

УДК 524.74-54

**FIGGS 2: HI-обзор очень слабых неправильных галактик**© 2016 Н. Н. Патра<sup>1\*</sup>, Дж. Н. Ченгалур<sup>1\*\*</sup>, И. Д. Караченцев<sup>2\*\*\*</sup>, М. Е. Шарина<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный центр радиоастрофизики Института фундаментальных исследований Тата, Пуне, 411007 Индия<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 18 мая 2016 года; принята в печать 20 октября 2016 года

Представлены наблюдения и первые результаты обзора FIGGS 2. Этот обзор является расширенной версией более раннего обзора слабых неправильных галактик «Faint Irregular Galaxies GMRT Survey» (FIGGS) и включает в себя более слабые объекты. Выборка состоит из двадцати галактик, пятнадцать из которых были обнаружены в наблюдениях линии HI 21 см с помощью радиотелескопа Giant Meterwave Radio Telescope (GMRT). Средняя звездная величина в синей полосе нашей выборки составляет приблизительно  $-11^m6$ , что более чем на величину слабее, чем в предыдущем обзоре FIGGS. По наблюдениям на GMRT мы обнаружили, что для многих галактик из нашей выборки диски в HI смещены по отношению к оптическим. HI-диаметры галактик обзора FIGGS 2 демонстрируют тесную корреляцию с HI-массой. Наклон этой зависимости равен  $2.08 \pm 0.20$ , что близко к значению для галактик из FIGGS. Было также обнаружено, что почти у всех галактик HI-диски больше оптических, что является распространённым явлением для карликовых и спиральных галактик. Среднее значение отношения диаметров HI-дисков к оптическим составляет примерно 1.54.

Ключевые слова: галактики: карликовые — галактики: эволюция — галактики: межзвёздная среда

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Существует ряд проблем, которые делают систематическое изучение dIrr-галактик особенно интересным. Во-первых, в иерархических моделях формирования галактик сначала образуются малые объекты, которые сливаются потом в более массивные. В этом смысле близкие карликовые галактики являются наиболее похожими на галактики ранней Вселенной. Во-вторых, межзвёздная среда (МЗС) карликовых галактик имеет низкую металличность. В этом случае они являются аналогами галактик на больших красных смещениях и служат «лабораторией» для изучения газа и формирования звёзд в средах с малым содержанием пыли и низкой металличностью [1, 2]. Это частично объясняет рост обзоров карликовых галактик, таких как FIGGS [3], SHIELD [4], VLA-ANGST [5], LITTLE-THINGS [6].

В данной работе мы описываем расширенную версию обзора FIGGS [3]. Мы фокусируем свое исследование на галактиках с меньшими светимостями и HI-массами. Здесь мы представляем результаты наших наблюдений на радиотелескопе

Giant Meterwave Radio Telescope (GMRT) в линии HI двадцати очень слабых галактик. В Разделе 2 описывается выборка галактик, в Разделе 3 объясняется основная научная мотивация обзора, в Разделе 4 представлены наблюдения и анализ данных и, наконец, в Разделе 5 приведены результаты и обсуждение.

**2. ВЫБОРКА**

Обзор FIGGS 2 был запланирован как расширенная версия обзора слабых неправильных галактик Faint Irregular Galaxy GMRT Survey (FIGGS) [3]. За основу выборки FIGGS взят каталог близких галактик версии 2004 г. (Catalogue of Nearby Galaxies [7]). С того времени число известных слабых галактик в ближайших окрестностях увеличилось почти в два раза благодаря таким обзорам как SDSS [8] и ALFALFA [9]. В обзоре FIGGS 2 мы рассматриваем галактики низкой светимости с  $M_B \gtrsim -12^m$ . Предельная величина для обзора FIGGS составляла  $M_B = -14^m5$ , и в нем содержалось одиннадцать галактик слабее  $M_B = -12^m$ . Обзор FIGGS 2 состоит из двадцати галактик с  $M_B \gtrsim -12^m0$  и  $S_{\text{HI}} \gtrsim 0.5$  Ян км с<sup>-1</sup>, что вкпе с галактиками FIGGS составляет выборку объектов слабее  $M_B = -12^m0$  примерно в три раза

\*E-mail: narendra@ncra.tifr.res.in

\*\*E-mail: chengalu@ncra.tifr.res.in

\*\*\*E-mail: ikar@sao.ru

большую, чем прежде. Отметим, что пересмотр расстояний и других наблюдаемых параметров привёл к тому, что теперь  $M_B$  у двух наших галактик немногим ярче  $-12^m$ . Галактики выбирались из обновлённого каталога близких галактик (UNGC) [7] с учётом ограничений выделенного наблюдательного времени на телескопе. Обзор FIGGS включает 66 из примерно 230 галактик каталога UNGC, удовлетворяющих критериям отбора FIGGS; 15 объектов наблюдались на GMRT как часть обзора FIGGS 2 из примерно 85 галактик каталога UNGC, удовлетворяющих критериям отбора FIGGS 2. Большинство остальных объектов (не наблюдавшихся FIGGS + FIGGS 2) находятся на южном небе, ниже горизонта GMRT.

В Таблице 1 перечислены некоторые основные свойства нашей выборки галактик. В колонках приведены следующие данные: колонка (1) — название галактики, колонки (2) и (3) — экваториальные координаты (J2000), колонка (4) — расстояние в Мпк, колонка (5) — методы определения расстояний до галактик (по верхушке ветви красных гигантов (TRGB), по хаббловскому отношению скорость-расстояние ( $H_0 = 73 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ ) (h), по членству галактики (mem)), колонка (6) — абсолютная синяя величина (исправленная за поглощение), колонка (7) — логарифм HI-массы, колонка (8) — гелиоцентрическая лучевая скорость, колонка (9) — диаметр Холмберга, колонка (10) — наклон, полученный из оптической фотометрии (в предположении об истинной толщине 0.42 [10]). Данные, представленные в Таблице 1, были взяты из [11–15]. Первые пятнадцать галактик в Таблице 1 были обнаружены в наших GMRT-наблюдениях, тогда как последние пять галактик (отделены пустой строкой) не были обнаружены.

На Рис. 1 приведены гистограммы распределения различных глобальных параметров галактик нашей выборки. Для сравнения нашего обзора с другими крупными каталогами мы дополнительно нанесли гистограммы свойств галактик двух из них, а именно обзора LITTLE-THINGS [6] и обзора VLA-ANGST [5]. Сплошной чёрной линией на Рис. 1 показана гистограмма обзора FIGGS 2, а серыми штрих-пунктирными и пунктирными линиями — данные LITTLE-THINGS и VLA-ANGST соответственно. На панели (a) показаны гистограммы абсолютной синей величины  $M_B$ , на панели (b) — логарифм HI-массы, на панелях (c) и (d) — гистограммы расстояний до галактик выборки и отношения HI-массы к синей светимости ( $M_{\text{HI}}/L_B$ ) соответственно. Так как расстояния до некоторых галактик были уточнены уже после составления выборки, их светимости оказались выше, чем предельная величина отбора

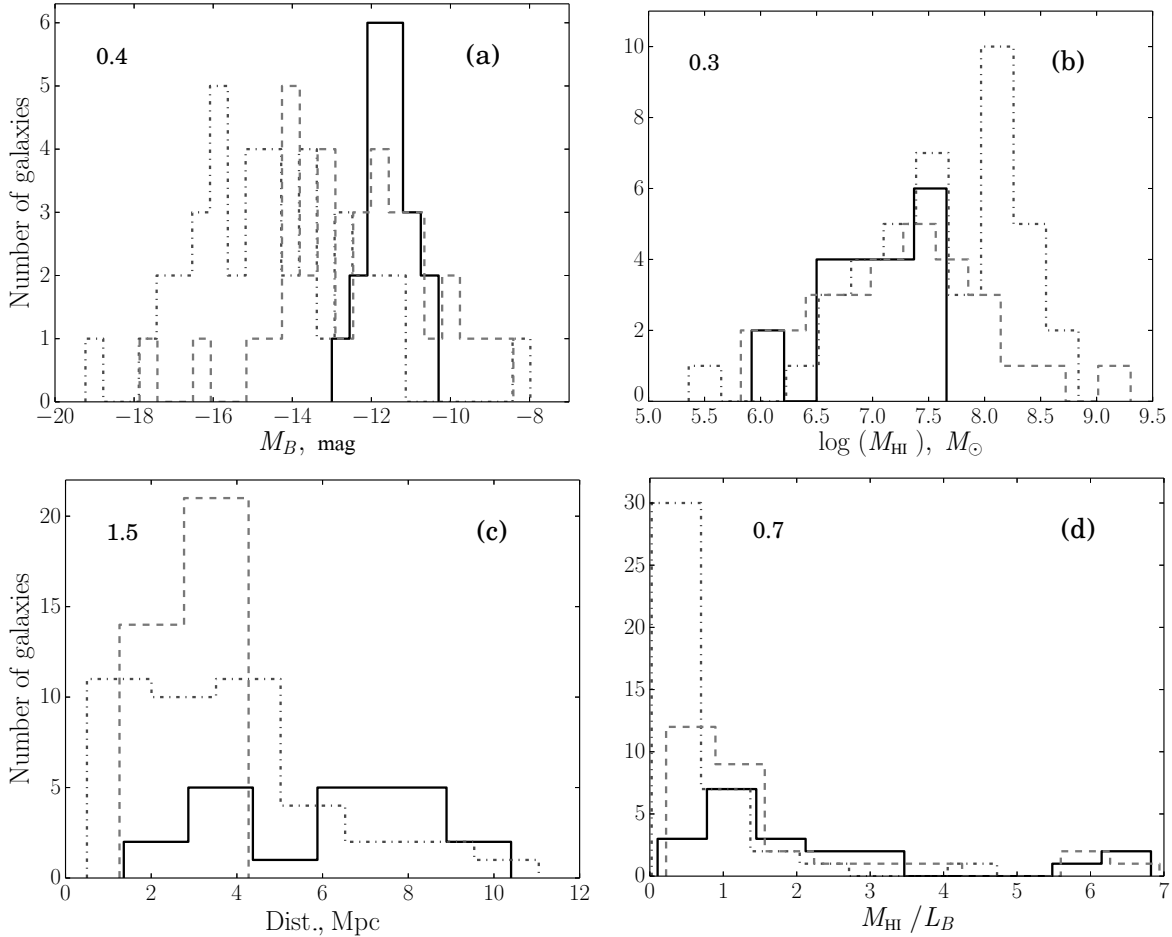
$M_B \gtrsim -12^m$ . Тем не менее среднее значение  $M_B$  выборки составляет  $-11^m6$ , что более чем на одну величину слабее среднего по выборке FIGGS. На панели (b) (сплошная линия) показана гистограмма логарифма HI-массы галактик нашей выборки. Средняя HI-масса составляет примерно  $8 \times 10^6 M_\odot$ , что также примерно на порядок ниже средней HI-массы выборки FIGGS. На Рис. 1 можно увидеть, что наши объекты охватывают почти три величины по яркости (коэффициент приблизительно 12) и примерно два порядка величины по HI-массе. Отметим также, что наша выборка галактик концентрируется в части слабых объектов в обзорах LITTLE-THINGS и VLA-ANGST.

### 3. НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ FIGGS 2

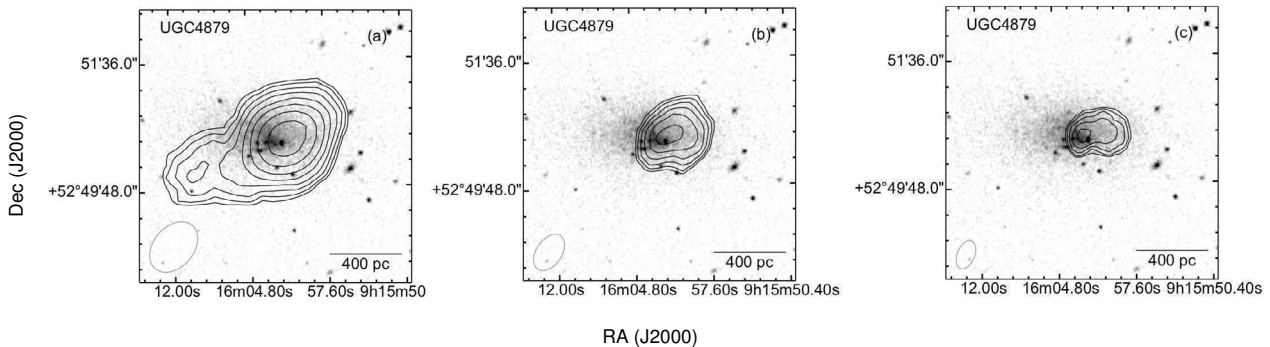
Основная цель обзора FIGGS 2 заключалась в том, чтобы расширить предыдущий обзор FIGGS в сторону более слабых объектов и обогатить многоволновую базу данных с целью получения ответов на несколько вопросов. Ниже обсуждаются некоторые причины, побудившие нас предпринять обзор FIGGS 2.

Многое из того, что мы знаем о газе во Вселенной на больших красных смещениях, известно благодаря исследованиям систем абсорбционных линий, источник которых находится перед яркими квазарами, т.е. так называемых абсорбционных систем Damped Lyman- $\alpha$  (DLAs). И хотя такие исследования позволяют учесть полное количество атомарного газа в зависимости от красного смещения, из-за того что полученная информация ограничена карандашной диаграммой направленности антенны, которая освещена квазаром, природа населения этих систем остаётся неясной. Вопрос состоит в том, являются ли их свойства схожими со свойствами населения локальных карликовых галактик. Один из количественных способов это проверить — использование данных обзоров типа FIGGS и FIGGS 2 для того чтобы посмотреть, соответствует ли функция распределения столбцовой плотности DLA наблюдаемой в местных карликовых галактиках (например, [16]).

Нейтральная межзвёздная среда (МЗС) и ее связь со звёздообразованием в неправильных карликовых галактиках, богатых газом, уже давно вызывают интерес исследователей. Ожидается, что звёздообразование в средах с малым содержанием пыли и низкой металличностью будет проходить по-другому, нежели в спиральных галактиках. И хотя в ряде исследований с применением данных FIGGS многие аспекты звёздообразования уже были изучены (см., например, [1, 2]), ещё остаётся несколько вопросов, например, подпитка звёздообразования и ее влияние на звёздообразование



**Рис. 1.** Гистограммы различных глобальных параметров галактик нашей выборки. Сплошные чёрные гистограммы представляют данные FIGGS2 из Таблицы 1. Для сравнения мы также нанесли данные двух крупных обзоров карликовых галактик, а именно обзоров VLA-ANGST и LITTLE-THINGS. Серыми штрих-пунктирными линиями нанесены данные обзора LITTLE-THINGS, серыми пунктирными — обзора VLA-ANGST. В целях однородности ширина бинов гистограмм одинакова для всех трёх обзоров. Ширины бинов приведены в верхних левых углах соответствующих рисунков. На панели (a) показаны гистограммы абсолютной синей величины, исправленной за поглощение ( $M_B$ ), на панели (b) — гистограммы логарифма HI-массы, на панели (c) — гистограммы расстояний, а на панели (d) — гистограммы отношения HI-массы к синей светимости ( $M_{HI}/L_B$ ).



**Рис. 2.** Интегральная HI-эмиссия от UGC 4879 (контуры) при разных пространственных разрешениях, наложенная на изображение DSS в фильтре  $B$  (градации серого). Разрешения изображений составляют  $48'' \times 34''$  (a),  $34'' \times 21''$  (b),  $25'' \times 14''$  (c). Синтетический эллиптический пучок показан в нижнем левом углу каждого изображения. Уровни контуров составляют 1, 1.4, 2, 2.8, ..., умноженные на  $2 \times 10^{19}$ ,  $6 \times 10^{19}$  и  $1 \times 10^{20}$  атомов  $\text{см}^{-2}$  на рисунках (a), (b) и (c) соответственно.

Таблица 1. Свойства галактик выборки

Галактика	$\alpha$ (J2000), hh mm ss.s	$\delta$ (J2000), dd mm ss	Расстояние, Мpc	Метод*	$M_B$ , mag	$\log M_{HI}$ , $M_\odot$	$V_{hel}$ , $\text{km s}^{-1}$	$D_{opt}$ , arcmin	$i_{opt}$ , deg.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
AGC 112521	01 41 07.9	+27 19 26	6.08	<i>TRGB</i>	-11.4	6.75	274	0.60	67
KK 15	01 46 41.6	+26 48 05	8.67	<i>TRGB</i>	-11.8	7.21	366	0.59	90
KKH 37	06 47 45.8	+80 07 26	3.44	<i>TRGB</i>	-11.6	6.71	11	1.15	55
KKH 46	09 08 36.6	+05 17 32	6.70	<i>TF</i>	-12.3	7.44	598	0.60	34
UGC04879	09 16 02.2	+52 50 24	1.36	<i>TRGB</i>	-11.9	5.98	-25	3.24	66
LeG 06	10 39 55.7	+13 54 28	10.40	<i>mem</i>	-11.9	6.85	1007	0.63	57
KDG 073	10 52 57.1	+69 32 45	3.91	<i>TRGB</i>	-10.9	6.56	116	1.20	38
VCC 0381	12 19 54.1	+06 39 57	4.71	<i>h</i>	-11.7	7.14	480	0.78	26
KK 141	12 22 52.7	+33 49 43	7.78	<i>h</i>	-11.5	7.20	573	0.40	45
KK 152	12 33 24.9	+33 21 05	6.90	<i>TF</i>	-13.0	7.54	838	1.07	83
UGCA 292	12 38 40.0	+32 46 00	3.85	<i>TRGB</i>	-11.9	7.49	308	1.02	52
BTS146	12 40 02.1	+38 00 02	8.50	<i>TF</i>	-12.2	6.97	446	0.34	67
LV J1243+4127	12 43 55.7	+41 27 25	6.09	<i>h</i>	-11.8	7.02	402	1.38	83
KK 160	12 43 57.4	+43 39 41	4.33	<i>TRGB</i>	-10.9	6.60	293	0.59	47
KKH 86	13 54 33.6	+04 14 35	2.61	<i>TRGB</i>	-10.3	5.92	287	0.85	51
LeG 18	10 46 53.3	+12 44 40	10.40	<i>mem</i>	-11.3	7.15	636	0.28	47
KDG 90	12 14 57.9	+36 13 08	2.98	<i>TRGB</i>	-11.6	7.66	280	1.55	33
LV J1217+4703	12 17 10.1	+47 03 49	7.80	<i>mem</i>	-11.0	7.38	394	0.30	46
KK 138	12 21 58.4	+28 14 34	6.30	<i>mem</i>	-10.4	6.81	449	0.42	64
KK 191	13 13 39.7	+42 02 39	8.28	<i>TRGB</i>	-11.4	7.59	371	0.42	18

\* см. текст

на самых малых масштабах, состав различных фаз МЗС и ее связь со звездообразованием и т.д. Очень часто полная регистрируемая эмиссия  $H\alpha$  в этих галактиках может быть обеспечена за счёт всего нескольких массивных звёзд. Из-за очень небольшого гравитационного потенциала этих галактик ожидается, что подпитка звездообразования будет сильно влиять на МЗС и холодный газ. Сравнение HI и оптических морфологий позволяет проанализировать последствия этой подпитки в самых малых галактиках, богатых газом.

Еще одна область интересов — фазовая структура атомарного газа этих галактик. Считается, что в нашей Галактике атомарная МЗС имеет две стабильные фазы, которые сосуществуют при равновесии давления, а именно холодная плотная фаза (холодная нейтральная среда — Cold Neutral Medium, CNM) и тёплая разреженная фаза (тёплая нейтральная среда — Warm Neutral Medium, WNM). Также имеется всё больше данных в пользу того, что существенная доля атомарного газа является фазой с переходной температурой, которая термически нестабильна. Несколько исследований было проведено с целью изучения фазовой структуры атомарного газа в карликовых галактиках, и хотелось бы расширить такие исследования на

самые малые из известных единиц звездообразования. В связи с этим возникает вопрос о взаимодействии, если оно происходит, между фазой CNM и звездообразованием в карликовых галактиках (например, [17]).

Следующий вопрос связан со структурой гало из тёмной материи и его влиянием на структуру и динамику карликовых галактик [18–20]. Вертикальная структура и шкала высот галактик определяются гидростатическим равновесием между разными галактическими компонентами (например, [21]), находящимися в гало тёмной материи. Вертикальное гидростатическое равновесие, в свою очередь, определяет плотность и вертикальную структуру галактического диска. По результатам наблюдений видно, что газовые диски малых, богатых газом галактик (таких, как в нашей выборке) толще, чем у обычных спиральных [22]. Однако полное теоретическое понимание такой повышенной плотности и вертикальной структуры газового диска карликовых галактик пока отсутствует. Аналогично присутствие неосесимметричных структур также оказывает влияние на распределение тёмной материи [23]. Одна из целей данного обзора — предоставить данные для исследования вертикальной структуры газового диска, что, в свою очередь,

может быть использовано для получения оценок распределения тёмной материи и дисперсии скоростей газа [24].

#### 4. НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Для всех наблюдений мы пользовались недавно установленной программой GMRT Software Backend (GSB). Они проводились в полосе пропускания 2.08 МГц с 256 каналами или в полосе 4.17 МГц с 512 каналами при постоянном спектральном разрешении приблизительно 8.1 кГц (ширина скоростей примерно  $1.7 \text{ км с}^{-1}$ ). Калибровка потоков и полос пропускания выполнялась для каждого отдельного наблюдения путём регистрации стандартных калибровочных потоков 3C 48, 3C 147 или 3C 286 в начале и конце экспозиции. Калибровка фаз производилась путём наблюдения стандартов фаз из списка VLA в пределах углового расстояния меньше  $10^\circ$  от источника один раз каждые 45 минут.

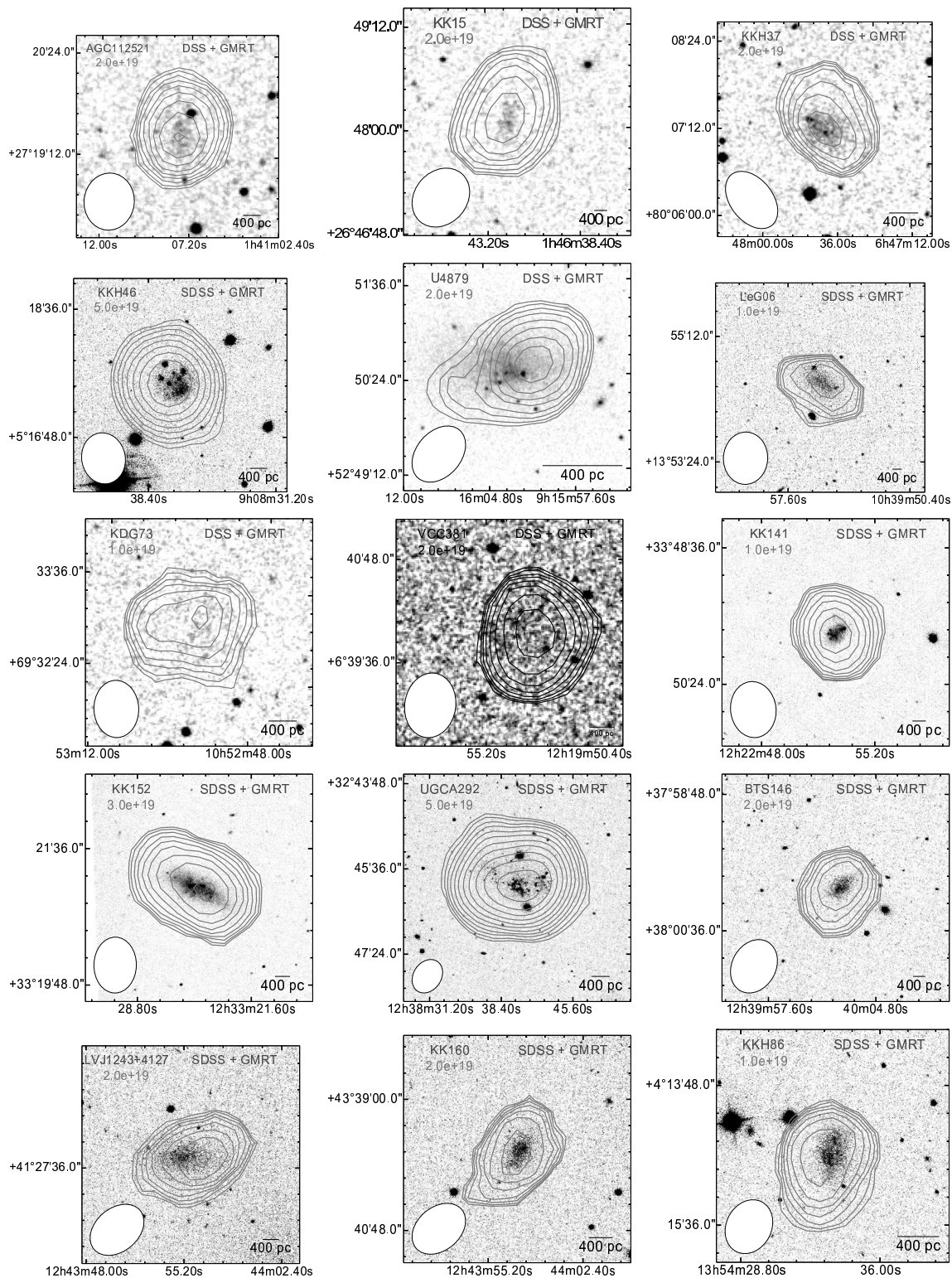
Выделенное время наблюдения каждого объекта обычно составляло приблизительно шесть часов, реальное время наблюдений варьировалось для разных источников в пределах 2–5 часов. Обработка всех данных осуществлялась в классическом пакете AIPS. Для каждой галактики калибровка фазы и полосы пропускания производилась после коррекции за плохую видимость. Отслеживание доплеровского сдвига в реальном времени в ходе наблюдений не проводилось, соответственно данные были исправлены за вращение Земли с помощью процедуры AIPS CVEL. GMRT имеет гибридную конфигурацию [25] с двенадцатью антеннами внутри центрального квадрата ( $2 \text{ км} \times 2 \text{ км}$ ) и восемнадцатью антеннами, выставленными на почти 25-километровой площадке примерно в форме Y. Из-за своей гибридной конфигурации GMRT позволяет получать данные на малых и больших угловых масштабах в течении одного наблюдения. Самая длинная доступная база на 21 см составляет приблизительно 120 кλ.

Кубы необработанных изображений на разных разрешениях создавались с помощью процедуры IMAGR в AIPS с применением схем взвешивания *Natural* и *Robust* с разными значениями *uvrange* и *uvaper*. Взвешивание *Natural* максимизирует отношение сигнал-шум (SNR), но оно вносит искажение в гауссовый профиль и создает сложную шумовую картину изображения, тогда как схема взвешивания *Robust* даёт несколько лучшие профили, но с уменьшенным SNR. Так как галактики выборки FIGGS 2 очень слабы, а карты с высоким SNR требуют ручной инспекции, мы приводим только карты, взвешенные по схеме *Natural* в

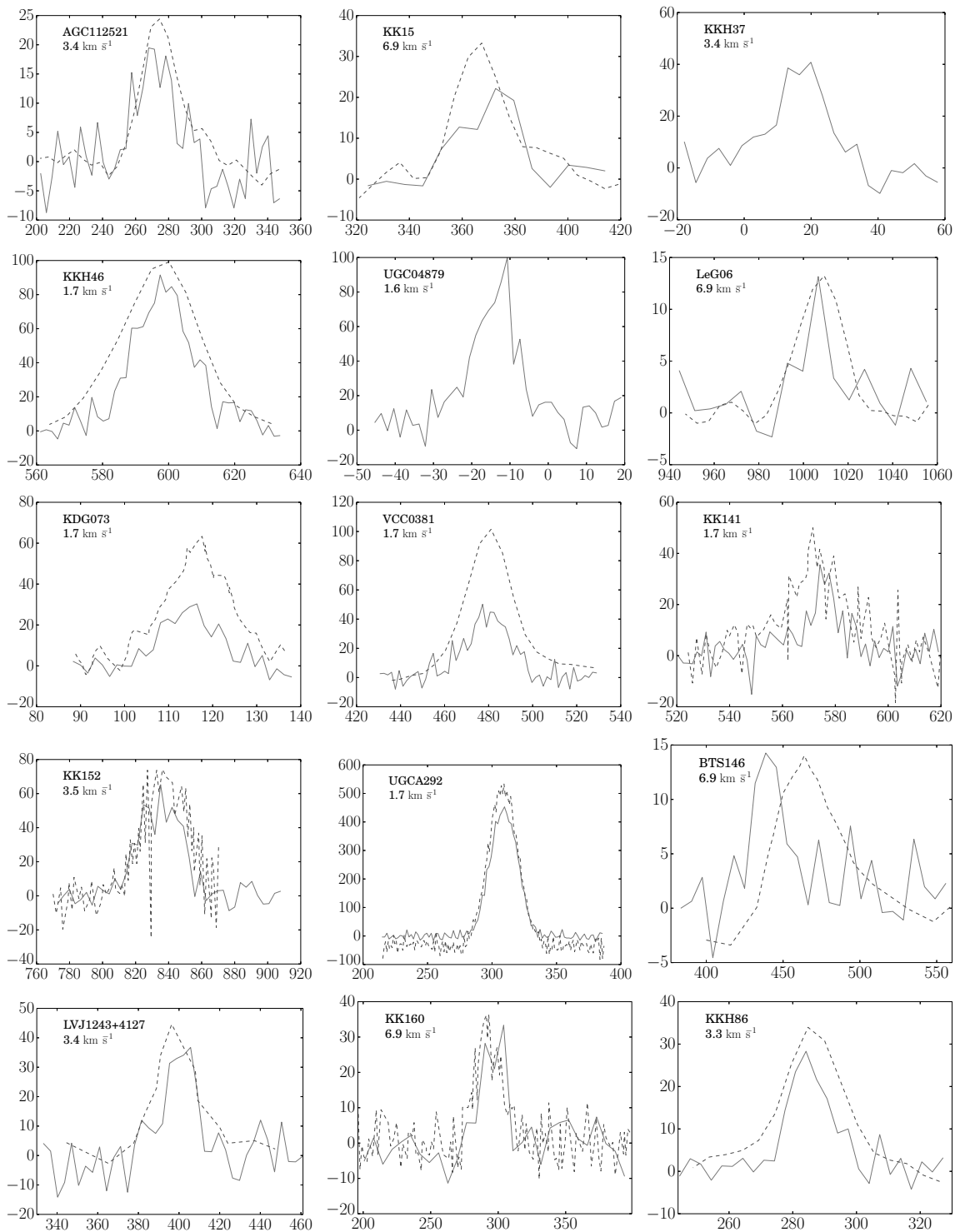
дальнейшем анализе, хотя мы получили карты обеих схем взвешивания. Необработанные кубы в низком разрешении были проинспектированы с целью нахождения каналов, содержащих HI-эмиссию. Из-за слабости эмиссии процесс создания масок для очистки изображения при построении карты моментов был сложным и субъективным. Перед этим по каналам без линий (найденным в кубах низкого разрешения) мы аппроксимировали и вычли континуум в картинной плоскости с помощью процедуры IMLIN в AIPS. Кубы с вычтенным континуумом затем вычищались до уровня RMS примерно в 2.5 раз большего, чем для RMS одного канала (без линий), с помощью процедуры APCLN. Мы также попробовали провести многоканальную очистку, но она не сильно улучшила качество изображений. Несмотря на то что все наши наблюдения проводились с разрешением по скоростям приблизительно  $1.65 \text{ км с}^{-1}$ , мы совмещали соседние каналы (уменьшая разрешение в поле скоростей) для увеличения в случае необходимости отношения сигнал-шум.

Карты моментов создавались с помощью процедуры MOMNT в классической AIPS. Мы сгладили данные с помощью гауссова ядра шириной шесть пикселей в пространственных координатах и функции Ханнинга шириной три пикселя в координатах скоростей. Для выбора областей эмиссии, которые будут включены в карты моментов, мы отсекали величину в 1.5–2 раза больше RMS у каждого канала. Изображения полной интенсивности на разных разрешениях способны предоставить дополнительную информацию. Например, эффекты локальных процессов, таких как звездообразование, подпитка и т.д., лучше всего исследовать, используя изображения в высоком разрешении, тогда как крупномасштабную динамику, глобальные размеры областей HI, свойства гало тёмной материи и т.п. лучше изучать по изображениям в низком разрешении. В качестве примера на Рис. 2 показаны изображения интегральной HI-эмиссии в одной из галактик выборки FIGGS 2, а именно UGC 4879, на разных пространственных разрешениях. Панель (а) демонстрирует на изображении с низким разрешением протяжённую структуру галактики в юго-восточном углу, которая не видна при более высоких разрешениях. С другой стороны, мелкие детали морфологии галактики в центральной области чётче проявляются на изображениях с высоким разрешением.

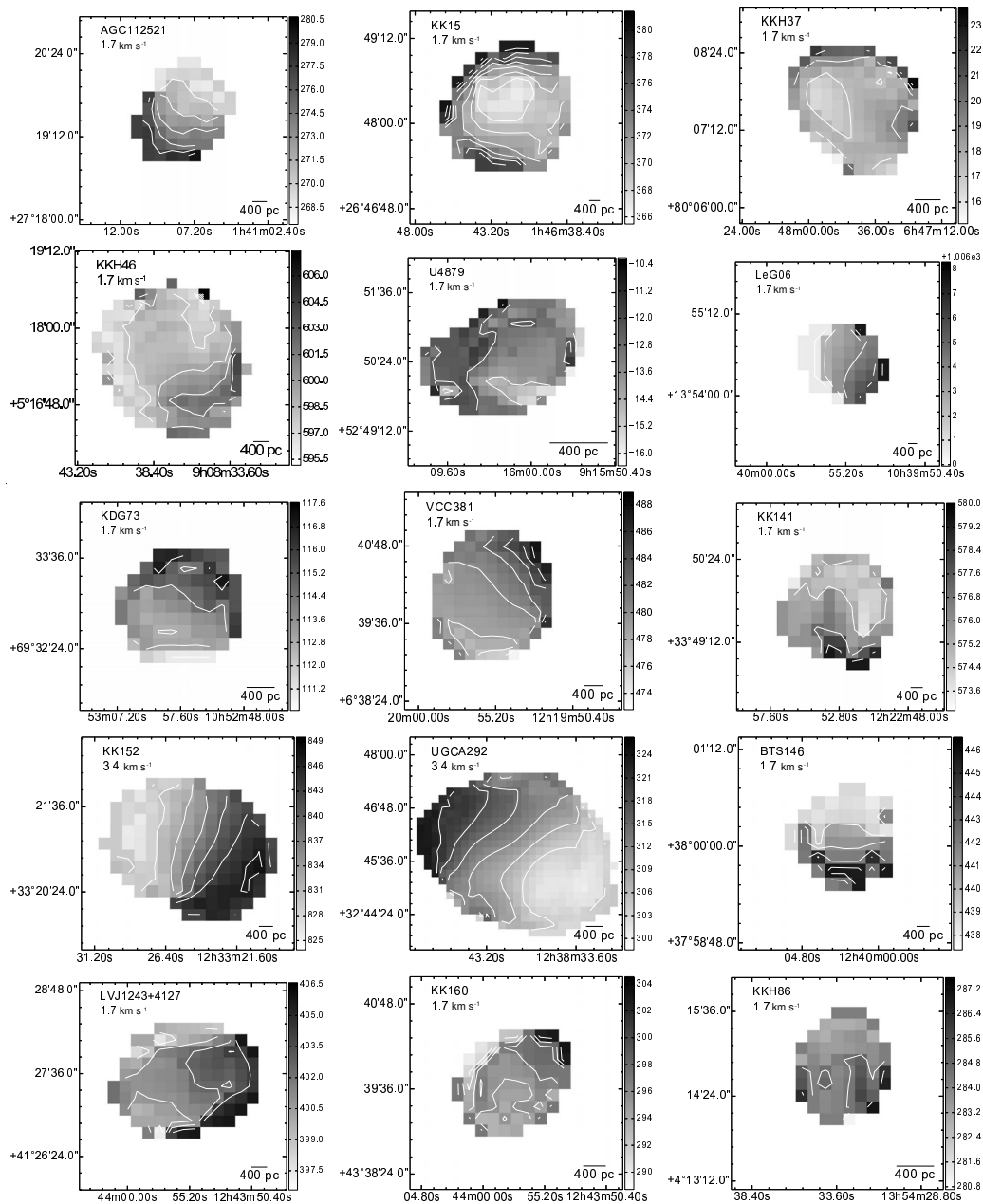
Мы обнаружили HI-эмиссию у пятнадцати из двадцати галактик. Два объекта (LeG 18, LV J1217+4703) из пяти с отрицательным обнаружением имеют довольно большие максимумы потоков, полученных с одной антенной (больше 25 мЯн [15]). Однако их наблюдения на GMRT были затруднены сильными радиочастотными



**Рис. 3.** Наложения полной HI-эмиссии (контуры) на оптическое изображение галактик FIGGS 2. Оптические изображения были взяты из SDSS [8] (фильтр  $g$ , центрирован на  $\lambda \sim 4770 \text{ \AA}$ ) в случаях, где они доступны; в иных случаях были использованы изображения DSS (красный фильтр,  $\lambda \sim 6450 \text{ \AA}$ ). Значения внешних HI-контуров приведены в верхнем левом углу соответствующих панелей в количестве атомов  $\text{см}^{-2}$ . Последовательные контуры различаются в  $\sqrt{2}$  раз.



**Рис. 4.** Глобальные HI-спектры нашей выборки галактик (сплошная линия), нанесённые вместе со спектрами, полученными при наблюдениях на одиночной антенне (штриховая линия). Для увеличения отношения сигнал-шум множественные каналы были суммированы там, где это возможно. Разрешение по скоростям приведено на соответствующих панелях. Отметим, что в большинстве случаев наблюдения на GMRT дают меньшие потоки, чем при наблюдениях с одной антенной. Спектры наблюдений на одиночной антенне для KKH 37 и UGC 4879 отсутствуют в литературе.



**Рис. 5.** Поле скоростей обнаруженных галактик. Расстояние между последовательными контурами приведено в верхнем левом углу каждой панели. Почти все галактики нашей выборки демонстрируют упорядоченное вращение на своих картах скоростей.

помехами, и значительная доля данных была помечена как ненадёжная, что привело к более высоким уровням шума в кубе данных. Несмотря на увеличенный уровень шума, можно было ожидать обнаружения HI-эмиссий по меньшей мере на уровне  $3\sigma$ , следовательно, отрицательные обнаружения были неожиданными, если верны потоки при наблюдениях одиночной антенной. Причина этого несоответствия нам не ясна. Приведённый поток KDG 90, полученный при наблюдениях одиночной антенной, достаточно высок ( $23.6 \text{ Ян км с}^{-1}$  [26]).

Однако dSph-галактика находится примерно в  $10'$  от яркой спиральной галактики NGC 4214 с HI-потоком в  $147 \text{ Ян км с}^{-1}$  и диаметром Холмберга  $8.5$ . Значит, это, скорее всего, случай наложения HI-потока при наблюдениях с одной антенной. В последующих наблюдениях на VLA (обзор VLA-ANGST [5]) эмиссия от этой галактики также не была обнаружена. При наблюдениях одиночной антенной в HI-спектре KK 138 имеет ширину скорости  $186 \text{ км с}^{-1}$  и очень низкий максимум потока в  $10 \text{ мЯн}$ . Такая большая ширина



Таблица 2. Сведения о наблюдениях

Галактика	Дата	Диапазон скоростей, $\text{km s}^{-1}$	Время на источнике, hours	Синтетическая диаграмма направленности, $\text{arcsec}^2$	RMS одного канала, $\text{mJy beam}^{-1}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
AGC 112521	10.12.2010	-145-734	6	$40.64 \times 35.75, 27.85 \times 22.56, 13.91 \times 10.55$	2.0, 1.5, 1.3
KK 15	14.11.2010	5-886	4	$44.28 \times 36.50, 27.35 \times 24.03, 15.02 \times 11.39$	1.4, 1.1, 0.9
KKH 37	29.12.2010	-643-234	5.3	$54.40 \times 35.55, 25.98 \times 19.19, 12.14 \times 9.85$	3.5, 2.6, 1.6
KKH 46	10.12.2010	251-1133	3.8	$43.26 \times 36.75, 30.03 \times 25.91, 26.54 \times 10.51$	3.0, 2.7, 2.0
UGC 4879	06.08.2010	-154-56	3.8	$48.16 \times 34.03, 34.18 \times 21.52, 25.02 \times 14.78$	3.8, 3.2, 2.8
LeG06	15.10.2010	831-1272	6.8	$45.00 \times 38.07, 26.95 \times 22.50, 12.40 \times 10.71$	3.8, 3.0, 1.1
KDG 073	14.03.2009	-19-191	6.75	$45.32 \times 35.45, 28.42 \times 22.00, 14.44 \times 10.60$	2.8, 1.7, 1.5
VCC 0381	08.08.2010	273-714	4.5	$45.28 \times 35.57, 31.87 \times 23.50, 23.40 \times 10.27$	3.1, 2.9, 2.5
KK 141	14.11.2010	37-919	4.5	$44.49 \times 35.97, 30.14 \times 24.39, 13.31 \times 9.38$	2.1, 1.8, 1.5
KK 152	09.08.2010	494-1377	4.5	$44.21 \times 33.60, 29.53 \times 21.46, 16.15 \times 9.71$	3.7, 3.2, 2.5
UGCA 292	10.12.2010	-171-708	4.5	$45.22 \times 35.23, 27.79 \times 23.95, 15.09 \times 11.84$	2.6, 2.5, 1.9
BTS 146	11.12.2010	39-920	5.25	$44.28 \times 34.73, 30.92 \times 21.58, 16.29 \times 11.23$	1.1, 0.8, 0.7
LV J1243+4127	02.01.2011	-69-811	3.75	$49.86 \times 35.72, 26.71 \times 20.43, 13.92 \times 10.12$	3.2, 2.6, 2.0
KK 160	31.12.2010	-104-775	4.4	$49.27 \times 35.55, 28.43 \times 21.65, 14.01 \times 9.93$	2.9, 2.3, 1.5
KKH 86	13.11.2008	181-392	5.25	$43.20 \times 35.01, 34.17 \times 23.83, 29.53 \times 14.45$	2.6, 2.3, 1.8
LeG18	11.12.2010	466-1350	3.75	$87.52 \times 35.10, 73.18 \times 23.85, 62.30 \times 9.21$	7.4, 9.0, 6.3
PGC 1424345	12.08.2010	623-1064	4.5	$70.04 \times 33.61, 59.18 \times 20.04, 46.17 \times 16.54$	7.5, 8.3, 20.5
KDG 090	14.03.2009	155-366	3.3	$70.04 \times 33.61, 59.18 \times 20.04, 46.17 \times 16.54$	6.3, 4.1, 2.9
LV J1217+4703	07.08.2010	183-623	4.4	$49.20 \times 37.41, 47.16 \times 35.0, 44.06 \times 33.61$	4.7, 7.7, 12.1
KK 138	31.12.2010	39-920	4.5	$42.10 \times 40.14, 27.50 \times 23.83, 11.91 \times 9.51$	1.8, 1.7, 1.7
KK 191	13.08.2010	3-884	4.5	$56.76 \times 34.50, 46.54 \times 18.22, 33.38 \times 11.72$	4.9, 4.3, 6.6

скоростей необычна для карликовой галактики; скорее всего, это ложное обнаружение. В случае с KK 191 в пределах углового расстояния примерно в  $25'$  находится большая спиральная галактика NGC 5055. Она имеет центральную скорость  $510 \text{ km s}^{-1}$  и ширину спектральной линии в поле скоростей приблизительно  $400 \text{ km s}^{-1}$ , что перекрывается с приведённой скоростью KK 191, т.е.  $368 \text{ km s}^{-1}$  [14]. Следовательно, это так же может быть случаем наложения в данном наблюдении с одиночной антенной. Детали наблюдений и результаты анализа представлены в Таблице 2. В колонках приведены следующие данные: колонка (1) — название галактики; колонка (2) — дата наблюдений; колонка (3) — диапазон скоростей (гелиоцентрических) в наблюдаемой полосе; колонка (4) — время экспозиции на источнике в часах; колонка (5) — размер синтетической диаграммы направленности в кубах данных для разных разрешений; колонка (6) — соответствующее RMS для одного канала.

На Рис. 4 мы нанесли глобальные HI-спектры из наших наблюдений (сплошные линии) поверх спектров, полученных при наблюдениях на оди-

ночной антенне (штриховая линия) (если они доступны, подробнее в Разделе 5) обнаруженных галактик. На рисунке можно увидеть, что почти во всех случаях наши наблюдаемые спектры показывают меньшие потоки по сравнению с потоком при наблюдениях на одиночной антенне. Например, синтетическое наблюдение UGC 4879 с помощью WSRT [27] показывает гораздо больший HI-поток ( $2.2 \pm 0.1 \text{ Ян км с}^{-1}$ ), чем значение, полученное на GMRT ( $1.35 \pm 0.7 \text{ Ян км с}^{-1}$ ). Мы полагаем, что это связано с тем, что на GMRT меньше коротких промежутков, чем на WSRT, и GMRT разрешает в основном протяжённые эмиссии низкой столбцовой плотности. Мы тщательно проверили нашу процедуру калибровки и сравнили вторичные калибровочные потоки с инструкцией VLA. Во всех случаях наши потоки совпадают с каталожными значениями в пределах 10%. Калибровочная ошибка в 10% недостаточна для объяснения несоответствия потоков между спектрами GMRT и спектрами, полученными по наблюдениям на одиночной антенне.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На Рис. 3 показаны интегральные распределения HI (контуры), наложенные на оптические изображения обнаруженных галактик. Значения внешних контуров приведены в верхних левых углах каждой панели в количестве атомов  $\text{см}^{-2}$ . Там, где возможно, мы пользовались оптическими изображениями обзора SDSS (фильтр  $g$ ), в иных случаях — изображениями обзора DSS (фильтр  $R$ ). Источник оптических изображений приведён в верхнем правом углу каждой панели. Чтобы сравнить размеры в оптике с размерами в HI и показать крупномасштабные HI-структуры галактик нашей выборки, мы наложили карты HI в низком разрешении (с более высоким отношением сигнал-шум) на оптические изображения на Рис. 3. Однако из-за неравномерности плоскости видимости по нашей выборке синтетические диаграммы направленности сильно меняются от галактики к галактике даже после установки одного и того же максимального интервала видимости (5 кЛ) при картировании. Синтезированные диаграммы направленности показаны в левом нижнем углу каждой панели. Отметим, что оптические центры и HI-центры многих галактик не совпадают (например, UCG 4879, KKH 86, LV J1243+4127). Мы предполагаем, что возможной причиной этих сдвигов является подпитка в процессе звёздообразования.

На Рис. 4 показаны глобальные спектры HI наших галактик (сплошная линия). Так как обнаруженные галактики очень слабы, глобальные спектры с разрешением примерно  $1.8 \text{ км с}^{-1}$  иногда имеют очень низкое отношение сигнал-шум. Следовательно, в случае необходимости соседние каналы можно совместить для увеличения SNR. Разрешение в поле скоростей для разных галактик приведено в верхнем левом углу соответствующих панелей на Рис. 4. Мы также наложили для сравнения спектры, полученные в результате наблюдений на одиночной антенне (штриховая линия). Для KKH 37 и UGC 4879 мы не смогли найти в литературе спектры, полученные при наблюдениях на одиночной антенне. Для BTS 146 отметим, что существует различие в центральной гелиоцентрической скорости ( $V_{\text{sys}}$ ) между GMRT-спектрами и спектрами, полученными в результате наблюдений на одиночной антенне. Однако Ковач с коллегами [28] наблюдали ту же галактику с помощью WSRT и нашли, что центральная скорость составляет  $446 \pm 17 \text{ км с}^{-1}$ , что находится в хорошем соответствии с нашим значением (примерно  $440 \text{ км с}^{-1}$ ).

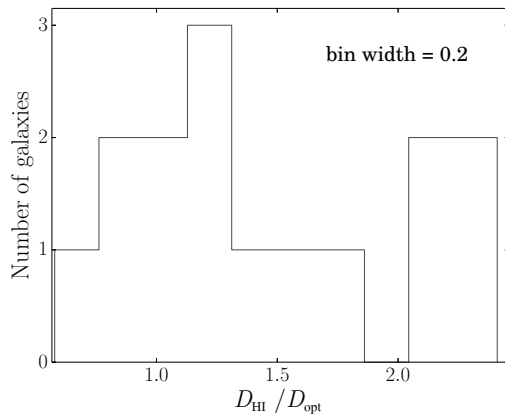
Параметры, полученные из глобальных спектров, перечислены в Таблице 3. В колонках приведены следующие данные: колонка (1) — название галактики, колонка (2) — интегральный поток HI,

колонка (3) — системная скорость ( $V_{\text{sys}}$ ), колонка (4) — ширина контура скорости на 50% максимума потока ( $\Delta_{50}$ ), колонка (5) — HI-диаметр, полученный вписыванием эллипса со значением столбцовой плотности  $N_{\text{HI}} = 0.3 M_{\odot} \text{ пк}^{-2}$ , колонка (6) — отношение HI-диаметра к оптическому, колонка (7) — полученная HI-масса, колонка (8) — отношение массы к светимости ( $M_{\text{HI}}/L_B$ ), колонка (9) — отношение потока GMRT к потоку, полученному в результате наблюдений на одиночной антенне, колонка (10) — HI-наклон в предположении об истинной толщине 0.6 [22]. Для полученных параметров также приведены соответствующие ошибки. Значения  $V_{\text{sys}}$  и  $\Delta_{50}$  были получены путём аппроксимации глобальных HI-спектров гауссовым профилем. Ошибки  $V_{\text{sys}}$  и  $\Delta_{50}$  представляют собой только ошибки аппроксимации. HI-диаметр был оценен аппроксимацией эллипсом изо-контура HI столбцовой плотности на  $N_{\text{HI}} = 0.3 M_{\odot} \text{ пк}^{-2}$ . Ошибки оценки HI-диаметра ( $D_{\text{HI}}$ ) должны состоять в основном из ошибок карты HI. Для того чтобы это учесть, мы сначала вычислили карту ошибок, пользуясь информацией об RMS в кубе HI и числом каналов, которые использовались для построения карты HI. Затем мы оценили типичную ошибку, связанную с измеренным контуром на уровне столбцовой плотности  $N_{\text{HI}} = 0.3 M_{\odot} \text{ пк}^{-2}$  (т.е. среднюю ошибку вдоль контура  $N_{\text{HI}} = 0.3 M_{\odot} \text{ пк}^{-2}$  из карты ошибок). Далее мы построили 1000 реализаций  $N_{\text{HI}}$ , которые соответствуют  $N_{\text{HI}} = 0.3 M_{\odot} \text{ пк}^{-2}$  в пределах ошибок. Эти значения  $N_{\text{HI}}$  были затем использованы для HI-изофот, которые впоследствии аппроксимировались эллипсами. В качестве оценки ошибок аппроксимированных параметров использовалось стандартное отклонение. Таким способом были оценены ошибки  $D_{\text{HI}}$ ,  $D_{\text{HI}}/D_{\text{опт}}$  и  $i_{\text{HI}}$ .

На Рис. 5 представлены поля скоростей зарегистрированных галактик. Отметим, что во многих случаях эмиссия была обнаружена только в нескольких каналах. Так как отношение сигнал-шум низкое, для получения поля скоростей мы не пользовались аппроксимацией полиномами Эрмита–Гаусса. Вместо этого в качестве поля скоростей мы приняли взвешенный по интенсивности первый момент спектрального куба. На Рис. 5 видно наличие упорядоченных полей скоростей, что указывает на вращение многих галактик (например, AGC 112521, LeG 06, KDG 73, VCC 381). В то же время в выборке есть несколько галактик, которые показывают хаотические поля скоростей, например, KKH 86, KKH 160, KKH 37. Хаотический вид поля скоростей может быть вызван низким SNR и низким пространственным разрешением спектрального куба. По тем же причинам

Таблица 3. Результаты наблюдений на GMRT выборки галактик FIGGS 2

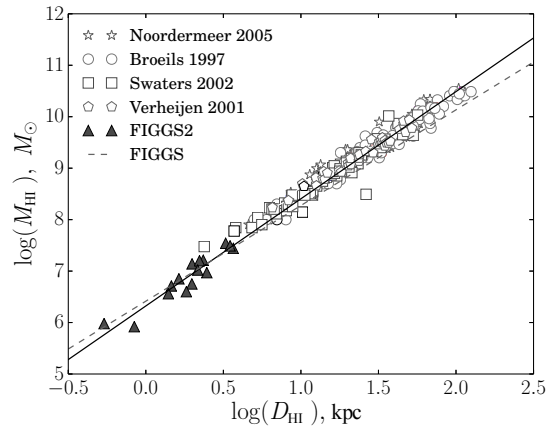
Галактика (1)	$F I_{\text{GMRT}}$ , Ян км с <sup>-1</sup> (2)	$V_{\text{sys}}$ , км с <sup>-1</sup> (3)	$\Delta V_{50}$ , км с <sup>-1</sup> (4)	$D_{\text{HI}}$ , арсмин (5)	$D_{\text{HI}}/D_{\text{opt}}$ (6)	$M_{\text{HI}}$ , $\times 10^7 M_{\odot}$ (7)	$M_{\text{HI}}/L_B$ (8)	$F I_{\text{GMRT}}/F I_{\text{SD}}$ (9)	$i_{\text{HI}}$ , градусы (10)
AGC112521	$0.44 \pm 0.34$	$270.4 \pm 0.2$	$25.0 \pm 3.8$	$1.12 \pm 0.14$	$1.9 \pm 0.2$	$0.38 \pm 0.29$	$0.67 \pm 0.51$	$0.7 \pm 0.5$	$44 \pm 7$
KK15	$0.52 \pm 0.19$	$371.3 \pm 1.3$	$23.8 \pm 3.1$	$0.93 \pm 0.14$	$1.6 \pm 0.2$	$0.92 \pm 0.34$	$1.12 \pm 0.42$	$0.6 \pm 0.2$	$63 \pm 6$
KKH37	$0.70 \pm 0.13$	$17.4 \pm 0.1$	$17.2 \pm 0.9$	$1.46 \pm 0.12$	$1.3 \pm 0.1$	$0.20 \pm 0.04$	$0.29 \pm 0.05$	$0.4 \pm 0.1$	$64 \pm 4$
KKH46	$1.96 \pm 0.47$	$598.2 \pm 0.3$	$21.2 \pm 0.8$	$1.88 \pm 0.23$	$3.1 \pm 0.4$	$2.07 \pm 0.49$	$1.59 \pm 0.38$	$0.8 \pm 0.2$	$39 \pm 4$
UGC04879	$1.35 \pm 0.66$	$-13.2 \pm 0.2$	$14.2 \pm 1.2$	$1.36 \pm 0.37$	$0.4 \pm 0.1$	$0.06 \pm 0.03$	$0.06 \pm 0.03$	$0.5 \pm 0.3$	$46 \pm 7$
LeG06	$0.22 \pm 0.37$	$1005.9 \pm 2.6$	$16.3 \pm 6.6$	$0.54 \pm 0.31$	$0.9 \pm 0.5$	$0.56 \pm 0.94$	$0.62 \pm 1.04$	$0.8 \pm 1.3$	$54 \pm 17$
KDG073	$0.40 \pm 0.18$	$114.6 \pm 0.5$	$14.2 \pm 1.2$	$1.23 \pm 0.30$	$1.0 \pm 0.2$	$0.13 \pm 0.06$	$0.39 \pm 0.18$	$0.4 \pm 0.2$	$71 \pm 14$
VCC0381	$1.07 \pm 0.30$	$479.8 \pm 0.2$	$22.9 \pm 1.3$	$1.45 \pm 0.11$	$1.9 \pm 0.1$	$0.56 \pm 0.16$	$0.74 \pm 0.21$	$0.4 \pm 0.1$	$38 \pm 5$
KK141	$0.43 \pm 0.18$	$576.0 \pm 0.8$	$14.5 \pm 1.8$	$0.98 \pm 0.19$	$2.4 \pm 0.5$	$0.61 \pm 0.26$	$0.98 \pm 0.41$	$0.4 \pm 0.2$	$45 \pm 11$
KK152	$1.78 \pm 0.37$	$834.7 \pm 0.9$	$30.5 \pm 2.0$	$1.63 \pm 0.18$	$1.5 \pm 0.2$	$2.00 \pm 0.42$	$0.80 \pm 0.17$	$0.6 \pm 0.1$	$66 \pm 4$
UGCA292	$11.67 \pm 0.62$	$309.2 \pm 0.1$	$24.6 \pm 0.3$	$3.12 \pm 0.22$	$3.1 \pm 0.2$	$4.08 \pm 0.22$	$4.51 \pm 0.24$	$1.3 \pm 0.1$	$37 \pm 4$
BTS146	$0.39 \pm 0.15$	$440.5 \pm 1.8$	$25.5 \pm 4.3$	$1.00 \pm 0.15$	$2.9 \pm 0.4$	$0.66 \pm 0.26$	$0.56 \pm 0.22$	$0.7 \pm 0.3$	$59 \pm 7$
LVJ1243+4127	$0.62 \pm 0.53$	$403.2 \pm 0.0$	$16.5 \pm 2.6$	$1.22 \pm 0.20$	$0.9 \pm 0.1$	$0.54 \pm 0.46$	$0.66 \pm 0.56$	$0.5 \pm 0.4$	$68 \pm 5$
KK160	$0.51 \pm 0.53$	$301.6 \pm 0.1$	$20.0 \pm 3.4$	$1.45 \pm 0.31$	$2.5 \pm 0.5$	$0.22 \pm 0.23$	$0.62 \pm 0.65$	$0.6 \pm 0.6$	$71 \pm 8$
KKH86	$0.45 \pm 0.16$	$285.0 \pm 0.7$	$15.1 \pm 1.5$	$1.11 \pm 0.22$	$1.3 \pm 0.3$	$0.07 \pm 0.03$	$0.35 \pm 0.13$	$0.9 \pm 0.3$	$59 \pm 9$



**Рис. 6.** Гистограмма HI-диаметров галактик нашей выборки, нормированных на оптические диаметры. Видно, что почти у всех галактик HI-диаметры больше, чем оптические, за исключением одной (UGC 4879). Детали см. в тексте.

PV-диаграммы зашумлены и не выявляют кинематику галактик, поэтому здесь мы их не приводим.

На Рис. 6 показана гистограмма HI-диаметров галактик нашей выборки. Для сравнения размеров HI-дисков с их оптическими аналогами мы нормировали HI-диаметры на оптические диаметры ( $D_{\text{opt}}$ ) галактик. Изофотные радиусы, например,  $R_{\text{Holm}}$  или  $R_{25}$ , не столь показательны для карликовых галактик с низкой поверхностной яркостью. Вычисляемые значения этих радиусов могут быть подвержены систематической недооценке соответствующих оптических размеров. Поэтому мы проводили фотометрический анализ изображений наших галактик в фильтре  $B$  и аппроксимировали профили поверхностной яркости экспоненциальными профилями. Следуя принятой методике [29], мы определяем оптический радиус как экспоненциальную шкалу длины, умноженную на 3.2. Однако для четырёх из наших зарегистрированных галактик (KKH 37, LeG 06, KDG 073 и KKH 86) оптическая фотометрия (в фильтре  $B$ ) была невозможна из-за низкого качества имеющихся данных. Для этих галактик мы принимали радиус Холмберга в качестве оптического радиуса. Во многих предыдущих HI-обзорах [29–32] изофота  $1 M_{\odot} \text{пк}^{-2}$  принималась для аппроксимации эллипсами и оценки радиуса HI. Однако большинство обнаруженных нами галактик не достигает поверхностной плотности HI в  $1 M_{\odot} \text{пк}^{-2}$  даже в центре. Мы использовали изофоту с поверхностной плотностью «плашмя» в HI  $0.3 M_{\odot} \text{пк}^{-2}$  ( $3.75 \times 10^{19}$  атомов  $\text{см}^{-2}$ ) для оценки HI-диаметра. Среднее значение нормированного HI-диаметра составляет 1.54, что несколько ниже значения 2.40, найденного для выборки FIGGS [3]. Это может быть частично связано с тем, что за пределом разрешения находится



**Рис. 7.** HI-масса (по результатам наблюдений на одиночной антенне) выборки FIGGS 2 в зависимости от HI-диаметра, измеренного при столбцовой плотности  $0.3 M_{\odot} \text{пк}^{-2}$  ( $3.75 \times 10^{19}$  атомов  $\text{см}^{-2}$ ). Сплошная линия показывает аппроксимацию данных FIGGS 2 прямой линией, а пунктирная линия — аппроксимацию данных FIGGS из [3]. Пустые значки на графике — данные для спиральных галактик, взятые из литературы. Так как большие спиральные галактики ярки в HI, значение  $D_{\text{HI}}$  для них определено при столбцовой плотности  $1 M_{\odot} \text{пк}^{-2}$  ( $1.25 \times 10^{20}$  атомов  $\text{см}^{-2}$ ).

очень слабая внешняя эмиссия. Используя эти данные, мы нашли, что для всех галактик выборки диск HI простирается дальше, чем оптический, кроме одной галактики. Для галактики UGC 4879 было обнаружено, что HI-диск меньше, чем оптический. На Рис. 3 (пятая картинка) отметим наличие слабой протяжённой HI-эмиссии, которая видна в юго-восточном углу, что может указывать на рассеянную эмиссию, которая не захватывалась нашими наблюдениями. Также полезно отметить, что для UGC 4879 наблюдения на GMRT зарегистрировали только примерно 50% от потока, полученного в наблюдениях на одиночной антенне.

HI-диаметры и HI-массы различных типов галактик тесно коррелируют. На Рис. 7 показана такая корреляция для нашей выборки галактик (заполненные треугольники). Так как GMRT не разрешает значительную долю HI с низкой столбцовой плотностью на внешних радиусах (как было отмечено в Разделе 4), мы использовали измерения HI-потока, полученные при наблюдениях на одиночной антенне, на Рис. 7. Для сравнения корреляции с более крупными галактиками мы наложили данные для спиральных галактик (HI-диаметр определён при поверхностной плотности HI в  $1 M_{\odot} \text{пк}^{-2}$ ) из различных предыдущих HI-обзоров [29–32]. Сплошная линия показывает линейную аппроксимацию наших данных (FIGGS 2), а штриховая линия — линейную аппроксимацию обзора FIGGS. Видно, что из-за малых размеров галактик нашей выборки данное

исследование расширило эту корреляцию на объекты с малыми массами и диаметрами. На рисунке можно увидеть, что наши данные следуют тренду спиральных галактик (незаполненные кружки) или галактик FIGGS (пунктирная линия). Однако следует отметить, что на наши данные может оказывать влияние тот факт, что  $D_{\text{HI}}$  были измерены на разных столбцовых плотностях HI для FIGGS 2 и для спиральных галактик.

Наилучшая линейная аппроксимация корреляции  $D_{\text{HI}}$  и  $M_{\text{HI}}$  (сплошная линия) может быть представлена как

$$\log(M_{\text{HI}}) = (2.08 \pm 0.20) \log(D_{\text{HI}}) + (6.32 \pm 0.07). \quad (1)$$

На Рис. 7 пунктирной линией показана корреляция для галактик FIGGS. Наклон и пересечение для галактик FIGGS 2 (т.е.  $2.08 \pm 0.20$  и  $6.32 \pm 0.07$ ) примерно соответствуют значениям для галактик FIGGS.

На Рис. 8 показано значение  $\log(M_{\text{HI}}/L_B)$  в зависимости от  $M_B$ . Галактики нашей выборки показаны заполненными (GMRT-HI-масса) и незаполненными (HI-масса, полученная по результатам наблюдений на одиночной антенне) треугольниками, а звездочки показывают выборку FIGGS. Открытые кружки — данные из [33], а пятиугольники — галактики из [31]. Сплошная линия показывает эмпирически полученный верхний предел на  $(M_{\text{HI}}/L_B)$  из [33]. Его можно рассматривать как минимальную долю барионной массы, которую нужно преобразовать в звезды для достижения стабильности при условии теплового равновесия с гравитацией [33] для галактики с заданной барионной массой. Интересно отметить, что все галактики нашей выборки лежат ниже сплошной линии (даже с HI-массой, полученной по результатам наблюдений на одиночной антенне). Это указывает на то, что эти малые карликовые галактики переработали гораздо больше газа в звезды, чем минимально необходимо для достижения стабильности при условии равновесия гравитации и тепловой энергии.

В итоге мы пронаблюдали двадцать слабых галактик на GMRT с целью расширения выборки FIGGS в сторону низких светимостей. Мы зарегистрировали HI-эмиссию у пятнадцати галактик. Найдено, что эти галактики имеют схожее с более яркими карликовыми галактиками отношение HI-массы к HI-диаметру. Эти сведения будут полезны для целого ряда исследований карликовых галактик, в том числе для изучения взаимосвязи между газом и звездообразованием, фазовой структуры атомарной МЗС, структуры и распределения гало темной материи и т.д.

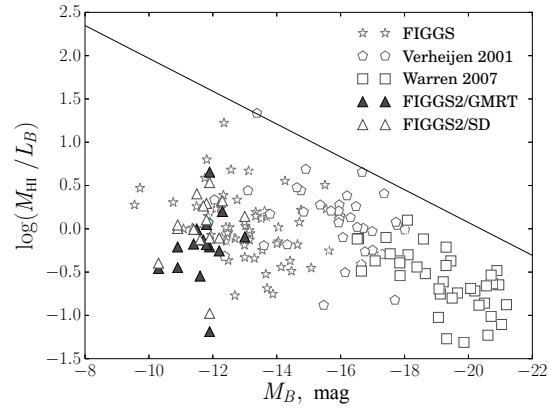


Рис. 8. Логарифм отношения HI-массы к светимости в зависимости от  $M_B$ . Заполненные (GMRT-HI-масса) и незаполненные (HI-масса, полученная по результатам наблюдений на одиночной антенне) треугольники — данные из FIGGS 2, незаполненные звездочки — данные из обзора FIGGS, а незаполненные квадраты и пятиугольники — данные [33] и [31] соответственно. Сплошная линия — эмпирически полученный верхний предел на  $M_{\text{HI}}/L_B$  из [33]. Детали см. в тексте.

## БЛАГОДАРНОСТИ

ННП благодарит анонимного рецензента за его/ее ценные комментарии, которые помогли значительно улучшить работу. ННП благодарит сотрудников GMRT за предоставленную возможность наблюдений. Гигантский метровый радиотелескоп (GMRT) обслуживается Национальным центром радиоастрофизики института фундаментальных исследований Тата. Наблюдения на GMRT и анализ данных были выполнены при поддержке гранта РФФИ 15-52-45004. Интерпретация полученных параметров HI была выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда 14-12-00965.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Roychowdhury, J. N. Chengalur, A. Begum, and I. D. Karachentsev, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **397**, 1435 (2009).
2. S. Roychowdhury, J. N. Chengalur, S. S. Kaisin, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **414**, L55 (2011).
3. A. Begum, J. N. Chengalur, I. D. Karachentsev, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **386**, 1667 (2008).
4. J. M. Cannon, R. Giovanelli, M. P. Haynes, et al., *Astrophys. J. Letters* **739**, L22 (2011).
5. J. Ott, A. M. Stilp, S. R. Warren, et al., *Astron. J.* **144**, 123 (2012).
6. D. A. Hunter, D. Ficut-Vicas, T. Ashley, et al., *Astron. J.* **144**, 134 (2012).
7. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, W. K. Huchtmeier, and D. I. Makarov, *Astron. J.* **127**, 2031 (2004).

8. K. N. Abazajian, J. K. Adelman-McCarthy, M. A. Agüeros, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **182**, 543 (2009).
9. R. Giovanelli, M. P. Haynes, B. R. Kent, et al., *Astron. J.* **130**, 2598 (2005).
10. S. Roychowdhury, J. N. Chengalur, I. D. Karachentsev, and E. I. Kaisina, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **436**, L104 (2013).
11. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, and E. I. Kaisina, *Astron. J.* **145**, 101 (2013).
12. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, and W. K. Huchtmeier, *Astron. and Astrophys.* **366**, 428 (2001).
13. D. I. Makarov, I. D. Karachentsev, and A. N. Burenkov, *Astron. and Astrophys.* **405**, 951 (2003).
14. W. K. Huchtmeier, I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, and M. Ehle, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **141**, 469 (2000).
15. W. K. Huchtmeier, I. D. Karachentsev, and V. E. Karachentseva, *Astron. and Astrophys.* **506**, 677 (2009).
16. N. N. Patra, J. N. Chengalur, and A. Begum, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 1596 (2013).
17. N. N. Patra, J. N. Chengalur, I. D. Karachentsev, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **456**, 2467 (2016).
18. A. Banerjee and C. J. Jog, *Astrophys. J.* **685**, 254 (2008).
19. A. Banerjee, L. D. Matthews, and C. J. Jog, *New Astron.* **15**, 89 (2010).
20. K. Saha and W. Maciejewski, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **433**, L44 (2013).
21. C. A. Narayan and C. J. Jog, *Astron. and Astrophys.* **390**, L35 (2002).
22. S. Roychowdhury, J. N. Chengalur, A. Begum, and I. D. Karachentsev, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **404**, L60 (2010).
23. A. Banerjee, N. N. Patra, J. N. Chengalur, and A. Begum, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **434**, 1257 (2013).
24. N. N. Patra, A. Banerjee, J. N. Chengalur, and A. Begum, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **445**, 1424 (2014).
25. G. Swarup, S. Ananthakrishnan, V. K. Kapahi, et al., *Current Science*, **60**, 95 (1991).
26. W. G. Tifft and W. J. Cocke, *Astrophys. J. Suppl.* **67**, 1 (1988).
27. M. Bellazzini, G. Beccari, T. A. Oosterloo, et al., *Astron. and Astrophys.* **527**, A58 (2011).
28. K. Kovač, T. A. Oosterloo, and J. M. van der Hulst, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **400**, 743 (2009).
29. R. A. Swaters, T. S. van Albada, J. M. van der Hulst, and R. Sancisi, *Astron. and Astrophys.* **390**, 829 (2002).
30. A. H. Broeils and M.-H. Rhee, *Astron. and Astrophys.* **324**, 877 (1997).
31. M. A. W. Verheijen and R. Sancisi, *Astron. and Astrophys.* **370**, 765 (2001).
32. E. Noordermeer, J. M. van der Hulst, R. Sancisi, et al., *Astron. and Astrophys.* **442**, 137 (2005).
33. B. E. Warren, H. Jerjen, and B. S. Koribalski, *Astron. J.* **134**, 1849 (2007).

## FIGGS 2: An HI Survey of Extremely Faint Irregular Galaxies

N. N. Patra, J. N. Chengalur, I. D. Karachentsev, and M. E. Sharina

We present the observations and first results from the FIGGS 2 survey. FIGGS 2 is an extension of the earlier Faint Irregular Galaxies GMRT survey (FIGGS) towards faint luminosity end. The sample consists of 20 galaxies of which 15 were detected in HI 21 cm line using the Giant Meter-wave Radio Telescope (GMRT). The median blue band magnitude of our sample is approximately  $-11^m6$ , which is more than one magnitude fainter than earlier FIGGS survey. From our GMRT observations we find that, for many of our sample galaxies, the HI disks are offset from their optical disks. The HI diameters of the FIGGS 2 galaxies show a tight correlation with their HI mass. The slope of the correlation is  $2.08 \pm 0.20$  similar to what is found for FIGGS galaxies. We also find that for almost all galaxies, the HI disks are larger than the optical disks which is a common trend for dwarf or spiral galaxies. The mean value of the ratio of HI to optical diameter is about 1.54.

Keywords: *galaxies: dwarf—galaxies: evolution—galaxies: ISM*

*Переведено Е. Чмыревой*