планетарным туманностям (NED). Среди таких последних измерений:  $D = 14.1$  Мпк [40],  $D = 14.5$  Мпк [28].

Три карликовые галактики вблизи М87, которые попали в изучаемые нами поля, имеют примерно такие же расстояния, что и М87, что косвенно подтверждает верность наших измерений расстояния до М87.

Расположение М87 в центре скопления не является чем-то обязательным. Эта галактика — не самая яркая в скоплении. Эллиптическая галактика М49, расположенная на краю скопления, превосходит М87 по яркости. Неоднократно было показано, что скопление Дева представляет собой рыхлое объединение отдельных групп галактик [37, 41–43], которые в далеком будущем могут образовать регулярное скопление галактик.

Вопрос о расположении отдельных групп галактик внутри скопления Дева остается открытым, поскольку отсутствуют точные измерения расстояний до других, кроме М87, массивных галактик скопления. Многочисленные, но малоточные измерения методом Талли-Фишера (TF) или методом флуктуации поверхностной яркости (SBF), не могут заменить пусть единичные, но точные измерения TRGB-методом. Поскольку большинство галактик скопления составляют линзовидные и эллиптические галактики, в которых значительная часть видимых звезд является красными гигантами, то TRGB-метод оказывается практически единственным методом для точного измерения расстояния.

Однако для этого необходимы снимки космического телескопа Хаббла с экспозициями не меньше 5000 с в фильтре  $F814W$  и с расположением полей не в центре, а на периферии галактик.

## 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 № NAS5-26555. These observations are associated with proposals 10131, 10543, 12532, 12989 and 13731.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. S. Rudick, J. C. Mihos, and C. McBride, *Astrophys. J.* **648**, 936 (2006).
2. N. A. Tikhonov, *Astronomy Letters* **43**, 21 (2017).
3. B. F. Williams, R. Ciardullo, P. R. Durrell, et al., *Astrophys. J.* **656**, 756 (2007).
4. J. C. Mihos, P. Harding, J. Feldmeier, and H. Morrison, *Astrophys. J.* **631**, L41 (2005).
5. J. C. Mihos, P. Harding, J. J. Feldmeier, et al., *Astrophys. J.* **834**, 16 (2017).
6. S. Janowiecki, J. C. Mihos, P. Harding, et al., *Astrophys. J.* **715**, 972 (2010).
7. N. Caldwell, *Astrophys. J.* **651**, 822 (2006).
8. M. G. Lee, W. L. Freedman, and B. F. Madore, *Astrophys. J.* **417**, 553 (1993).
9. A. Dolphin, “DOLPHOT: Stellar photometry,” (2016).
10. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **99**, 191 (1987).
11. P. B. Stetson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 250 (1994).
12. N. A. Tikhonov, O. A. Galazutdinova, and E. N. Tikhonov, *Astronomy Letters* **35**, 599 (2009).
13. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, *Astronomy Letters* **35** 748 (2009).
14. E. F. Schlafly and D. P. Finkbeiner, *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
15. S. Bird, W. E. Harris, J. P. Blakeslee, and C. Flynn, *Astron. and Astrophys.* **524**, A71 (2010).
16. M. Montes, I. Trujillo, M. A. Prieto, and J. A. Acosta-Pulido, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **439**, 990 (2014).

17. N. A. Tikhonov, O. A. Galazutdinova, and I. O. Drozdovsky, *Astron. and Astrophys.* **431**, 127 (2005).
18. C. S. Rudick, J. C. Mihos, P. Harding, et al., *Astrophys. J.* **720**, 569 (2010).
19. M. Rejkuba, W. E. Harris, L. Greggio, et al., *Astrophys. J.* **791**, L2 (2014).
20. R. A. Ibata, G. F. Lewis, A. W. McConnachie, et al., *Astrophys. J.* **780**, 128 (2014).
21. J. C. Mihos, P. Harding, C. S. Rudick, and J. J. Feldmeier, *Astrophys. J.* **764**, L20 (2013).
22. J. Kormendy, D. B. Fisher, M. E. Cornell, and R. Bender, *Astrophys. J. Suppl.* **182**, 216 (2009).
23. L. J. Oldham and M. W. Auger, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **457**, 421 (2016).
24. H. C. Ferguson, N. R. Tanvir, and T. von Hippel, *Nature* **391**, 461 (1998).
25. P. R. Durrell, R. Ciardullo, J. J. Feldmeier, et al., *Astrophys. J.* **570**, 119 (2002).
26. M. Arnaboldi, J. A. L. Aguerri, N. R. Napolitano, et al., *Astron. J.* **123**, 760 (2002).
27. J. C. Mihos, S. Janowiecki, J. J. Feldmeier, et al., *Astrophys. J.* **698**, 1879 (2009).
28. A. Longobardi, M. Arnaboldi, O. Gerhard, and R. Hanuschik, *Astron. and Astrophys.* **579**, A135 (2015).
29. B. F. Williams, R. Ciardullo, P. R. Durrell, et al., *Astrophys. J.* **654**, 835 (2007).
30. Y. Ko, H. S. Hwang, M. G. Lee, et al., *Astrophys. J.* **835**, 212 (2017).
31. M. M. Shara, T. F. Doyle, T. R. Lauer, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **227**, 1 (2016).
32. M. M. Shara, T. Doyle, T. R. Lauer, et al., *Astrophys. J.* **839**, 109 (2017).
33. M. G. Lee and I. S. Jang, *Astrophys. J.* **819**, 77 (2016).
34. L. Ferrarese, J. R. Mould, R. C. Kennicutt, Jr., et al., *Astrophys. J.* **529**, 745 (2000).
35. M. G. Lee and I. S. Jang, *Astrophys. J.* **822**, 70 (2016).
36. B. F. Madore and W. L. Freedman, *Astron. J.* **109**, 1645 (1995).
37. P. Fouqué, J. M. Solanes, T. Sanchis, and C. Balkowski, *Astron. and Astrophys.* **375**, 770 (2001).
38. P. R. Durrell, B. F. Williams, R. Ciardullo, et al., *Astrophys. J.* **656**, 746 (2007).
39. I. S. Jang and M. G. Lee, *Astrophys. J.* **795**, L6 (2014).
40. A. Longobardi, M. Arnaboldi, O. Gerhard, et al., *Astron. and Astrophys.* **558**, A42 (2013).
41. E. H. Neilsen, Jr. and Z. I. Tsvetanov, *Astrophys. J.* **536**, 255 (2000).
42. J. M. Solanes, T. Sanchis, E. Salvador-Solé, et al., *Astron. J.* **124**, 2440 (2002).
43. S. Mei, J. P. Blakeslee, P. Côté, et al., *Astrophys. J.* **655**, 144 (2007).

## The Distance to the Giant Elliptical Galaxy M 87 and the Size of Its Stellar Subsystem

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

Stellar photometry in nine fields around the giant elliptical galaxy M 87 in the Virgo cluster is obtained from archival images of the Hubble Space Telescope. The resulting Hertzsprung–Russell diagrams show populated red-giant and AGB branches. The position of the tip the red-giant branch (the TRGB discontinuity) is found to vary with galactocentric distance. This variation can be interpreted as the effect of metal-rich red giants on the procedure of the measurement of the TRGB discontinuity or as a consequence of the existence of a weak gas-and-dust cloud around M 87 extending out to  $10'$  along the galactocentric radius and causing  $I$ -band absorption of up to  $0^m.2$  near the center of the galaxy. The TRGB stars located far from the M 87 center yield an average distance modulus of  $(m - M) = 30.91 \pm 0.08$ , which corresponds to the distance of  $D = 15.4 \pm 0.6$  Mpc. It is shown that stars in the field located between M 86 and M 87 galaxies at angular separations of  $37'$  and  $40'$  are not intergalactic stars, but belong to the M 87 galaxy, i.e., that the stellar halo of this galaxy can be clearly seen at a galactocentric distance of 190 kpc. The distances are measured to four dwarf galaxies P4anon, NGC 4486A, VCCA039, and dSph-D07, whose images can be seen in the fields studied. The first three galaxies are M 87 satellites, whereas dSph-D07 is located at a greater distance and is a member of the M 86 group.

Keywords: *galaxies: clusters: individual: Virgo—galaxies: individual: M 87*