АСТРОФИЗИКА

TOM 55

НОЯБРЬ, 2012

выпуск 4

ОПТИЧЕСКИЕ И НІ СВОЙСТВА ИЗОЛИРОВАННЫХ ГАЛАКТИК КАТАЛОГА 2MIG. II. СООТНОШЕНИЕ ТАЛЛИ-ФИШЕРА

IO.H.КУДРЯ¹, В.Е.КАРАЧЕНЦЕВА² Поступила 2 августа 2012 Принята к печати 12 сентября 2012

Построены прямые, обратные и ортогональные регрессии зависимостей Талли-Фишера (ТФ) в *B*- и *K*-полосах для изолированных галактик каталога 2MIG на основании данных каталога и базы HyperLEDA. Наклон зависимостей ТФ становится круче при переходе от *B*- к *K*-полосе, а также от ранних к поздним морфологическим типам. Разброс зависимостей для сильно наклоненных спиралей поздних типов оказался в 1.3 (*B*) и 1.8 (*K*) раза меньше, чем для спиралей с произвольным наклоном. Для многопараметрических обобщений обратных зависимостей ТФ в *B*-полосе определены статистически значимые регрессоры.

Ключевые слова: галактики:изолированные галактики:зависимость Талли-Фишера

1. Введение. Зависимость Талли-Фишера [1] (далее ТФ), т.е. линейное соотношение между абсолютной величиной галактики и логарифмом ширины линии H1 21 см, отражает фундаментальную связь между барионной массой (*K*_s-светимостью) диска и скоростью врашения. Она широко используется при моделировании внутреннего строения галактик и для определения расстояния до галактик независимо от красного смещения. К настоящему времени зависимости ТФ в различных вариантах построены для галактик скоплений и поля; для разных морфологических подтипов спиралей и для карликовых галактик; в оптическом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах. При создании выборок и построении зависимостей ТФ авторы применяют различные способы учета наблюдательной селекции (см., например, обзорные разделы в статьях [2-4] и цитированную в них литературу).

Начиная с работы Ааронсона и др. [5], исследователями широко использовались данные фотометрии в ИК диапазоне. Преимущества ИК зависимости ТФ подробно описаны в обзоре [6], в частности, она лучше, чем оптическая, отражает внутреннее строение галактик. Для решения задач о крупномасштабном распределении галактик на основе зависимости ТФ необходимы обширные однородные выборки галактик, равномерно распределенных по небу. Фотометрическую однородность и массовость вполне обеспечивает обзор 2MASS (Two Micron All Sky Survey) [7], выполненный в трех полосах ИК-диапазона: $J(1.1 - 1.36)\mu$, $H(1.5 - 1.8)\mu$, $K_s(2.0 - 2.32)\mu$. Он содержит около 2.6 млн протяженных источников со звездными величинами K_s ярче 14^m.5. Из этого обзора было выделено 1.64 млн галактик с $K_s \le 14^m.5$ и утловыми диаметрами более 10^{°°}, которые составили 2MASS Extended Source Catalog, XSC [8]. Для объектов каталога XSC представлено большое число фотометрических и структурных параметров, определенных по единообразным процедурам; он охватывает все небо. Это обусловило использование каталога XSC при создании ряда новых каталогов, в частности, каталога плоских галактик 2MFGC [9]. Данные XSC также были использованы [10] для построения зависимостей ТФ галактик каталога RFGC [11] и определения параметров их коллективных движений [12].

Каталоги 2MFGC и RFGC содержат галактики, находяшиеся в общем поле либо на периферии сверхскоплений галактик. Экстремальным случаем галактик поля может быть выборка изолированных галактик, т.е. таких объектов, которые не подвергались значительному воздействию со стороны ближайших соседей за последние 1-2 млрд лет. Это означает, что их наблюдаемые характеристики в основном определяются начальными условиями образования и внутренними эволюционными процессами.

Каталог изолированных галактик 2MIG [13] создан на основе фотометрически однородного обзора 2MASS, охватывающего все небо [7]. Критерий изолированности выделил из каталога 2MASS XSC [8] 3227 галактик (~6%) с величинами $4^m.0 \le K_S \le 12^m.0$ и угловыми диаметрами $a \ge 30^\circ$, которые оказались достаточно равномерно распределенными в проекции на небо. Полнота каталога 2MIG составляет ~80% на $K_S = 11^m.5$. Критерий отбора и общее описание каталога детально объяснены в [13]. В работе [14] выполнено статистическое описание данных и получены соотношения между общими характеристиками в оптическом, ближнем ИК и радиодиапазонах для галактик каталога 2MIG. В настоящей работе мы рассматриваем различные варианты зависимости ТФ для галактик 2MIG, определяем изменение наклона регрессии ТФ для разных морфологических типов и формируем оптимальные подвыборки галактик с минимальными разбросами зависимостей ТФ.

2. Описание исходных данных. В этой работе, аналогично предылущей [14], мы используем характеристики галактик из базы данных HyperLEDA (http://leda.univ-lyon1.fr/), а также фотометрию в K_s -полосе, гелиоцентрические лучевые скорости V_h и морфологические типы из каталога 2MIG. Из 3227 галактик каталога 2MIG в базе данных HyperLEDA отождествлено 3070 галактик. Из HyperLEDA была взята V_m (максимальная скорость вращения V_{mx} , исправленная за наклон галактики к лучу зрения). Для построения диаграммы ТФ в оптическом и ИК вариантах ширина линии 21 см, W_{so} , принималась как $W_{so} = 2V_{nw}$. Ширина линии корректировалась за космологическое расширение $W_{so}^c = W_{so}/(1 + z)$, где $z = V_h/c$. Абсолютная *B*-величина, $M_{B'}$ исправленная за Галактическое поглошение и внутреннее поглошение, бралась в готовом виде из HyperLEDA ($M_{B} = mabs$). Абсолютная K_{s} -величина, $M_{K'}$ вычислялась по видимой величине K_{s} , взятой из каталога 2MIG, и по значению лучевой скорости $V_{LG'}$ которая, согласно [15], пересчитывалась из приведенной в каталоге 2MIG гелиоцентрической скорости. Постоянная Хаббла принята равной 72 км/с/Мпк. Величины K_{s} были исправлены за поглошение в Галактике и за внутреннее поглощение: $K_{s, curr} = K_s - A_K^G - A_K^m$. Поглошения A_B^G , A_B^m брались из HyperLEDA для *B*-полосы и пересчитывались для K_{s} -величин с коэффициентом 0.084, согласно [16]. Внутреннее поглошение A_B^m имеется в HyperLEDA не для всех галактик, при его отсутствии оно считалось нулевым. Мы также использовали приведенные в базе HyperLEDA значения угла наклона галактики к лучу зрения и другие характеристики (о них подробно написано в последующих разделах).

Чтобы избежать сильного влияния пекулярных скоростей, мы исключили 31 близкую галактику с $V_{LG} < 700$ км/с. Числа галактик в выборках определяются наличием необходимых данных в каталоге 2MIG и в НурегLEDA. В итоге для построения зависимостей ТФ в *B*- и *K*-полосах (далее ТФ-*B* и ТФ-*K*) мы использовали соответственно 1023 и 1075 галактик, назовем эти выборки 2MIG-1023 и 2MIG-1075.

В табл. І приведены распределения галактик по типам для всего каталога 2MIG и выборок 2MIG-1023 и 2MIG-1075 (в абсолютных значениях и в процентах). Кодировка типов в цифровой системе де Вокулера дана в скобках.

Таблица 1

Тип	E	SO	Sa	Sab	Sb	Sbc	Sc	Scd	Sd	Sdm	Sm,Im
Код	(-2)	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9,10)
2MIG-All	234	376	419	355	588	449	429	232	79	48	18
%	7.3	11.7	13.0	11.0	18.2	13.9	13.3	7.2	2.4	1.5	0.6
2MIG-1023	7	44	90	113	232	172	191	119	32	17	6
%	0.7	4.3	8.8	11.0	22.7	16.8	18.7	11.6	3.1	1.7	0.6
2MIG-1075	7	47	93	115	246	179	202	126	35	19	6
%	0.7	4.4	8.7	10.7	22.9	16.7	18.8	11.7	3.3	1.8	0.6

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛАКТИК КАТАЛОГА 2MIG И ВЫБОРОК 2MIG-1023, 2MIG-1075 ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ТИПАМ

Как видно из табл.1, скорости вращения у галактик 2MIG ранних типов (Е и S0) измерены менее чем для 10% объектов; они недостаточно измерены и у галактик типа Sa. Начиная с типа Sab до самых поздних, доля галактик с измеренными скоростями вращения примерно соответствует таковой в общем каталоге или даже превышает ее. Галактики поздних типов практически отсутствуют в каталоге 2MIG, что объясняется селективностью ИК обзора по отношению к слабым голубым объектам. Однако вклад галактик Sdm и Sm-Im в число галактик с измеренными вращательными скоростями соответствует их доле в каталоге. Заметим также, что средние лучевые скорости галактик отдельных типов в наших выборках близки к таковым по всему каталогу.

На рис.1 представлено распределение по небу галактик выборки 2MIG-1075.



Рис.1. Распределение галактик выборки 2MIG-1075 по небу в галактических координатах.

Выборка 2МІG-1075 является заведомо неполной, и в проекции на небо видны сгушения и пустоты. Отметим повышенную плотность галактик в области $30^{\circ} < l < 130^{\circ}$, $-45^{\circ} < b < -10^{\circ}$. Здесь из ~120 галактик около четверти имеют радиальные скорости V_{LG} в интервале от 5000 км/с до 6000 км/с, что соответствует скоростям галактик в сверхскоплении Персей-Рыбы.

3. Зависимости Талли-Фишера в В- и К-полосах. При построении зависимости ТФ обычно сразу ограничивают выборки галактик условиями отбора (угол наклона больше 45°, поздние спирали, исключение галактик на низкой галактической широте, а также галактик с пекулярной морфологией). На первом этапе мы не делали этих исключений. Сначала мы построили зависимости ТФ-В и ТФ-К для всех галактик из выборок 2MIG-1023 и 2MIG-1075 соответственно в виде "абсолютная величина - логарифм ширины линии". В первых пунктах табл.2 и табл.3 представлены параметры прямой (d), обратной (i) и ортогональной (o) линейных регрессий для этих выборок в *B*- и *K*-полосах. Регрессии мы принимали в виде y = kx + b, причем для прямой и ортогональной регрессий $y = M_{B, K}$, $x = \log W_{50}^c$, для обратной $x = M_{B, K}$, $y = \log W_{50}^c$. Параметры ортогональных регрессий вычислялись при отношении масштабов 1:5 и 1:6 для ТФ-*B* и ТФ-*K* зависимостей соответственно. Подробности построения ортогональных регрессий описаны в работе [14].

Видно, что зависимости для выборок 2MIG-1026 и 2MIG-1075, представленных галактиками всех морфологических типов, имеют большой разброс. Далее из этих выборок мы формируем оптимальные выборки, рассматривая зависимости ТФ для каждого морфологического типа.

На рис.2 представлены коэффициенты наклона прямой и ортогональной регрессий зависимости ТФ для галактик всех типов. При расчетах галактики типов T=9, 10 были объединены; положение точки соответствует средневзвешенному типу. Понятно, что для галактик ранних типов зависимости ТФ носят формальный характер, а точки для типов 9 и 10 относятся к очень малому числу галактик, и данные не могут считаться объективными.



Рис.2. Зависимость коэффициентов наклона ТФ-*B* (а) и ТФ-*K* (b) от морфологического типа. Нижние графики соответствуют прямым регрессиям, верхние - ортогональным.

Из рис.2 видно, что в целом для спиральных галактик модули коэффициентов наклона прямой, k_{o} , и ортогональной, k_{o} , регрессий увеличиваются от типа Sa к более поздним как для *B*-, так и для *K*- зависимостей. При этом k_{o} для дисковых поздних спиралей становится близким к ожидаемому значению (-10), т.е. $L \propto V_{rot}^{4}$. Мы не нашли связи коэффициентов k_{i} обратных регрессий и морфологического типа, в отличие от результатов [4].

Мы объединили галактики типов Sbc - Sdm с большими наклонами зависимостей T Φ в единые выборки *B* (*N* = 531) и *K* (*N* = 561). Такое объединение основано, в частности, на результатах работы [3], где по данным

Ю.Н.КУДРЯ, В.Е.КАРАЧЕНЦЕВА

фотометрии в *I*-полосе показано, что для галактик Sbc и более поздних нет необходимости внесения дополнительных коррекций в зависимость ТФ.

На рис.3 прямая регрессия обозначена коротким штрихом, обратная длинным. Сплошной линей проведена ортогональная регрессия. Эллипс на рис.3 соответствует 95% уровню функции максимального правдоподобия в предположении двумерного гауссова распределения точек.



Рис.3. Зависимости ТФ для изолированных 2MIG- галактик типов Sbc - Sdm. (a) - выборка N = 531, (b) - выборка N = 561.

Затем мы исключили из выборок B(N=531) и K(N=561) те галактики, которые оказались вне эллипса 95% вероятности. Параметры регрессий для очищенных выборок B(N=489) и K(N=527) приведены в пунктах 2 табл.2 и 3.

После исключения "отклонянтов" уменьшение значения о в регрессиях трех видов (d, i, o) составило (18-22%) для ТФ-В и (20-26%) для ТФ-К

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ЛИНЕЙНЫХ РЕГРЕССИЙ ТФ-В ЗАВИСИМОСТЕЙ

n	Выборка	Регрессия	σ, mag	k	b
1	2MIG - 1023	d	0.821	-2.71±0.14	-13.70±0.36
		1	0.154	-0.0955±0.0051	0.55±0.10
		0	0.646	-5.655±0.049	-6.30±0.12
2	Sbc-Sdm, 95%, N= 489	d	0.623	-4.49±0.22	-9.33±0.56
		1	0.093	-0.1004±0.0050	0.44±0.10
		0	0.403	-7.659±0.070	-1.38±0.17
3	Sbc-Sdm, $incl \ge 80^{\circ}$, 95%, $N = 169$	d	0.533	-6.15±0.34	-5.18±0.84
		i	0.071	-0.1087±0.0059	0.27±0.12
		0	0.305	-8.191±0.085	-0.06±0.21

482

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ЛИНЕЙНЫХ РЕГРЕССИЙ ТФ-К ЗАВИСИМОСТЕЙ

п	Выборка	Регрессия	σ, mag	k	b
1	2MIG - 1075	d	0.917	-3.93±0.16	-13.57±0.39
		i	0.143	-0.0952±0.0038	0.278±0.088
		0	0.696	-6.712±0.038	-6.595±0.097
2	Sbc-Sdm, 95%, N= 527	d	0.664	-6.45±0.22	-7.08±0.56
		i	0.081	-0.0956±0.0033	0.284±0.077
		0	0.411	-8.919±0.048	-0.90±0.12
3	Sbc-Sdm, <i>incl</i> \ge 80°, 95%, N = 187	d	0.426	-8.81±0.26	-1.11±0.65
		i	0.045	-0.0982±0.0029	0.230±0.067
		0	0.230	-9.778±0.047	1.32±0.12

зависимостей. Ортогональные регрессии для очищенных выборок B(N=489) и K(N=527) показаны на обеих панелях рис.3 штрих-пунктирными линиями, которые мало отличаются от линий ортогональных регрессий для выборок B(N=531) и K(N=561).

4. Возможные причины сильных отклонений от линии регрессии; зависимость $T\Phi$ для галактик, видимых с ребра. Причины сильных отклонений галактик от линии регрессии $T\Phi$ могут быть обусловлены ошибками в исходных наблюдательных данных, неверными коррекциями, неучетом эффектов селекции и т.д. Как было сказано в разделе 3, обычно делается предварительный отбор галактик для построения зависимости $T\Phi$ (часть галактик исключается сразу). Таким образом, на разброс зависимости $T\Phi$ влияет и способ исключения галактик. В этой работе мы вначале построили зависимости $T\Phi$ для галактик с необходимыми данными в базе HyperLEDA, исключив самые близкие с $V_{LG} < 700$ км/с. Далее мы рассматривали только спиральные галактики типов Sbc-Sdm, для которых были построены зависимости $T\Phi$ и затем исключены объекты, находящиеся вне эллипса 95% вероятности.

В выборке B(N=531), вне эллипса находятся 42 галактики; в выборке K(N=561) - 34 галактики, причем 21 галактика присутствует в обоих списках "отклонянтов". Мы пересмотрели изображения и проверили данные для "отклонянтов". Для части галактик объяснения сильных отклонений от линии регрессии могут быть такими: пекулярная морфология, которая может искажать профиль линии HI, а также влиять на измерение лучевой скорости (9 объектов); низкая поверхностная яркость галактики, приводящая к ошибкам в определении характеристик, зашумленность линии HI (1 объект); влияние сильного поглощения у галактик на низкой Галактической широте (4 объектов), которое не подтвердилось при измерении

Ю.Н.КУДРЯ, В.Е.КАРАЧЕНЦЕВА

отношений осей для изображений галактик; у галактик с углом наклона 20°-45° неверная поправка за наклон влияет на скорректированные значения звездной величины и ширины линии (7 объектов).

Рассмотрим детально последний из перечисленных пунктов. При фиксированной ошибке определения синуса угла наклона, которое обычно делается по видимому и принимаемому истинному отношению осей, ошибка скорости вращения с уменьшением наклона растет как $(\sin i)^{-1}$. Мы строили зависимости ТФ для выборок B (N=531) и K (N=561), последовательно исключая галактики условием $i > i_{min}$, начиная с $i_{min} = 20^{\circ}$ с шагом 5° до 85°. На рис.4 представлен ход разброса (суммарного, зависящего от разных причин) относительно линии ортогональной регрессии при изменении минимального угла наклона галактики. Как видно, с увеличением i_{min} разброс в целом уменьшается, достигая минимума при $i_{min} = 80^{\circ}$.



Рис.4. Изменение разброса от линий ортогональных регрессий зависимостей ТФ-В (а) и ТФ-К (b) с увеличением минимального угла наклона галактики.

Зависимости ТФ для выборок В (N = 182) и К (N = 194) сильно наклоненных спиралей представлены на двух панелях рис.5. Линия с коротким штрихом - прямая, с длинным штрихом - обратная, сплошная линия - ортогональная линейная регрессия. Эллипсы на рис.5 соответствуют 95%- уровню функции максимального правдоподобия в предположении двумерного гауссового распределения точек.

Затем мы исключили из выборок B(N=182) и K(N=194) те галактики, которые оказались вне эллипса 95%-й вероятности. Параметры регрессий для очищенных выборок B(N=169) и K(N=187) приведены в пунктах 3 табл.2 и 3. После исключения "отклонянтов" уменьшение значения σ в регрессиях трех видов (d, i, o) составило (23-24%) для ТФ-B и (21-22%) для ТФ-K зависимостей. Ортогональные регрессии для выборок B (N = 169) и K (N = 187) показаны на обеих панелях рис.5 штрих-пунктирными линиями, которые мало отличаются от линий ортогональных линейных регрессий для выборок B (N = 182) и K (N = 194). (На правой панели они практически совпадают).



Рис.5. Зависимости ТФ для сильно наклоненных изолированных 2MIG- галактик типов Sbc - Sdm. (a) - выборка N = 182, (b) - выборка N = 194.

Сравнивая данные табл.2 и 3, видим, что дисперсия зависимостей ТФ существенно меньше для галактик, наблюдаемых с ребра, чем для галактик с произвольными ориентациями галактик. Это справедливо и для *В*- и для *К*-полосы. Однако при рассмотрении только сильно наклоненных галактик ценой вопроса становится резкое (примерно на 2/3) сокращение числа объектов.

Таким образом, для изолированных галактик каталога 2МІС мы подтвердили результат, полученный Караченцевым [17]: для изолированных галактик каталога КИГ [18], наблюдавшихся в линии НІ [19], разброс на зависимости ТФ существенно уменьшается с ростом отношения осей *a/b*, т.е. при переходе к дисковым спиральным галактикам поздних типов. Добавим, что для сильно наклоненных галактик разброс ТФ-*K* существенно меньше, чем ТФ-*B*, для всех видов регрессии - прямой, обратной, ортогональной (сравнить третьи пункты в табл.2 и 3). Это, в частности, демонстрирует, что фотометрия в *K*-полосе менее подвержена влиянию пыли.

5. Многопараметрические зависимости Талли-Фишера в В-полосе. Многопараметрические зависимости ТФ используют для того, чтобы путем введения дополнительных регрессоров учесть возможные причины разброса обычных (двупараметрических) зависимостей ТФ. В данной работе мы используем обобщение двумерной обратной зависимости в виде:

$$\log(W_{50}^c) = y = c_1 + c_2 \cdot M_B + c_3 \cdot bri\,25 + c_4 \cdot \log r\,25 + c_5 \cdot T + c_6 \cdot (btc - itc).$$
(1)

Здесь параметры bri 25 - средняя поверхностная яркость в пределах изофоты 25 mag/arcsec², log r 25 - логарифм отношения диаметров, измеренных на этой изофоте, (btc-itc) - показатель цвета (разность скорректированных B и *I*-величин) взяты из базы данных HyperLEDA. Параметр *T*-морфологический тип в шкале де Вокулера - взят из каталога 2MIG.

Выбор обратной регрессии определяется тем, что она не подвержена (или подвержена в меньшей степени) эффекту Малмквиста [20]. Кроме того, во всех рассмотренных нами случаях двумерных зависимостей с *B*-величиной линия обратной регрессии всегда оказывалась ближе к линии ортогональной регрессии, чем линия прямой регрессии. Считая, что ортогональная регрессия наиболее адекватно отображает зависимость в двумерном случае, мы рассмотрели многопараметрические обобщения обратных *B*-регрессий.

Параметры шести параметрических зависимостей (1) мы рассчитали для галактик с произвольными наклонами (N = 393) и для сильнонаклоненных спиралей (N = 143). Из них затем были исключены галактики, лежащие вне эллипса 95% вероятности.

Сначала мы вычислили параметры регрессии (1), затем последовательно отбрасывали те коэффициенты, которые оказались незначимыми. Мы задавались значением статистики Фишера $F_{1,\infty} = 3.84$ для 95% уровня значимости. В табл.4 представлены параметры итоговых регрессий, вычисленных методом наименьших квадратов. Во второй строке таблицы под коэффициентами формулы (1) приведены соответствующие им регрессоры. В четвертом столбце, кроме среднеквадратичного отклонения σ , представлены также процентные улучшения по сравнению с обычной обратной двупараметрической регрессией. В столбцах с пятого по десятый, кроме *Таблица 4*

n	Выборка	nny	σ	C,	<i>C</i> ₂	с,	<i>c</i> ,	Cs	C,
				1	M _B	bri 25	log r 25	T	btc- itc
1	393	3	0.114 3%	-	-0.1150 ±0.0009 (14752)	-	0.112 ±0.025 (19.3)	-	0.099 ±0.012 (68.4)
2	361, 95%	5	0.091 6%	0.622 ±0.137 (20.7)	-0.0913 ±0.0059 (236)	-	0.088 ±0.022 (16.3)	-0.0205 ±0.0052 (15.9)	0.076 ±0.011 (47.4)
3	143	5	0.063 31%	-	-0.0945 ±0.0050 (351)	0.0223 ±0.0056 (16.1)	0.159 ±0.043 (13.6)	-0.0270 ±0.0062 (18.6)	0.101 ±0.013 (64.9)
4	134, 95%	5	0.051 23%		-0.1176 ±0.0017 (4588)	-	0.126 ±0.035 (13.3)	-0.0110 ±0.0049 (5.1)	0.093 ±0.010 (81.2)

ПАРАМЕТРЫ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБРАТНЫХ РЕГРЕССИЙ ДЛЯ ЗАВИСИМОСТИ ТФ-В

значений коэффициентов регрессий, мы приводим ошибки коэффициентов и их значимость по Фишеру (в скобках).

На основании данных табл.4. можно сделать следующие выводы.

Основной регрессор с абсолютной величиной оказался существенно более значимым, чем другие регрессоры (статистика Фишера на 2-3 порядка больше).

Для всех случаев высоко значимым оказался регрессор с цветом *btc-itc*. Поскольку цвет и тип у галактик скоррелированы, результаты, приведенные в двух последних столбцах табл.4, в какой-то мере подтверждают реальность найденного тренда наклона зависимостей ТФ от типа (рис.2).

Регрессор с отношением осей для всех выборок оказался значимым. Это понятно, поскольку логарифм отношения осей используют для коррекции видимой величины за внутреннее поглощение, а также для исправления за наклон наблюдаемой вращательной скорости.

Регрессор с поверхностной яркостью оказался незначимым для всех выборок, кроме неочищенной выборки N = 143 галактик с ребра. Это может быть связано с ненадежными данными о поверхностных яркостях, представленными в базе HyperLEDA (см. [14]). Мы обсудим результаты о влиянии поверхностной яркости на зависимость ТФ в следующем разделе.

Как видно из табл.4, использование дополнительных регрессоров оказалось малоэффективным для галактик с произвольным наклоном к лучу зрения (3% и 6% уменьшение σ по сравнению с двупараметрическими регрессиями для выборок N=391 и N=361). Однако для галактик, которые видимы с ребра, уменьшение σ оказалось существенным (31% и 23%, соответственно).

6. Обсуждение и выводы. Для изолированных галактик каталога 2MIG, отождествленных в базе данных HyperLEDA, после исключения сильно отклоняющихся галактик мы получили такие ортогональные зависимости Талли-Фишера:

1) Для галактик с произвольными наклонами к лучу зрения:

 $M_B = (-7.659 \pm 0.070) \log W_{50} - 1.38 \pm 0.17 \quad (\sigma_o = 0.403, N = 489),$ (2)

 $M_{K} = (-8.918 \pm 0.048) \log W_{50}^{c} - 0.90 \pm 0.12 \quad (\sigma_{o} = 0.411, N = 527).$ (3)

2) Для галактик, наблюдаемых практически с ребра:

 $M_B = (-8.191 \pm 0.085) \log W_{50}^c - 0.06 \pm 0.21 \quad (\sigma_o = 0.305, \ N = 169), \quad (4)$

 $M_{K} = (-9.778 \pm 0.047) \log W_{50}^{c} + 1.32 \pm 0.12 \quad (\sigma_{v} = 0.230, N = 182).$ (5)

Наклон зависимости ТФ при переходе от В-полосы к К-полосе становится более крутым. Это было найдено ранее и в нашей работе для плоских спиральных галактик, видимых с ребра [10], а также для зависимостей ТФ для спиральных галактик скоплений и поля [2-4]. Отметим также, что коэффициент наклона ортогональной регресии (5) в К-полосе для видимых с ребра галактик достаточно близок к значению -10, что соответствует соотношению $L \propto V_{rov}^4$.

Принятые разумные ограничения (*Туре* ≥ 4 , $V_{LG} \geq 700$ км/с, 4-8% галактик-"отклонянтов") дают для *К*-полосы $\sigma_M = 0.411$ и наклон -8.918 (формула (2)). Это неплохо согласуется с результатами работы [4], в которой для 888 галактик типов Sa, Sb, Sc при разных типах коррекций получены в *К*-полосе наклон от -8.647 до -10.017 и σ_M от 0.372 до 0.398.

Сокрашение же нашей выборки до сильно наклоненных спиралей приводит к значительному уменьшению разброса на зависимостях ТФ и в *В*-и в *К*-полосах (формулы (4) и (5)).

Для изолированных 2MIG галактик тренды дисперсии σ_M и наклона к от морфологического типа такие же, как и у других авторов [3,4].

Мы построили обратные многопараметрические зависимости ТФ в *В*полосе в виде (1) для галактик 2MIG с произвольными наклонами и для сильно наклоненных спиралей. В данной работе в качестве регрессоров мы приняли параметры, аналогичные тем, которые применялись нами [21] для галактик из каталога 2MFGC [9].

Оказалось, что такие дополнительные параметры как цвет и отношение осей являются значимыми, что согласуется с результатами других авторов. Значимость регрессора с поверхностной яркостью (кроме одного случая - см. табл.4) пренебрежимо мала. Этот параметр важен при моделировании строения галактик, однако разные авторы для разных выборок и в разных полосах получают различные результаты. Так, для плоских спиральных галактик оказался значимым параметр, характеризующий класс поверхностной яркости, основанный на глазомерных оценках изображений на O-картах POSS I [22]. Однако для тех же галактик многопараметрическая зависимость ТФ в *J*-полосе по данным 2MASS фотометрии дает статистическую незначимость и для отношения осей, и для цвета (*J-K*), и для эффективной поверхностной яркости [12]. А для галактик в скоплениях Уиллик [20] нашел для обратной зависимости ТФ, основанной на фотометрии в *I*-полосе, слабый, но статистически значимый вклад поверхностной яркости.

Учет различных характеристик галактик при построении зависимостей ТФ требует дополнительных проверок.

Резюмируя, отметим, что использование компилятивных (с возможными ошибками) данных из базы HyperLEDA дало вполне приемлемую точность при построении зависимостей ТФ. Что касается зависимостей ТФ в *К*полосе, мы не обнаружили значимого отличия параметров для изолированных галактик каталога 2MIG и галактик в скоплениях.

Авторы признательны И.Д.Караченцеву за существенные замечания, позволившие улучшить статью. Работа выполнена при поддержке ФФИ

Украины (проект укр-рос.Ф40.2/49). В работе использованы данные базы HyperLEDA.

¹ Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, Украина, e-mail: yukudrya@ukr.net ² Главная астрономическая обсерватория НАН Украины,

Украина, e-mail: valkarach@gmail.com

OPTICAL AND HI PROPERTIES OF ISOLATED GALAXIES FROM 2MIG CATALOG. II. THE TULLY-FISHER RELATION

YU.N.KUDRYA', V.E.KARACHENTSEVA²

We built the direct, inverse and bivariate Tully-Fisher (TF) relations in the B and K bands for the 2MIG isolated galaxies basing on the 2MIG data and the HyperLEDA data base. The slope of the TF relations becomes steeper from B to K band, as well as from early to late morphological types. The dispersion of galaxies on TF relations for highly inclined late-type spirals found to be in 1.3 (B) and 1.8 (K) times smaller than for the spirals with arbitrary inclination. The statistically significant regressors of multiparameter generalizations in the TF-B inverse relationships are determined.

Key words: galaxies:isolated galaxies: Tully-Fisher relations

ЛИТЕРАТУРА

- 1. R.B. Tully, R. Fisher, Astron. Astrophys., 54, 661, 1977.
- 2. B.P.Bamford, astro-ph/0210227.
- 3. K.L.Masters, C.H.Springob, M.P.Haynes, R.Giovanelli, Astrophys. J., 653, 861, 2006.
- 4. K.L. Masters, C.H. Springob, J.P. Huchra, Astron. J., 135, 1738, 2008.
- 5. M.Aaronson, J.Huchra, J.Mould, Astrophys. J., 229, 1, 1979.
- 6. M.Strauss, J.A. Willick, Phys. Reports, 261, 271, 1995.
- M.F.Skrutskie, S.E.Schneider, R.Steining et al., In: The Impact of Large Scale Near-IR SkySurveys, ed. F.Garzon et al. (Netherlands: Kluwer), ASSL, 210, 25, 1997.

- 8. T.N.Jarrett, T.Chester, R.M.Cutri et al., Astron. J., 119, 2498, 2000.
- 9. С.Н.Митронова, И.Д.Караченцев, В.Е.Караченцева и др., Бюлл. Спец. Астрофиз. Обсерв., 57, 5, 2004 (2MFGC).
- 10. I.D.Karachenisev, S.N.Mitronova, V.E.Karacheniseva et al., Astron. Astrophys., 396, 431, 2002.
- 11. I.D. Karachentsev, V.E. Karachentseva, Yu.N. Kudrya et al., Bull. Spec. Astrophys. observ., 47, 5, 1999 (RFGC).
- 12. Yu.N.Kudrya, V.E.Karachentseva, I.D.Karachentsev et al., Astron. Astrophys., 407, 889, 2003.
- В.Е.Караченцева, С.Н.Митронова, О.В.Мельник, И.Д.Караченцев, Бюлл. Спец. Астрофиз. Обс. САО РАН, 65, 1, 2010 (ftp://cdsarc.u-strasb.fr/ pub/cats/Y11/257).
- 14. Ю.Н.Кудря, В.Е.Караченцева, И.Л.Караченцев, Астрофизика, 54, 501, 2011.
- 15. I.D. Karachenisev. D.I. Makarov, Astron. J., 111, 794, 1996.
- 16. D.J.Schlegel, D.P.Finkbeier, M.Davis, Astrophys. J., 500, 525, 1998.
- 17. I.D. Karachentsev, Astron. J., 97, 1566, 1989.
- 18. В.Е.Караченцева, Сообш. САО РАН, 8, 1, 1973.
- 19. M.P. Haynes, R. Giovanelli, Astron. J., 89, 758, 1984.
- 20. J.A. Willick, Astrophys. J., 576, 47, 1999.
- 21. И.Д. Караченцев, Ю.Н. Кудря, В.Е. Караченцева, С.Н. Митронова, Астрофизика, 49, 527, 2006.
- 22. I.D.Karachenisev, V.E.Karacherniseva, Yu.N.Kudrya, S.L.Parnovskii, Astron. Reports, 44, 150, 2000.