

УДК: 524.74

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ГАЛАКТИК  
ГРУППЫ NGC 1023. ПОСТОЯННАЯ ХАББЛА

Н.А.ТИХОНОВ, О.А.ГАЛАЗУТДИНОВА

Поступила 19 марта 2002

Принята к печати 20 апреля 2002

По снимкам 6-м телескопа БТА и космического телескопа HST проведена *VRI*-фотометрия звезд в 11 галактиках группы NGC 1023. На основе метода ярчайших звезд определены расстояния до этих галактик. Для галактик NGC 925 и NGC 1023 расстояния определены по положению обрыва ветви красных гигантов (TRGB-метод). На основании вычисленного среднего и средневзвешенного расстояния до группы NGC 1023 ( $10.3 \pm 2.2$  Мпк и  $9.7 \pm 0.5$  Мпк) определено значение постоянной Хаббла в этом направлении:  $H_{\text{от}} = 75 \pm 8$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup> и  $H_{\text{ав}} = 81 \pm 5$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup>.

1. *Введение.* Исследования галактик в направлении на скопление в созвездии Дева, проведенные нами ранее [1], являлись частью более обширной работы по измерению постоянной Хаббла в двух противоположных направлениях в пространстве, с тем, чтобы выявить возможное некосмологическое движение Местной группы. Как и ранее, для скопления в Деве, суть метода состояла в том, чтобы получить модули расстояний для многих гравитационно связанных между собой галактик и вычислить их среднее расстояние. При этом сравнительно небольшая точность метода ярчайших звезд компенсируется числом выбранных галактик. Конечный результат таких вычислений можно использовать даже с большей надежностью, чем выводы, полученные на основе измерений единственной галактики, хотя бы и сделанные с высокой точностью. Это следует из того, что обычно не известно, на ближнем или дальнем краю группы находится эта исследуемая галактика и входит ли она в группу вообще. Если же для определения постоянной Хаббла использовать одиночные галактики, то следует помнить о существовании галактик со скоростями, значительно отличающимися от хаббловских, как это наблюдается у NGC 6503.

В направлении, противоположном скоплению в Деве, находится несколько групп галактик на разных расстояниях и разнообразных по своему составу. Однако, после селекции списка групп на изолированность в пространстве, их населенность и удаленность от Местной группы, в списке осталась всего лишь одна группа - NGC 1023. Эта группа хорошо изолирована в пространстве, имеет более десятка членов и находится на таком расстоянии, что можно изучать звездное население отдельных галактик. Первыми, кто определенно указал на существование физической

группы NGC 1023, состоящей из 5 галактик, были Хьюмассон, Мэйел и Сэндидж [2]. Талли [3] включил в группу 14 галактик, после того, как вместе с Фишером [4] определил расстояние до пяти спиральных галактик по ширине профилей линии нейтрального водорода.

Современные данные по лучевым скоростям галактик из базы данных NED [5] позволяют говорить о вероятном существовании 17 членов группы NGC 1023, но реальная численность группы должна быть значительно больше из-за неучтенных галактик низкой светимости. У нас нет достаточной информации о самых слабых галактиках группы, поэтому в дальнейшем мы ограничимся изучением только двенадцати более ярких галактик.

Группа NGC 1023 давно привлекала внимание своей малой дисперсией скоростей галактик и изолированностью в пространстве [3]. Однако удаленность группы (примерно 8-10 Мпк) препятствовала изучению звездного населения галактик и исследования ограничивались большей частью только спектральными или интегральными характеристиками отдельных ярких галактик. Для ярких спиральных галактик группы NGC 891 и NGC 925 проведены многочисленные радионаблюдения для определения массы нейтрального водорода и изучения распределения водорода в пространстве [6,7]. Центральная S0-галактика группы NGC 1023, также имеет окружение из нейтрального водорода [8], часть которого, вероятно, принадлежит иррегулярной карликовой галактике NGC 1023A, проецирующейся на главную галактику NGC 1023 [9].

Точное расстояние известно только для одной галактики группы, NGC 925, где по снимкам космического телескопа были найдены цефеиды [10]. Еще для трех галактик, NGC 949, NGC 959 и NGC 1003, были получены расстояния методом Талли-Фишера [4,11]. Однако этот метод хорошо подходит для статистических исследований большого числа галактик, но дает малую точность при измерении отдельных галактик. Это видно, например, и при сравнении расстояний до галактики NGC 925 (см. табл.3.), полученных разными методами. К настоящему времени в литературе можно найти сведения об индивидуальных расстояниях до 6 ярких галактик группы. Мы определили расстояния до 11 галактик группы NGC 1023: для девяти галактик - методом ярчайших сверхгигантов и для двух (NGC 925 и NGC 1023) - TRGB-методом, то есть по положению вершины ветви красных гигантов [12].

*2. Наблюдения и первичная редукция изображений.* Общий вид взаимного пространственного расположения галактик группы NGC 1023 представлен на рис.1. Размеры значков, которыми обозначены галактики, отражают светимость галактик. Наиболее массивная галактика, NGC 1023, не занимает центрального положения, но к ней концентрируются менее массивные галактики: NGC 1003, NGC 1058, DDO 22, DDO 24 и UGC 2259.

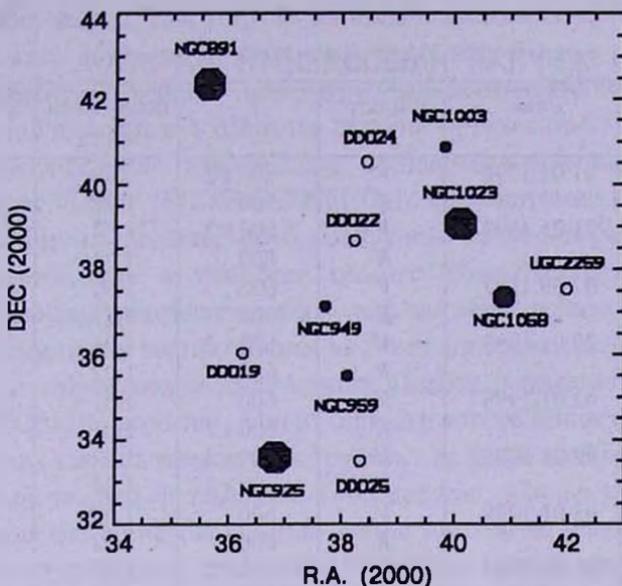


Рис.1. Взаимное пространственное расположение галактик группы NGC 1023. Представлено в осях RA (прямого восхождения) и DEC (склонения). Размеры галактик взяты условно: чем больше светимость галактики, тем больше размер многоугольника.

**2.1. Наблюдения на 6-м телескопе БТА САО РАН.** Основные наблюдения проводились в 1997-99 гг. с помощью ПЗС-фотометра, установленного в первичном фокусе телескопа. Применяемая матрица обеспечивала поле  $2.5 \times 2.5$  при масштабе  $0.137''/\text{пикс}$ . Чтобы одинаковым образом выявлять как голубые, так и красные сверхгиганты, мы получали снимки галактик в фильтрах  $V$  ( $T_{\text{exp}} = 1200 \text{ с}$ ) и  $R$  ( $T_{\text{exp}} = 600 \text{ с}$ ). Для галактики NGC 1058 дополнительно были получены снимки в фильтре  $I$ . В табл.1А представлен журнал наблюдений на БТА.

**2.2. Наблюдения на космическом телескопе (HST).** Для галактик NGC 925, NGC 949, NGC 959, NGC 1003, NGC 1023 и NGC 1058 мы использовали изображения, полученные на планетной камере WFPC2 космического телескопа. Изображения были взяты из архива свободного доступа. Информация об использованных архивных изображениях приведена в табл.1Б.

Первичная редукция наблюдательных данных, полученных на БТА, проводилась с помощью пакета программ MIDAS. Она включала в себя вычитание темного фона, деление на плоское поле, устранение следов космических частиц и сглаживание дефектных столбцов матрицы. Более подробное описание этого процесса, а также информацию о переводе инструментальных величин в систему Крона-Казинса ( $BVR_I$ ) и технике выбора ярчайших звезд, которые затем использовались для определения расстояний, можно найти в нашей первой статье [1], поскольку эти рутинные процедуры остались без изменения.

## ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ НА БТА

Название галактики	Дата	Фильтр	$T_{exp}$	Воздушная масса	FWHM (")
DDO 19	21.01.1999	V	600 x 2	1.09	1.5
		R	600	1.06	
DDO 22	21.01.1999	V	600 x 2	1.04	1.8
		R	600	1.04	
DDO 24	07.09.1997	V	600	1.00	1.9
		R	300	1.39	
DDO 25	20.01.1999	V	600 x 2	1.04	1.8
		R	600	1.02	
NGC 949	03.01.1998	V	600	1.01	2.0
		R	600 x 2	1.01	
NGC 959	03.01.1998	V	600 x 2	1.02	2.0
		R	600 x 2	1.04	
NGC 1003	03.01.1998	V	600	1.03	2.0
		R	600	1.02	
NGC 1058	22.01.1999	V	600 x 2	1.07	1.4
		R	600	1.06	
UGC 2259	06.09.1997	I	600	1.12	1.8
		V	600	1.01	
		R	600	1.01	

Таблица 1Б

## ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПЕ ХАББЛ

Название галактики	Дата	Фильтр	$T_{exp}$	Номер заявки на HST
NGC 925	август-октябрь 1994	F814	3 x 1100	PI 5397
	август-октябрь 1994	F555	11 x 1300	PI 5397
NGC 949	23.08.1994	F606	160	PI 5445
NGC 959	26.06.1994	F606	160	PI 5445
	03.07.2001	F450	460	PI 9042
	03.07.2001	F814	460	PI 9042
NGC 1003	05.11.1994	F606	160	PI 5445
NGC 1023	13.01.2000	F814	2400	PI 6554
	13.01.2000	F555	2400	PI 6554
NGC 1058	08.09.1994	F606	160	PI 5445
	03.07.2001	F450	460	PI 9042
	03.07.2001	F814	460	PI 9042

Для HST-изображений первичная редукция проводится при архивизации данных, и мы получили изображения с уже выполненной первичной редукцией. Кроме этого, при фотометрии звездных объектов на снимках HST следует учитывать неэффективность переноса заряда и влияние дисторсии. Мы использовали рекомендации работ [13] и [14] для внесения коррекции за названные эффекты. Из нестандартных процедур мы использовали только разработанный нами способ фильтрации следов

космических частиц. Для устранения следов космических частиц, даже если имеются всего лишь два снимка, сделанных хотя бы и в разных фильтрах, мы проводили следующую процедуру: для центрированных между собой изображений выполнялась операция деления одного снимка на другой. Далее, к результату деления применялась стандартная процедура фильтрации космических частиц (FILTER/COSMIC) с параметрами, принятыми нами на основании нескольких проб. Выполняя далее операцию умножения изображений, где в качестве одного сомножителя используется отфильтрованный результат деления, мы получаем первое изображение без следов космических частиц. Меняя местами изображения, мы точно так же получаем и второе чистое изображение. Подбор параметров для программы FILTER/COSMIC особенно важен, если два изображения сделаны в разных фильтрах, так как есть возможность "срезать" звездные изображения и получить странные результаты фотометрии. Описываемая техника устранения следов космических частиц использовалась нами с успехом на десятках изображений космического телескопа, сделанных по разным программам. В то же время прямое использование программы FILTER/COSMIC либо оставляет следы от космических частиц, либо "срезает" звездные изображения, делая фотометрию звезд совершенно неприемлемой. Если же имеется несколько изображений объекта, сделанных в одном фильтре, то устранение следов частиц легко выполняется стандартной медианной фильтрацией.

3. *Фотометрия звезд.* Изображения исследуемых галактик в V-фильтре представлены в конце статьи на рис.2а (БТА) и рис.2б (HST). Кружками и квадратиками отмечены голубые и красные сверхгиганты, используемые нами для определения расстояний до этих галактик. Общие характеристики исследуемых галактик можно найти в табл.2, где приведены взятые из архива NED [5]: 1 - название галактики; 2 - другие названия; 3 - скорость относительно центроида Местной группы галактик; 4 - угловые размеры; 5 - тип галактики; 6 - звездная величина галактики, исправленная за поглощение света, 7 и 9 - средние цвета трех ярчайших голубых и красных сверхгигантов; 8 и 10 - средние звездные величины трех ярчайших голубых и красных сверхгигантов; 11 - измеренные нами расстояния до исследуемых галактик.

Использование снимков космического телескопа, имеющих пространственное разрешение  $0''.1$ , существенно помогло нам разобраться с морфологией изучаемых галактик, а при фотометрии звезд получить более реальную выборку ярчайших голубых и красных сверхгигантов. Дело в том, что в галактиках имеется большое количество областей звездообразования, многие из которых невозможно разрешить на звезды наземными телескопами. Но именно в таких областях находятся яркие молодые сверхгиганты, которые мы используем для определения

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДУЕМЫХ ГАЛАКТИК И  
РАССТОЯНИЯ ДО НИХ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МЕТОДОМ  
ЯРЧАЙШИХ СВЕРХГИГАНТОВ**

Название галактики	Другие названия	$V_{GSR}$	$V_{LG}$	$a' \times b'$	Тип	$B_T^0$	$V-R$ blue	$V$ blue	$V-R$ red	$V$ red	$D$ Мпк
DDO 19	UGC1865 PGC9168	698	773	2.9x2.2	Sm	13.75	0.13	23.47	-	-	30.5
DDO 22	UGC2014 PGC9702	685	760	2.0x0.6	Im	15.06	-0.03	23.72	-	-	17.2
DDO 24	UGC2034	702	776	2.5x2.0	Im	13.61	0.12	22.35	-	-	14.5
DDO 25	UGC2023	713	801	1.7x1.7	Im	13.66	0.13	21.60	-	-	7.7
NGC 891	UGC1831	661	738	13.5x2.5	SA(s)b SpHII	9.37	-	-	-	-	-
NGC 925	UGC1913	665	738	10.5x5.9	SAB(s)d HII	10.69	-	-	-	-	-
NGC 949	UGC1983	728	801	2.4x1.3	SA(rs)b	11.78	0.00'	21.93	-	-	14.5
NGC 959	UGC2002	715	784	2.3x1.4	Sdm	12.36	0.09	21.66	0.96	22.15	9.3
NGC 1003	UGC2137	747	824	5.5x1.9	SA(s)cd	11.04	0.00'	20.73	-	-	7.2
NGC 1023	UGC2154 PGC10123	749	828	8.7x3.0	SB(rs)0-	10.08	-	-	-	-	-
NGC 1058	UGC2193	626	702	3.0x2.8	SA(rs)c Sy2	11.76	0.08	21.86	1.09	21.96	9.7
UGC 2259		695	699	2.6x1.9	SB(s)dm Liner Sy	13.37	-0.12	22.52	-	-	12.2

\* Цвет звезд принят равным нулю из предположений, что они входят в состав молодых звездных ассоциаций.

расстояний. На снимках HST такие области звездообразования буквально рассыпаются на звезды, и нет особых проблем с фотометрией этих звезд.

Как для снимков БТА, так и для HST-снимков мы использовали для фотометрии звезд пакет программ DAOPHOT II в системе MIDAS [15]. Фотометрия звезд на снимках БТА полностью соответствует той методике, которую мы использовали в нашей первой статье [1], поэтому мы не делаем подробного описания этой процедуры. Однако снимки HST, которые мы использовали, получались первоначально для иных задач, нежели фотометрия звезд, а в некоторых случаях эти снимки делались всего лишь в одном фильтре. Поэтому нам пришлось выполнять фотометрические привязки таких снимков к снимкам БТА на основе изолированных звезд, присутствующих на всех снимках. Для изображений, снятых в фильтре F606w ( $T_{exp} = 2 \times 80$  с), было получено уравнение перехода:  $V = V_{HST} + 22^m.97$ , где  $V_{HST}$  - инструментальная звездная величина снимка HST, приведенная к экспозиции в 1 с. Для ярких звезд в компактных областях звездообразования мы принимали их цвет:  $(V-R) = 0.0$ , что очень недалеко от истины, поскольку красные сверхгиганты там еще не успели образоваться и видны только голубые сверхгиганты.

Для галактик NGC 959, NGC 1023, NGC 1058, NGC 925 для перехода

Таблица 3

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА С РАССТОЯНИЯМИ ДО ИССЛЕДУЕМЫХ  
НАМИ ГАЛАКТИК

Название галактики	Модули расстояния $(m - M) \pm \sigma$ , определенные с помощью методов					
	Найденные нами	Функции светимости планетарных туманностей	Талли-Фишера	Сверхновые 2-го типа	Флуктуации поверхностной яркости	Цефеид
DDO 19	32.42±0.4	-	-	-	-	-
DDO 22	31.18±0.4	-	-	-	-	-
DDO 24	30.80±0.4	-	-	-	-	-
DDO 25	29.43±0.4	-	-	-	-	-
NGC891	-	29.97±0.16[27] 30.10±0.13[25]	29.72[3] 30.4±0.3[11]	-	29.67±0.18[25]	-
NGC925	29.75±0.2	-	28.99[3] 28.8±0.3[11]	-	-	29.84±0.16[10]
NGC949	30.80±0.3	-	30.75[3] 29.6±0.3[11]	-	-	-
NGC959	29.84±0.3	-	30.70[3]	-	-	-
NGC1003	29.30±0.3	-	29.90[3] 29.7±0.3[11]	-	-	-
NGC1023	30.01±0.2	29.97±0.14[27] 30.07±0.11[25]	30.24±0.16[29]	-	30.35±0.19[25]	-
NGC1058	29.94±0.3	-	-	30.2±0.3[28]	-	-
UGC2259	30.43±0.4	-	-	-	-	-

\* Модуль расстояния получен TRGB-методом.

к стандартным звездным величинам  $B$ ,  $V$  и  $I$  мы использовали уравнения перехода, приведенные в описании [16]. Наша конечная цель фотометрии заключалась в получении  $V$ -величин ярчайших звезд галактик, а также в определении показателей цвета этих звезд, для отбора красных и голубых сверхгигантов.

Чтобы исключить из рассмотрения все диффузные объекты или звезды с низкой точностью фотометрии, мы использовали возможности селекции фотометрируемых звезд по имеющимся в DAOPHOT II параметрам. Все объекты с  $|SHARP| > 0.3$ ,  $|CHI| > 1.5$  и  $|ST| > 0.2$  были исключены из окончательных списков звезд. Полученная таким образом нами диаграмма цвет-величина ( $CM$ ) для звезд галактики NGC 925 представлена на рис.3. Хорошо видны ветви голубых и красных сверхгигантов, а пространство при  $1.0 < (V - I) < 2.0$  и  $I > 25^m.7$  заполняют красные гиганты, что позволяет найти верхний край этой ветви и определить расстояние. Для других галактик  $CM$ -диаграммы получались в координатах  $(V - R) - V$ ,  $(B - I) - I$ ,  $(V - I) - I$ , что вносило некоторую неопределенность, но совершенно не препятствовало выявлению ярких сверхгигантов.

4. *Определение расстояний.* 4.1. *Метод ярчайших голубых и красных сверхгигантов.* С подробным описанием данного метода можно ознакомиться в статье Караченцева и Тихонова [17]. Для определения расстояния до исследуемой галактики мы использовали средние величины трех ярчайших голубых  $\langle M_B(3B) \rangle$  и красных  $\langle M_V(3R) \rangle$  сверхгигантов, принадлежащих этой галактике. В названной уже статье [17] дана зависимость между светимостью родительской галактики  $M_B^T$  и блеском ее ярчайших звезд:

$$\langle M_V(3R) \rangle = 0.19 \cdot M_B^T - 4.52, \quad (1)$$

$$\langle M_B(3B) \rangle = 0.35 \cdot M_B^T - 2.50, \quad (2)$$

$$\langle M_B(3B) \rangle = -0.51 \cdot \delta m(3B) - 4.14, \quad (3)$$

где  $\delta m(3B)$  - разность между светимостью галактики  $M_B^T$  и светимостью трех ярчайших голубых звезд  $\langle M_V(3B) \rangle$ .

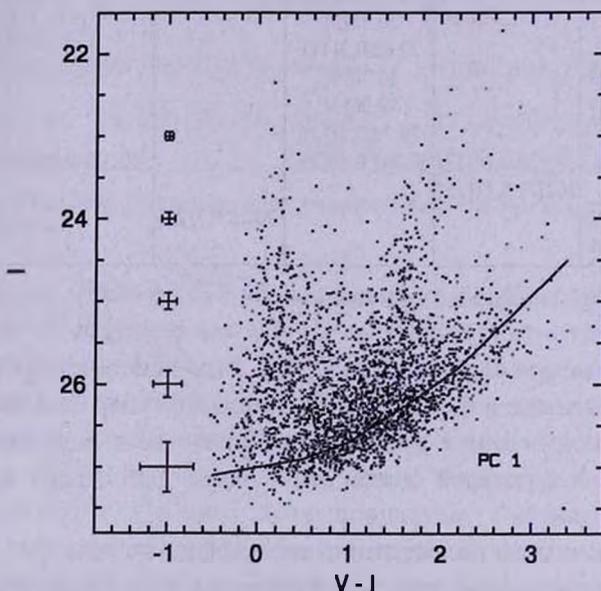


Рис.3. Диаграмма цвет-величина звезд галактики NGC 925. Приведены боксы ошибок. Сплошной линией показана функция полноты поиска звезд на уровне 50%.

В табл.2 представлены полученные нами звездные величины ярчайших сверхгигантов и вычисленные на этой основе расстояния до галактик группы NGC 1023. Обращают на себя внимание резко отличающиеся от средних расстояния до DDO 19 и DDO 22, которые мы считаем скорее формальными результатами, чем реальными значениями.

Несмотря на разнородность используемых наблюдательных данных, все конечные результаты имеют одинаковые источники ошибок, на которых мы кратко остановимся.

На точность определения расстояний в максимальной степени влияют три причины: точность фотометрии звезд, ошибки зависимости, используемой при вычислении предполагаемой светимости сверхгигантов, а также возможные промахи при выявлении звездных объектов. Точность фотометрии тех ярчайших звезд, которые мы используем для определения расстояний, не хуже, чем  $0^m.1$ . Значение второй ошибки не превышает  $0^m.4$  при использовании зависимости из [17]. Однако стоит отметить, что эта зависимость была получена для галактик, где заметны процессы звездообразования. Если такие процессы ослаблены, а это может произойти в карликовых галактиках, где звездообразование происходит отдельными вспышками, то формальное применение зависимости приведет к тому, что значение расстояния не будет соответствовать реальному. По всей видимости, именно такой эффект существует для галактик DDO 19 и DDO 22. Что касается третьей составляющей, то точной оценки здесь быть не может. Известно, что молодые звезды часто наблюдаются группами, которые на большом расстоянии могут казаться одиночной звездой. Если для определения расстояния мы будем использовать такие "звезды", то получим совершенно неверный результат. Отметим, что такой случай более вероятен в очень компактных областях звездообразования галактик NGC 1003, NGC 959 и NGC 949 (рис.2А). Качество снимков космического телескопа позволяет выявлять диффузный объект, если его профиль отличался на  $0''.02$  от стандартного профиля звезды, что соответствует примерно 1.0 пк в проекции на группу NGC 1023, т.е. все объекты, размеры которых меньше 1.0 пк, представляются нам как звездообразные. Это существенно меньше, чем размеры шаровых или рассеянных скоплений, которые мы должны видеть вполне отчетливо. Поскольку именно молодые рассеянные скопления могли бы быть приняты за одиночные голубые звезды, но пространственное разрешение HST позволяет избежать такой ошибки, то можно не принимать во внимание влияние на точность измерения ее третьей составляющей ошибки.

4.2.1. *Определение расстояний на основе TRGB-метода.* Для двух галактик, NGC 925 и NGC 1023, где глубокие снимки HST позволили достичь звезд ветви гигантов, мы использовали TRGB-метод [12], который дает точность определения расстояний не хуже, чем метод использования цефеид. В спиральной галактике NGC 925 яркие звезды, которых очень много в спиральных рукавах, делают невозможной фотометрию слабых звезд, какими оказываются красные гиганты, в таких областях. Ситуация может улучшиться только для участков вдали от спиральных рукавов, либо при использовании РС-чипа HST-снимка. Масштаб РС-чипа в два раза больше, чем у трех остальных чипов, и это позволяет выполнять фотометрию некоторых слабых звезд вблизи относительно ярких. Выделяя

именно такие участки галактики, о которых говорилось выше, можно выявить достаточное количество красных гигантов и построить их функцию светимости для определения верхней границы ветви красных гигантов.

В линзовидной галактике NGC 1023 почти все звезды являются красными гигантами, и нет необходимости выделять нужные нам звезды по цвету. В то же время процесс объединения таблиц фотометрии, проведенных в  $V$  и  $I$  фильтрах, резко уменьшает количество красных гигантов на конечной  $CM$ -диаграмме, поскольку  $V$ -снимки имеют худший предел, чем  $I$ -снимки. Учитывая эти два фактора, мы получили функцию светимости красных гигантов без селекции звезд по цвету. Полученные нами функции светимости красных гигантов для галактик NGC 925 и NGC 1023 представлены на рис.4. Для выявления резкого скачка функции светимости, который наступает на верхней границе ветви гигантов, применяют функцию Собеля, которая дает возможность не только объективно увидеть скачок функции светимости звезд, но и оценить точность определения этого скачка. На рис.4 пунктиром показана функция Собеля для представленных галактик. Видно, что есть скачок в изменении численности красных гигантов при  $I = 25^m.75$  для NGC 925 и  $I = 25^m.90$  для NGC 1023.

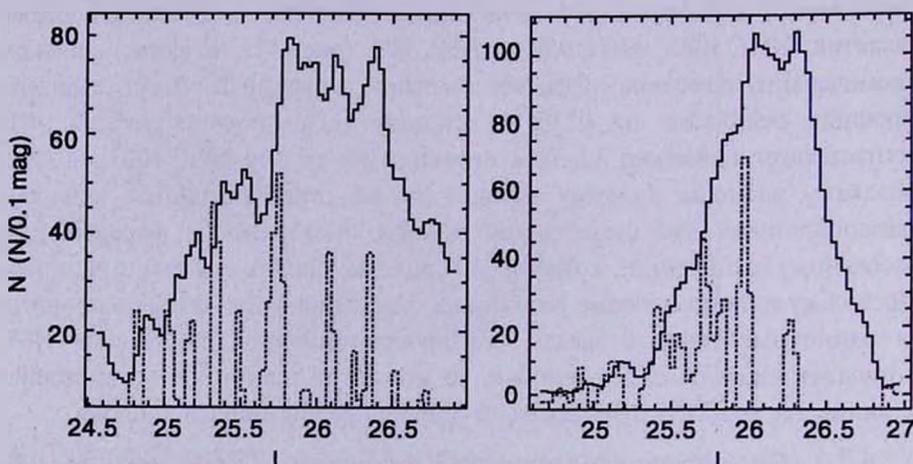


Рис.4. Функции светимости для NGC 925 и NGC 1023. Пунктиром обозначена функция Собеля, которая отмечает места наивысшего градиента. Видно, что существуют скачки функций при  $I = 25^m.75$  для NGC 925 и  $I = 25^m.90$  для NGC 1023, которые соответствуют положениям вершин ветвей красных гигантов.

В статье [18] показано, что светимость ярчайших красных гигантов, где происходит скачок их численности, равна  $M_I = -4.2$ , без какой-либо зависимости от металличности. Поскольку поглощение света в направлении на группу NGC 1023 сравнительно небольшое и равно  $A_I = 0.13 \pm 0.02$  [19], то легко определить расстояние до NGC 925 и NGC 1023 на основании полученных данных:  $(m - M)_{TRGB} = 29^m.82$  для NGC 925 и  $(m - M)_{TRGB} = 29^m.97$  для NGC 1023. Ошибка определения модуля расстояния TRGB-методом

равна примерно 0.15 звездной величины. В общую ошибку входит неопределенность нуля-пункта, ошибки фотометрии звезд, ошибка в нахождении вершины ветви гигантов, ошибка уравнений перехода от инструментальных звездных величин к Международной системе. В нашем случае основной вклад в общую ошибку дает неопределенность нуля-пункта, что требует дополнительного исследования красных гигантов в самых близких галактиках с разной металличностью.

4.2.2. *Металличность областей звездообразования галактики NGC 925.* Выполнив фотометрию снимков космического телескопа, мы получили CM-диаграмму, где находится около 32 тысяч звезд. Чтобы увеличить относительную численность красных и голубых сверхгигантов среди всех прочих звезд, мы выбрали только области интенсивного звездообразования NGC 925 и построили для звезд этих областей сводную CM-диаграмму (рис.5). В эту диаграмму наилучшим образом вписываются изохроны с  $z=0.02$  [20]. Аналогичную металличность получили Сон и Дэвидж [21] для сверхгигантов вне областей звездообразования. Высокая металличность сверхгигантов не должна казаться аномальной. Чем больше масса галактики, тем труднее газу, насыщенному тяжелыми элементами, покинуть пределы галактики и тем больше тяжелых элементов присутствует в новых областях звездообразования. Наблюдения подтверждают зависимость между металличностями и массами галактик [22]. Масса спиральной

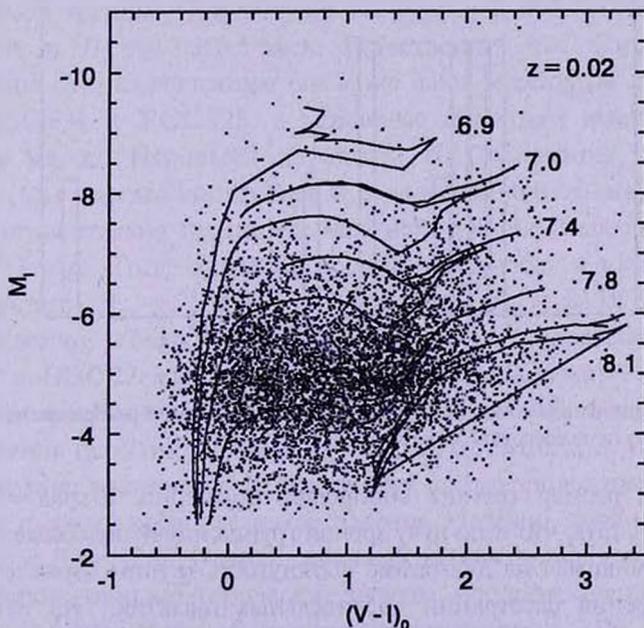


Рис.5.  $(V-I, M_I)$  диаграмма для областей звездообразований галактики NGC 925. Вписанные изохроны взяты из работы Бертелли и др. [19]. Наилучшим образом вписываются изохроны с металличностью  $z=0.02$ , что соответствует солнечному значению. Цифры возле изохрон указывают логарифм возраста звезд.

галактики NGC925 достаточно велика [7], и содержание тяжелых элементов должно быть высоким.

4.2.3. *Галактика NGC 1023A*. На глубоких снимках HST близкий спутник центральной галактики виден только на одну треть. Однако и этого достаточно, чтобы сказать вполне определенно о природе этого карлика. На общей CM-диаграмме галактики NGC 1023 были выделены голубые звезды, а затем они были отмечены на исследуемом поле. Оказалось, что большая часть голубых звезд расположена именно в теле карликовой галактики NGC 1023A. В теле самой NGC 1023 таких ярких голубых звезд нет. Это понятно, поскольку главная галактика группы NGC 1023 является S0-галактикой без областей звездообразования. А присутствие ярких голубых звезд в NGC 1023A прямо указывает на то, что это иррегулярная карликовая галактика типа DDO 187 [23] или DDO 190 [24]. На подобную классификацию указывает и интегральный цвет галактики [9].

5. *Анализ полученных результатов*. На рис.6 представлена гистограмма распределения расстояний для 12 галактик данной группы. Для 11 галактик расстояния определены нами, а для NGC 891, спиральной галактики, видимой с ребра, мы воспользовались результатами из статьи

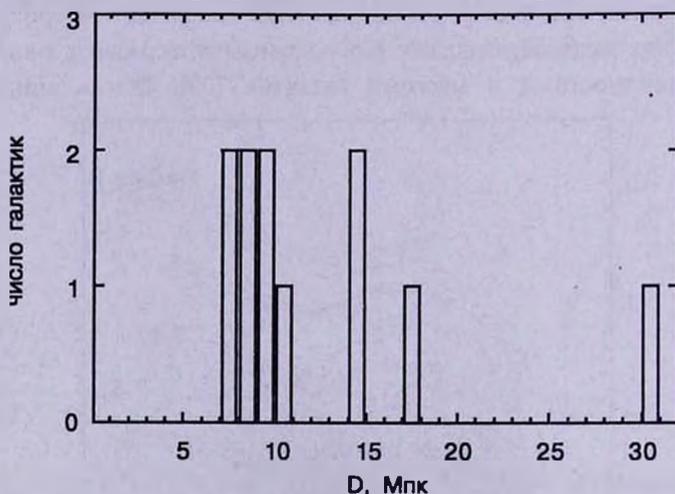


Рис.6. Распределение изученных нами галактик по расстояниям. В распределение добавлена галактика NGC 891, не исследованная нами.

[25]. Видимый размер группы составляет примерно  $10 \text{ град} = 1.8 \text{ Мпк}$ . Можно предполагать, что и по лучу зрения группа имеет подобные размеры. В этом случае видимая на диаграмме вытянутость группы отражает просто точность измерения расстояний до отдельных галактик. Эта неточность переходит и в вычисленный среднеквадратичный размер группы по лучу зрения, который равен  $3.0 \text{ Мпк}$ .

Метод определения расстояния по ярчайшим сверхгигантам предполагает

наличие в галактике значительного процесса звездообразования, но в галактиках DDO 19 и DDO 22 подобного процесса не наблюдается. На основании этого мы очень осторожно относимся к полученным нами значениям расстояний для этих галактик, и при определении постоянной Хаббла в этом направлении мы исключили из рассмотрения эти галактики. Для остальных галактик при определении расстояний мы использовали, в основном, лишь голубые сверхгиганты, так как мы не можем иногда сказать определенно, являются ли красные звезды реальными сверхгигантами, принадлежащими изучаемой галактике, или это звезды поля. Уверенно можно определить красные сверхгиганты лишь в галактиках NGC 1058 и NGC 959, для которых имеются глубокие HST-снимки в двух фильтрах. Конечно, красные сверхгиганты существуют и в других галактиках, но мы не можем отделить их от близких красных карликов, численность которых повышена из-за сравнительно небольшой галактической широты группы NGC 1023.

**6. Определение постоянной Хаббла.** Галактики группы NGC 1023 занимают хорошо изолированное положение как по распределению в пространстве, так и по распределению скоростей. На основе полученных нами расстояний до галактик группы, предполагая пропорциональность массы галактик их светимостям и используя видимые величины галактик из NED [5], мы вычислили среднее и средневзвешенное расстояния до исследуемой группы. Они получились равными соответственно  $D_R = 10.3 \pm 2.2$  Мпк и  $D_M = 9.7 \pm 0.5$  Мпк. Естественно, что основной вклад в полученное средневзвешенное значение дают массивные галактики NGC 1023, NGC 891 и NGC 925, а остальные галактики имеют значительно меньшие массы. Используя из архива NED значения скоростей всех галактик, мы определили среднее и средневзвешенное значения скорости группы относительно центроида Местной группы галактик  $V_R = 769$  км/с и  $V_M = 782$  км/с. Тогда значение постоянной Хаббла в этом направлении будет равно  $H_{or} = 75 \pm 8$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup> и  $H_{om} = 81 \pm 5$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup>, соответственно. Как уже указывалось, мы не использовали галактики DDO 19 и DDO 22 для всех приведенных вычислений.

Ранее нами было получено значение постоянной Хаббла в направлении на скопление галактик в Деве  $H_{овзр} = 77 \pm 7$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup> [1]. Предполагалось, что измерение постоянной Хаббла в двух противоположных направлениях поможет выявить предполагаемое падение Местной группы на скопление галактик в Деве [26]. Однако точность наших измерений не позволяет сделать какие-либо категорические выводы, но указывает только на малую скорость падения Местной группы на скопление в Деве.

**Благодарности.** Работа над данной статьей поддерживалась грантами РФФИ 97-02-17163 и 00-02-16584, за что авторы выражают Фонду

свою благодарность. Авторы благодарят И.О.Дроздовского за помощь при работе с HST-изображениями и И.Д.Караченцева за полезные замечания, сделанные в процессе создания статьи.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН,  
Россия, e-mail: dolly@luna.sao.ru

## DISTANCES OF GALAXIES OF THE NGC 1023 GROUP. THE DETERMINATION OF THE HUBBLE CONSTANT

N.A.TIKHONOV, O.A.GALAZOUTDINOVA

Using the 6-m telescope BTA and the Hubble Space Telescope (HST) images we have carried out *VR*I photometry for 11 galaxies of the group NGC 1023. The distances of these galaxies are defined from the luminosity of the brightest stars. The distances for NGC 925 and NGC 1023 have been found from the position of the tip of the red giant branch (TRGB). The Hubble constant,  $H_{GR} = 75 \pm 8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  and  $H_{CM} = 81 \pm 5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  is determined from the mean distance and the distance relative to the center of mass to the NGC 1023 group ( $10.3 \pm 2.2 \text{ Mpc}$  and  $9.7 \pm 0.5 \text{ Mpc}$ ) respectively.

Key words: *galaxies:photometry - galaxies:Hubble constant, galaxies: individual:NGC 1023 group*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А.Тихонов, О.А.Галазутдинова, И.О.Дроздовский, *Астрофизика*, **43**, 503, 2000.
2. M.L.Humason, N.U.Mayall, A.R.Sandage, *Astron. J.*, **61**, 97, 1956.
3. R.B.Tully, *Astrophys. J.*, **237**, 390, 1980.
4. R.B.Tully, J.R.Fisher, *Astron. Astrophys.*, **54**, 661, 1977.
5. NASA/IPAC Extragalactic Database, <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>.
6. D.J.Pisano, E.W.Wilcots, *Astron. J.*, **120**, 763, 2000.
7. D.J.Pisano, E.W.Wilcots, B.G.Elmegreen, *Astron. J.*, **115**, 975, 1998.
8. R.D.Davies, T.D.Kinman, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **207**, 173, 1984.
9. M.Capaccioli, H.Lorenz, V.L.Afanasjev, *Astron. Astrophys.*, **169**, 54, 1986.
10. N.A.Silbermann, P.Harding, B.F.Madore et al., *Astrophys. J.*, **470**, 1, 1996.

11. *M.J.Pierce*, *Astrophys. J.*, **430**, 53, 1994.
12. *M.G.Lee*, *W.L.Freedman*, *B.F.Madore*, *Astrophys. J.*, **417**, 553, 1993.
13. *P.B.Stetson*, *Publ. Astron. Soc. Pasif.*, **110**, 1448, 1998.
14. *J.A.Holzman*, *J.J.Hester*, *S.Casertano et al.*, *Publ. Astron. Soc. Pasif.*, **107**, 156, 1995.
15. *P.B.Stetson*, *User's Manual for DAOPHOT II (Victoria: Dominion Astrophys. Observ.)*, 1993.
16. *J.A.Holzman*, *C.J.Burrows*, *S.Casertano et al.*, *Publ. Astron. Soc. Pasif.*, **107**, 1065, 1995.
17. *I.D.Karachentsev*, *N.A.Tikhonov*, *Astron. Astrophys.*, **286**, 718, 1994.
18. *W.E.Harris*, *P.R.Dureel*, *M.J.Pierce*, *J.Secker*, *Nature*, **395**, 45, 1998.
19. *D.J.Schlegel*, *D.P.Finkbeiner*, *M.Davis*, *Astrophys. J.*, **500**, 525, 1998.
20. *G.Bertelli*, *A.Bressan*, *C.Chiosi*, *F.Fagotto*, *E.Nassi*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **106**, 275, 1994.
21. *Y.J.Sohn*, *T.J.Davidge*, *Astron. J.*, **115**, 130, 1998.
22. *D.R.Garnett*, *G.A.Shields*, *E.D.Skillman*, *S.P.Sagan*, *R.J.Dufour*, *Astrophys. J.*, **489**, 63, 1997.
23. *A.Aparicio*, *N.Tikhonov*, *I.Karachentsev*, *Astron. J.*, **119**, 177, 2000.
24. *A.Aparicio*, *N.Tikhonov*, *Astron. J.*, **119**, 2183, 2000.
25. *L.Ferrarese*, *J.R.Mould*, *R.C.Kennicutt et al.*, *Astrophys. J.*, **529**, 745, 2000.
26. *T.Elholm*, *P.Lanoix*, *P.Teerikorpi*, *P.Fouque*, *G.Paturel*, *Astron. Astrophys.*, **355**, 835, 2000.
27. *R.Ciardullo*, *G.Jacoby*, *W.Harris*, *Astrophys. J.*, **383**, 487, 1991.
28. *B.Schmidt*, *R.Kirshner*, *R.G.Eastman*, *Astrophys. J.*, **395**, 366, 1992.
29. *E.Neistein*, *D.Maoz*, *H.W.Rix*, *J.L.Tonry*, *Astron. J.*, **117**, 2666, 1999.

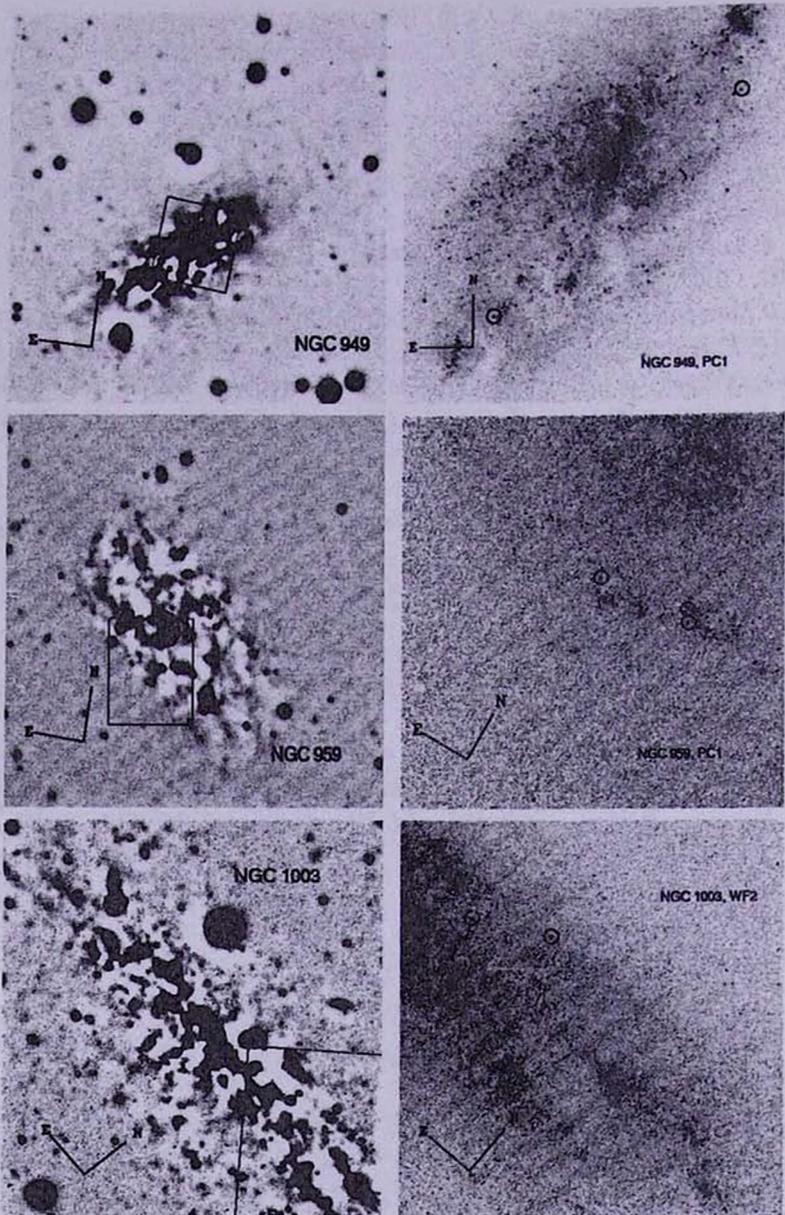


Рис.2а. Изображения галактик группы NGC 1023, полученные на БТА и HST телескопах после применения процедуры медианной фильтрации для лучшей видимости звездной составляющей галактик. Прямоугольником на снимках БТА отмечен один из четырех чипов HST-снимков, полученных в фильтре F606W. Кружками обозначены голубые сверхгиганты, которые использовались для определения расстояний.

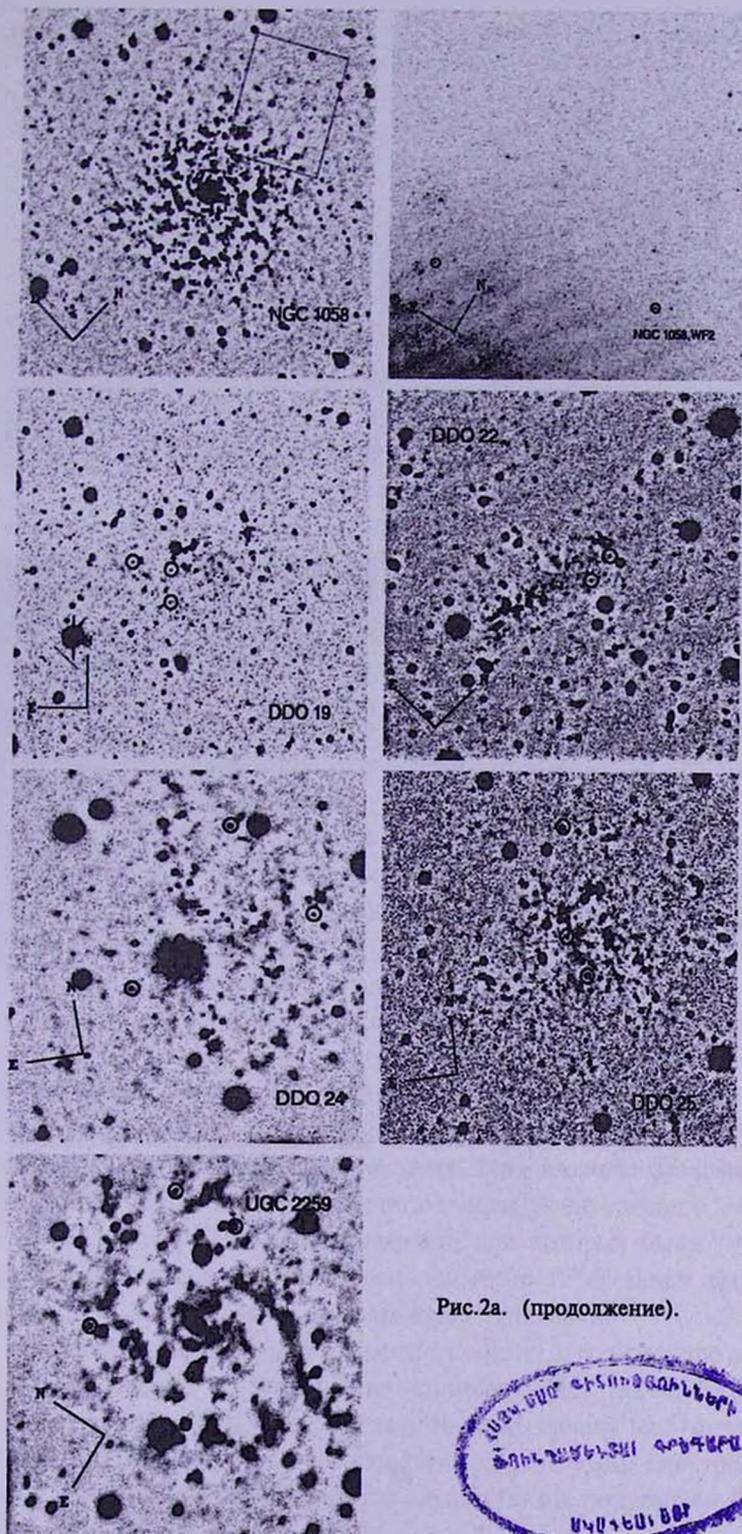


Рис.2а. (продолжение).



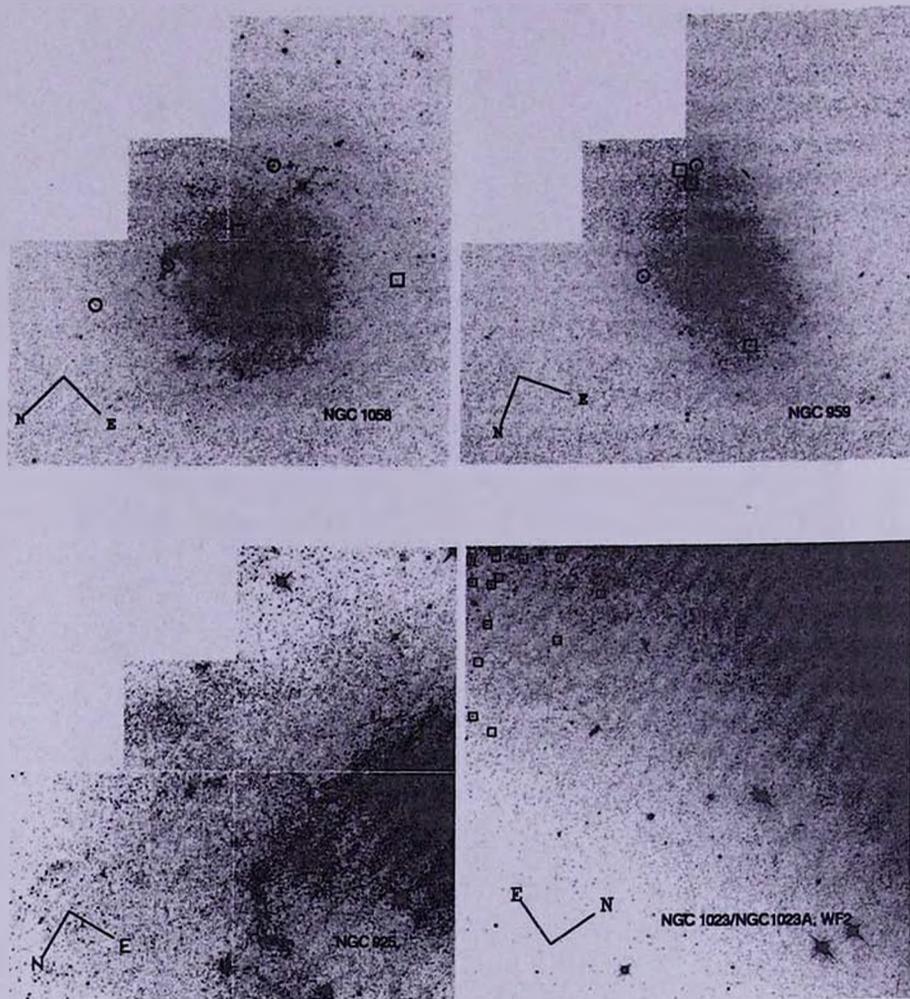


Рис.2б. HST-снимки галактик NGC 959, NGC 1058, NGC 925, NGC 1023 в фильтре F814. Для галактик NGC 959 и NGC 1058 кружками обозначены голубые сверхгиганты, квадратами - красные. В галактике NGC 1023 маленькими квадратами обозначены голубые звезды карликовой галактики NGC 1023A, которая проецируется на главную галактику.