

DOI: 10.54503/0571-7132-2023.66.3-317

ПОВЕРХНОСТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ 50 КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК В МЕСТНОМ ОБЪЕМЕ

К.А.КРЫЖАНОВСКИЙ¹, М.Е.ШАРИНА², И.Д.КАРАЧЕНЦЕВ²,
Г.М.КАРАТАЕВА¹

Поступила 28 апреля 2023

Представлены результаты поверхностной фотометрии 50-ти галактик в Местном объеме на основе архивных изображений, полученных на космическом телескопе Хаббла. Для выборки галактик приводятся интегральные величины в полосах V и I , а также профили яркости и цвета. Проведено сравнение полученных фотометрических параметров с измерениями других авторов.

Ключевые слова: *галактики: карликовые галактики: фотометрические параметры - галактики*

1. *Введение.* Стандартная космологическая модель Λ CDM успешно объясняет основные свойства крупномасштабной структуры Вселенной. Однако при переходе на мелкие шкалы порядка 1 Мпк возникают известные расхождения между предсказаниями теории и наблюдательными данными. Наиболее подходящим полигоном для сравнения выводов теории и наблюдений является Местный объем (МО) радиусом 10-12 Мпк вокруг Млечного Пути, для которого плотность наблюдательных данных больше, чем для далеких областей. Выбор указанного радиуса обусловлен тем, что расстояние каждой галактики внутри него может быть измерено с точностью около 5% на космическом телескопе Хаббла всего за один орбитальный период. Первый список галактик Местного объема содержал только 179 объектов [1]. Целенаправленные поиски близких галактик привели к созданию каталогов "A Catalog of Neighboring Galaxies" [2] с числом членов $N=450$ и "Updated Nearby Galaxy Catalog" [3] с $N=869$. За последние годы цифровые обзоры больших участков неба в оптическом диапазоне и в линии водорода 21 см (SDSS, DECaLS, HIPASS, ALFALFA etc.) значительно увеличили популяцию галактик МО. Последняя версия Local Volume Galaxy Database ([4]; www.sao.ru/lv/lvgdb) содержит более 1300 объектов. Значительная часть из них имеет аккуратные оценки расстояний и лучевых скоростей, что особенно важно для анализа распределения темной материи в МО. Интегральная светимость галактики, наряду с ее лучевой скоростью и расстоянием, является одной из самых важных параметров галактики. Из-за быстрого роста популяции

МО многие близкие карликовые галактики низкой поверхностной яркости оказались без надежной фотометрии, имея только грубые визуальные оценки видимых величин. Стала очевидной необходимость существенного укрепления фотометрической базы для галактик МО.

Основной целью данной работы является получение фотометрических параметров галактик с последующим анализом результатов в виде сравнения их со значениями, которые были взяты из других публикаций, а также из обзоров и каталогов. В данной работе не ставится задача исследования свойств галактик, подробной интерпретации результатов и построения различных зависимостей, а лишь дается возможность использовать эти результаты в последующих работах. Наблюдения за галактиками проводились в 2019-2020гг. с помощью Advanced Camera for Surveys (ACS), установленной на борту космического телескопа Хаббла (HST), в фильтрах F606W и F814W, в рамках проекта SNAP 15922 ("Every Known Nearby Galaxy", PI R.B Tully). В результате наблюдений были получены диаграммы цвет-величина для звездного населения 80-ти галактик. Из них для 63-х галактик были определены расстояния по светимости вершины ветви красных гигантов. Изображения наблюдавшихся галактик, диаграммы цвет-величина и измеренные расстояния приведены в "Extragalactic Distance Database" (EDD, [5]) с дополнениями в [6].

2. Фотометрия. Процесс поверхностной фотометрии был аналогичен таковому в статьях [7,8]. Для выполнения фотометрии использовался пакет программ *SURFPHOT*. Это часть большого пакета программ по анализу астрономических данных *MIDAS* (Munich Image Data Analysis System) [9], разрабатываемого в ESO. Был написан соответствующий скрипт, выполняющий различные команды и программы указанного пакета. Для получения интегральных величин использовались круговые и эллиптические апертуры. Процедура поиска центров галактик и моделирование распределения интенсивности по площади объекта были выполнены с помощью процедуры вписывания эллипсов *FIT/ELL3*. Фон неба оценивался и вычитался из изображения с помощью процедуры *FIT/FLAT SKY*, создающей двумерный полином с использованием метода наименьших квадратов. С помощью *SExtractor 2.5.0* ([10,11]) выделялись фоновые объекты. В полученных апертурах интегрировался поток (процедуры *INTEGRATE/APERTURE* и *INTEGRATE/ELLIPS*) и рассчитывались азимутально-усредненные поверхностные яркости.

Результаты фотометрии переводились в стандартную фотометрическую систему Джонсона-Казинса *BVRI* с помощью эмпирических формул:

$$V = V_i + 0.236(V_i - I_i) + 26.325; \quad (V - I) = 1.309(V_i - I_i) + 0.83; \quad I = I_i + 25.495, \quad (1)$$

где величины с подстрочным индексом i измерены в инструментальной фотометрической системе (см. [12]). С помощью полученных интегральных

звездных величин были вычислены величины в фильтре B по соотношению из [13]:

$$B' = V + 0.85(V - I) - 0.20. \quad (2)$$

Параметры профилей для галактик были получены с использованием модели на основе экспоненциальной функции [14]: $\mu(r) = \mu_0 + 1.086(r/h)$, где μ_0 - центральная поверхностная яркость и h - экспоненциальная масштабная длина.

3. Результаты. Основные результаты представлены в табл.1¹.

Табл.1 содержит список фотометрируемых галактик с именами в колонках 1 и 2 и с координатами на эпоху J2000.0 в колонке 3. Морфологические типы галактик и расстояния до них в Мпк из литературы [3] даны в колонках 4 и 5. В колонках 6, 7 и 8 содержатся результаты фотометрии и

Таблица 1

ПОВЕРХНОСТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ 50-ти ГАЛАКТИК МЕСТНОГО ОБЪЕМА, КОТОРЫЕ НАБЛЮДАЛИСЬ С HST В ОБЗОРЕ SNAP 15922

Название	PGC	RA (2000.0) DEC	Тип	D	SBv0	V	I	B'	B_{lit}	A_B	Лит.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UGC 064	000591	000744.0+405232	dIrr	8.16	21.49	15.44	14.97	15.65	15.5	0.34	LV
WOC2017-07	-	005501.0-231009	dIrr	3.62	24.78	17.90	17.37	18.15	18.1	0.07	[16]
AGC 122226	086806	024638.9+274335	BCD	7.71	21.24	15.75	15.03	16.17	17.1	0.53	LV
ESO 300-016	011842	031010.5-400011	dIrr	9.33	22.04	15.92	15.52	16.06	15.6	0.08	LV
UGC 2716	012719	032407.2+174515	Sm	6.66	21.47	14.07	13.36	14.47	14.6	0.59	LV
KKH 22	2807114	034456.6+720352	dTr	3.12	25.00	16.22	15.04	17.02	18.0	1.66	LV
HIPASSJ0517	4078612	051721.6-324535	dIm	9.32	21.13	15.57	15.11	15.76	15.7	0.07	[17]
KKH 34	095594	055941.2+732539	Irr	7.28	24.04	17.02	16.20	17.52	17.1	1.08	LV
ESO 006-001	023344	81923.3-850844	dTr	2.70	22.32	14.68	13.65	15.36	-	0.83	-
KKH 46	2807128	090836.6+051732	dIrr	6.70	23.65	16.45	15.99	16.65	17.0	0.20	[18]
ESO 373-007	027104	093245.4-331444	dIrr	9.77	23.48	15.15	14.32	15.66	16.4	0.58	LV
UGC 5086	027115	093248.9+212754	dSph	8.49	22.67	15.97	15.16	16.44	15.9	0.14	[19]
6dFJ0944201	807172	094420.1-225458	BCD	10.47	21.42	17.12	16.73	17.23	16.8	0.33	[20]
2MASXJ0957	154449	095708.9-091548	BCD	10.13	20.17	15.27	14.45	15.77	15.8	0.29	[20]
MCG -01-26	029033	100138.4-081456	dIrr	9.94	22.24	14.97	14.22	15.40	15.4	0.15	LV
2dFGRS-N21	1099440	100932.5-021058	BCD	10.42	20.92	15.58	15.16	15.75	15.8	0.19	[21]
UGC 5918	032405	104936.5+653150	dIrr	8.50	23.68	14.81	14.06	15.25	15.0	0.05	[13]
Mrk 1265	032413	104940.4+225019	BCD	9.55	20.63	15.13	14.68	15.31	17.0	0.09	LV
KKH 68	2807141	113053.3+140846	dIrr	12.47	23.29	16.12	15.37	16.56	16.6	0.17	[22]
HIPASSJ1131	5060432	113135.2-314020	dIrr	6.90	22.43	18.06	17.59	18.14	18.2	0.30	[23]
KKH 69	2807142	113453.3+110112	dIrr	7.40	23.53	16.80	16.13	17.17	16.6	0.10	[22]

¹ Другие детальные данные нашей фотометрии доступны по индивидуальному запросу к контактному автору статьи.

Таблица 1 (Окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LBTJ115205	[Grapes]	115205.6+544732	dIrr	5.96	23.75	18.10	17.64	18.27	18.5	0.04	LV
EVCC 67	4304796	115840.4+153534	dIrr	16.5	21.12	17.71	17.02	18.10	18.2	0.08	[24]
ESO 379-024	038252	120456.7-354435	dIrr	5.46	22.34	16.44	16.22	16.43	16.6	0.33	LV
SDSSJ1205	4310323	120531.0+310434	Sdm	16.0	21.49	17.20	16.34	17.73	17.6	0.08	[25]
KK 135	166130	121934.7+580234	dIrr	5.46	24.03	17.50	17.33	17.45	18.1	0.05	LV
MCG+09-20	040750	122652.6+530619	BCD	6.12	21.67	15.74	15.25	15.95	15.9	0.10	LV
MCG+00-32	041395	123103.8+014033	dIm	9.42	21.81	15.40	14.31	16.13	15.9	0.08	[26]
WSRT-CVN43	-	123109.0+420539	dIrr	8.13	23.15	17.55	17.48	17.41	17.8	0.08	LV
MCG+07-26	041749	123352.7+393733	dIm	9.94	22.34	15.42	15.04	15.54	16.5	0.06	[27]
KUG1234+29	042115	123714.0+293751	BCD	8.44	20.16	15.35	14.67	15.73	16.3	0.07	[24]
KKSG 30	3097708	123735.9-085202	dIrr	9.73	23.55	16.17	15.56	16.47	16.3	0.14	LV
UGC 7827	042380	123938.9+444915	dIrr	9.09	22.73	15.11	14.78	15.19	16.0	0.08	LV
KDG 178	042413	124010.0+323931	dIrr	13.0	22.80	16.06	15.61	16.22	17.1	0.06	LV
SDSSJ1240	4074723	124029.9+472204	dIrr	7.63	23.93	17.97	17.72	17.97	18.2	0.07	LV
NGC 4627	042620	124159.7+323425	E	6.93	20.32	12.74	11.88	13.27	13.1	0.07	[28]
BTS 151	2832120	124324.6+322856	dSph	7.60	23.01	16.85	16.10	17.29	17.6	0.07	[25]
UGC 7903	042832	124345.0+535732	dIrr	9.66	23.52	16.32	15.87	16.50	16.6	0.06	LV
ESO 219-010	044110	125609.6-500838	dSph	4.29	22.51	15.32	14.19	16.08	16.4	0.96	LV
MCG+07-27	045889	131251.8+403235	BCD	8.99	20.42	14.24	13.58	14.60	14.9	0.06	LV
KK 195	166163	132108.2-313147	dIrr	5.62	23.63	17.03	16.60	17.20	17.1	0.27	LV
NGC 5229	047788	133402.9+475455	Sdm	8.95	21.09	13.51	12.71	13.99	14.3	0.08	[13]
KKs 58	2815824	134600.8-361944	dSph	3.75	23.06	16.39	15.55	16.90	17.4	0.27	LV
ESO 222-010	052125	143503.0-492518	dIrr	3.15	22.34	14.87	14.13	15.31	16.3	1.11	LV
Mrk 475	052358	143905.4+364822	BCD	11.53	20.06	15.56	15.35	15.54	16.3	0.05	[29]
ESO 272-025	052591	144325.5-444219	dIrr	3.91	21.28	13.88	13.05	14.39	14.8	0.69	LV
KK 242	4689184	175248.4+700814	dTr	6.46	24.99	18.38	17.40	19.02	18.6	0.14	[30]
AGC 322463	5067080	225935.3+164611	dIrr	7.97	22.05	17.41	16.95	17.60	17.2	0.58	LV
ESO 347-017	071464	232656.1-372049	dIm	8.42	21.52	14.00	13.48	14.25	14.7	0.07	LV
2DFGRS-S43	704814	235840.7-312803	dIrr	3.66	22.22	15.85	14.90	16.47	16.2	0.07	[16]

анализа профилей яркости в данной работе: центральные поверхностные яркости в фильтре V и интегральные видимые звездные величины в фильтрах V и I фотометрической системы Джонсона-Казинса. В колонке 9 даны звездные величины в фильтре B системы Джонсона-Казинса, вычисленные по измеренным V и I звездным величинам по соотношению (2). Все приведенные в табл.1 звездные величины являются неисправленными за поглощение. Колонка 10 содержит звездные величины галактик в фильтре B системы Джонсона-Казинса из литературы. В колонке 11 приведены значения поглощения света в Галактике в фильтре B в звездных величинах. Литературные ссылки на данные, приведенные в колонке 10, даны в колонке 12. "LV" означает ссылку на последнюю версию базы данных [4] (и ссылки в ней), либо на индивидуальные глазомерные оценки звездной величины

И.Д.Караченцевым.

На рис.1² представлены полученные при фотометрии профили поверхностной яркости. Для каждой галактики приведены следующие панели:верху слева - кривые роста интегральной звездной величины в фильтрах V (темная линия) и I (светлая линия); внизу слева - соответствующая разница между V и I кривыми роста;верху справа - V и I профили яркости в зв. вел./кв.с; внизу справа - соответствующая разница между V и I профилями яркости. Диапазон ошибок фотометрии показан светлыми барами. Подробнее об определении ошибок фотометрии см. в статье [15].

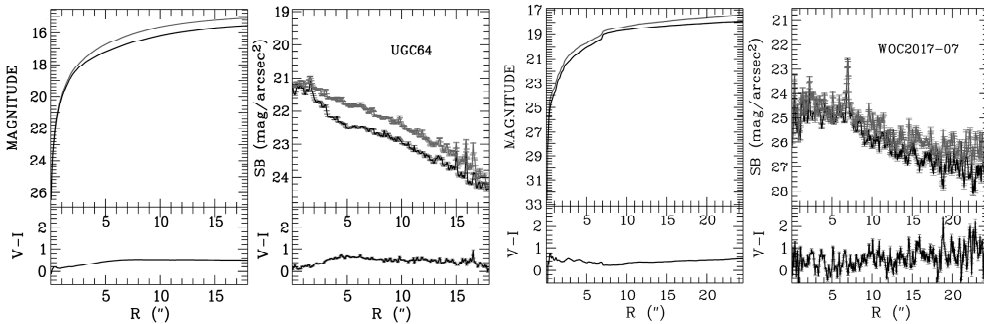


Рис.1. Профили поверхностной яркости и кривые роста интегральной звездной величины 50-ти галактик.

Сравнение результатов фотометрии, переведенных в величину B' (соотношение 2) с литературными фотометрическими оценками (табл.1, колонка 10), дает среднее значение различия $\Delta B = \langle B' - B_{lit} \rangle = +0^m.06 \pm 0^m.07$ и стандартную погрешность $\sigma(\Delta B) = 0^m.30$. После учета ошибок фотометрии в наших и литературных данных, погрешность наших измерений составляет $0^m.2$.

4. Заключительные замечания. В данной работе представлены результаты поверхностной фотометрии 50-ти галактик Местного объема с расстояниями $D < 12$ Мпк. Фотометрия основана на снимках галактик, полученных на космическом телескопе Хаббла в полосах V и I в рамках программы SNAP 15922. Для измерений отбирались объекты, чей диаметр не превышал угловые размеры камеры ACS HST. Определены интегральные V и I величины галактик и построены профили поверхностной яркости в обеих полосах. Сравнение полученных интегральных величин галактик с имеющимися данными из других источников показывает, что погрешность представленных нами оценок интегральных величин составляет около $0^m.2$. Большинство исследованных галактик являются объектами низкой поверхностной яркости

² Продолжение рис.1 см. в конце статьи. Из-за маленьких размеров панелей рис.1 бары диапазонов ошибок четко не видны.

с медианной величиной $SB_{OV} \simeq 22.2$ зв. вел./кв. с.

Авторы признательны Л.Н.Макаровой и Д.И.Макарову за полезные дискуссии. Работа основана на наблюдениях, сделанных с помощью космического телескопа NASA/ESA Hubble Space Telescope и полученных из Hubble Legacy Archive, созданного в сотрудничестве между Space Telescope Science Institute (STScI/NASA), the Space Telescope European Coordinating Facility (ST-ECF/ESAC/ESA) и the Canadian Astronomy Data Centre (CADC/NRC/CSA). Поддержка программы SNAP-15922 (PI R.B.Tully) была предоставлена НАСА через грант Научного института космического телескопа, находящийся в ведении Ассоциации исследовательских университетов. в области астрономии, по контракту НАСА NASb5-26555.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Нижний Архыз, Россия, e-mail: idkarach@gmail.com sme@sao.ru

SURFACE PHOTOMETRY OF 50 DWARF GALAXIES IN THE LOCAL VOLUME

K.A.KRYZHANOVSKY¹, M.E.SHARINA², I.D.KARACHENTSEV²,
G.M.KARATAEVA¹

The results of surface photometry of 50 galaxies in the Local Volume based on archival images obtained with the Hubble Space Telescope are presented. For the sample of galaxies, the integrated magnitudes in the V and I bands are given, as well as the brightness and color profiles. The obtained photometric parameters are compared with the measurements of other authors.

Keywords: *galaxies: dwarf galaxies: photometric parameters - galaxies*

ЛИТЕРАТУРА

1. *R.C.Kraan-Korteweg, G.A.Tammann*, *Astron. Nachr.*, **300**, 181, 1979.
2. *I.D.Karachentsev, V.E.Karachentseva, W.K.Huchtmeier et al.*, *Astron. J.*, **127**, 2031, 2004.
3. *I.D.Karachentsev, D.I.Makarov, E.I.Kaisina*, *Astron. J.*, **145**, 101, 2013.
4. *E.I.Kaisina, D.I.Makarov, I.D.Karachentsev et al.*, *Astrophys. Bull.*, **67**, 115, 2012.
5. *G.S.Anand, L.Rizzi, R.B.Tully*, *Astron. J.*, **162**, 80, 2021.
6. *I.D.Karachentsev, N.A.Tikhonov*, *Astrophysics*, **66**, 1, 2023.
7. *R.A.Swaters, M.Balcells*, *Astron. Astrophys.*, **390**, 863, 2002.
8. *V.A.Taylor, R.A.Jansen, R.A.Windhorst et al.*, *Astrophys. J.*, **630**, 784, 2005.
9. *K.Banse, P.Crane, P.Grosbol et al.*, *The Messenger*, **31**, 26, 1983.
10. *D.O.Cook, D.A.Dale, B.D.Johnson et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **445**, 881, 2014.
11. *L.C.Ho, Z.-Y.Li, A.J.Barth et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **197**, 21, 2011.
12. *M.Sirianni, M.J.Jee, N.Benitez et al.*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **117**(836), 1049, 2005.
13. *L.Makarova*, *Astron. Astrophys.*, **139**, 491, 1999.
14. *G. de Vaucouleurs*, in *S.Flugge*, ed., *Handbuch der Physik* 53, Springer-Verlag, Berlin, p.275, 1959.
15. *M.E.Sharina et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **384**, 1544, 2008.
16. *S.J.Maddox, G.Efstathiou, W.J.Sutherland*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **246**, 433, 1990.
17. *M.T.Doyle, M.J.Drinkwater, D.J.Rohde et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **361**, 34, 2005.
18. *L.N.Makarova, I.D.Karachentsev, E.K.Grebel et al.*, *Astron. Astrophys.*, **384**, 72, 2002.
19. *L.N.Makarova*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **128**, 459, 1998.
20. *D.H.Jones, W.Saunders, M.Read et al.*, *Publ. Astron. Soc. Australia*, **22**, 277, 2005.
21. *M.Colless, B.A.Peterson, C.Jackson et al.*, eprint arXiv:astro-ph/0306581, 2003.
22. *M.E.Sharina*, *Astrophysics*, **62**, 9, 2019.
23. *I.D.Karachentsev, L.N.Makarova, B.S.Koribalski et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **518**, 5893, 2023.
24. *S.Alam, F.D.Albareti, C.A.Prieto et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **219**, 12, 2015.
25. *J.K.Adelman-McCarthy, M.A.Agueros, S.S.Allam et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **175**, 297, 2008.
26. *C.D.Impey, D.Sprayberry, M.J.Irwin et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **105**, 209, 1996.
27. *H.Aihara, P.Mcgehee*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **193**, 2011.
28. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H.Jr.Corwin et al.*, *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*. Springer-Verlag, New York, 1991.
29. *A. Gil de Paz, B.F.Madore, O.Pevunova*, *Astrophys. J. Suppl.*, **147**, 29, 2003.
30. *J.Koda, M.Yagi, Y.Komiyama et al.*, *Astrophys. J.*, **802**, L24, 2015.

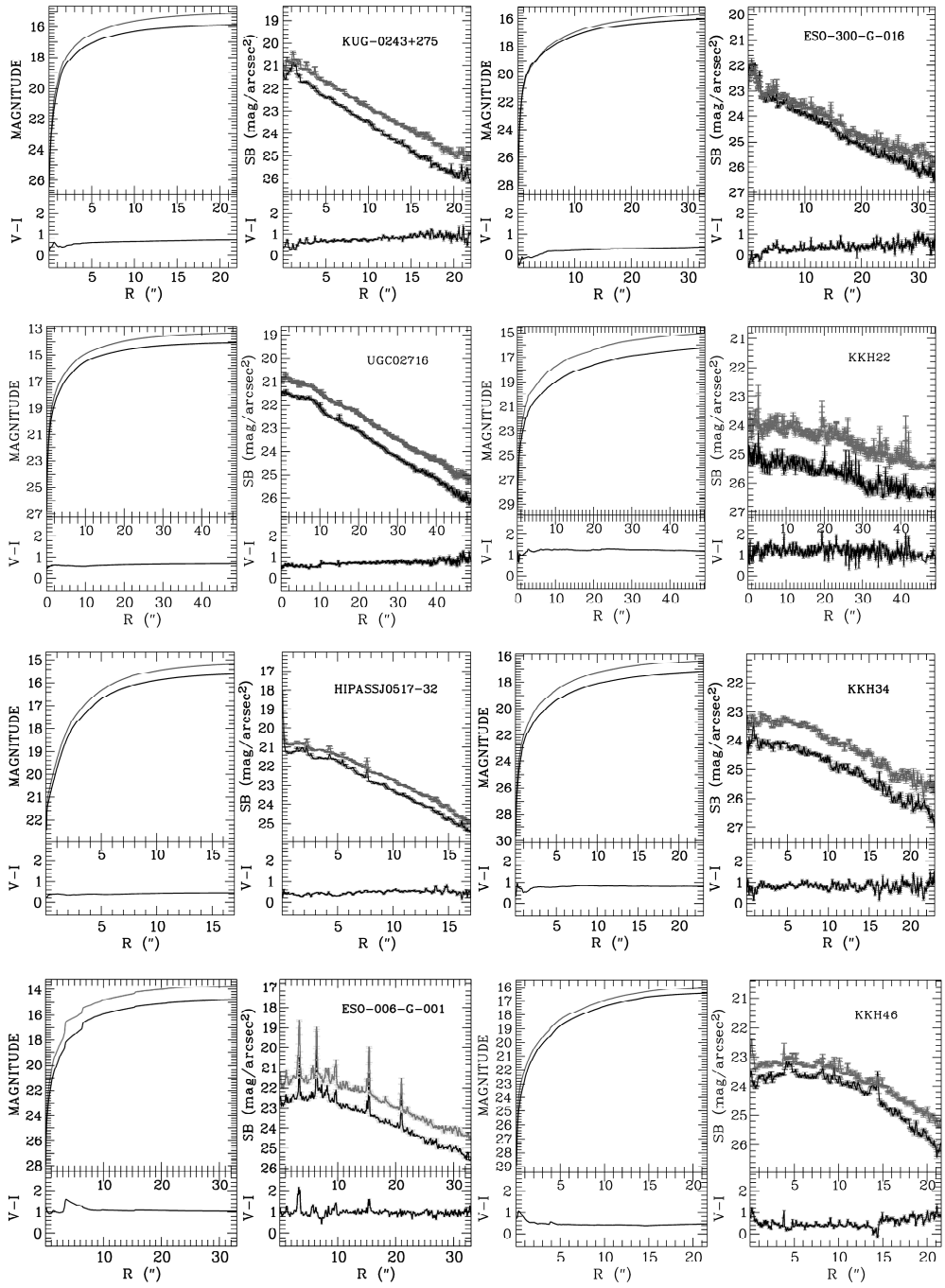


Рис.1. (Продолжение).

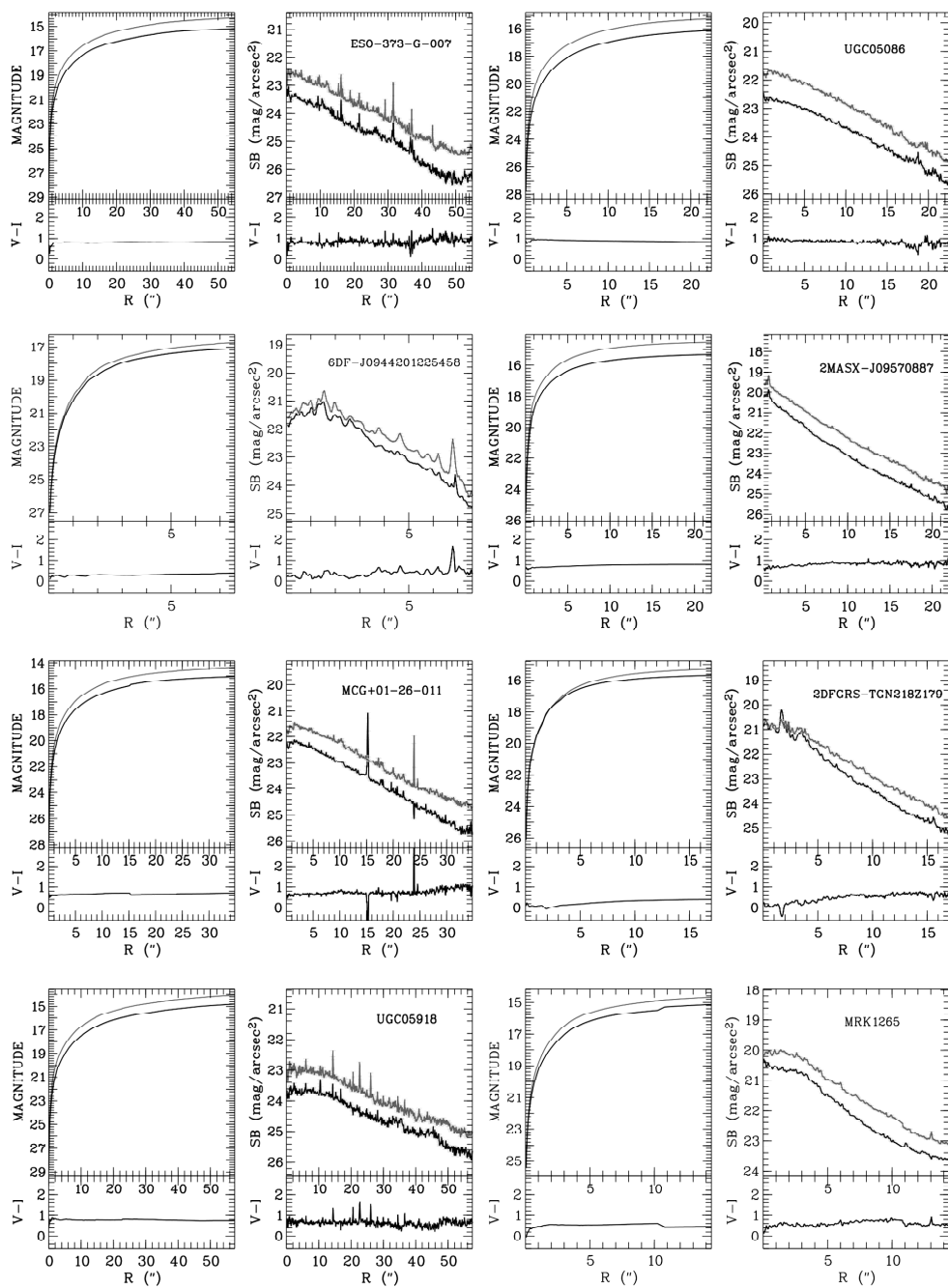


Рис.1. (Продолжение).

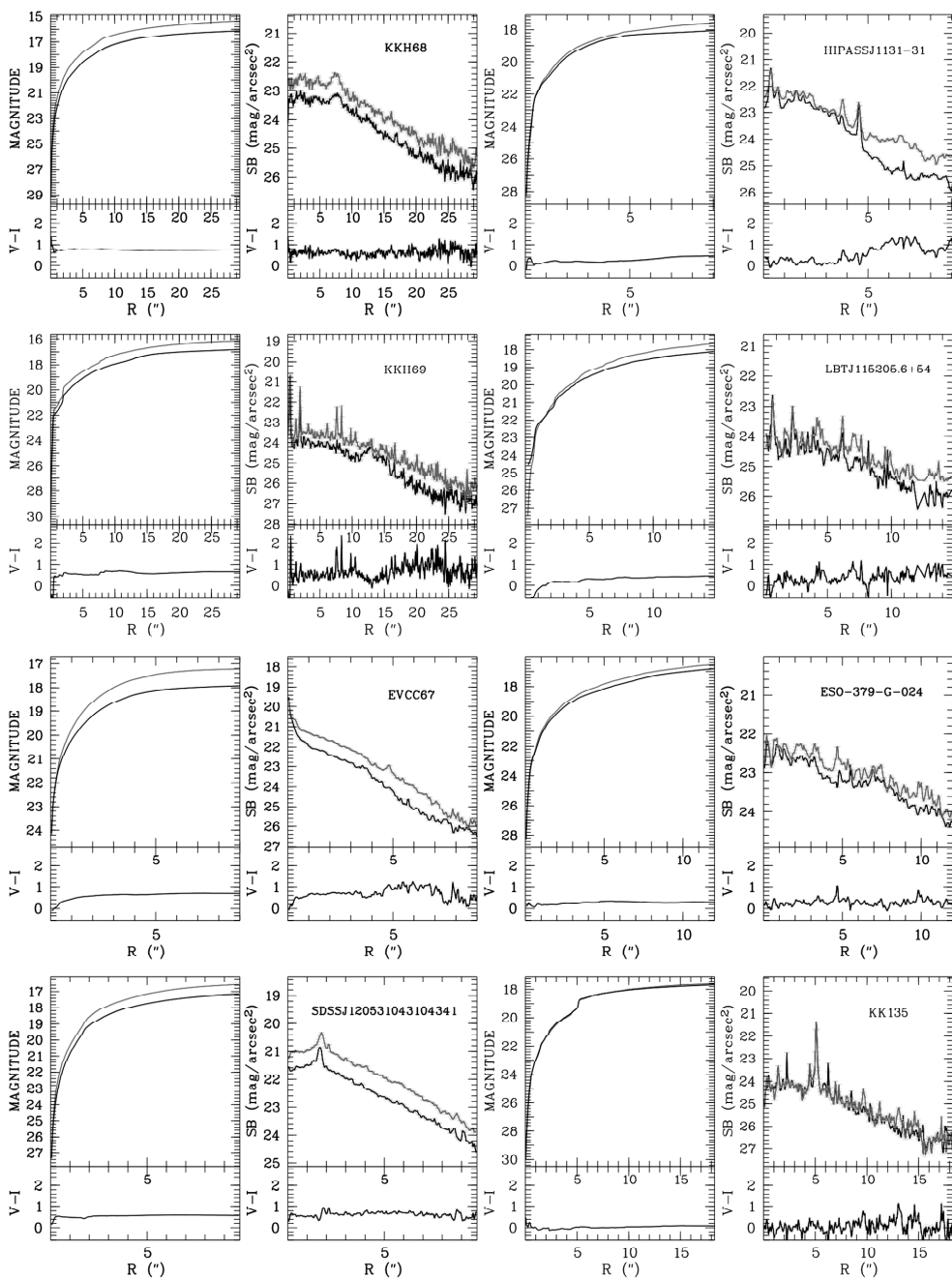


Рис.1. (Продолжение).

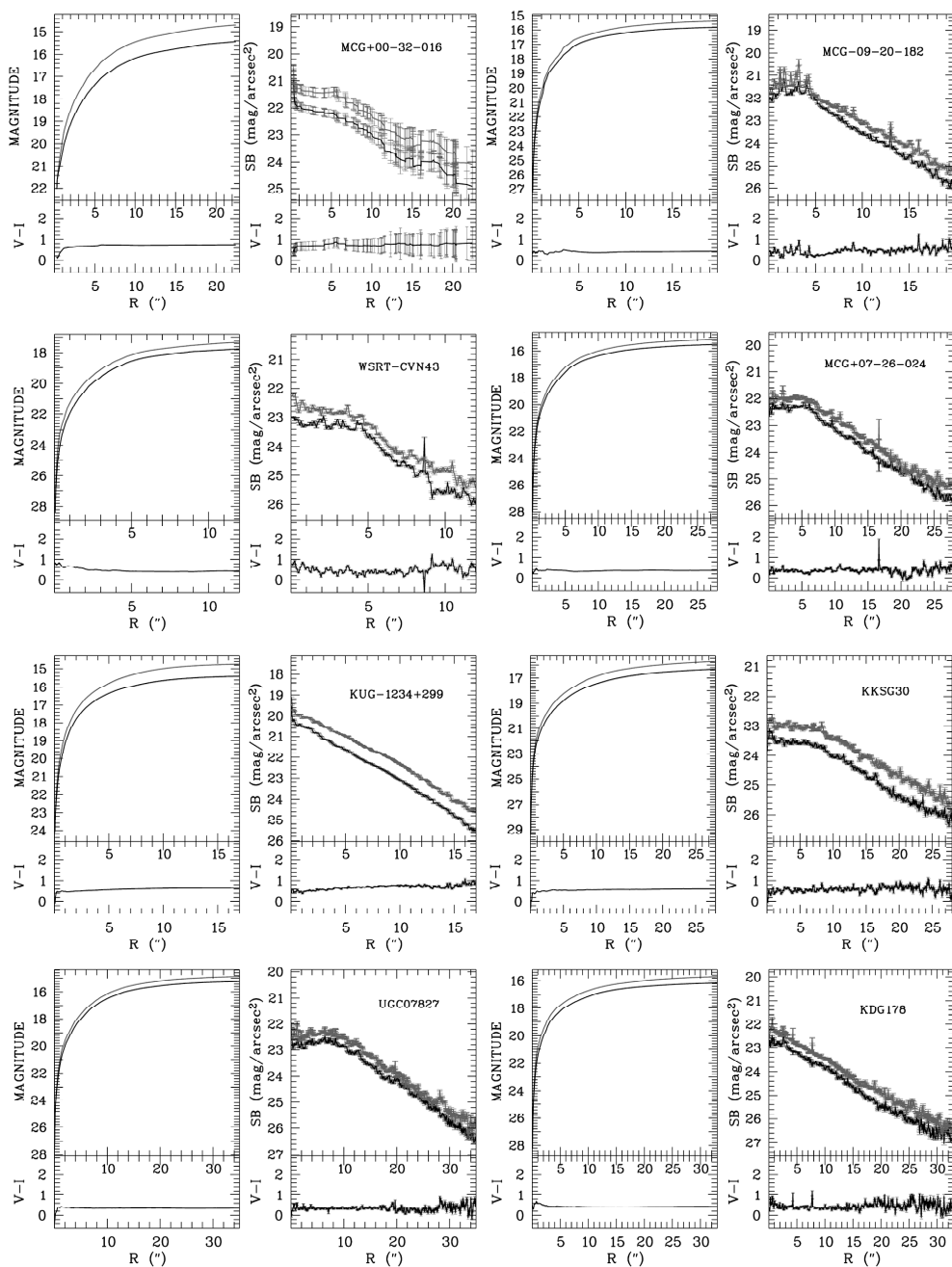


Рис.1. (Продолжение).

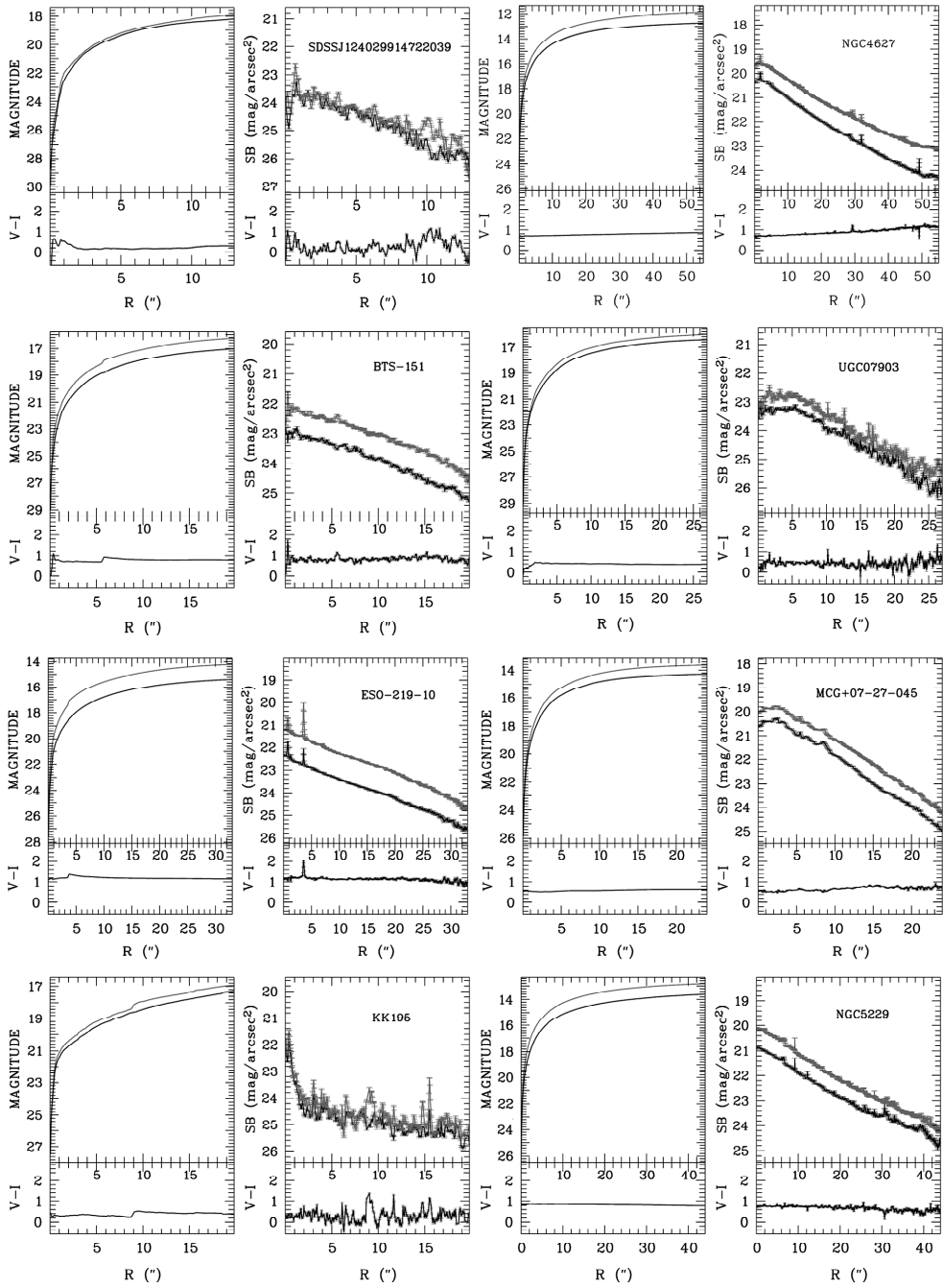


Рис.1. (Продолжение).

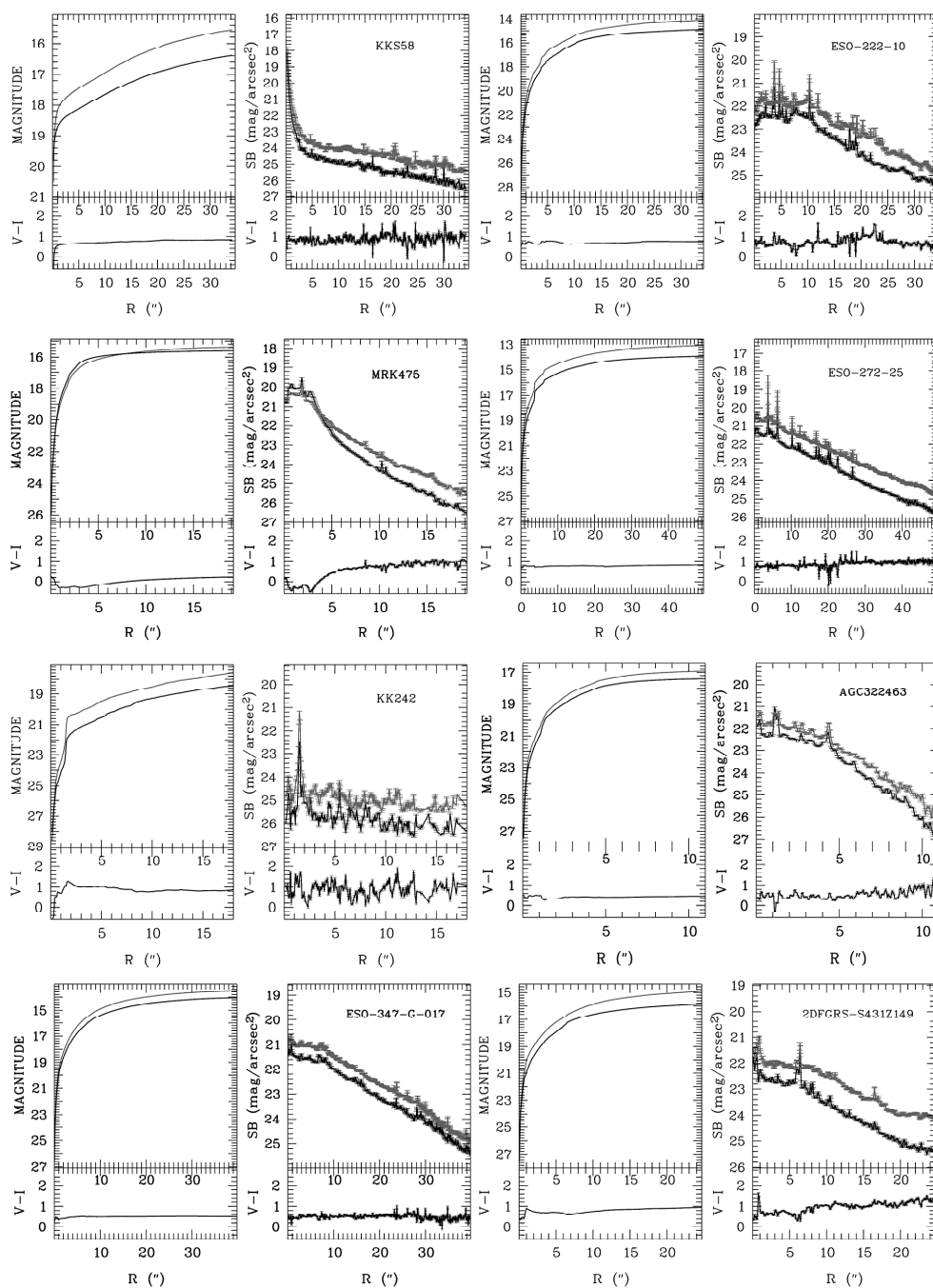


Рис.1. (Окончание).