

УДК 524.74-32

## КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА В БЛИЗКИХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ

© 2014 А. В. Моисеев\*

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 10 сентября 2013 года; принята в печать 4 октября 2013 года

Представлены результаты изучения поля скоростей ионизованного газа в 28 близких (системная скорость меньше  $1000 \text{ км с}^{-1}$ ) карликовых галактиках. Наблюдения выполнялись на 6-м телескопе САО РАН с помощью сканирующего интерферометра Фабри–Перо в эмиссионной линии H $\alpha$ . В 25 галактиках удалось измерить параметры регулярного кругового вращения. Как правило, скорости вращения, измеренные по H II, хорошо согласуются с данными о кинематике H I на этих же радиусах. В трех галактиках позиционный угол кинематической оси в полях скоростей H II сильно (на десятки градусов) отличается от измерений в нейтральном водороде на больших расстояниях от центра или от ориентации большой оси оптических изофот. Скорее всего, плоскости газового и звездного дисков в этих галактиках не совпадают, а именно, в DDO 99 газовый диск изогнут за пределами оптического радиуса, а в UGC 3672 и UGC 8508 наклон орбит газовых облаков меняется во внутренних областях галактик. Возможно, что весь ионизованный газ в UGC 8508 вращается в плоскости, полярной к звездному диску.

Ключевые слова: галактики: кинематика и динамика—галактики: карликовые—межзвездная среда

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Кривая вращения — одна из основных характеристик галактик, доступная прямым измерениям. Знание радиального распределения скорости вращения позволяет, в рамках тех или иных приближений, оценить распределение массы, в том числе и темного вещества. В карликовых галактиках измерение кривой вращения газа представляет собой определенную трудность, поскольку их масса невелика, так что величина скорости регулярного вращения составляет всего несколько десятков  $\text{км с}^{-1}$ , что сравнимо с амплитудой некруговых движений газа, связанных с областями современного звездообразования. Часто здесь недостаточно получить только разрез распределения лучевых скоростей вдоль большой оси диска, а необходимо анализировать двухмерное распределение лучевых скоростей (поле скоростей), чтобы выделить из него необходимую информацию о средней скорости кругового вращения.

Поэтому большинство опубликованных надежных кривых вращения газа в карликовых галактиках получено по наблюдениям H I в линии 21 см методом апертурного синтеза. Однако даже с применением достаточно больших баз, угловое разрешение таких наблюдений не очень велико, составляя,

к примеру,  $13\text{--}61''$  в обзоре FIGGS [1]. Недавние наблюдения для выборки LITTLE THINGS [2] получены с разрешением  $6\text{--}10''$ , которое можно считать рекордным в такого рода исследованиях. Но для многих научных задач требуется знать кинематику газа с лучшим пространственным разрешением. Например, при изучении центральных областей карликовых галактик, где наиболее заметно расхождение реальной кривой вращения с тем, что предсказывают результаты численных расчетов (проблема “ядерных каспов,” см., к примеру, обзор [3]).

Наблюдения со сканирующим интерферометром Фабри–Перо (ИФП) в эмиссионных линиях ионизованного газа позволяют строить поля лучевых скоростей с угловым разрешением, ограниченным только размытием изображений атмосферной турбуленцией (обычно  $1\text{--}2''$ ). Но недостатком измерений по линиям H II, сравнительно с H I, является меньшая заполненность поля скоростей, так как эмиссия в бальмеровских линиях видна только там, где имеется достаточное число ультрафиолетовых квантов, основным источником которых являются молодые массивные звезды. Для того, чтобы обнаружить эмиссию диффузного газа вдали от областей звездообразования, требуются крупные оптические телескопы или многочасовые циклы сканирования на инструментах малых диа-

\*E-mail: moisav@gmail.com

метров. Поэтому большинство наблюдений карликовых галактик с ИФП проводилось для объектов с относительно мощным звездообразованием, таких как голубые компактные галактики [4, 5]. Также около двух десятков dIrr галактик наблюдалось в рамках обзора GHASP [6], но недостаточный предел этих наблюдений часто не позволял построить кривые вращения в галактиках, лишенных мощных областей H II.

В этой связи перспективным представляется комбинирование кривых вращения, полученных для центральных областей галактик по ионизованному газу, с результатами по нейтральному водороду для более внешних областей. Данная статья является одним из шагов в этом направлении. Здесь представлены результаты обработки архивных наблюдений близких карликовых галактик (системная скорость меньше  $1000 \text{ км с}^{-1}$ ), выполненные со сканирующим ИФП на 6-м телескопе САО РАН. Большинство изученных объектов наблюдалось в рамках заявки А. А. Клыпина, остальные — по заявкам А. Вегин, Т. А. Лозинкой и С. А. Пустильника. Далее в Разделе 2 описываются наблюдения и их обработка, в Разделе 3 — методика построения кривых вращения, в Разделе 4 представлены результаты (поля скоростей и кривые вращения), а в Разделе 5 приведены комментарии об особенностях кинематики отдельных галактик.

## 2. НАБЛЮДЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдения проводились в первичном фокусе 6-м телескопа САО РАН с помощью сканирующего ИФП, установленного внутри фокального редуктора SCORPIO [7]. Рабочий спектральный диапазон вокруг линии H $\alpha$  вырезался узкополосным фильтром с шириной полосы FWHM = 14–21 Å. До ноября 2009 г. наблюдения выполнялись с помощью интерферометра IFR 501, обеспечивающего в линии H $\alpha$  свободный спектральный диапазон между соседними порядками интерференции  $\Delta\lambda = 13 \text{ Å}$  и спектральное разрешение (FWHM инструментального профиля) около  $0.8 \text{ Å}$  ( $35 \text{ км с}^{-1}$ ) при масштабе  $0.36 \text{ Å}$  на канал. Позже применялся интерферометр IFR 751, имеющий  $\Delta\lambda = 8.7 \text{ Å}$  и спектральное разрешение  $0.4 \text{ Å}$  ( $18 \text{ км с}^{-1}$ ) при масштабе  $0.21 \text{ Å}$  на канал.

В качестве приемника в 2005–2009 г. использовались ПЗС матрицы EEV 42-40 и E2V 42-90, дающие масштаб изображения  $0''.71 \text{ pixel}^{-1}$  в режиме аппаратного биннинга  $4 \times 4$ . В 2002 г. приемником служила ПЗС матрица ТК 1024, дающая масштаб изображения  $0''.56 \text{ pixel}^{-1}$  в режиме аппаратного биннинга  $2 \times 2$ .

В процессе сканирования мы последовательно получали интерферограммы объекта (36 для IFR 501 и 40 для IFR 751) при различных расстояниях между пластинами ИФП. Обработка наблюдательного материала производилась с помощью пакета программ, работающего в среде IDL [8, 9]. Результат обработки представляет собой куб данных, в котором каждый пиксел в поле зрения содержит 36- или 40-канальный спектр.

Журнал наблюдений приведен в Таблице 1. Здесь указаны: имя галактики (принятое в статье и альтернативное, если часто используется); дата наблюдений; название интерферометра; время экспозиции; качество изображений (seeing) и итоговое угловое разрешение ( $\omega$ ) после сглаживания исходных данных двумерной гауссианой с целью увеличения отношения сигнал—шум в областях низкой поверхностной яркости.

Наблюдаемые профили линии H $\alpha$  аппроксимировались функцией Фойгта (Voigt), которая в большинстве случаев достаточно хорошо их описывает. По результатам аппроксимации профилей строились поля лучевых скоростей ионизованного газа, карты дисперсии лучевых скоростей, а также изображения галактик в эмиссионной линии H $\alpha$  и в континууме. Для семи галактик нашего списка некоторые из этих карт уже представлялись нами ранее в статье [10], где обсуждаются особенности распределения дисперсии скоростей ионизованного газа.

## 3. АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ

### 3.1. ДИСКИ С УМЕРЕННЫМ НАКЛОНОМ

Для большинства рассмотренных галактик угол наклона плоскости диска к лучу зрения  $i_0$  не превосходил  $70^\circ$ . Здесь можно пренебречь толщиной газового диска и аппроксимировать наблюдаемые поля скоростей в рамках часто используемого приближения “наклонных колец” (tilted-rings). Использовался пакет программ, написанных на IDL, реализующий адаптацию этого метода для полей скоростей ионизованного газа (см. [11, 12], там же ссылки на более ранние работы).

В ходе анализа наблюдаемое поле скоростей разбивается на эллиптические кольца шириной  $1\text{--}5''$  в соответствии с принятым наклоном  $i_0$  и позиционным углом большой оси диска  $PA_0$ . В каждом кольце с использованием  $\chi^2$ -минимизации выполняется подгонка наблюдаемого распределения лучевых скоростей моделью кругового вращения. Параметрами модели являются позиционный угол кинематической большой оси  $PA_{\text{kin}}$ , наклон круговых орбит  $i$ , скорость кругового вращения  $V_{\text{rot}}$  и системная скорость  $V_{\text{sys}}$ . Если есть уверенность в том, что в плоскости диска нет сильных

Таблица 1. Журнал наблюдений

Name	Alt. name	Date	FPI	Exp.time, sec	Seeing, arcsec	$\omega$ , arcsec
CGCG 269-049		Feb 06, 2010	IFP 751	150 × 40	3.5–4.4	4.4
DDO 53		Feb 26, 2009	IFP 501	200 × 36	2.3–2.5	3.3
DDO 68		Dec 30, 2006	IFP 501	240 × 36	1.5–2.7	2.7
DDO 99		Feb 26, 2009	IFP 501	180 × 36	2.0–3.0	3.8
DDO 125		May 18, 2005	IFP 501	180 × 36	1.5–1.8	3.0
DDO 190		Mar 04, 2009	IFP 501	100 × 36	2.2–2.5	3.3
KK 149	[KK 98] 149	Mar 05, 2009	IFP 501	150 × 36	1.9–2.5	2.8
KKH 12		Aug 23, 2004	IFP 501	120 × 36	1.8–2.0	2.7
KKH 34		Nov 12, 2009	IFP 751	230 × 40	1.9–3.1	3.4
KKR 56		May 20, 2010	IFP 751	150 × 40	2.5–3.0	3.3
UGC 231	NGC 100	Nov 11, 2009	IFP 751	200 × 40	1.4–2.3	2.4
UGC 891		Nov 11, 2009	IFP 751	200 × 40	2.0–3.1	3.1
UGC 1281		Aug 14, 2009	IFP 751	110 × 40	1.5–1.7	2.7
UGC 1501	NGC 784	Nov 10, 2009	IFP 751	200 × 40	1.4–2.0	2.3
UGC 1924		Nov 11, 2009	IFP 751	180 × 40	1.4–2.0	2.3
UGC 3476		Nov 02, 2010	IFP 751	220 × 40	1.4–1.8	2.4
UGC 3672		Nov 12, 2009	IFP 751	160 × 40	1.7–3.1	3.1
UGC 5423	M 81 dwB	Feb 26, 2009	IFP 501	180 × 36	2.7–2.9	3.5
UGC 5427		Mar 04, 2009	IFP 501	180 × 36	2.2–2.8	3.7
UGC 6456	V II Zw 403	Nov 29, 2002	IFP 501	300 × 36	1.5–2.1	2.2
UGC 7611	NGC 4460	May 19, 2010	IFP 751	160 × 40	2.1–2.5	3.5
UGC 8508		May 16, 2005	IFP 501	200 × 36	1.5–2.0	3.0
UGC 8638		Feb 24, 2009	IFP 501	150 × 36	2.8–3.5	3.9
UGC 11425	NGC 6789	Aug 14, 2009	IFP 751	140 × 40	1.5	3.0
UGC 11583		Nov 10, 2009	IFP 751	220 × 40	1.2–1.6	1.9
UGC 12713		May 16, 2005	IFP 501	200 × 36	3.1–3.5	3.0
UGCA 92		Nov 10, 2009	FPI 751	180 × 40	1.4–1.9	2.5
UGCA 292	CVn I dwA	Feb 07, 2010	IFP 751	120 × 40	2.4–3.1	3.6

изгибов, то можно положить наклон и системную скорость независимыми от радиуса ( $i(r) = i_0$ ,  $V_{\text{sys}}(r) = \text{const}$ ). В таком случае, радиальные вариации  $PA_{\text{kin}}$  отражают поведение некруговых компонент трехмерного вектора скорости газовых облаков, например, в результате возмущения спиральными волнами плотности.

В карликовых галактиках расширяющиеся обо-

лочка, индуцированные звездообразованием, могут значительно исказить поле скоростей диска, поскольку амплитуда кривой вращения мала и сравнима со скоростью расширения оболочек ( $10\text{--}30 \text{ км с}^{-1}$ ), а размер оболочки может быть сравним с размером диска. В статье [13] нами показано, что в этом случае необходимо фиксировать параметры  $V_{\text{sys}}$ ,  $i$ ,  $PA_{\text{kin}}$ , чтобы избежать

систематических ошибок в измерении скоростей вращения методом “наклонных колец.”

Поэтому анализ полей скоростей выполнялся следующим образом. В качестве первого приближения для  $PA_0$ ,  $i_0$  и центра вращения принимались имеющиеся в литературе параметры ориентации по данным фотометрии<sup>1</sup> или картам HI. Дальнейшее их уточнение производится методом последовательных приближений, при этом на каждом из шагов маскируются области, выделяющиеся своей пекулярной кинематикой, т.е. отличающиеся более чем на  $6-10 \text{ км с}^{-1}$  от модели кругового вращения (этот порог подбирался индивидуально). Если центр симметрии поля лучевых скоростей лежит не далее  $1-3''$  от ядра галактики (центра внутренних изофот), то именно фотометрический центр фиксировался в качестве центра кругового вращения. За  $V_{\text{sys}}$  и  $PA_0$  принимались средние значения этих параметров вдоль радиуса. В некоторых случаях, когда мы подозреваем изгиб газового диска, допускались изменения  $PA_{\text{kin}}$  с радиусом.

Наклон диска к лучу зрения, как правило, фиксировался исходя из данных о морфологии галактики, так как по полям скоростей с малой амплитудой вращения оценки  $i_0$  неустойчивы. В некоторых случаях нам все же удавалось оценить  $i_0$  в рамках приближения кругового вращения. Вообще, мы старались добиться максимального согласия в параметрах ориентации, определяемых по разным данным: оптическим снимкам, картам HI, полям скоростей ионизованного газа (см. замечания в Разделе 5).

### 3.2. Диски, наблюдаемые “с ребра”

В выборку вошло пять галактик (UGC 231, UGC 1281, UGC 1924, UGC 3476, UGC 11583), угол наклона дисков которых к лучу зрения, судя по имеющимся изображениям, почти точно соответствует ориентации “с ребра,” т.е.  $i_0 > 88^\circ$ . Для описания их полей скоростей модель тонкого диска, очевидно, не подходит. В общем случае, необходимо строить трехмерную модель вращающегося диска, учитывающую влияние на наблюдаемое поле скоростей его вертикальной структуры, внутреннего пылевого поглощения и т.д., как это сделано, например, в [15]. Но для построения столь сложных моделей требуется дополнительная информация о морфологии галактики на разных длинах волн, которая не всегда доступна. Поэтому мы использовали простое приближение вращающегося вокруг оси прозрачного цилиндра, в котором наблюдаемая лучевая скорость  $V_{\text{obs}}$  определяется, в основном,

излучением областей, находящихся на линии, проходящей через центр галактики перпендикулярно лучу зрения. Так что:

$$\begin{aligned} V_{\text{obs}}(x, z) &= V_{\text{rot}}(r) + V_{\text{sys}}, \\ V_{\text{rot}}(-r) &= -V_{\text{rot}}(r), \quad r = x. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь ось  $x$  направлена из центра галактики вдоль большой оси диска, а  $z$  — ортогонально к ней. То есть форма кривой вращения сохраняется с удалением от плоскости диска. Мы считаем это приближение допустимым, поскольку наблюдаемые эмиссионные диски изучаемых галактик относительно тонкие (за исключением, возможно, UGC 3476). Внутреннее пылевое поглощение в изучаемых карликовых галактиках мало. Во всяком случае, нигде не наблюдается контрастных пылевых полос. Другое упрощение реальной ситуации состоит в том, что соотношение (1) не учитывает вклада всех излучающих областей, находящихся на луче зрения. В работе [16] показано, что этот эффект важен в центральных областях галактик, так как делает наблюдаемый градиент скорости вращения более пологим, что особенно критично для галактики с центральным максимумом на кривой вращения. Но для плоских или твердотельных кривых вращения, характерных для карликовых галактик, искажения реальной картины невелики, особенно во внешних областях.

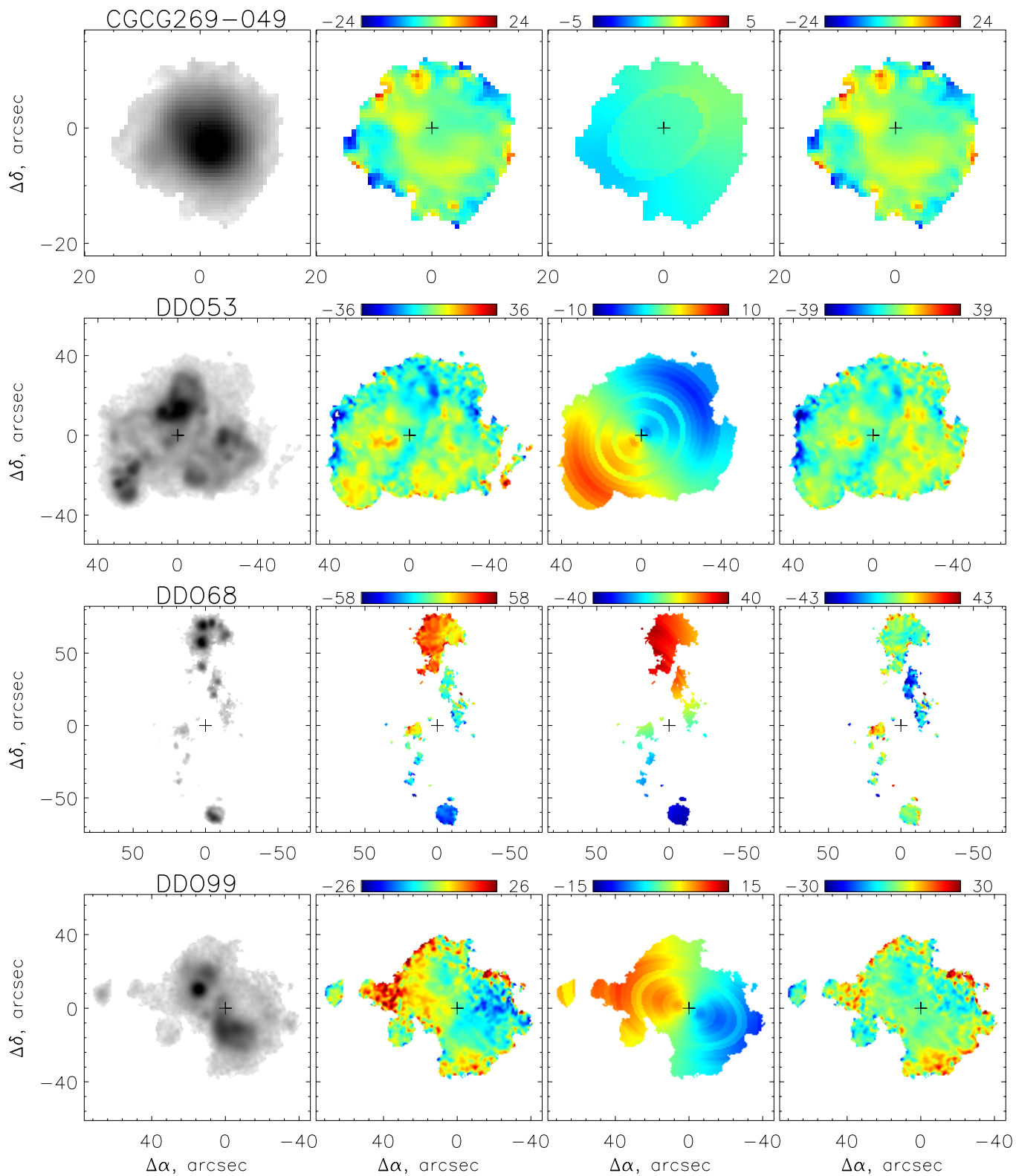
Наблюдаемые поля скоростей описывались двумерной моделью, задаваемой выражением (1), параметрами подгонки являлись положение центра вращения,  $PA_0$  и  $V_{\text{sys}}$ . Подгонка модели проводилась так же, как и в случае дисков умеренного наклона:  $\chi^2$ -минимизация, маскирование областей с пекулярной кинематикой, сравнение положений кинематического и фотометрического центров и т.д. (см. предыдущий раздел). При вычислении кривой вращения шаг по  $r$  составлял обычно около  $2''$  в центре, достигая  $8-10''$  во внешних областях.

## 4. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На Рис. 1 вместе с исходными данными показано модельное поле скоростей, а также результат вычитания модели из наблюдений. В случаях, когда нам не удавалось построить модель вращения, приводятся только исходные данные без вычитания системной скорости.

На Рис. 2 приводятся кривые вращения  $V_{\text{rot}}(r)$  и графики  $PA_{\text{kin}}(r)$ , построенные методом “наклонных колец.” Усы ошибок на кривой вращения соответствуют среднему квадрату отклонения точек в замаскированном поле от модели (RMS). Для областей с сильно возмущенной кинематикой (резкие изменения  $PA_{\text{kin}}$ , большие ошибки в его

<sup>1</sup>Если авторы приводили только эллиптичность изофот, то соответствующие  $i_0$  вычислялись согласно соотношению [14] для карликовых галактик.



**Рис. 1.** Результаты наблюдений и анализа в рамках приближения кругового вращения. Слева направо: изображение в линии  $\text{H}\alpha$ , поле лучевых скоростей (вычтена системная скорость  $V_{\text{sys}}$ , указанная в Таблице 2), модельное поле скоростей, поле остаточных скоростей (наблюдения минус модель). Крестиком отмечено положение кинематического центра. Шкала — в  $\text{km s}^{-1}$ .

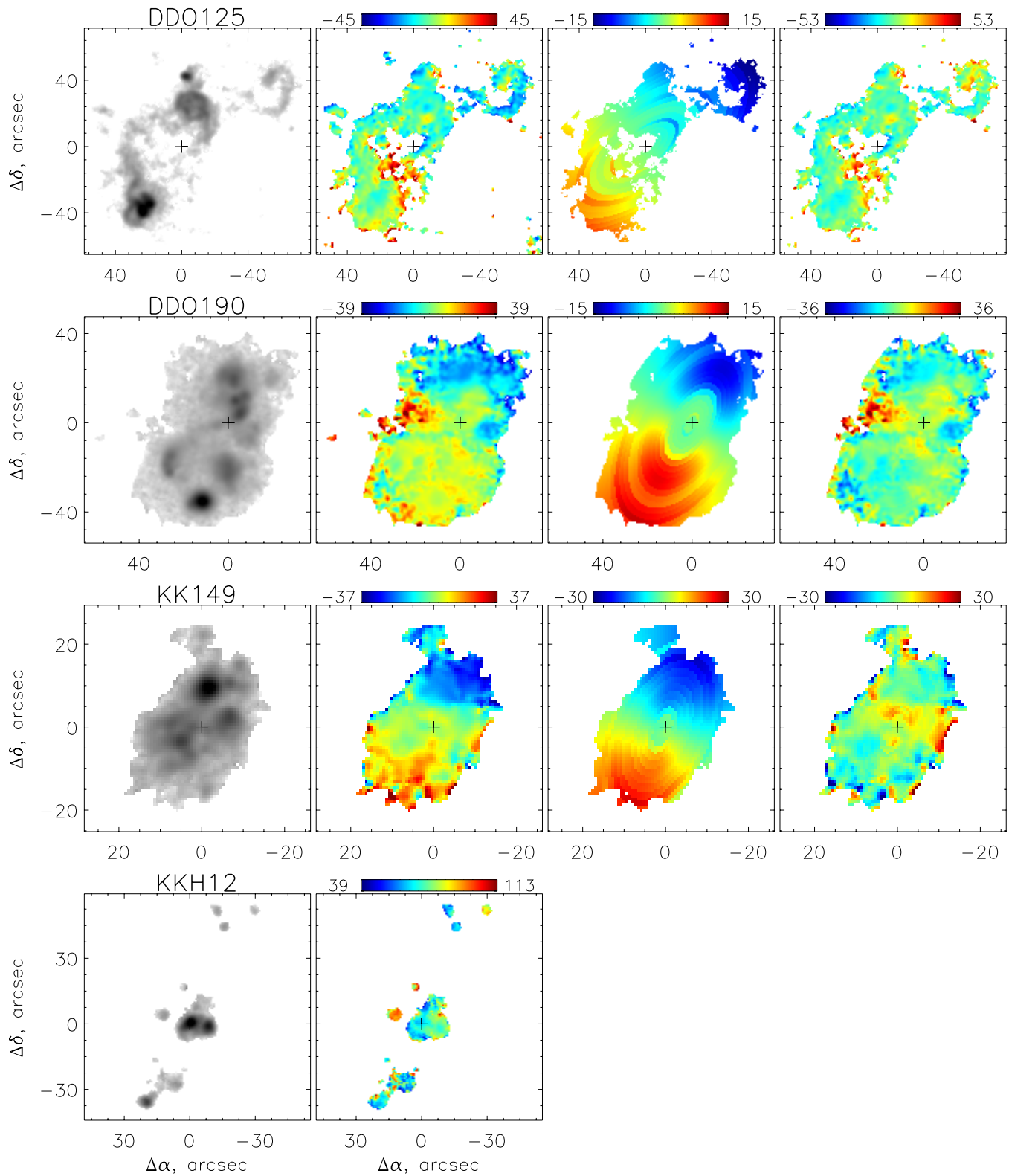


Рис. 1. (Продолжение)

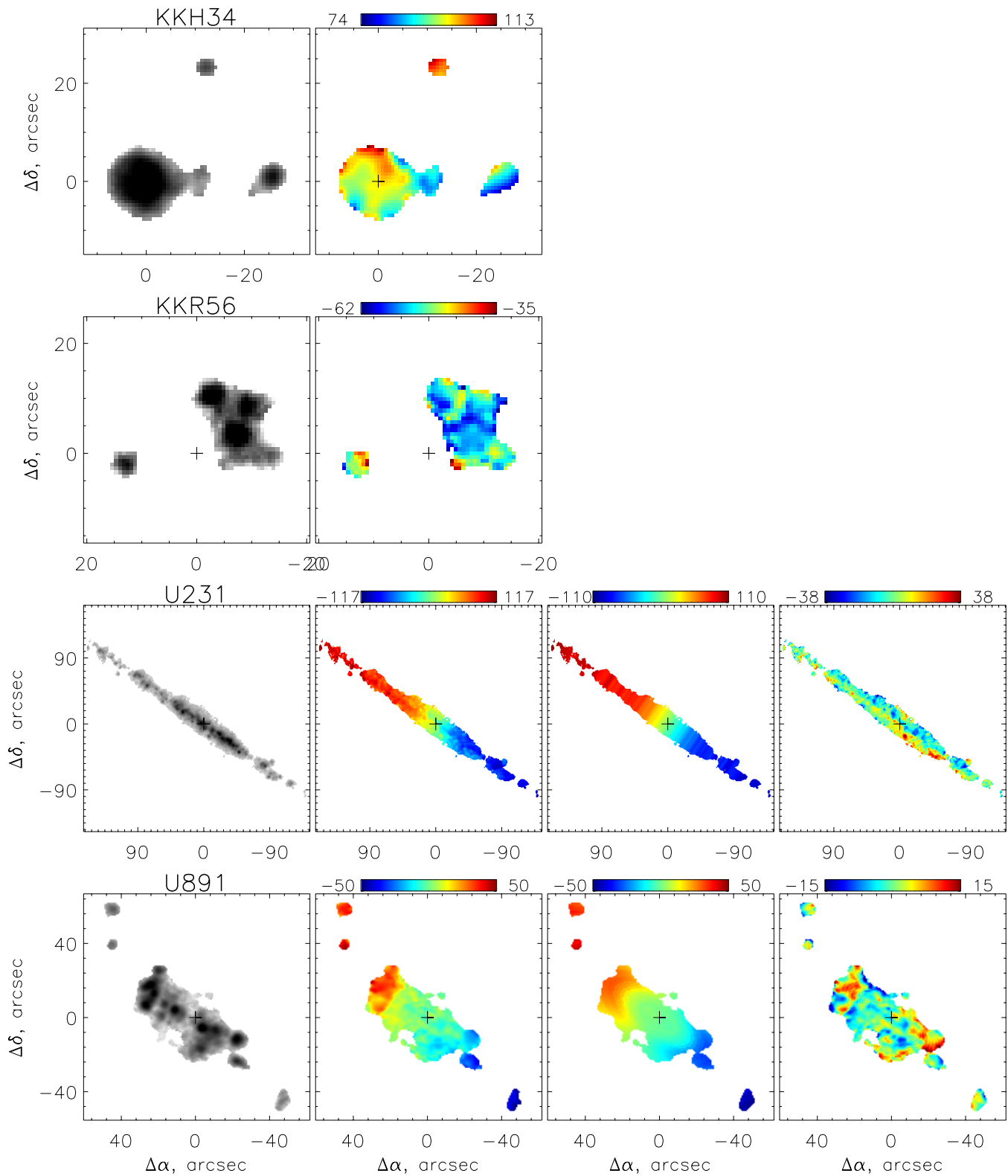


Рис. 1. (Продолжение)

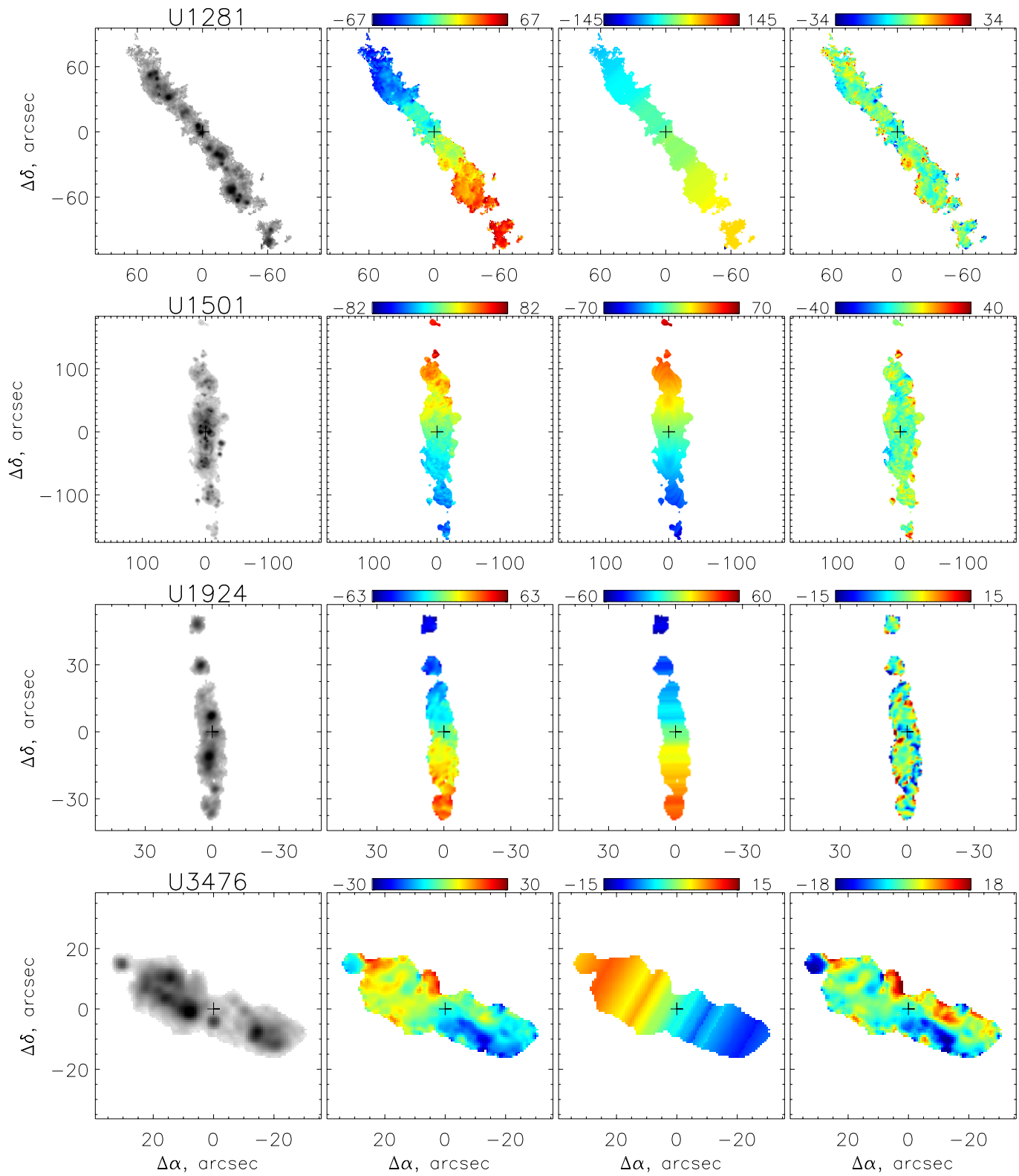


Рис. 1. (Продолжение)



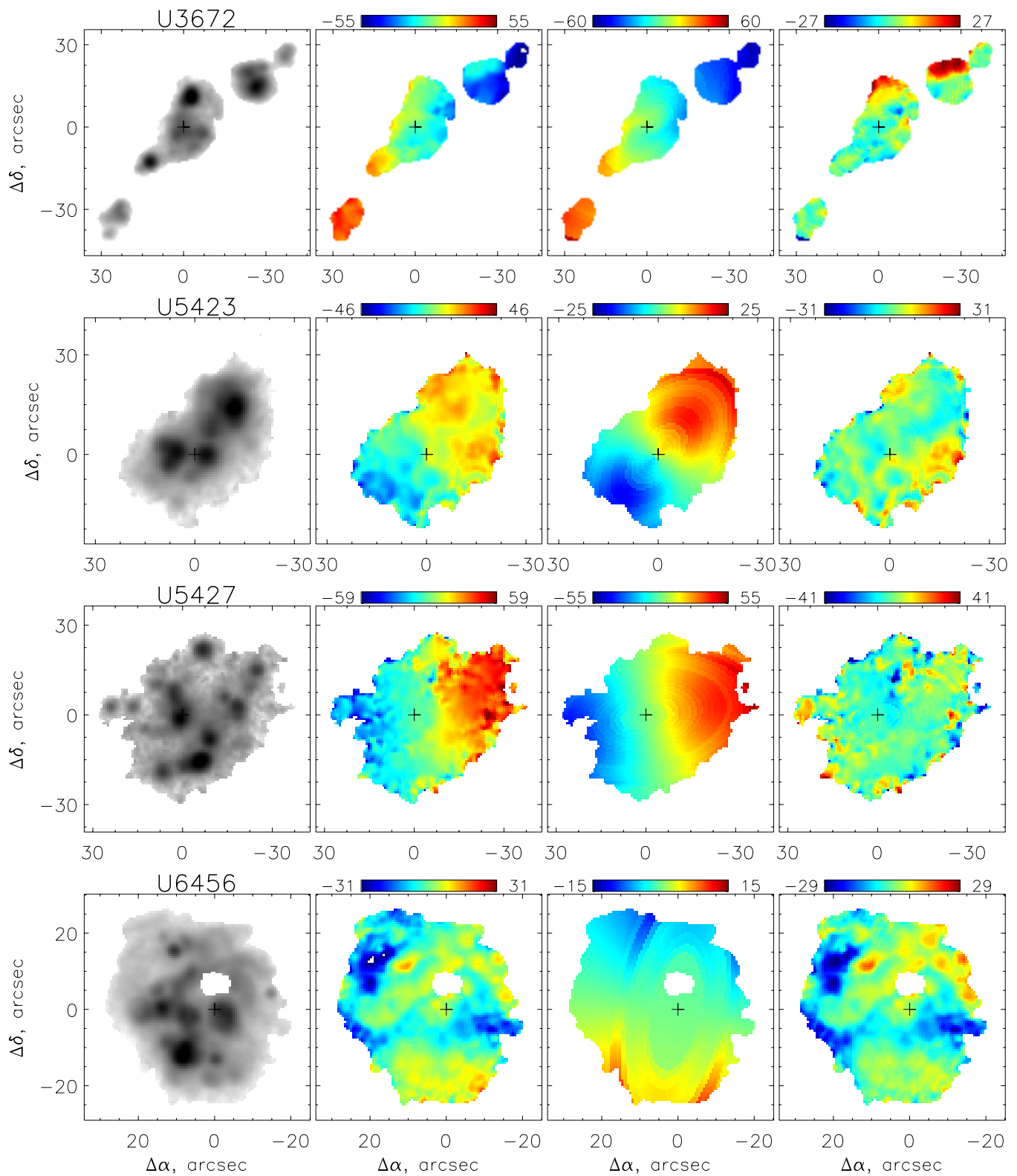


Рис. 1. (Продолжение)

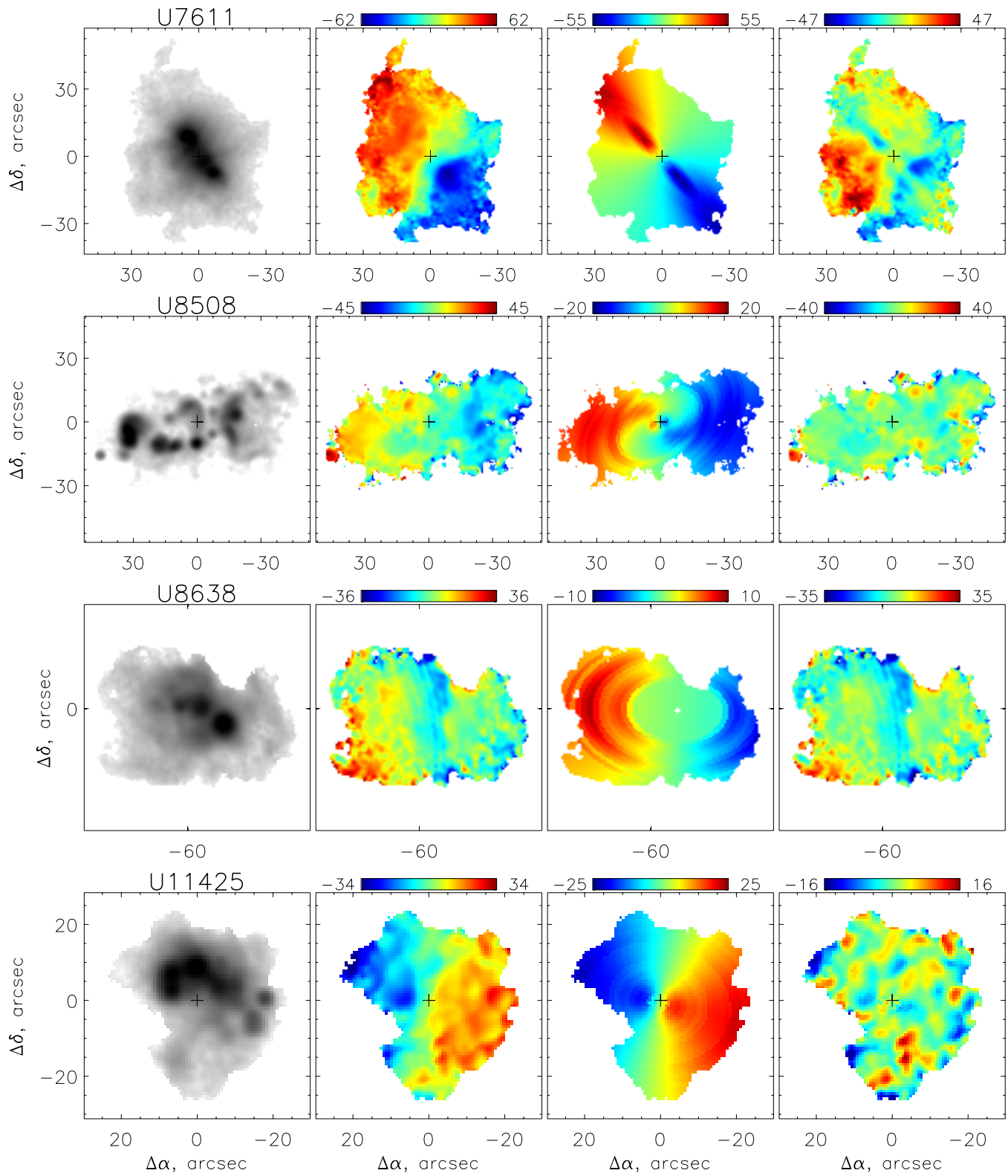


Рис. 1. (Продолжение)

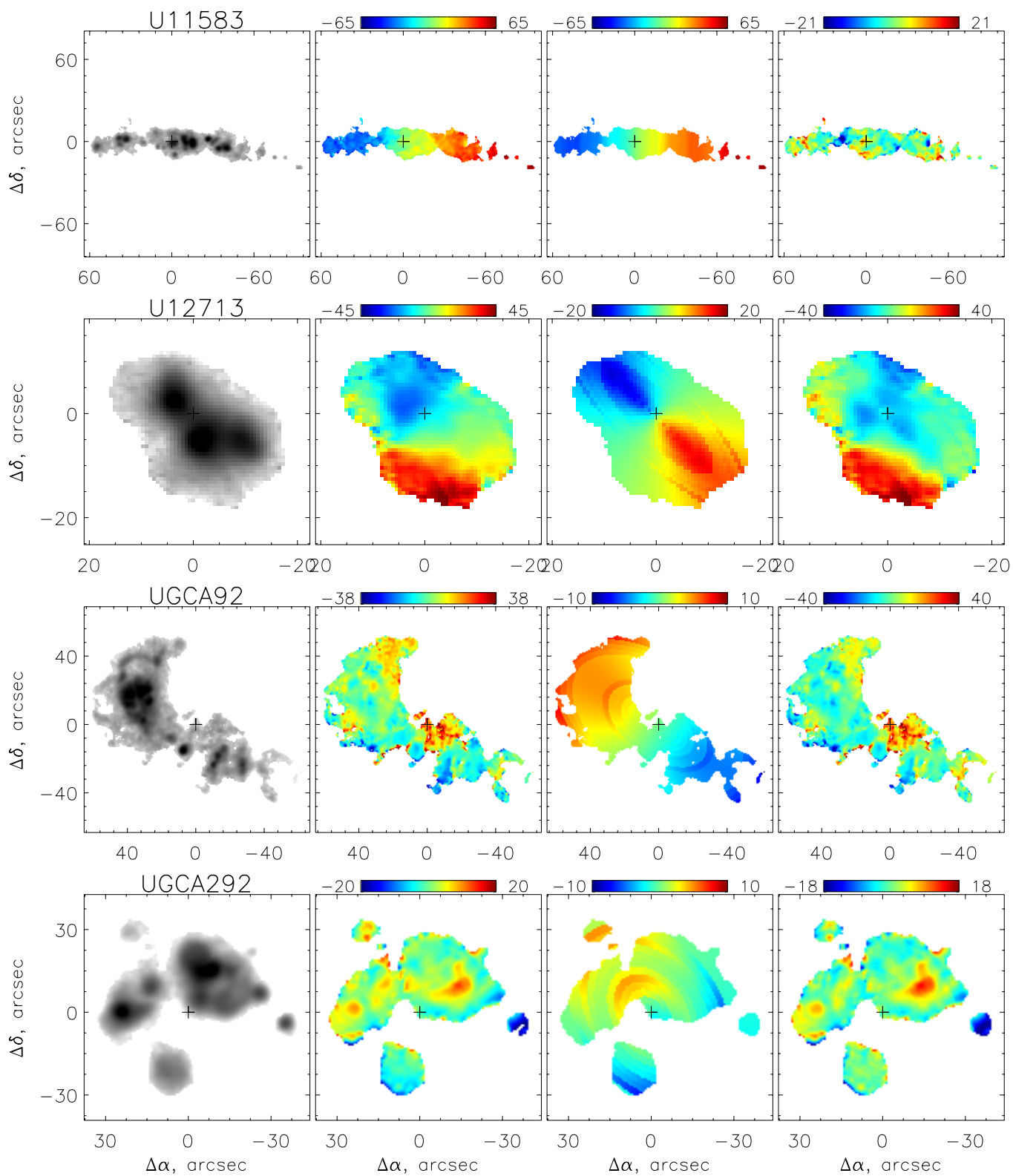
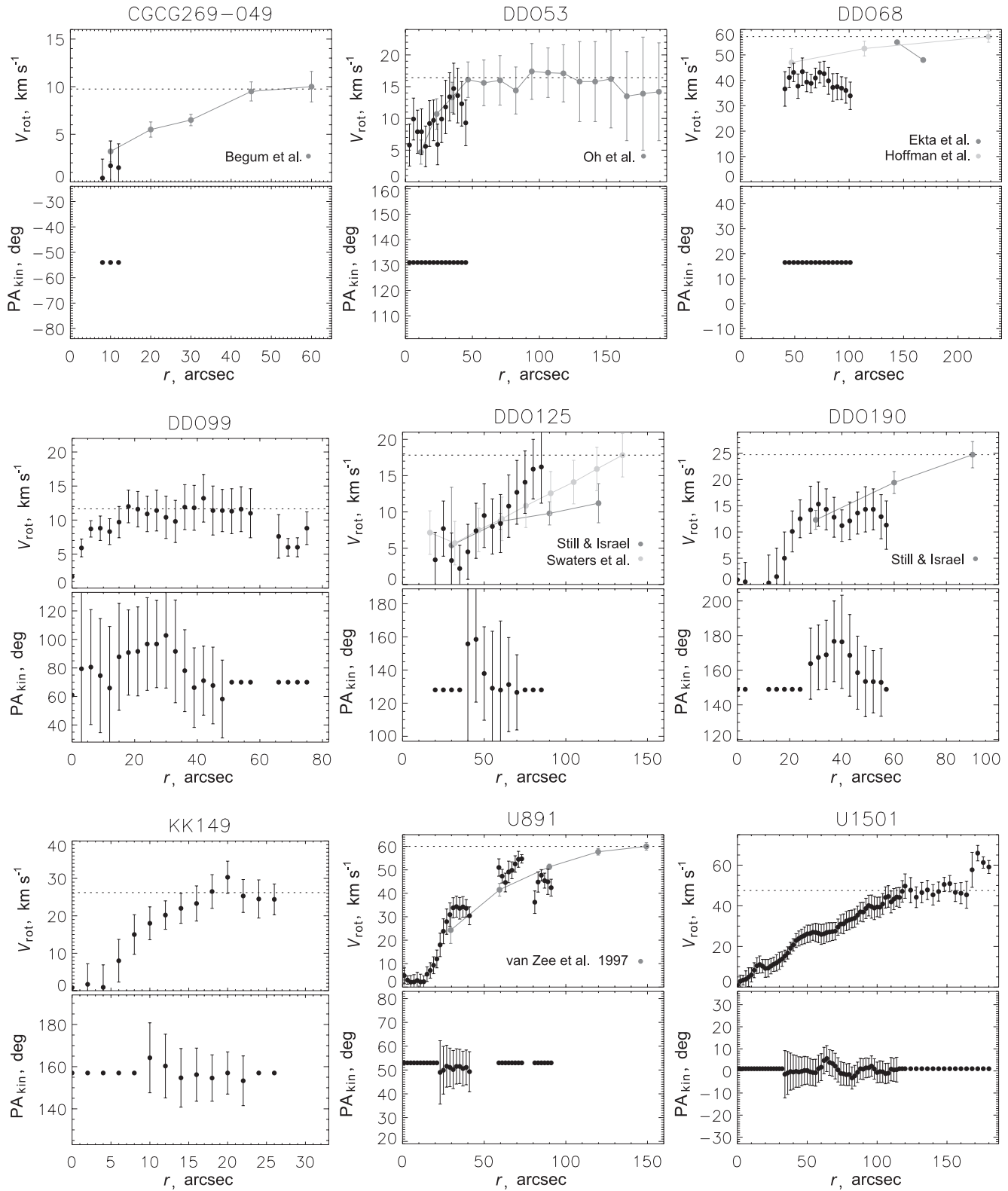


Рис. 1. (Продолжение)



**Рис. 2.** Кривые вращения и радиальные изменения  $PA_{\text{kin}}$  для галактик с умеренным наклоном диска. Черные кружки — наши измерения по полям скоростей в  $N\alpha$ , серые — данные из литературы. Пунктиром отмечена принятая величина  $V_{\text{max}}$ .

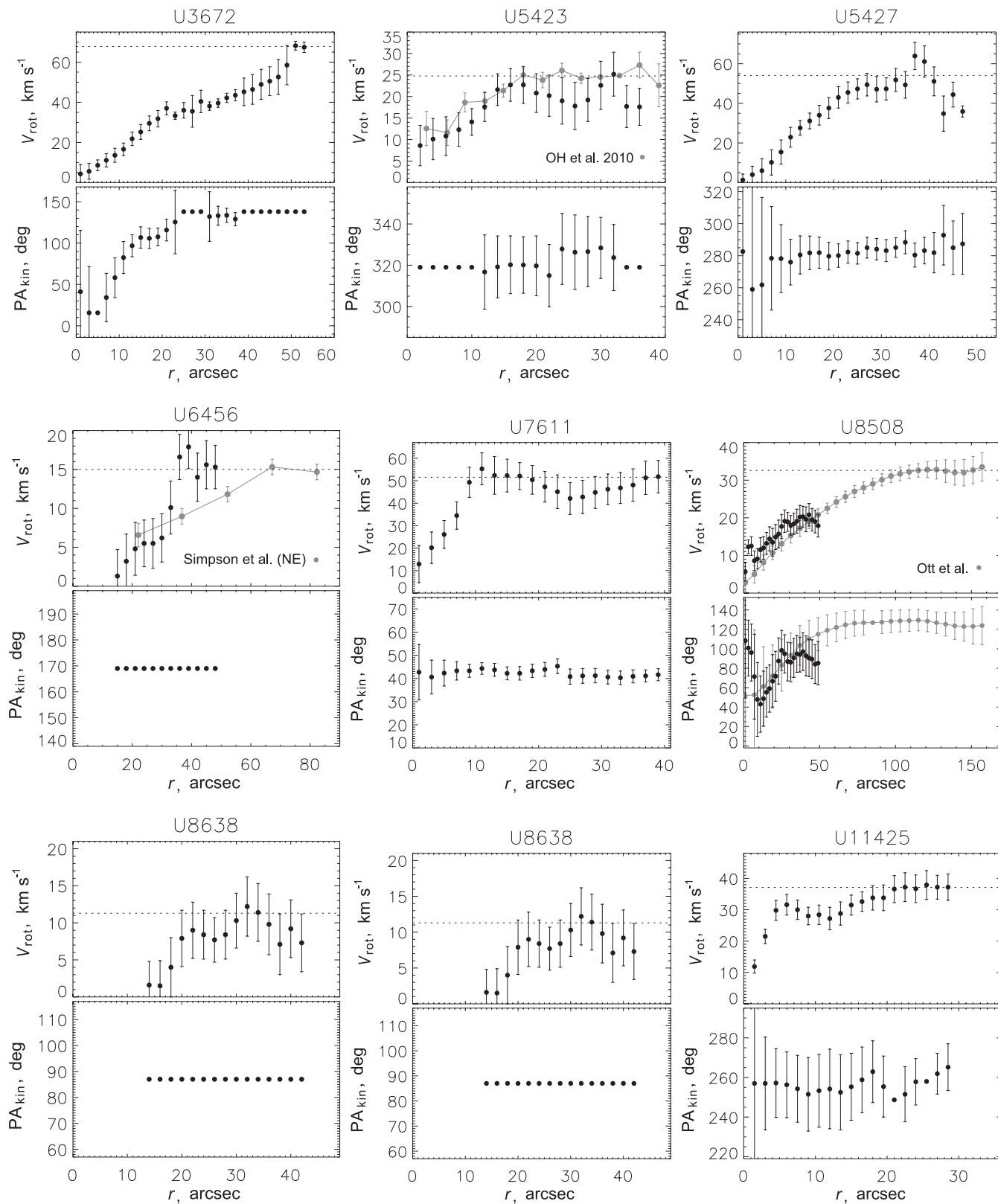


Рис. 2. (Продолжение)

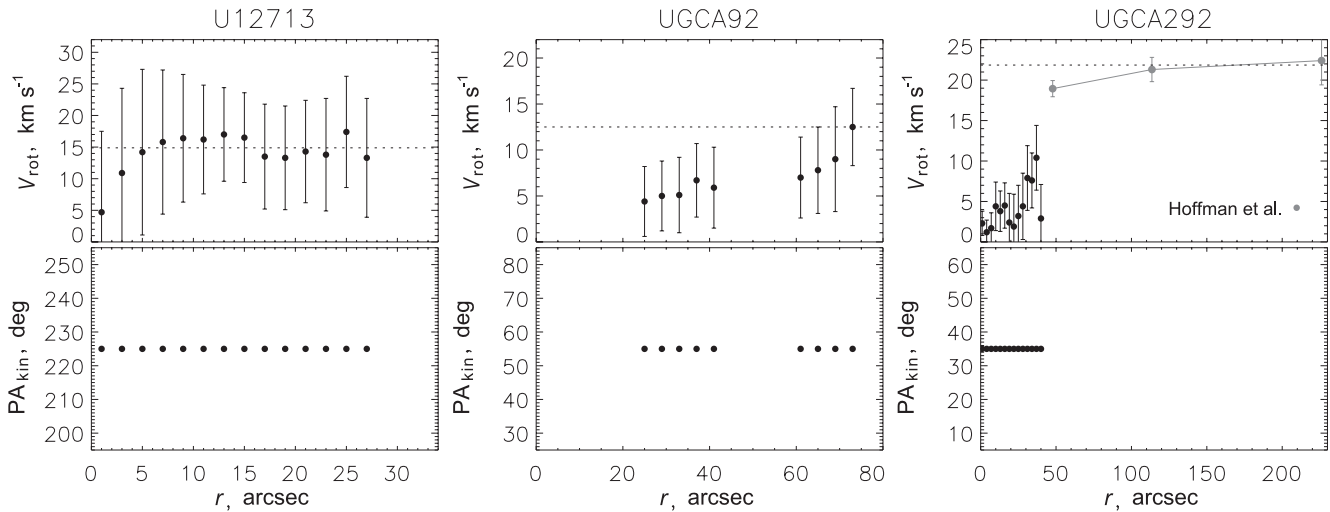


Рис. 2. (Продолжение)

оценках) или для тех, где в поле скоростей уже не хватало точек для уверенной оценки позиционного угла, полагалось  $PA_{\text{kin}} = PA_0$ . Кривые вращения для дисков, наблюдаемых с ребра, показаны на Рис. 3. При возможности, мы сравнивали кривые вращения с имеющимися в литературе данными о кинематике HI.

В Таблице 2 указаны принятые в нашей работе параметры  $V_{\text{sys}}$ ,  $PA_0$ ,  $i_0$ . Диапазон ошибок указан только для параметров, измеренных нами по полям скоростей ионизованного газа. Там же приведена максимальная скорость вращения  $V_{\text{max}}$ . Если кривая вращения выходит на четкое плато, то  $V_{\text{max}}$  определялась как среднее значение  $V_{\text{rot}}$  в указанном диапазоне радиусов ( $r_{\text{max}}$ ). Если же во внешних частях диска рост скорости вращения не прекращался, то за  $V_{\text{max}}$  принималась скорость самой крайней точки. В этом случае значок “>” показывает, что речь идет лишь о нижнем пределе, а  $r_{\text{max}}$  соответствует расстоянию рассмотренной точки от центра галактики. Если имелась более протяженная кривая вращения HI, то оценки  $V_{\text{max}}$ , выполнялись по ней, в этом случае в последнем столбце таблицы, стоит примечание “HI.”

## 5. ЗАМЕЧАНИЯ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ГАЛАКТИКАМ

*CGCG 269-049.* Эмиссия ионизованного газа наблюдается только в центральной части галактики. Градиент лучевых скоростей, обусловленный круговым вращением, почти не заметен. В поле скоростей доминируют пекулярные движения, связанные, скорее всего, с ядерной областью HII (истечения или расширяющаяся оболочка). В то же время, согласно [17], кинематика HI на больших расстояниях от центра следует регулярному

вращению, хотя возмущение от области звездообразования также заметно и в поле скоростей HI. Мы приняли ту же величину  $i_0$ , что была измерена в [17] по картам HI, она хорошо согласуется с оптическим изображением галактики. Оценка  $PA_0$  взята из HyperLeda.<sup>2</sup> Построенная с этими параметрами модель указывает на формально очень низкую скорость вращения ионизованного газа, менее  $2 \text{ km s}^{-1}$  на  $r < 12''$ . Кривая вращения HI, показанная для сравнения на Рис. 2, была построена нами методом “наклонных колец” по полю скоростей, любезно предоставленному авторами работы [17]. Здесь для  $r < 30''$  использовалось поле с разрешением  $\text{beam} = 28 \times 24''$ , а для внешних областей — данные с более низким разрешением ( $\text{beam} = 42 \times 37''$ ).

*DDO 53.* Ранее в этой галактике нами были обнаружены несколько расширяющихся оболочек [10]. На первый взгляд, поле скоростей выглядит хаотически. Но после маскирования пекулярных областей в нем заметен регулярный градиент лучевой скорости, согласующийся с картиной, наблюдаемой с более низким пространственным разрешением в HI [17, 18]. Параметры ориентации были приняты в согласии с измерениями [18] по полю скоростей нейтрального водорода. Отметим, что измерения по полю скоростей  $H\alpha$  дают близкую величину позиционного угла:  $PA_{\text{kin}} = 127 \pm 8^\circ$ . Кривые вращения в HI и HII согласуются в пределах ошибок, за исключением внешних областей диска в  $H\alpha$ , где кривая вращения HI выходит на плато.

*DDO 68.* Эмиссия  $H\alpha$  наблюдается только в отдельных областях HII, но градиент лучевой скорости в направлении север–юг хорошо заметен.

<sup>2</sup><http://leda.univ-lyon1.fr>

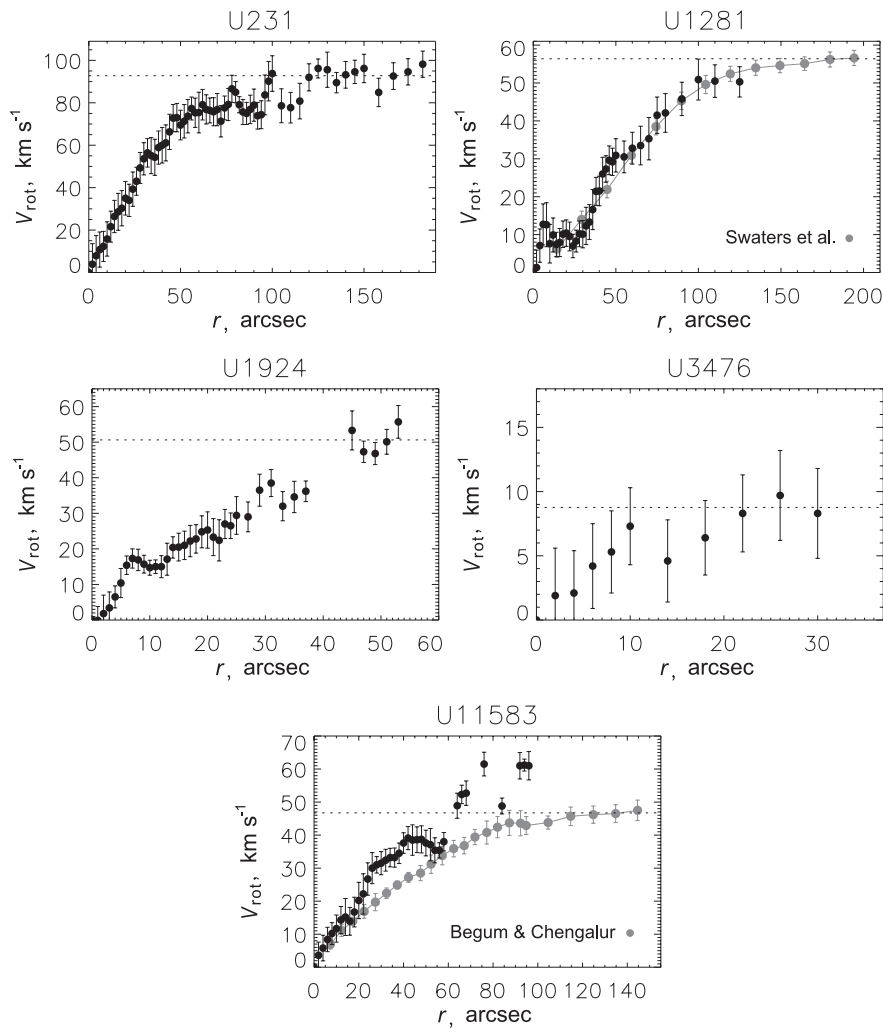


Рис. 3. Кривые вращения галактик, видимых с ребра. Обозначения те же, что и на Рис. 2.

Параметры ориентации диска по нашим данным измерить не удается. Поэтому для  $\text{PA}_0$  и  $i_0$  взяты фотометрические оценки [19], которые удовлетворительно согласуются с картами Н I, приведенными в [20]. На карте остаточных скоростей (Рис. 2) заметные пекулярные скорости наблюдаются только в областях к северу от центра, на  $r \approx 10\text{--}40''$ . Возможно, это связано с несовершенством нашей модели, так как из-за нехватки значащих точек в этой области предполагалось твердотельное вращение с последующим выходом на плато. К сожалению, авторы [20] дают оценку скорости вращения Н I только в двух точках, по разные стороны от ядра. Сравнение с измерениями [21] по картам, построенным на радиотелескопе Агесибо, показывает, что скорость вращения по Н II на тех же  $r$  систематически ниже, чем по нейтральному водороду (данные [21] пересчитаны к  $i_0 = 65^\circ$ ). Возможно, различие вызвано отсутствием областей Н II, расположенных вдоль большой оси галактики, так что

неопределенность в оценке  $\text{PA}_0$  приводит к уменьшению  $V_{\text{rot}}$ . Кроме того, согласно [20] особенности морфологии и кинематики Н I указывают на то, что галактика пережила недавнее взаимодействие, что привело к возмущению ее газового диска.

*DDO 99.* Параметры ориентации диска взяты из фотометрических оценок [22]. Поле скоростей хорошо заполнено, скорости большинства областей в диске соответствуют модели кругового вращения. Измеренные нами значения  $\text{PA}_{\text{kin}}$  в пределах ошибок согласуются с принятым  $\text{PA}_0$  (Рис. 2). Тем удивительнее сравнение с опубликованными картами Н I. С одной стороны, распределение поверхностной плотности Н I [1, 23] хорошо согласуется с оптической морфологией, т.е. вытянуто вдоль  $\text{PA} = 60\text{--}70^\circ$ . Но с другой стороны,  $\text{PA}_{\text{kin}}$  в поле скоростей Н I (см. Рис. 17 в [23]) развернут почти перпендикулярно к большой оси в распределении плотности, так что  $\text{PA}_{\text{kin}} = 130\text{--}150^\circ$ . А скорость вращения никак не меньше, чем  $25\text{--}30 \text{ км с}^{-1}$ ,

Таблица 2. Параметры галактик

Name	$V_{\text{sys}}$ , км с <sup>-1</sup>	$PA_0$ , deg	$i_0$ , deg	$V_{\text{max}}$ , км с <sup>-1</sup>	$r_{\text{max}}$ , arcsec	Note
CGCG 269-049	$139 \pm 1$	306	43	$9.8 \pm 0.9$	45–60	HI
DDO 53	$27 \pm 2$	131	27	$16.4 \pm 2.6$	106–153	HI
DDO 68	$511 \pm 1$	17	65	$> 57.2 \pm 2.2$	228	HI
DDO 99	$249 \pm 1$	70	52	$11.7 \pm 1.4$	42–57	
DDO 125	$200 \pm 1$	128	63	$> 17.8 \pm 3.0$	134	HI
DDO 190	$153 \pm 2$	149	60	$> 24.7 \pm 2.5$	90	HI
KK 149	$410 \pm 2$	$157 \pm 5$	58	$26.2 \pm 2.0$	18–26	
KKH 12	–	–	–	–	–	
KKH 34	–	–	–	–	–	
KKR 56	–	–	–	–	–	
U 231	$835 \pm 2$	$56 \pm 3$	90	$92.8 \pm 2.2$	120–158	
U 891	$637 \pm 1$	$53 \pm 2$	$65 \pm 3$	$> 60.0 \pm 1.6$	149	HI
U 1281	$140 \pm 1$	$220 \pm 1$	90	$56.4 \pm 1.4$	179–194	HI
U 1501	$183 \pm 2$	$1 \pm 2$	75	$47.5 \pm 1.5$	120–160	
U 1924	$586 \pm 1$	$181 \pm 1$	90	$50.6 \pm 1.8$	45–53	
U 3476	$439 \pm 3$	$60 \pm 3$	$90 \pm$	$8.8 \pm 1.9$	22–30	
U 3672	$984 \pm 3$	138	56	$67.8 \pm 1.7$	51–53	
U 5423	$354 \pm 1$	$319 \pm 3$	$56 \pm 5$	$24.8 \pm 0.9$	20–39	HI
U 5427	$484 \pm 3$	$281 \pm 4$	$55 \pm 5$	$54.1 \pm 2.8$	31–41	
U 6456	$-116 \pm 2$	169	66	$15.0 \pm 0.7$	67–82	HI
U 7611	$487 \pm 1$	$42 \pm 2$	77	$51.5 \pm 5.2$	37–39	
U 8508	$60 \pm 2$	$126 \pm 3$	$51 \pm 3$	$32.6 \pm 1.2$	121–157	HI
U 8638	$275 \pm 1$	87	49	$11.3 \pm 2.2$	30–34	
U 11583	$113 \pm 2$	$268 \pm 1$	90	$46.7 \pm 1.6$	124–144	HI
U 11425	$-167 \pm 2$	$255 \pm 5$	35	$37.1 \pm 1.8$	21–28	
U 12713	$285 \pm 2$	225	72	$14.9 \pm 2.9$	13–27	
UGCA 92	$-108 \pm 2$	$55 \pm 5$	56	$> 12.5 \pm 4.2$	73	
UGCA 292	$297 \pm 1$	35	45	$21.9 \pm 1.7$	113–226	HI

что значительно превышает наши оценки по HI. Такое несоответствие морфологии и кинематики может указывать на то, что диск нейтрального водорода нестационарен, сформировался относительно недавно в результате взаимодействия или внешней аккреции и вращается в плоскости сильно наклоненной к основной галактике. При этом во внутренних областях орбиты газовых облаков уже

спрециссировали в плоскость звездного диска, что мы и видим в ионизованном газе.

*DDO 125.* Изображение в  $H\alpha$  клочковатое, в нем выделяются многочисленные расширяющиеся оболочки [10]. В то же время лучевые скорости неплохо согласуются с моделью кругового вращения. Галактика неоднократно картировалась в HI (см. [1, 23, 24], там же ссылки на более ранние



работы). Нами приняты те же  $PA_0$  и  $i_0$ , что были измерены в [24] по полю скоростей нейтрального водорода. Кривые вращения Н I и Н II согласуются в пределах ошибок. Относительный рост скорости вращения в  $H\alpha$  на  $r > 70''$  скорее всего является артефактом, связанным с некруговыми движениями в северо-западной области звездообразования.

*DDO 190.* На  $r \leq 20''$  вращение ионизованного газа почти не наблюдается, здесь доминируют пекулярные движения. На больших расстояниях от центра поле скоростей следует модели кругового вращения, с параметрами ориентации, фиксированными в наблюдениях в Н I [25]. В поле остаточных скоростей выделяется область вдоль малой оси галактики, а также отдельные ионизованные оболочки. Кривая вращения Н II выходит на плато при  $r > 30''$ , но более протяженная кривая в Н I показывает дальнейший рост.

*KK 149.* В самой внутренней области ( $r \leq 5''$ ) вращение ионизованного газа отсутствует. В остальном поле скоростей следует круговому вращению. В поле остаточных скоростей заметны возмущения, связанные с оболочками вокруг областей Н II. Наклон  $i_0$  по кинематике определяется очень неуверенно, потому мы взяли данные из HyperLeda. В то же время позиционный угол, измеренный по полю скоростей, хорошо согласуется с имеющимися фотометрическими оценками.

*KKH 12, KKH 34 и KKR 56.* Здесь наблюдаются только отдельные компактные области Н II. Модель вращения построить не удалось.

*UGC 231.* После вычитания модели “вращающегося цилиндра” из наблюдаемого поля скоростей остаточные скорости в северо-западной части диска систематически ниже, чем в юго-восточной. Скорее всего это говорит о небольших отклонениях ( $0.5-1^\circ$ ) угла наклона от  $i = 90^\circ$ . Построенная нами кривая вращения хорошо согласуется с измерениями [26] по ионизованному газу. При этом наши измерения тянутся дальше, до  $r \approx 180''$ . Согласно наблюдениям [27], диск Н I наблюдается до  $r \approx 300''$ . При этом максимальная скорость вращения составляет  $98 \pm 3 \text{ км с}^{-1}$ , что близко к нашей оценке.

*UGC 891.* В [28] по данным наблюдений в Н I получено  $i = 60 \pm 5^\circ$  и  $PA = 48 \pm 2^\circ$ , что близко к измеренным нами параметрам ориентации диска. Как и в случаях DDO 190 и KK 149, здесь почти незаметно вращение ионизованного газа в центральной области. На  $r > 20''$  кинематика Н II следует модели регулярного вращения. Скорости внешних изолированных областей Н II согласуются с более протяженной кривой вращения в Н I [28].

*UGC 1281.* Хорошее согласие с приближением вращающегося цилиндра. Кривая вращения Н II прекрасно согласуется с измерениями в Н I [24].

*UGC 1501.* Из анализа поля скоростей мы получили  $i = 65 \pm 5^\circ$ ,  $PA = 1 \pm 2^\circ$ . Но такая величина  $i$  выглядит явно недооцененной, так как внешние изофоты галактики соответствуют большему наклону. Поэтому мы приняли  $i_0 = 75^\circ$  в соответствии с фотометрией [29]. Поле скоростей ионизованного газа было также представлено в работе [30], но наши измерения более глубокие. Скачок скорости вращения на  $r > 170''$  не учитывался в оценке  $V_{\max}$ , так как он соответствует только одной самой внешней области Н II к северу от ядра.

*UGC 1924.* Хорошее согласие с приближением вращающегося цилиндра. Оценка  $V_{\max}$  сделана по самой внешней области Н II, поскольку в отличие от UGC 1501 эти точки соответствуют линейной экстраполяции кривой вращения на меньших  $r$ .

*UGC 3476.* Возможно, что наклон галактики на несколько градусов отличается от принятого  $i_0 = 90^\circ$ . В поле остаточных скоростей на границах ярких областей Н II заметны локальные отклонения до  $20-30 \text{ км с}^{-1}$ . Измеренная максимальная скорость вращения в 2–3 раза ниже, чем ожидается из соотношения Талли–Фишера для галактики с  $M_B = -14$ . Скорее всего, скорость вращения выходит на максимум за пределами диска, излучающего в  $H\alpha$ .

*UGC 3672* Параметры диска приняты согласно фотометрическим оценкам [29], поскольку поле скоростей сильно возмущено. Вращение с  $PA_{\text{kin}}$ , близким к  $PA_0$ , наблюдается только для  $r > 23''$ . В центральной области галактики направление градиента лучевой скорости меняется, так что  $PA_{\text{kin}}$  резко уменьшается (Рис. 2). Рассмотрим возможные объяснения такой кинематики.

(1) Существенные некруговые движения газа. Так,  $PA_{\text{kin}}$  может резко меняться в случае радиальных движений под действием гравитационного потенциала бара (см. обсуждение и ссылки в [11]). Но даже в этом случае изменение  $PA_{\text{kin}}$  почти на  $90^\circ$  является экстраординарным, кроме того на оптических изображениях бар не виден. Предположение об истечении газа под действием мощного звездообразования вызывает сомнения, так как в ядре нет ярких областей Н II. Кроме того, в этом случае следует ожидать значительно увеличения дисперсии скоростей газа или даже раздвоения профиля линии  $H\alpha$ , чего не наблюдается.

(2) Вращение в плоскости, отличной от звездного диска галактики. Наша оценка показывает, что окооядерное поле скоростей можно описать в предположении, что  $PA = 84 \pm 6^\circ$ . Т.е. речь идет о внутреннем наклоненном или даже полярном диске. Такие структуры наблюдаются в ряде близких галактик, в том числе и карликовых (см. обзор [31]). Но распределение яркости в линии

$H\alpha$  для центральной области UGC 3672 соответствует  $PA = 120\text{--}150^\circ$ , что ближе к ориентации большой оси звездного диска, чем к  $PA$  предполагаемой полярной структуры.

(3) Наблюдаемая картина нестационарна, является результатом приливного воздействия или захвата материи разрушенного компаньона. Возможно, что это полярная структура в процессе формирования.

*UGC 5423.* Полученные нами параметры ориентации в пределах ошибок совпадают с измерениями [32] по полю скоростей ионизованного газа. Построенная нами кривая вращения тянется дальше, чем у [32]. В работе [18] по полю скоростей H I получено среднее значение  $i_0 = 44^\circ$ , но при этом отмечалось, что ожидаемый из барионного отношения Талли—Фишера наклон диска должен быть заметно больше и составлять  $59^\circ$ . Поэтому мы считаем нашу оценку  $i_0$  более корректной и лучше соответствующей сплюснутости изофот на изображении галактики. Приведенная на Рис. 2 кривая вращения H I пересчитана из [18] к принятому  $i_0$ . Показаны только точки до  $r = 1$  кпк ( $39''$ ), поскольку на больших расстояниях от центра, по утверждениям авторов, их оценки неуверенны.

*UGC 5427.* Хорошее согласие с приближением кругового вращения, за исключением отдельных областей низкой поверхностной яркости. Падение скорости вращения на  $r > 40''$ , скорее всего, является артефактом, так как здесь имеются измерения только для восточной половины диска.

*UGC 6456.* Хорошо известная голубая компактная галактика с многочисленными ионизованными оболочками вокруг областей звездообразования ([10, 33], там же ссылки на более ранние работы).  $PA_0$ ,  $i_0$  взяты согласно фотометрической оценке [33]. В этой же статье приводится поле скоростей H I, однако параметры ориентации по кинематике нейтрального водорода определяются с большой неопределенностью, так как поле скоростей возмущено и несимметрично, что, возможно, является результатом приливного взаимодействия. Тем не менее, максимальные скорости вращения по H I и H II оказываются близкими (см. Рис. 2, где для сравнения показана кривая вращения H I для северо-западной половины диска галактики). Отклонения лучевых скоростей в  $H\alpha$  от модели кругового вращения связаны как с отдельными расширяющимися оболочками, так и с общей несимметрией газового диска, отмеченной в [33].

*UGC 7611.* В [34] обнаружили, что излучение ионизованного газа наблюдается не только вокруг областей звездообразования, но и далеко за пределами сильно наклоненного диска этой галактики. Дальнейшие спектральные наблюдения [35] показали, что протяженная эмиссионная туманность

представляет собой “галактический” ветер — газ, выброшенный из плоскости диска в результате суммарного воздействия звездных ветров и сверхновых. При этом в самом диске, как показывает построенное нами поле скоростей, кинематика ионизованного газа хорошо согласуется с моделью кругового вращения. Величина  $i_0$  взята согласно фотометрической оценке [35],  $PA_0$  вычислялся по полю скоростей. В областях, где наблюдается галактический ветер, лучевые скорости значительно (до  $50 \text{ км с}^{-1}$ ) отличаются от того, что предсказывает экстраполяция круговой модели вращения. Очевидно, что здесь необходимо применять более сложные кинематические модели, учитывающие геометрию и скорость истечения.

*UGC 8508.* Если наблюдаемый в поле скоростей H II четкий градиент скорости вызван круговым вращением, то он соответствует  $PA_{\text{kin}} = 80\text{--}100^\circ$ . При этом и само изображение галактики в линии  $H\alpha$  вытянуто вдоль этого направления. Однако, такой  $PA$  сильно отличается от ориентации большой оси внешних изофот оптического изображения галактики ( $PA = 123^\circ$ , HyperLeda). Распределение плотности в H I на больших расстояниях от центра также вытянуто вдоль  $PA = 115\text{--}120^\circ$  (см карты в [1, 23]). Таким образом, здесь ситуация похожа на описанные выше случаи рассогласования кинематических параметров во внутренних и внешних областях DDO 99 и UGC 3672. По сравнению с этими галактиками в UGC 8508 наблюдается наиболее регулярные движения ионизованного газа. Ранее нами были выделены две гигантские ионизованные оболочки, а также туманность вокруг кандидата в звезды LBV [10]. Но их вклад в возмущение поля скоростей мал, при построении модели эти области исключались из рассмотрения. Мы провели анализ методом “наклонных колец” поля скоростей H I, полученного на VLA с разрешением  $14 \times 12''$ . Параметры ориентации для внешних областей диска ( $r > 80''$ ) приведены с Таблице 2 и хорошо совпадают с указанными выше фотометрическими оценками. Но на  $r < 50''$  происходит резкий разворот  $PA_{\text{kin}}$ , при этом измерения  $PA_{\text{kin}}$  по H I и H II совпадают. Поэтому для UGC 8508 мы приняли модель изогнутого во внутренней части газового слоя, выходящего из плоскости звездного диска галактики. Похожие сильные внутренние изгибы наблюдается, например, в газовых дисках линзовидной галактики NGC 2685 [36] и карликовой галактики Mrk 370 [37]. Если мы примем для диска ионизованного газа UGC 8508  $PA \approx 90^\circ$ ,  $i \approx 50^\circ$ , то расчет угла между плоскостями звездного диска и диска H II (см. формулу в [12]) дает два значения:  $28^\circ$  и  $86^\circ$ . Последний вариант соответствует почти точно ортогональной взаимной ориентации,

т.е. возможно, что UGC 8508 содержит внутренний полярный диск.

*UGC 8638.* Поле скоростей хорошо заполнено эмиссией  $H\alpha$ , но выделить регулярное вращение на фоне пекулярных движений достаточно сложно. Параметры ориентации диска взяты из HyperLeda.

*UGC 11425.* В поле скоростей доминирует регулярное круговое вращение. Угол наклона принят согласно фотометрии [19],  $PA_0$  уточнялся по полю скоростей.

*UGC 11583.* Поле скоростей хорошо описывается моделью вращающегося цилиндра, но кривая вращения  $H\beta$  не всегда совпадает с более протяженной кривой вращения  $H\alpha$  из работы [38]. Во-первых, выход на плато в  $H\beta$  наблюдается раньше, уже на  $r = 40''$ , что возможно связано с лучшим пространственным разрешением в наших данных. Более высокая скорость вращения по  $H\alpha$  на  $r = 60-100''$  соответствует цепочке областей  $H\beta$  на западном краю диска. Сложно понять, почему их лучевые скорости на  $15-20 \text{ км с}^{-1}$  больше, чем максимальная скорость вращения. Возможно они являются частью приливной структуры.

*UGC 12713.* Параметры ориентации диска взяты согласно результатам анализа карт  $H\alpha$  [39]. В поле скоростей ионизованного газа — заметный разворот изовел. Скорости на южном краю диска более чем на  $30 \text{ км с}^{-1}$  отличаются от круговой модели. Наиболее вероятное объяснение таких пекулярных движений — приливное возмущение.

*UGCA 92.* Эмиссия  $H\alpha$  наблюдается в основном в многочисленных расширяющихся ионизованных оболочках [10]. Вклад регулярного вращения в поле скоростей незначителен, но выделить его можно. Наклон  $i_0$  принят согласно наблюдениям в  $H\alpha$  [1]. Распределение плотности  $H\alpha$  за пределами оптического диска сложное, так что внешние изоденсы  $H\alpha$  развернуты почти перпендикулярно к оптическому изображению. Для  $PA_0$  дается наша оценка по изофотам изображения POSS 2.

*UGCA 292* Галактика с протяженным диском нейтрального водорода, соответствующие карты приведены в [40, 41]. К сожалению, в линии  $H\alpha$  наблюдается лишь несколько областей  $H\beta$  вблизи центра галактики. Скорость вращения в ионизованном газе не превышает  $10 \text{ км с}^{-1}$ , что в два раза меньше, чем максимальная скорость вращения в  $H\alpha$ , показанная на Рис. 2 согласно [21] (данные пересчитаны к принятому  $i_0$ ). Оценка  $i_0$  взята из [41], а  $PA_0$  — из [40].

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами построены и проанализированы поля скоростей ионизованного газа в 28 близких карликовых галактиках. Полученные результаты (кривые вращения, оценки максимальной скорости вращения) могут быть полезны для изучения распределения массы в этих объектах. В частности, они уже используются в нашей работе [42]. Отметим несколько моментов, касающихся внутренней кинематики рассмотренных галактик.

(1) Амплитуда возмущения скоростей ионизованного газа под действием процессов звездообразования в карликовых галактиках может даже превышать величину скорости вращения. Тем не менее, в подавляющем большинстве случаев (в 25 галактиках) успешно выделяется кинематический компонент, связанный с регулярным круговым вращением. Построенные нами кривые вращения  $H\beta$ , как правило, хорошо согласуются с данными измерений по нейтральному водороду, с учетом различия пространственного разрешения.

(2) В нескольких случаях картина вращения ионизованного газа сильно отличается от той, что следует ожидать, исходя из ориентации внешних оптических изофот или крупномасштабного поля скоростей  $H\alpha$ . Так, в DDO 99 внутренняя часть газового диска, наблюдаемая в линии  $H\alpha$ , лежит в плоскости звездного диска, в то время как внешний газ, наблюдаемый в линии  $21 \text{ см}$ , выходит из этой плоскости. Скорее всего, такие структуры являются результатом взаимодействия с компаньоном или внешней аккреции газа. Следы приливных возмущений заметны в полях скоростей UGC 6456, UGC 11583, UGC 12713 и UGC 3672. В последнем случае похоже, что внутренняя часть диска ионизованного газа вращается под большим углом к звездному диску. Наиболее детально изменение ориентации орбит газовых облаков удается проследить в UGC 8508. Здесь внешний диск  $H\alpha$  совпадает с плоскостью звездного, но во внутренней области наблюдается изгиб газового слоя, отслеживаемый как в  $H\alpha$ , так и в  $H\beta$ . Возможно, что весь ионизованный газ в UGC 8508 вращается в плоскости, ортогональной к звездному диску галактики.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проводилась при финансовой поддержке фонда некоммерческих программ “Династия,” программы Министерства образования и науки РФ (проект 8523), гранта РФФИ 13-02-00416 и программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН ОФН-17 “Активные процессы в галактических и внегалактических объектах.” Использовалась база внегалактических

данных NASA/IPAC (NED), управляемая Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с NASA (США), и база данных HyperLeda. Статья основана на данных наблюдений 6-м телескопа САО РАН, работающего при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (контракты 16.518.11.7073 и 14.518.11.7070). Автор благодарит Jayaram Chengalur и Ayesha Begum, любезно предоставивших оригинальные данные, опубликованные в их статьях, Анатолия Клыпина и Семёна Пустильника за полезное обсуждение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Begum, J. N. Chengalur, I. D. Karachentsev, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **386**, 1667 (2008).
2. D. A. Hunter, D. Ficut-Vicas, T. Ashley, et al., *Astronom. J.* **144**, 134 (2012).
3. A. G. Doroshkevich, V. N. Lukash, and E. V. Mikheeva, *Physics Uspekhi* **55**, 3 (2012).
4. G. Östlin, P. Amram, J. Masegosa, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **137**, 419 (1999).
5. T. A. Lozinskaya, A. V. Moiseev, V. Y. Avdeev, and O. V. Egorov, *Astronomy Letters* **32**, 361 (2006).
6. B. Epinat, P. Amram, and M. Marcelin, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **390**, 466 (2008).
7. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005).
8. A. V. Moiseev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 74 (2002).
9. A. V. Moiseev and O. V. Egorov, *Astrophysical Bulletin* **63**, 181 (2008).
10. A. V. Moiseev and T. A. Lozinskaya, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **423**, 1831 (2012).
11. A. V. Moiseev, J. R. Valdés, and V. H. Chavushyan, *Astronom. and Astrophys.* **421**, 433 (2004).
12. A. V. Moiseev, *Astrophysical Bulletin* **63**, 201 (2008).
13. A. V. Moiseev, S. A. Pustilnik, and A. Y. Kniazev, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **405**, 2453 (2010).
14. L. Staveley-Smith, R. D. Davies, and T. D. Kinman, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **258**, 334 (1992).
15. P. Kamphuis, R. F. Peletier, R.-J. Dettmar, et al., *Astronom. and Astrophys.* **468**, 951 (2007).
16. A. V. Zasov and A. V. Khoperskov, *Astronomy Letters* **29**, 437 (2003).
17. A. Begum, J. N. Chengalur, I. D. Karachentsev, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **365**, 1220 (2006).
18. S.-H. Oh, W. J. G. de Blok, E. Brinks, et al., *Astronom. J.* **141**, 193 (2011).
19. D. A. Hunter and B. G. Elmegreen, *Astrophys. J. Suppl.* **162**, 49 (2006).
20. Ekta, J. N. Chengalur, and S. A. Pustilnik, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **391**, 881 (2008).
21. G. L. Hoffman, E. E. Salpeter, B. Farhat, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **105**, 269 (1996).
22. R. L. Fingerhut, M. L. McCall, M. Argote, et al., *Astrophys. J.* **716**, 792 (2010).
23. J. Ott, A. M. Stilp, S. R. Warren, et al., *Astronom. J.* **144**, 123 (2012).
24. R. A. Swaters, R. Sancisi, T. S. van Albada, and J. M. van der Hulst, *Astronom. and Astrophys.* **493**, 871 (2009).
25. J. M. Stil and F. P. Israel, *Astronom. and Astrophys.* **389**, 42 (2002).
26. W. J. G. de Blok and A. Bosma, *Astronom. and Astrophys.* **385**, 816 (2002).
27. M.-H. Rhee and T. S. van Albada, *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **115**, 407 (1996).
28. L. van Zee, R. J. Maddalena, M. P. Haynes, et al., *Astronom. J.* **113**, 1638 (1997).
29. L. van Zee, *Astronom. J.* **119**, 2757 (2000).
30. R. A. Kandalyan, A. M. Khassawneh, and A. T. Kaloghlian, *Astrophysics* **46**, 74 (2003).
31. A. V. Moiseev, *Astrophysical Bulletin* **67**, 147 (2012).
32. O. Daigle, C. Carignan, P. Amram, et al., *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **367**, 469 (2006).
33. C. E. Simpson, D. A. Hunter, T. E. Nordgren, et al., *Astronom. J.* **142**, 82 (2011).
34. S. S. Kaisin and I. D. Karachentsev, *Astronom. and Astrophys.* **479**, 603 (2008).
35. A. Moiseev, I. Karachentsev, and S. Kaisin, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **403**, 1849 (2010).
36. G. I. G. Józsa, T. A. Oosterloo, R. Morganti, et al., *Astronom. and Astrophys.* **494**, 489 (2009).
37. A. Moiseev, in *EAS Publications Series*, Ed. by M. Koleva, P. Prugniel, and I. Vauglin (2011), Vol. 48, pp. 115–118.
38. A. Begum and J. N. Chengalur, *Astronom. and Astrophys.* **424**, 509 (2004).
39. E. Noordermeer and J. M. van der Hulst, *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.* **376**, 1480 (2007).
40. K. Y. Lo, W. L. W. Sargent, and K. Young, *Astronom. J.* **106**, 507 (1993).
41. L. M. Young, L. van Zee, K. Y. Lo, et al., *Astrophys. J.* **592**, 111 (2003).
42. A. V. Moiseev and A. V. Tikhonov, submitted to *Monthly Notices Royal Astronom. Soc.*

## **Ionized Gas Rotation Curves in Nearby Dwarf Galaxies**

**A. V. Moiseev**

We present the results of study of the ionized gas velocity fields in 28 nearby (systemic velocity below  $1000 \text{ km s}^{-1}$ ) dwarf galaxies. The observations were made at the 6-m BTA telescope of the SAO RAS with the scanning Fabry–Perot interferometer in the  $H\alpha$  emission line. We were able to measure regular circular rotation parameters in 25 galaxies. As a rule, rotation velocities measured in H II are in a good agreement with the data on the H I kinematics at the same radii. Three galaxies reveal position angles of the kinematic axis in the H II velocity fields that strongly (tens of degrees) differ from the measurements in neutral hydrogen at large distances from the center or from the orientation of the major axis of optical isophotes. The planes of the gaseous and stellar disks in these galaxies most likely do not coincide. Namely, in DDO 99 the gaseous disk is warped beyond the optical radius, and in UGC 3672 and UGC 8508 the inclination of orbits of gas clouds varies in the inner regions of galaxies. It is possible that the entire ionized gas in UGC 8508 rotates in the plane polar to the stellar disk.

Keywords: *galaxies: kinematics and dynamics—galaxies: dwarf—ISM: general*