

УДК 524.72-54:520.84

КАРЛИКОВАЯ ГАЛАКТИКА МЕСТНОГО ОБЪЕМА CAS 1: МЕТАЛЛИЧНОСТЬ ГАЗА, ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССТОЯНИЕ

© 2024 С. А. Пустильник^{1*}, А. Л. Теплякова¹, А. С. Винокуров¹¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 18 апреля 2024; после доработки 19 мая 2024; принята к публикации 19 мая 2024

Cas 1 является карликовой иррегулярной галактикой Местного объема (МО). Тихонов Н. А. в 2019 г., используя HST-изображения и метод определения расстояний по вершине ветви красных гигантов (TRGB), получил расстояние до нее $D = 1.61 \pm 0.1$ Мпк и обнаружил, что металличность звезд этой галактики близка к $z = 0.0004$ (или $Z(\text{stars}) \sim Z_{\odot}/50$). Такая экстремально бедная металлами (ХМР) карликовая галактика была бы ближайшим к нам аналогом I Zw 18 и ценным объектом для последующих детальных исследований. Между тем расстояние до Cas 1 остается предметом обсуждений. В базе данных внегалактических расстояний (EDD) представлена основанная на более глубоких HST-изображениях Cas 1 TRGB-оценка расстояния — 4.5 ± 0.2 Мпк. При этом Cas 1 оказывается в общем поле между группами IC 342 ($D = 3.3$ Мпк) и Maffei 1/Maffei 2 ($D = 5.7$ Мпк). Для проверки предполагаемого статуса Cas 1 как ХМР-галактики мы провели на 6-м телескопе САО РАН (БТА) спектроскопию двух ее H II-областей и определили в них содержание кислорода O/H. Мы также использовали эти спектры, чтобы оценить с помощью наблюдаемого бальмеровского декремента верхний предел для поглощения в Млечном Пути (MW) в направлении Cas 1. Найденные значения параметра $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$ равны 7.83 ± 0.1 и 7.58 ± 0.1 dex. Измеренные бальмеровские декременты дают верхнюю оценку поглощения в MW в этом направлении $A_B = 3^{\text{m}}06 \pm 0^{\text{m}}14$, что на $0^{\text{m}}63$ меньше, чем A_B , использованное в предыдущих оценках расстояния до Cas 1. Это приводит к уменьшению оригинального EDD-расстояния до 4.1 ± 0.36 Мпк. Для ограничения вероятного диапазона M_B мы используем соотношение между $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$ и M_B для галактик в МО из работы Berg et al., опубликованной в 2012 году. Соответствующая оценка расстояния до Cas 1 составляет 1.64 Мпк при неопределенности с фактором 2.17 для ошибки 1σ . Исходя из полученной оценки $Z(\text{gas}) \sim Z_{\odot}/10$, Cas 1 не является ХМР-галактикой. Два новых найденных нами значения расстояния согласуются друг с другом в пределах примерно 1σ при наиболее вероятной величине $D = 3.73$ Мпк. Это расстояние указывает на предпочтительное положение Cas 1 в окрестностях IC 342, а не в общем поле.

Ключевые слова: галактики: карликовые — галактики: эволюция — галактики: металличности — галактики: отдельные: Cas 1 (PGC 100169 = KK 019 = ZOAG 129.56+07.09)

1. ВВЕДЕНИЕ

Популяция галактик в Местном объеме (МО) является одной из наиболее изученных благодаря своей близости и важности как эталонной выборки для многих внегалактических исследований и космологии локальной вселенной. Мы особенно заинтересованы в лучшем понимании свойств галактик МО, которые находятся в ближайших пустотах, то есть составляют подгруппу выборки галактик ближайших пустот (NVG) из работы Pustilnik et al. (2019). Недавние результаты наших исследований металличности газа у галактик выборки NVG представлены в работах Pustilnik et al. (2020; 2021; 2024). Для одиннадцати из

этих галактик обнаружена экстремально низкая металличность газа, $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) \sim 7.0\text{--}7.2$ dex, или $Z(\text{gas}) \sim Z_{\odot}/50\text{--}Z_{\odot}/30^1$.

Определение расстояния до карликовой иррегулярной галактики (dIr) Местного объема Cas 1 имеет долгую историю, начиная с момента ее открытия в Зоне Избегания (ZoA) (Weinberger, 1995). Предлагавшиеся оценки расстояний варьируются от 0.8 до 4.5 Мпк (Tikhonov, 1996, 2019; Karachentsev et al., 1997, 2013; Weinberger and Saurer, 1998; Anand et al., 2021). Кроме того, при анализе разрешенного звездного населения Cas 1,

¹Мы принимаем солнечное содержание кислорода $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) = 8.69$ dex, как в работе Asplund et al. (2009).

*E-mail: sap@sao.ru

основанного на архивных изображениях космического телескопа им. Хаббла (HST), Tikhonov (2019) обнаружил путем подгонки теоретических звездных изохрон к диаграмме «цвет–величина» (CMD) очень низкую металличность звезд в этой галактике, от $z = 0.0004$ до 0.0007 (или $Z \sim Z_{\odot}/50 - Z_{\odot}/30$).

Если бы этот факт подтвердился, то такая экстремально низкометалличная (ХМР) dIг-галактика, похожая на хорошо известные ХМР карликовые галактики I Zw 18 (Searle and Sargent, 1972) на расстоянии $D \sim 17$ Мпк и Leo P на $D = 1.65$ Мпк (Skillman et al., 2013), была бы ценным объектом для изучения феномена этих очень редких ХМР-карликов. Учитывая близость и значительное число ярких звезд, ее также можно было бы считать очень перспективной в контексте углубленного изучения населения массивных звезд с экстремально низкой металличностью. Это направление становится очень актуальным (например, Vink et al., 2023) в связи с изучением формирования галактик и реионизации в ранней Вселенной (например, Endsley et al., 2023).

В процессе формирования выборки NVG, Cas 1 была отнесена к окружению яркой спиральной галактики IC 342 (Karachentsev et al., 2013), расположенной на расстоянии 3.3 ± 0.13 Мпк (Anand et al., 2021), и поэтому не вошла в выборку NVG. После публикации выборки NVG Tikhonov (2019) представил альтернативное расстояние до Cas 1. Используя диаграмму CMD, полученную по снимкам HST, он применил хорошо известный метод вершины ветви красных гигантов (TRGB) для получения расстояния до нее $D = 1.6 \pm 0.1$ Мпк. Это расстояние значительно меньше, чем у группы IC 342. И в этом месте Cas 1 оказывается в довольно изолированном окружении, в пределах границ пустоты № 8 (Ori–Tau) из списка ближайших пустот (Pustilnik et al., 2019).

Нашей основной мотивацией было прояснить вопрос о заявленной очень низкой металличности галактики Cas 1. Кроме того, поскольку Cas 1 находится на низкой галактической широте $b^{\text{II}} = +7^{\circ}1$ (в ZoA), оценки поглощения в MW для нее имеют довольно большие неопределенности. Общепринятая оценка поглощения в MW основана на статье Schlafly and Finkbeiner (2011). Она дает для Cas 1 значение $E(B - V) = 0^{\text{m}}900$. Соответствующие значения поглощения в полосах B и V , $A_B = 4.1E(B - V) \sim 3^{\text{m}}7$ и $A_V \sim 2^{\text{m}}8$, имеют, по данным Schlegel et al. (1998), внутренние неопределенности не менее 10%, то есть $\sigma(A_B, A_V) \gtrsim 0^{\text{m}}3 - 0^{\text{m}}4$.

Эта довольно большая неопределенность может повлиять на определение глобальных параметров

Cas 1 и расстояния до нее. Единственная независимая оценка $A_V \sim 2^{\text{m}}5$ (Weinberger and Sauger, 1998) основана на бальмеровском декременте в одной из HII-областей Cas 1, полученном из наблюдаемого соотношения потоков только двух линий, $H\alpha$ и $H\beta$. Поэтому второй задачей этой работы было получение независимого верхнего предела поглощения в MW с помощью нового измерения бальмеровского декремента в двух разных HII-областях.

Между тем результаты определения расстояния по свежим изображениям HST, которые примерно на $1^{\text{m}}5$ глубже изображений, использованных Tikhonov (2019), были представлены в базе данных внегалактических расстояний (EDD)². Они дают альтернативное расстояние по методу TRGB: 4.5 ± 0.2 Мпк. Их оценка, похоже, не учитывает ошибку принятого поглощения в полосе I , которая, согласно Schlegel et al. (1998), составляет минимум $1^{\text{m}}5$.

Спектры HII-областей позволяют получить независимую оценку поглощения на луче зрения с помощью наблюдаемого бальмеровского декремента, что потенциально позволяет улучшить точность расчетной абсолютной звездной величины галактики и других ее параметров. Поэтому попытка получить независимую оценку поглощения в MW с максимально возможной точностью представляется довольно актуальной. С этой целью мы получили спектры двух HII-областей, видимых на изображениях Cas 1 в эмиссионной линии $H\alpha$ (Kaisin and Karachentsev, 2019), а также отмеченных Tikhonov (2019) на HST-изображениях.

Остальная часть статьи организована следующим образом. В разделе 2 описаны спектральные наблюдения и обработка данных. В разделе 3 представлены результаты анализа спектров БТА. В разделе 4 мы обсуждаем свойства изучаемых областей звездообразования в Cas 1, включая их металличность газа и поглощение, а также применение реперного соотношения между O/H (gas) и M_B из работы Berg et al. (2012). В заключительном разделе 5 мы суммируем наши результаты и делаем выводы. Линейный масштаб на принятом расстоянии до Cas 1 3.7 Мпк составляет около 18.0 пк на $1''$.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

В ночь 22 октября 2023 года нами получены два оптических спектра Cas 1 с многомодовым инструментом БТА SCORPIO-1 (Afanasiev and Moiseev, 2005) при фотометрических условиях и кружке рассеяния около $1''7$ (см. таблицу 1).

²<https://edd.ifa.hawaii.edu/dfirst.php>

Таблица 1. Журнал наблюдений Cas 1

Date	Grism	Exposure time, s	β , arcsec	Air mass
22.10.2023	VRHG1200B	4×800	1.7	1.10
22.10.2023	VRHG1200R	2×600	1.7	1.11

Щель длиной $6''$ и шириной $1''2$, с масштабом вдоль щели примерно $0''36$ на пиксель (после бинирования на 2) проходила через H II-область #2 (в обозначениях из работы Tikhonov, 2019).

Чтобы минимизировать потерю света из-за дифференциальной атмосферной рефракции (например, Filippenko, 1982), рекомендуется удерживать позиционный угол (PA) щели близко к направлению атмосферной рефракции, то есть близко к параллактическому углу PA_{par} . Мы наблюдали Cas 1 возле меридиана, так что средний PA_{par} во время наблюдений был около -7° . Воздушная масса во время наблюдений была довольно мала: около 1.10–1.11. Поэтому относительно небольшая разница между реальным PA и PA_{par} должна давать пренебрежимо малый эффект на результирующие относительные интенсивности линий.

Опираясь на эти оценки, мы установили PA щели на $17^\circ2$ с тем, чтобы щель пересекала другую относительно яркую H II-область в Cas 1, а именно #4 на расстоянии около $50''$ к северо-востоку. На рис. 1 показано положение щели, наложенное на HST-изображение в фильтре $F606W$, взятое из базы данных EDD. Гризмы VRHG1200B и VRHG1200R с $2K \times 2K$ ПЗС-детектором E2V 42-40 с размером пикселя $13.5 \times 13.5 \mu\text{m}$ обеспечивали покрытие диапазонов 3650–5450 и 5700–7500 Å соответственно, при спектральном разрешении $FWHM \sim 5.5 \text{ \AA}$. Спектры с обеими гризмами были получены при одном и том же положении щели и при близких условиях.

Из-за слегка разного значения кружка рассеяния ожидалось, что потери света на щели для синей и красной гризм будут немного отличаться. Действительно, мы обнаружили, что уровень континуума в красной части спектра немного выше, чем его продолжение от «желтого» края. Чтобы устранить в первом приближении это различие между двумя частями спектра, перед объединением обеих частей мы умножили потоки красной части на коэффициент 0.89.

Основные процедуры по обработке данных описаны в работе Pustilnik et al. (2016). Здесь мы изложим их кратко. Для обработки длиннощелевых спектров использовался наш стандартный

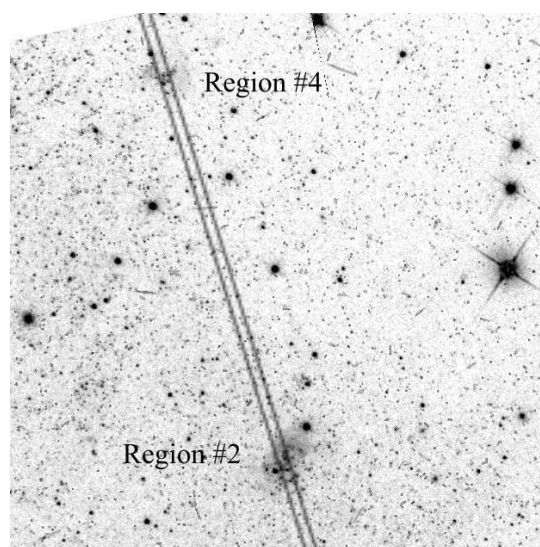


Рис. 1. Положение щели прибора SCORPIO-1 на БТА ($PA = 17^\circ2$), наложенное на изображение Cas 1 с телескопом HST в фильтре $F606W$. Две изучаемые H II-области (#2 and #4) отмечены согласно номерам из работы Tikhonov (2019). Север — наверху, восток — слева. Сторона квадрата соответствует $1'$.

набор программ, базирующийся на пакетах IRAF³ и MIDAS⁴. Он включает следующие этапы: удаление следов космических лучей, вычитание смещения (bias), исправление за плоское поле, калибровку по длине волны, вычитание фона ночного неба. Для калибровки по потоку использовался спектрофотометрический стандарт — звезда BD +28°4211, наблюдавшаяся перед Cas 1.

В результате обработки в 2D-спектрах, полученных с обеими гризмами, стали хорошо видны основные яркие эмиссионные линии в обеих H II-областях, #2 и #4. 1D-спектры этих областей были извлечены путем суммирования 21 пикселя (примерно $7''5$) и 19 пикселей (около $6''8$) соответственно, без весов, с центрированием на максимум сигнала линии H γ .

Полученные 1D-спектры показаны на (a) и (b) панелях (с увеличением для показа уровня континуума и слабых эмиссионных линий) рис. 2 для области #2 и рис. 3 — для области #4.

³IRAF: the Image Reduction and Analysis Facility — система обработки и анализа изображений, распространяемая Национальной оптической астрономической обсерваторией, которой управляет Ассоциация университетов для исследований в астрономии, Inc. (AURA) по соглашению с Национальным научным фондом (NSF).

⁴MIDAS (Munich Image Data Analysis System — Мюнхенская система анализа данных изображений) — пакет программ, созданный Европейской Южной Обсерваторией.

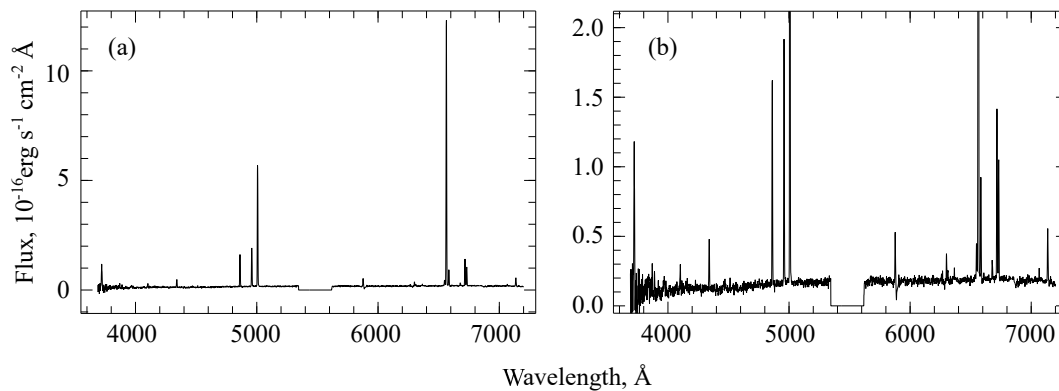


Рис. 2. Спектр H II-области #2 в галактике Cas 1, полученный 22.10.2023. Панель (a): полный 1D-спектр. Панель (b): тот же спектр с увеличением, чтобы показать слабые спектральные детали.

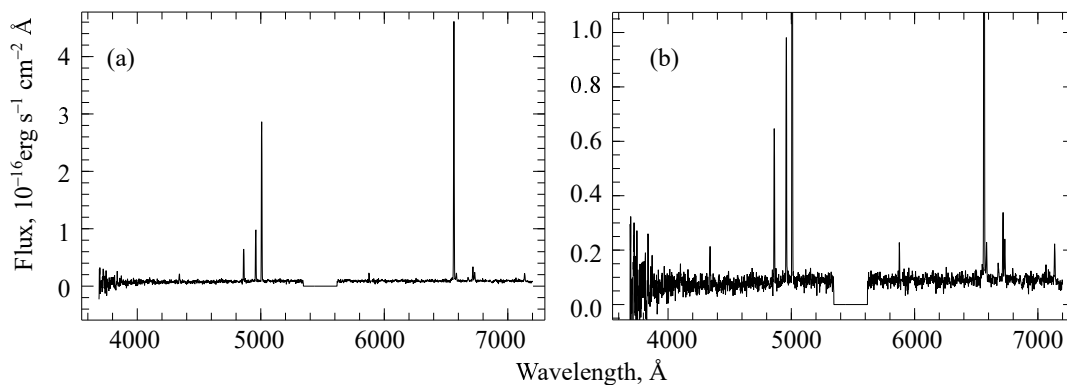


Рис. 3. Спектр H II-области #4 в галактике Cas 1, полученный 22.10.2023. Панель (a): полный 1D-спектр. Панель (b): тот же спектр с увеличением, чтобы показать слабые спектральные детали.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Параметры эмиссионных линий

Результаты измерений и анализа эмиссионных линий для обоих спектров представлены в таблице 2. В левой колонке мы приводим измеренные потоки линий относительно потока в линии H β . В правой колонке — относительные интенсивности линий, исправленные за поглощение и бальмеровские абсорбционные линии в подстилающем звездном континууме обеих H II-областей. Последняя процедура выполняется методом, описанным в работе Izotov et al. (1994), посредством варьирования $C(H\beta)$ и $EW(abs)$ в широких диапазонах и нахождения наилучшей комбинации этих двух параметров для заданной электронной температуры T_e . Затем при нескольких итерациях T_e находится лучшая комбинация T_e , $C(H\beta)$ и $EW(abs)$, воспроизводящая теоретические интенсивности бальмеровских эмиссий, соответствующие условиям рекомбинации для так называемого варианта «Case B», в терминах минимума статистики χ^2 .

Напомним, что в дальнейших расчетах используется двухзонная модель H II-области, описанная,

например, в работах Izotov et al. (1994) и Stasińska (1990).

3.2. Содержание кислорода

Поскольку слабая температуро-чувствительная авроральная линия [O III] λ 4363 не обнаружена в наших спектрах, мы не можем использовать прямой метод определения электронной температуры T_e . Поэтому мы используем модифицированный (см. ниже) полуэмпирический метод из работы Izotov and Thuan (2007) и эмпирический метод из работы Pilyugin and Thuan (2005) для определения параметра $12 + \lg(O/H)$ по измеренным интенсивностям линий.

Полуэмпирический метод Izotov and Thuan (2007) основан на эмпирической зависимости между T_e и параметром R_{23} (отношение потоков в линиях $[I([O II] \lambda 3727) + I([O III] \lambda 4959) + I([O III] \lambda 5007)]/I(H\beta)$). В этом методе на первом этапе параметр T_e оценивается через параметр R_{23} , а затем O/H рассчитывается с этим T_e , как в классическом прямом методе (например, Izotov et al., 2006).

Таблица 2. Наблюдаемые и рассчитанные параметры H II-областей #2 и #4 в галактике Cas 1

Параметр		#2		#4	
$\lambda_0, \text{\AA}$	Ion	$F(\lambda)/F(\text{H}\beta)$	$I(\lambda)/I(\text{H}\beta)$	$F(\lambda)/F(\text{H}\beta)$	$I(\lambda)/I(\text{H}\beta)$
3727	[O II]	0.868 ± 0.055	1.994 ± 0.142	0.317 ± 0.086	0.670 ± 0.205
4101	H δ	0.101 ± 0.010	0.295 ± 0.051	0.108 ± 0.019	0.304 ± 0.070
4340	H γ	0.268 ± 0.036	0.457 ± 0.071	0.258 ± 0.023	0.447 ± 0.049
4861	H β	1.000 ± 0.033	1.000 ± 0.038	1.000 ± 0.042	1.000 ± 0.049
4959	[O III]	1.222 ± 0.038	1.048 ± 0.037	1.548 ± 0.059	1.322 ± 0.057
5007	[O III]	3.831 ± 0.203	3.179 ± 0.100	4.739 ± 0.164	3.927 ± 0.153
5876	He I	0.222 ± 0.009	0.108 ± 0.005	0.188 ± 0.017	0.095 ± 0.010
6300	[O I]	0.094 ± 0.007	0.037 ± 0.003	0.043 ± 0.018	0.017 ± 0.007
6312	[S III]	0.042 ± 0.006	0.016 ± 0.002	—	—
6548	[N II]	0.170 ± 0.029	0.058 ± 0.011	0.083 ± 0.065	0.031 ± 0.027
6563	H α	8.189 ± 0.200	2.827 ± 0.084	7.508 ± 0.244	2.788 ± 0.111
6584	[N II]	0.512 ± 0.034	0.173 ± 0.013	0.261 ± 0.073	0.095 ± 0.030
6678	He I	0.089 ± 0.006	0.029 ± 0.002	0.140 ± 0.019	0.049 ± 0.008
6717	[S II]	0.819 ± 0.027	0.267 ± 0.009	0.386 ± 0.020	0.135 ± 0.007
6731	[S II]	0.563 ± 0.018	0.183 ± 0.006	0.267 ± 0.019	0.093 ± 0.007
7136	[Ar III]	0.270 ± 0.010	0.072 ± 0.003	0.250 ± 0.018	0.072 ± 0.006
$C(\text{H}\beta)$, dex		1.295 ± 0.032		1.190 ± 0.042	
$EW(\text{abs}), \text{\AA}$		4.90 ± 0.60		4.55 ± 0.63	
$F(\text{H}\beta)^a$		8.99 ± 0.19		3.72 ± 0.11	
$EW(\text{H}\beta), \text{\AA}$		54.85 ± 1.30		45.51 ± 1.40	
Рад. скорость, км с $^{-1}$		20 ± 12		28 ± 6	
$T_e(\text{O III}), \text{K}$		$14\,411 \pm 11\,69$		$17\,230 \pm 13\,39$	
$T_e(\text{O II}), \text{K}$		$13\,584 \pm 678$		$14\,734 \pm 316$	
$T_e(\text{S III}), \text{K}$		$14\,018 \pm 1252$		$16\,604 \pm 1022$	
$N_e(\text{S II}), \text{cm}^{-3}$		10 ± 10		10 ± 10	
$\text{O}^+/\text{H}^+ \times 10^5$		2.487 ± 0.452		0.643 ± 0.210	
$\text{O}^{++}/\text{H}^+ \times 10^5$		3.861 ± 0.818		3.105 ± 0.558	
$\text{O}/\text{H} \times 10^5$		6.348 ± 0.935		3.748 ± 0.596	
$12 + \lg(\text{O}/\text{H})(\text{mse}, \text{c})$		7.81 ± 0.12		7.59 ± 0.12	
$12 + \lg(\text{O}/\text{H})(\text{PT05})$		7.85 ± 0.10		7.56 ± 0.10	

^a В единицах 10^{-16} эрг с $^{-1}$ см $^{-2}$.

Мы пересмотрели метод из работы Izotov and Thuan (2007) в статье Pustilnik et al. (2021) с учетом значительной зависимости полученного T_e от параметра возбуждения O_{32} , определяемого как отношение интенсивностей линий $I([\text{O III}] \lambda 5007)/I([\text{O II}] \lambda 3727)$. Этот модифициро-

ванный полуэмпирический метод (далее — mse) применим в диапазоне $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) \sim 7.0 - 8.1$ dex. Его внутренняя дисперсия составляет $\sigma(\lg(\text{O}/\text{H}), \text{mse}) = 0.09$ dex.

Второй метод — это хорошо известный эмпирический метод из работы Pilyugin and Thuan (2005).

Он использует параметры R_{23} и P , который является аналогом вышеупомянутого параметра возбуждения O_{32} . Их параметр P определяется как $P = R_3/R_{23}$, где

$$R_3 = [I([\text{O III}] \lambda 4959) + I([\text{O III}] \lambda 5007)]/I(\text{H}\beta).$$

В терминах O_{32} мы можем записать $P = O_{32}/(0.75 + O_{32})$. Внутренняя дисперсия этого метода составляет около 0.1 dex. Мы используем их формулу (24) для так называемой нижней ветви, что обоснованно для диапазона $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 8.2$ dex. Метод хорошо калиброван для диапазона $P = 0.55-0.97$. Наш случай с P около 0.68 и 0.89 и с $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) = 7.6-7.8$ dex хорошо соответствует этим ограничениям.

3.3. Независимая оценка поглощения

Одним из побочных продуктов анализа спектров Н II-областей является независимое определение поглощения в исследованных областях. Полученные значения $C(\text{H}\beta)$ составляют 1.295 ± 0.032 и 1.190 ± 0.042 для областей #2 и #4 соответственно. Поскольку обе оценки близки в пределах своих неопределенностей, мы принимаем для дальнейших оценок их среднее значение $C(\text{H}\beta)_{\text{mean}} = 1.25 \pm 0.05$. Затем, используя известное соотношение между $C(\text{H}\beta)$ и избытком цвета — $E(B - V) = 0.68 C(\text{H}\beta)$, мы получаем $E(B - V) = 0.85 \pm 0.034$, что приводит к величине поглощения $A_B = 3^{\text{m}}48 \pm 0^{\text{m}}14$ и $A_V = 2^{\text{m}}64 \pm 0^{\text{m}}11$ для $R_B = 4.1$ и $R_V = 3.1$. Последнее значение A_B несколько меньше, чем $A_{B, \text{MW}} = 3^{\text{m}}69 \pm 0^{\text{m}}37$, связанное с поглощением в Млечном Пути в этом направлении, согласно работе Schlafly and Finkbeiner (2011). Однако оба значения согласуются в пределах приведенных неопределенностей.

Стоит отметить значение поглощения в Н II-области #2 из работы Weinberger and Sauger (1998). Используя отношение интенсивностей линий $\text{H}\alpha$ и $\text{H}\beta$, они получают значение $A_V = 2.5$. Судя по величине S/N в линии $\text{H}\beta$, вероятная ошибка их значения A_V составляет не менее 5%, или $0^{\text{m}}12$. Их A_V несколько меньше нашего значения, но согласуется с нашим $A_V = 2^{\text{m}}64$ в пределах суммарной ошибки $0^{\text{m}}15$.

Таким образом, наша оценка поглощения в направлении Cas 1, основанная на бальмеровском декременте в двух Н II-областях, находится примерно посередине между двумя независимыми оценками, одна из которых основана на потоке излучения пыли по методике из статьи Schlafly and Finkbeiner (2011), а другая — на бальмеровском декременте в той же Н II-области #2 из работы Weinberger and Sauger (1998). Имея в виду то, что

наша оценка A_B имеет ошибку по крайней мере в 2.5 раза меньше, чем величина A_B , выводимая по методу из Schlafly and Finkbeiner (2011), в дальнейшем обсуждении мы будем использовать нашу величину $A_B = 3^{\text{m}}48 \pm 0^{\text{m}}14$ и соответствующую величину поглощения в других диапазонах.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Из результатов спектроскопии двух Н II-областей в галактике Cas 1, представленных в разделе 3.2, следует, что ее металличность газа $Z(\text{gas}) = Z_{\odot}/13 \div Z_{\odot}/7$ в несколько раз выше металличности звезд $Z(\text{stars}) = Z_{\odot}/50 \div Z_{\odot}/30$, объявленной в работе Tikhonov (2019) на основе подгонки модельных изохрон к наблюдаемой СМ-диаграмме в Cas 1. Таким образом, Cas 1 однозначно не является ХМР-галактикой в МО. Ниже мы обсудим приложение наших спектральных данных для уточнения оценки расстояния до Cas 1 и вопрос ее локального окружения.

4.1. Окружение

Вопросы расстояния до Cas 1 и ее окружения до сих пор остаются нерешенными. Эта галактика расположена довольно близко в проекции к двум массивным галактикам: IC 342 на угловом расстоянии около 5° и Maffei 1 (PGC 009892) — на $3^{\circ}5$. Отличия их гелиоцентрических скоростей также довольно малы: 48 км с^{-1} и 31 км с^{-1} соответственно. Группы IC 342 и Maffei 1/Maffei 2 в настоящее время считаются отдельными агрегатами с расстоянием до IC 342 около 3.3 Мпк (Anand et al., 2021) и расстоянием до Maffei 1/Maffei 2 примерно 5.73 Мпк. Последнее расстояние было впервые пересмотрено в работе Tikhonov and Galazutdinova (2018) и позже скорректировано в работе Anand et al. (2019). Имея эту информацию, можно в принципе рассматривать два варианта расстояния до Cas 1. Если Cas 1 расположена на расстоянии, близком к IC 342, ее проекционное расстояние до IC 342 соответствует примерно 0.29 Мпк. Если же она расположена ближе к Maffei 1, соответствующее проекционное расстояние составляет около 0.35 Мпк.

Таким образом, если мы используем только небесные координаты и радиальную скорость Cas 1, предполагая ее вероятное членство либо в группе IC 342, либо в Maffei 1/Maffei 2, мы ожидаем, что ее расстояние будет близко либо к 3.3, либо к 5.7 Мпк. С другой стороны, существуют два противоречащих друг другу прямых определения расстояний методом TRGB: $D = 1.6 \pm 0.1$ Мпк (Tikhonov, 2019) и 4.5 ± 0.20 Мпк (в базе данных EDD), которые значительно выходят за пределы

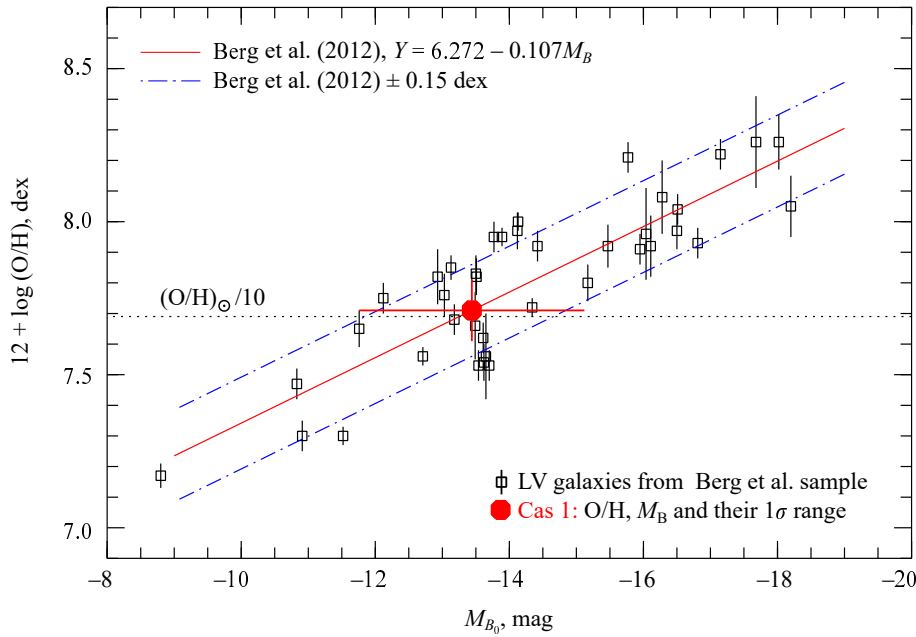


Рис. 4. Положение Cas 1 с принятым значением $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$ (красный заполненный круг с барами ошибок) относительно реперной выборки из работы Berg et al. (2012) на диаграмме $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$ в зависимости от M_B . Это положение указывает наиболее вероятную величину M_B и ее ожидаемый диапазон, обусловленный соответствующими ошибками.

окрестностей этих агрегатов. В разделах 4.2 и 4.3 мы используем нашу оценку O/H газа в Cas 1 и улучшенные оценки поглощения в MW для дополнительных аргументов в пользу одного из вариантов.

4.2. Металличность газа в зависимости от глобальных параметров. Ожидаемая величина M_B

Металличность газа галактик позднего типа в МО следует тенденции, описываемой соотношением « O/H в зависимости от M_B » в работе Berg et al. (2012). Иллюстрацию этой зависимости можно видеть на рис. 4. Соответствующая линейная регрессия записывается как $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) = 6.272 - 0.107 M_B$ со среднеквадратичным разбросом $\lg(\text{O}/\text{H})$ равным 0.15 dex. Она охватывает диапазон $M_B = [-9.0, -19.0]$. Большинство галактик этой реперной выборки МО принадлежат типичным группам и их окрестностям. Как показано в работах Pustilnik et al. (2016, 2021), карликовые галактики позднего типа в ближайших пустотах имеют в среднем пониженные значения $\lg(\text{O}/\text{H})$ на 0.14 dex (или около 30%, с среднеквадратичным разбросом 0.18 dex) по сравнению с этой реперной зависимостью. Данный вывод был интерпретирован как свидетельство более медленной эволюции галактик в пустотах. В согласии с этой трактовкой галактики в пустотах также имеют повышенное содержание HI, в среднем на 40% (Pustilnik and Martin, 2016).

Как упоминалось в разделе 1, Cas 1 не попадает в ближайшие пустоты, определенные в работе Pustilnik et al. (2019). Однако если бы она находилась на расстоянии 1.6 Мпк, она была бы галактикой близкого войда и можно было бы ожидать ее пониженную металличность. В любом случае мы ожидаем, что указанное соотношение из работы Berg et al. (2012) применимо к Cas 1. Таким образом, имея с хорошей точностью ее параметр O/H газа, мы можем получить оценку наиболее вероятного диапазона для ее абсолютной звездной величины M_B . Приняв среднюю металличность двух Н II-областей $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) = 7.71 \pm 0.10$ dex, мы получаем ожидаемое значение $M_B = -13.^m44 \pm 1.^m68$. В данном случае ошибка учитывает среднеквадратичный разброс указанной выше зависимости из работы Berg et al. (2012) (0.15 dex) и точность полученной средней O/H в Cas 1.

4.3. Приложение к оценке расстояния до Cas 1

В дальнейшем расчете мы используем наиболее вероятный диапазон абсолютной B -величины, отвечающий металличности газа Cas 1 из предыдущего раздела. Чтобы определить модуль расстояния, мы принимаем ее полную величину $B_{\text{tot}} = 15.^m30$, как в таблице 3. Тогда скорректированная за поглощение в Млечном Пути с принятым $A_B = 3.^m48 \pm 0.^m16$ полная величина равна $B_{\text{tot}, c} = 11.^m82 \pm 0.^m16$, модуль расстояния

Таблица 3. Свойства Cas 1

Property	Value	Refs
RA (J2000)	02 06 05.39	[2]
Dec (J2000)	+62 00 12	[2]
Rad. velocity (#2,#4), km s ⁻¹	32 ± 5	[1]
Rad. velocity (HI), km s ⁻¹	35 ± 1	[2]
$D_{\text{adopt}}(\text{TRGB}+\text{O}/\text{H})$, Мпк	3.73	[1]
$D(\text{Tikhonov}, 2019)$, Мпк	1.6 ± 0.1	[3]
$D(\text{EDD}, \text{original})$, Мпк	4.51 ± 0.22	[4]
$D(\text{EDD}, \text{corrected})$, Мпк	4.11 ± 0.36	[1]
B_{tot} , mag	15.30	[2]
A_B , mag	3.69 ± 0.37	[5]
$A_B(\text{Balmer})$, mag	3.48 ± 0.14	[1]
$A_B(\text{Balmer}, \text{corrected})$, mag	3.20 ± 0.14	[1]
12 + lg(O/H)(#2)	7.83 ± 0.10	[1]
12 + lg(O/H)(#4)	7.59 ± 0.10	[1]
12 + lg(O/H)(aver.#2,#4)	7.71 ± 0.10	[1]
$M_B(12+\lg(\text{O}/\text{H})=7.71)$, mag	-13.44 ± 1.68	[1]
$\mu_{0,B}$, mag arcsec ²	23.3	[2]
$S(\text{HI})$, Jy km s ⁻¹	50.0	[2]
$M(\text{HI})$ in 10 ⁷ M _⊙	16.1($D/3.7$) ²	[1]
$M(\text{HI})/L_B (M_{\odot}/L_{\odot})$	0.53	[1]

[1] — данные из этой статьи, [2] — Karachentsev et al. (2013), а также обновления на сайте <https://www.sao.ru/lv/lvgdb>, [3] — Tikhonov (2019), [4] — <http://edd.ifa.hawaii.edu>, [5] — поглощение в Млечном Пути в соответствии с работой Schlafly and Finkbeiner (2011).

$(m - M) = 11.82 + 13.44 = 25^{\text{m}}26 \pm 1^{\text{m}}68$. Эта величина $m - M$ согласуется с расстоянием, полученным из зависимости lg(O/H) от M_B в работе Berg et al. (2012), $D(\text{O}/\text{H}) = 1.27$ Мпк. Большая величина неопределенности в $m - M$, соответствующая интервалу в $\pm 1\sigma$, отвечает большому диапазону неопределенности $D(\text{O}/\text{H})$ с фактором 2.17 раза в обе стороны. То есть диапазон $\pm 1\sigma = 1^{\text{m}}68$ в $m - M$ равносителен диапазону $D(\text{O}/\text{H})$ от 0.58 до 2.75 Мпк. Таким образом, несмотря на то, что металличность газа Cas 1 допускает очень широкий диапазон вероятного расстояния до нее, величина O/H может дать дополнительные аргументы для выбора среди различных вариантов.

Во-первых, расстояние $D(\text{O}/\text{H})$, определенное по металличности газа, трудно согласовать с расстоянием около 5.7 Мпк до группы Maffei 1/Maffei 2. Во-вторых, мы принимаем, что

недавнее определение в EDD по вершине ветви красных гигантов в полосе I , $m_I(\text{TRGB}) = 25^{\text{m}}75$, из-за своей существенно большей глубины значительно более надежно, чем полученное в работе Tikhonov (2019). Мы также принимаем в качестве первого приближения исправленное поглощение в Млечном Пути, полученное в этой работе из бальмеровского декремента в двух HII-областях ($A_B = 3^{\text{m}}48 \pm 0^{\text{m}}14$), что приводит к меньшему поглощению $A_I = 1^{\text{m}}447$ в сравнении со значением $1^{\text{m}}532$, принятом в EDD. Эта разница в $0^{\text{m}}085$ соответствует уменьшению расстояния из EDD $D_{\text{TRGB}}(\text{EDD}) = 4.51$ Мпк. на 4.2%. Таким образом, улучшенная оценка поглощения в MW дает независимую оценку $D_{\text{TRGB}} = 4.32 \pm 0.39$ Мпк.

Однако принятая выше величина $A_B = 3^{\text{m}}48$ должна рассматриваться как строгий верхний предел, так как в этой оценке HII-области считаются свободными от пыли, то есть не учитывается внутреннее поглощение в исследованных HII-областях. Внутреннее поглощение во внегалактических HII-областях обычно небольшое, типичное $C(\text{H}\beta)$ не превышает 0.2 (например, Guseva et al., 2017). Мы принимаем для двух HII-областей в Cas 1 медианное внутреннее значение $C(\text{H}\beta) = 0.1$ (как в Guseva et al., 2017). Чтобы рассматривать полученное по бальмеровскому декременту поглощение только как эффект Млечного Пути, нам нужно дополнительно уменьшить вышеупомянутое значение $C(\text{H}\beta) = 1.25$ на 0.10 или на 8% от этого $C(\text{H}\beta)$. Такая коррекция дополнительно уменьшает полученную выше величину $A_I = 1^{\text{m}}447$ до $1^{\text{m}}340$, то есть уменьшает на $0^{\text{m}}107$. Это, в свою очередь, дополнительно уменьшает $D_{\text{TRGB}} = 4.32$ Мпк еще примерно на 5%. Таким образом, дважды исправленное исходное значение $D_{\text{TRGB}}(\text{EDD}) = 4.51$ Мпк преобразуется в 4.11 ± 0.36 Мпк. Данная поправка также применяется к A_B , в результате чего его значение составляет $3^{\text{m}}20$. Это снижает скорректированное значение $B_{\text{tot},c}$ для Cas 1 до 13.10 ± 0.16 и, следовательно, увеличивает параметр $m - M$ до $25^{\text{m}}54$. Таким образом, соответствующее расстояние $D(\text{O}/\text{H})$ сдвигается к 1.64 Мпк.

В итоге мы приходим к двум независимым оценкам расстояния до Cas 1: $D_{\text{TRGB}} = 4.11 \pm 0.36$ Мпк и $D(\text{O}/\text{H}) = 1.64$ Мпк. Для последней величины ошибка на уровне 1σ соответствует неопределенности с фактором 2.17 раза. В рамках вероятностного подхода обе оценки могут быть согласованы друг с другом, если истинное расстояние $D(\text{Cas 1})$ находится где-то посередине, с учетом сильно отличающихся ошибок обоих методов, а именно: $D(\text{O}/\text{H}) \times 1.05\sigma = 3.74$ Мпк, и $D_{\text{TRGB}} - 1.05\sigma = 3.73$ Мпк. Таким образом, в первом приближении, с небольшой натяжкой,

расстояние $D(\text{Cas 1}) = 3.73$ Мпк лучше всего согласуется с обеими независимыми оценками. При этом расстоянии Cas 1 оказывается принадлежащей к окружению IC 342.

В таблице 3 сведены основные параметры Cas 1, а также другие параметры, которые обсуждались в статье.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя полученные результаты, мы приходим к следующим выводам.

1. С помощью наблюдений на БТА мы получили спектры двух НII-областей (#2 и #4 по работе Tikhonov, 2019) в карликовой иррегулярной галактике Местного объема Cas 1. Измеренное содержание кислорода в них составляет в единицах $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) = 7.83$ и 7.59 ± 0.10 dex соответственно. Их среднее значение $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) = 7.71$ dex отвечает металличности газа $Z(\text{gas}) \sim Z_{\odot}/10$, что в 3–5 раз выше, чем оценка металличности звезд из работы Tikhonov (2019). Основной вывод этого исследования: Cas 1 не является экстремально низкометаллической карликовой галактикой.
2. Мы используем наблюдаемый бальмеровский декремент в полученных спектрах для уточнения величины большого поглощения в Млечном Пути в направлении Cas 1. Величина полного поглощения, полученная с помощью бальмеровского декремента, качественно согласуется с оценкой большого поглощения, определенного по ИК-излучению пыли по формулам из работ Schlegel et al. (1998), Schlafly and Finkbeiner (2011). Однако оно несколько меньше и имеет лучшую точность. Мы дополнительно принимаем во внимание небольшое внутреннее поглощение, характерное для НII-областей, $C(\text{H}\beta) \sim 0.10$, что соответствует параметру $A_B(\text{HII}) \sim 0^{\text{m}}28$. Этот учет приводит к чистому поглощению в Млечном Пути $A_B(\text{Balmer}) = 3^{\text{m}}06 \pm 0^{\text{m}}14$, что примерно на 20% меньше (по сравнению с $A_B(\text{dust}) = 3^{\text{m}}69 \pm 0^{\text{m}}4$), чем принято для определения расстояния в EDD. Эта улучшенная оценка поглощения в MW применяется для корректировки расстояния до Cas 1, полученного методом TRGB. Такое уточнение поглощения в MW приводит к уменьшению D_{TRGB} до Cas 1 с 4.51 до 4.11 ± 0.36 Мпк.
3. Металличность газа в галактиках позднего типа в МО, согласно работе Berg et al. (2012), довольно тесно связана с их светимостью и массой. Мы используем полученное значение O/H в Cas 1 для ограничения диапазона ее голубой абсолютной величины, применяя соотношение

между $12 + \lg(\text{O}/\text{H})$ и M_B для реперной выборки из работы Berg et al. (2012). Это дает нам $M_B(\text{Cas 1}) = -13^{\text{m}}44 \pm 1^{\text{m}}68$. Зная полную видимую величину B_{tot} , можно получить независимую оценку модуля расстояния ($m - M$) и расстояние до Cas 1, $D(\text{O}/\text{H}) = 1.64$ Мпк, с неопределенностью в 2.17 раза, соответствующей уровню 1σ .

4. Обе оценки расстояния, $D(\text{O}/\text{H}) = 1.64$ Мпк и $D_{\text{TRGB}} = 4.11 \pm 0.36$ Мпк, могут быть согласованы друг с другом с небольшой натяжкой (с уменьшением и увеличением примерно на 1σ соответственно) при среднем значении $D(\text{Cas 1}) = 3.73$ Мпк. Полученная таким образом оценка расстояния явно свидетельствует в пользу гипотезы о том, что Cas 1 находится в окрестностях IC 342, а не в общем поле. Это важно знать при изучении свойств галактик МО в зависимости от типа их окружения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Н. А. Тихонову за предоставление своих результатов оценки металличности звезд в Cas 1 до публикации. Наблюдения на телескопах САО РАН поддерживаются Министерством науки и высшего образования Российской Федерации. Модернизация оборудования телескопа в настоящее время осуществляется в рамках национального проекта «Наука и университеты». Это исследование частично основано на наблюдениях, проведенных космическим телескопом им. Хаббла, принадлежащим NASA/ESA, и полученных из Института исследований космоса с помощью космического телескопа (STScI), который управляется Ассоциацией университетов по исследованию в области астрономии (AURA) по контракту с NASA (NAS 5-26555). Эти наблюдения связаны с программой SNAP-15922. Мы признательны за возможность использования в этой работе базы данных HyperLEDA (<http://leda.univ-lyon1.fr>) В этой работе также использована база данных NASA/IPAC по внегалактическим объектам (NED, <https://ui.adsabs.harvard.edu/>), которая управляется Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа профинансирована Российским научным фондом в рамках исследовательского проекта № 22-22-00654.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31** (3), 194 (2005). DOI:10.1134/1.1883351
2. G. S. Anand, L. Rizzi, R. B. Tully, et al., *Astron. J.* **162** (2), id. 80 (2021). DOI:10.3847/1538-3881/ac0440
3. G. S. Anand, R. B. Tully, L. Rizzi, and I. D. Karachentsev, *Astrophys. J.* **872** (1), article id. L4 (2019). DOI:10.3847/2041-8213/aafef6
4. M. Asplund, N. Grevesse, A. J. Sauval, and P. Scott, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **47** (1), 481 (2009). DOI:10.1146/annurev.astro.46.060407.145222
5. D. A. Berg, E. D. Skillman, A. R. Marble, et al., *Astrophys. J.* **754** (2), article id. 98 (2012). DOI:10.1088/0004-637X/754/2/98
6. R. Endsley, D. P. Stark, L. Whitler, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **524** (2), 2312 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1919
7. A. V. Filippenko, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **94**, 715 (1982). DOI:10.1086/131052
8. N. G. Guseva, Y. I. Izotov, K. J. Fricke, and C. Henkel, *Astron. and Astrophys.* **599**, id. A65 (2017). DOI:10.1051/0004-6361/201629181
9. Y. I. Izotov, G. Stasińska, G. Meynet, et al., *Astron. and Astrophys.* **448** (3), 955 (2006). DOI:10.1051/0004-6361:20053763
10. Y. I. Izotov and T. X. Thuan, *Astrophys. J.* **665** (2), 1115 (2007). DOI:10.1086/519922
11. Y. I. Izotov, T. X. Thuan, and V. A. Lipovetsky, *Astrophys. J.* **435**, 647 (1994). DOI:10.1086/174843
12. S. S. Kaisin and I. D. Karachentsev, *Astrophysical Bulletin* **74** (1), 1 (2019). DOI:10.1134/S1990341319010012
13. I. Karachentsev, I. Drozdovsky, S. Kaisin, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **124**, 559 (1997). DOI:10.1051/aas:1997206
14. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, and E. I. Kaisina, *Astron. J.* **145** (4), article id. 101 (2013). DOI:10.1088/0004-6256/145/4/101
15. L. S. Pilyugin and T. X. Thuan, *Astrophys. J.* **631** (1), 231 (2005). DOI:10.1086/432408
16. S. A. Pustilnik, E. S. Egorova, A. Y. Kniazev, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **507** (1), 944 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab2084
17. S. A. Pustilnik, A. Y. Kniazev, Y. A. Perepelitsyna, and E. S. Egorova, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (1), 830 (2020). DOI:10.1093/mnras/staa215
18. S. A. Pustilnik, A. Y. Kniazev, A. L. Tepliakova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **527** (4), 11066 (2024). DOI:10.1093/mnras/stad3926
19. S. A. Pustilnik and J. M. Martin, *Astron. and Astrophys.* **596**, id. A86 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201628162
20. S. A. Pustilnik, Y. A. Perepelitsyna, and A. Y. Kniazev, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **463** (1), 670 (2016). DOI:10.1093/mnras/stw2039
21. S. A. Pustilnik, A. L. Tepliakova, and D. I. Makarov, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **482** (4), 4329 (2019). DOI:10.1093/mnras/sty2947
22. E. F. Schlafly and D. P. Finkbeiner, *Astrophys. J.* **737** (2), article id. 103 (2011). DOI:10.1088/0004-637X/737/2/103
23. D. J. Schlegel, D. P. Finkbeiner, and M. Davis, *Astrophys. J.* **500** (2), 525 (1998). DOI:10.1086/305772
24. L. Searle and W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.* **173**, 25 (1972). DOI:10.1086/151398
25. E. D. Skillman, J. J. Salzer, D. A. Berg, et al., *Astron. J.* **146** (1), article id. 3 (2013). DOI:10.1088/0004-6256/146/1/3
26. G. Stasińska, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **83**, 501 (1990).
27. N. Tikhonov, *Astronomische Nachrichten* **317** (3), 175 (1996). DOI:10.1002/asna.2113170304
28. N. A. Tikhonov, *Astrophysical Bulletin* **74** (4), 396 (2019). DOI:10.1134/S1990341319040060
29. N. A. Tikhonov and O. A. Galazutdinova, *Astrophysical Bulletin* **73** (3), 279 (2018). DOI:10.1134/S1990341318030021
30. J. S. Vink, A. Mehner, P. A. Crowther, et al., *Astron. and Astrophys.* **675**, id. A154 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202245650
31. R. Weinberger, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **107**, 58 (1995). DOI:10.1086/133515
32. R. Weinberger and W. Saurer, *Astron. and Astrophys.* **332**, 523 (1998).

Local Volume Dwarf Cas 1: Gas Metallicity, Extinction, and DistanceS. A. Pustilnik¹, A. L. Tepliakova¹, and A. S. Vinokurov¹¹Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

Cas 1 is a Local Volume (LV) dIr. In 2019 Tikhonov, using the HST images and the Tip of Red Giant Branch (TRGB) method, derived its distance $D = 1.61 \pm 0.1$ Mpc and claimed the stellar metallicity of Cas 1, of $z = 0.0004$ (or $Z_{\text{stars}} = Z_{\odot}/50$). Such an eXtremely Metal-Poor (XMP) dwarf would be a nearby analogue of I Zw 18 and a valuable object for the follow-up detailed studies. Meanwhile, the distance to Cas 1 remains debatable. Its TRGB distance of 4.5 ± 0.2 Mpc, based on the deeper HST images, was presented in the Extragalactic Distance Database (EDD). It places Cas 1 in the field, between groups of IC 342 ($D = 3.3$ Mpc) and Maffei 1/Maffei 2 ($D = 5.7$ Mpc). To check the suggested XMP nature of Cas 1, we conduct the SAO 6-m telescope (BTA) spectroscopy to estimate O/H in its two H II regions. We also use these spectra to derive, via the observed Balmer decrements, the upper limit of the MW extinction in Cas 1. Their derived values of $12 + \log(\text{O}/\text{H})$ are 7.83 ± 0.1 and 7.58 ± 0.1 dex. The measured Balmer decrements result in the upper limit MW extinction in this direction of $A_B = 3^{\text{m}}06 \pm 0^{\text{m}}14$. This is smaller by $0^{\text{m}}63$ than A_B , used in the previous estimates of the distance to Cas 1. This reduces the original EDD distance till 4.1 ± 0.36 Mpc. We use the LV galaxies relationship between their $12 + \log(\text{O}/\text{H})$ and blue absolute magnitude M_B , published by Berg et al. in 2012, to restrict M_B for Cas 1. The related distance estimate to Cas 1, is 1.64 Mpc with 1σ error of factor 2.17. From obtained here $Z(\text{gas})$ around $Z_{\odot}/10$, we conclude that Cas 1 is not an XMP dwarf. Its newly derived distances are consistent each to other within 1σ errors, with the likely distance about 3.73 Mpc. This distance favors Cas 1 to reside in the environs of IC 342, but not in the field.

Keywords: *galaxies: dwarf—galaxies: evolution—galaxies: abundances—galaxies: individual: Cas 1 (PGC 100169 = KK 019 = ZOAG 129.56+07.09)*