

УДК 524.7—42

О ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК

В. П. РЕШЕТНИКОВ

Поступила 20 ноября 1991

Принята к печати 30 ноября 1991

Рассмотрены стандартные соотношения между глобальными фотометрическими характеристиками (μ_e , r_e , μ_0 , h) балджей и дисков взаимодействующих галактик. Показано, что в целом рассматриваемые зависимости близки к таковым для нормальных галактик. Отмечены следующие особенности фотометрической структуры взаимодействующих галактик. Во-первых, зависимость $\mu_e - \lg r_e$ для E и SO галактик в составе взаимодействующих систем несколько смещена относительно стандартной зависимости для нормальных галактик. Во-вторых, распределение значений поверхностной яркости центров экваториальных дисков взаимодействующих галактик имеет почти плоскую форму. Среднее значение $\mu_0(0)$ в полосе B равно 21,25, что примерно на 0,5 ярче соответствующего значения для невзаимодействующих галактик.

1. *Введение.* Взаимодействие между галактиками является одним из важнейших факторов, определяющих их эволюцию. В многочисленных работах, посвященных наблюдательному и теоретическому изучению взаимодействующих галактик, показано, что взаимодействие способно стимулировать процессы звездообразования в галактиках, активность их ядер [1, 2], а также приводить к изменению таких важнейших характеристик, как морфологический тип, размер и распределение массы [3]. Целью нашей работы является рассмотрение в рамках стандартной двухкомпонентной модели вопроса о влиянии внешнего воздействия на глобальные фотометрические характеристики балджей и дисков галактик.

2. *Стандартная фотометрическая модель.* Предположим, что галактика состоит из двух подсистем—сфероидальной (балдж) и дисковой, описываемых следующими законами распределения поверхностной яркости [4, 5]:

$$\mu_{bulge}(r) = \mu_e + 8.325 [(r/r_e)^{1/4} - 1] \text{ и}$$

$$\mu_{\text{disk}}(r) = \mu_0 + 1.086 r/h,$$

где r_0 — эффективный радиус балджа, μ_0 — соответствующая поверхностная яркость балджа, μ — поверхностная яркость центра диска (μ_0 и μ_0 выражены в зв. вел. с кв. секунды) и h — экспоненциальный масштаб диска. Такая модель, зависящая от шести параметров — μ_0 , r_0 , b/a (bulg e), μ_0 , h и b/a (disk), удовлетворительно описывает фотометрическую структуру большинства галактик и часто используется в качестве первого приближения при их исследовании.

При определении параметров модели сжатия балджа и диска обычно находят по изофотам галактики, а μ_0 , r_0 , μ_0 и h — на основе разложения фотометрического разреза галактики вдоль большой оси. Предложен целый ряд способов такого разложения наблюдаемых разрезов [6]. При анализе результатов наших наблюдений мы использовали алгоритм, сходный с описанным в работе [7] и обеспечивающий точность определения параметров не хуже 20% в диапазоне отношения светимостей балджа и диска $0.1 < B/D < 10$ [8].

3. *Выборка галактик.* В нашу выборку включены члены взаимодействующих систем галактик (в основном из каталогов [9, 10]), для которых опубликованы результаты декомпозиции в цветовой полосе B . Для восьми галактик наблюдения и разложение разрезов выполнены нами (см. табл. 1), для NGC 5194 декомпозиция также выполнена нами по опубликованному в [11] разрезу (использованы данные для области $r \leq 32''$). Итоговый список объектов приведен в табл. 1, где в первом столбце указано название объекта, а во втором — морфологический тип. В третьем и четвертом столбцах приведены характеристики балджа: эффективная поверхностная яркость с учетом поправки за поглощение в Галактике ($\mu_0^* = \mu_0 - 0.2 \text{ csc } |b|$) и логарифм эффективного радиуса в килопарсеках ($H_0 = 75 \text{ км/с Мпк}$). В пятом и шестом столбцах указаны поверхностная яркость центра диска с учетом поправок за поглощение в Галактике и за наклон ($\mu_0(0) = \mu_0 - 0.2 \text{ csc } |b| - 2.5 \lg \frac{b}{a}$), а также логарифм масштаба диска в килопарсеках. В последнем столбце приведены ссылки на работы, из которых взяты данные о поверхностной фотометрии и декомпозиции. Типичные ошибки параметров μ_0 и μ_0 составляют около 0.3, а $\lg r_0$ и $\lg h$ — 0.1.

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЛДЖЕЙ И ДИСКОВ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК

Галактика	T	ρ_0^0	$\lg r_0$	$\mu_0(0)$	$\lg A$	Литература
NGC 34	(3)	—	—	—	0.47	[18]
NGC 660	1	—	—	22.65	0.59	[19]
NGC 2685	-2	19.0	-0.31	20.25	0.12	[20]
NGC 3031	2	21.8	0.23	21.7	0.40	[12]
NGC 3623	1	—	—	20.4	0.40	[21]
NGC 3627	3	—	—	20.5	0.28	[21]
NGC 3628	3	—	—	(21.4)	0.53	[21]
NGC 3718	3	19.0	-0.59	21.8	0.46	[22]
NGC 4382	-1	20.8	0.32	—	—	[13]
NGC 4435	-2	—	—	22.0	0.52	[5]
NGC 4438	0	—	—	23.3	—	[15]
NGC 4485	10	—	—	19.6	-0.22	[23]
NGC 4490	7	—	—	19.6	0.20	[23]
NGC 4567	4	—	—	20.0	—	[15]
NGC 4649	-5	21.3	0.53	—	—	[13]
NGC 5194	4	17.5	-1.40	—	—	[11]
NGC 6027	-2	—	—	19.5	0.18	[24]
NGC 6027B	-2	—	—	20.7	0.18	[24]
NGC 6621	2	—	—	(23.3)	(0.5)	[25]
NGC 6622	-5	(26.6)	(1.0)	—	—	[25]
NGC 7173	-5	18.4	-0.24	—	—	[26]
NGC 7469	1	—	—	—	0.34	[18]
NGC 7603	3	—	—	—	0.94	[18]
NGC 7674	4	—	—	—	0.79	[18]
VV 150B	1	(22.2)	(0.6)	(22.6)	(0.6)	[27]
VV 150C	0	21.3	0.00	20.8	0.20	[27]
VV 150D	2	21.6	-0.10	22.2	0.36	[27]
VV 150E	-2	22.1	0.18	21.5	0.00	[27]
533 G 20	(-3)	18.1	-0.09	—	—	[26]
533 G 21	(-3)	16.3	-0.21	—	—	[26]

ПРИМЕЧАНИЯ К ТАБЛИЦЕ 1

NGC 34, VV 850.

NGC 660—согласно [32, 33] является результатом слияния двух галактик.

NGC 2685, Arp 33—галактика с полярным кольцом. Согласно современным представлениям является результатом столкновения двух галактик.

NGC 3031, M 81, CPG 218.

NGC 3623/7/8, VV 308, Agr 317.

NGC 3718, Agr 214, CPG 290.

NGC 4382, M 85, CPG 234.

NGC 4435/38, VV 188, Agr 120.

NGC 4485/90, VV 30, Agr 269, CPG 341.

NGC 4567, VV 219, CPG 347.

NGC 4649, M 60, VV 206, Agr 116.

NGC 5194, VV 1, Agr 85, CPG 379.

NGC 6027/27B, VV 115.

NGC 6621/22, VV 247, Agr 81, CPG 534.

NGC 7173—согласно [26] образует взаимодействующую пару с NGC 7176 ($\Delta V_R = 100$ км/с).

NGC 7469, Agr 298, CPG 575.

NGC 7603, Agr 92.

NGC 7674, VV 343, Agr 182.

VV 150B—E, Agr 322.

533 G 20/G 21—образуют взаимодействующую пару согласно [26] ($\Delta V_R = 8$ км/с).

4. Стандартные зависимости между фотометрическими параметрами. В многочисленных работах, посвященных анализу фотометрической структуры галактик, установлен ряд эмпирических соотношений между фотометрическими параметрами, а также их зависимостей от морфологического типа [6]. Рассмотрим, как согласуются с этими зависимостями характеристики взаимодействующих галактик.

4.1. Характеристики балджей. На рис. 1 изображены зависимости μ_0 и $\lg r_0$ от морфологического типа по данным табл. 1 (кружки). Точками на рисунке показаны средние значения для нормальных галактик согласно [12]. Как видно на этом рисунке, характеристики балджей взаимодействующих галактик расположены примерно в том же диапазоне, что и характеристики балджей нормальных галактик, однако разброс индивидуальных значений очень велик.

На рис. 2 показана зависимость между эффективной поверхностной яркостью и эффективным радиусом. Пунктирные линии—зависимости для балджей нормальных спиральных галактик ($T > 0$) и для E и S0 галактик ($T \leq 0$) согласно [12]. Из рисунка видно, что характеристики балджей спиральных взаимодействующих галактик хорошо согласуются со средней зависимостью для обычных галактик. Для эллиптических и S0 галактик согласие хуже—разброс значений от средней зависимости достигает 3". Если не рассматривать наименее точные данные для галактики NGC 6622, то оказывается, что, в среднем, характеристики E и S0 галактик в составе взаимодействующих систем располагаются на рис. 2 ниже стандартной зависимости для нормальных галактик этих ти-

пов. Это означает, что при той же эффективной поверхностной яркости взаимодействующие E и S0 галактики имеют больший эффективный радиус или при том же радиусе имеют более высокую поверхностную яркость. Наиболее простым образом эту особенность можно объяснить.

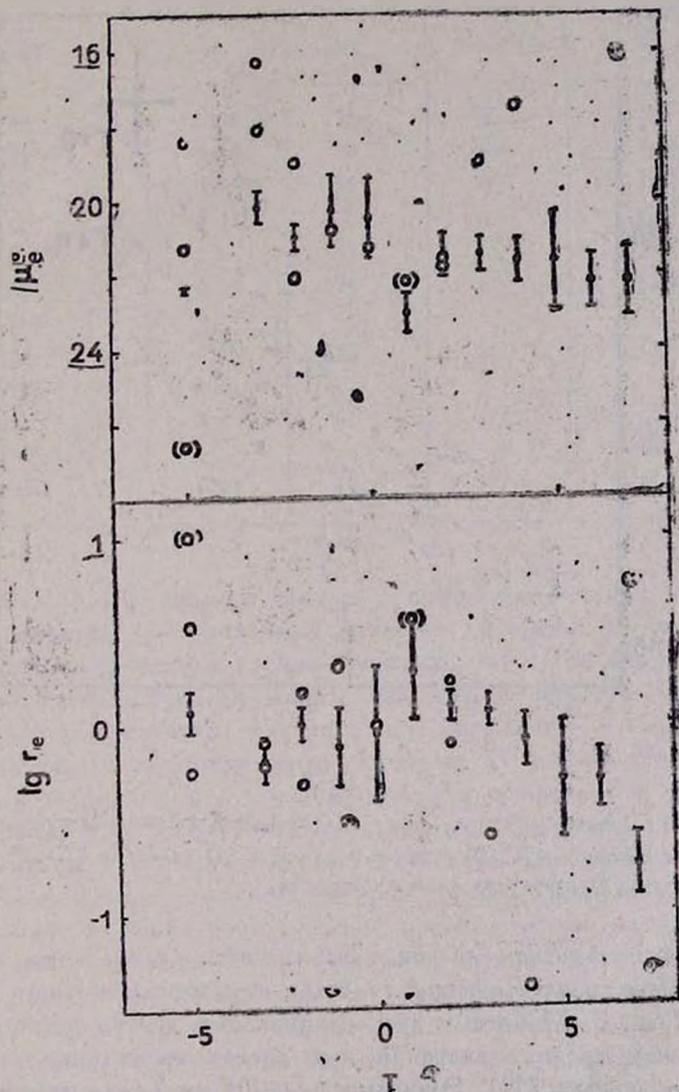


Рис. 1. Зависимости μ_0 и r_e от T для балдней взаимодействующих галактик (крестики). Точки с барями — данные для нормальных галактик согласно [12].

тем, что E и SO галактики в составе взаимодействующих систем часто окружены протяженными оболочками [13]. Следует также отметить, что подобным образом на диаграмме $\mu_e - \lg r_e$ расположены ярчайшие эллиптические галактики скоплений [14], являющиеся, возможно, результатом слияния нескольких галактик.

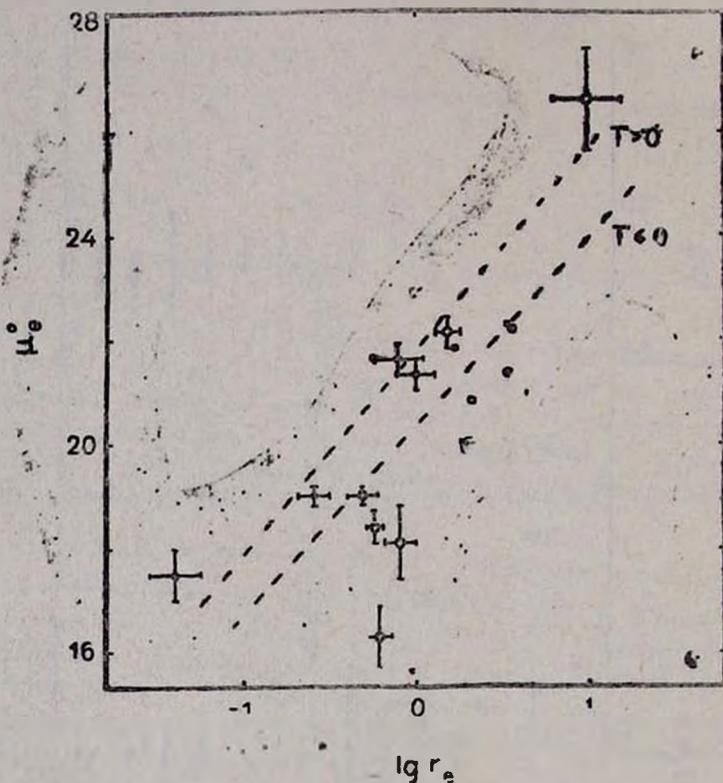


Рис. 2. Зависимости $\mu_e - \lg r_e$ для балдней взаимодействующих спиральных галактик ($T > 0$) — точки и для E и SO галактик ($T < 0$) в составе взаимодействующих систем — кружки.

4.2. *Характеристики дисков.* Зависимости глобальных характеристик дисков взаимодействующих галактик от морфологического типа приведены на рис. 3. Масштабы экспоненциальных дисков расположены на рис. 3 вблизи средних значений для дисков нормальных спиральных галактик по данным [12]. Зависимость $\mu_0(0)$ от T для галактик нашей выборки сравнивается на рис. 3 со средней зависимостью для дисков нормальных галактик согласно [15]. Как видно из этого рисунка, дан-

ные для взаимодействующих галактик смещены относительно зависимости для обычных галактик в сторону более высоких поверхностных яркостей. Величина этого сдвига составляет примерно $\Delta\mu \approx 0.5$.

Таблица 2

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ $\mu_0(0)$ ПО ДАННЫМ РАЗНЫХ АВТОРОВ

$\mu_0(0)$	σ_μ	N	Фильтр	Литература
21.65	0.30	28	B	[5]
21.79	0.94	24	B	[15] virgo
21.79	0.78	15	B	[11]
21.65	0.90	78	B	[12]
21.9	1.0	43	B	[28] SyG
20.81	0.99	74	r	[29]
(21.7)B				
21.05	0.75	167	V	[30] virgo
(21.7)B				
21.8	0.6	51	J	[31]
(21.9)B				
21.25	1.23	19	B	Наст. раб.

В табл. 2 мы собрали данные о средних значениях $\mu_0(0)$ по выборкам галактик, исследованных разными авторами. В первом столбце этой таблицы приведено среднее значение $\mu_0(0)$, во втором—стандартное отклонение, в третьем—объем выборки, в четвертом—цветовая полоса, в которой изучены галактики, и в последнем—ссылка и, в некоторых случаях, характеристика выборки. В скобках под значениями $\mu_0(0)$ в полосах r, V и J указаны оценки в фильтре B с учетом редуций, приведенных в оригинальных работах. В последней строке таблицы указаны характеристики исследованной нами выборки. Как показывает табл. 2, данные разных авторов хорошо согласуются друг с другом. Среднее значение поверхностной яркости центра экспоненциального диска в полосе B равно 21.8, стандартное отклонение составляет 0.8—0.9 и мало зависит от объема выборки. Значение $\mu_0(0)$ для взаимодействующих галактик меньше этого значения и это различие значимо. Наглядно отличие распределений величин для выборки нормальных и взаимодействующих галактик показано на рис. 4. Как видно на этом рисунке, распределения, построенные по выборкам нормальных галактик, имеют хорошо выраженные пики при $\mu_0(0) = 21-22$. У взаимодейст-

вующих галактик этот пик отсутствует и разные значения $\mu_0(0)$ в диапазоне от 19 до 23 встречаются почти равновероятно.

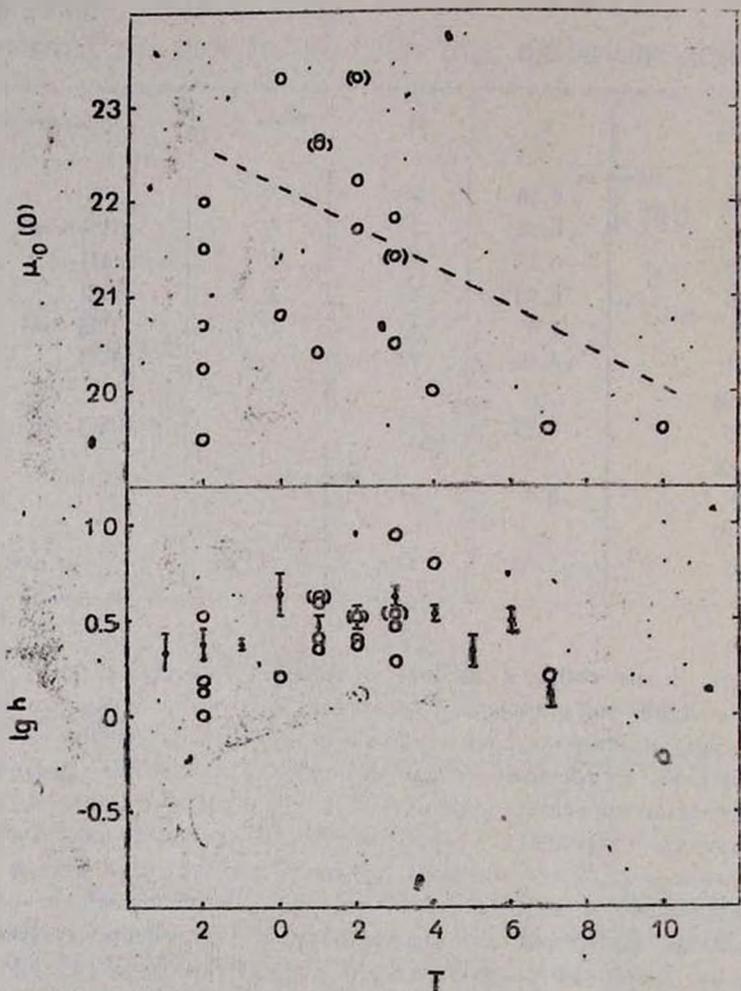


Рис. 3. Зависимости $\mu_0(0)$ и h от морфологического типа для взаимодействующих галактик — кружки. Пунктир — средняя зависимость для дисков нормальных галактик по [15].

На рис. 5 изображена зависимость $\mu_0(0)$ от логарифма масштаба диска. Непрерывными линиями показаны прямые постоянной светимости ($\mu_0 = 5 \lg h + M_d + 38.57$). Как и в случае нормальных галактик (см. например, [5, 11]), характеристики дисков взаимодействующих га-

Галактики располагаются примерно вдоль прямых постоянной светимости дисков.

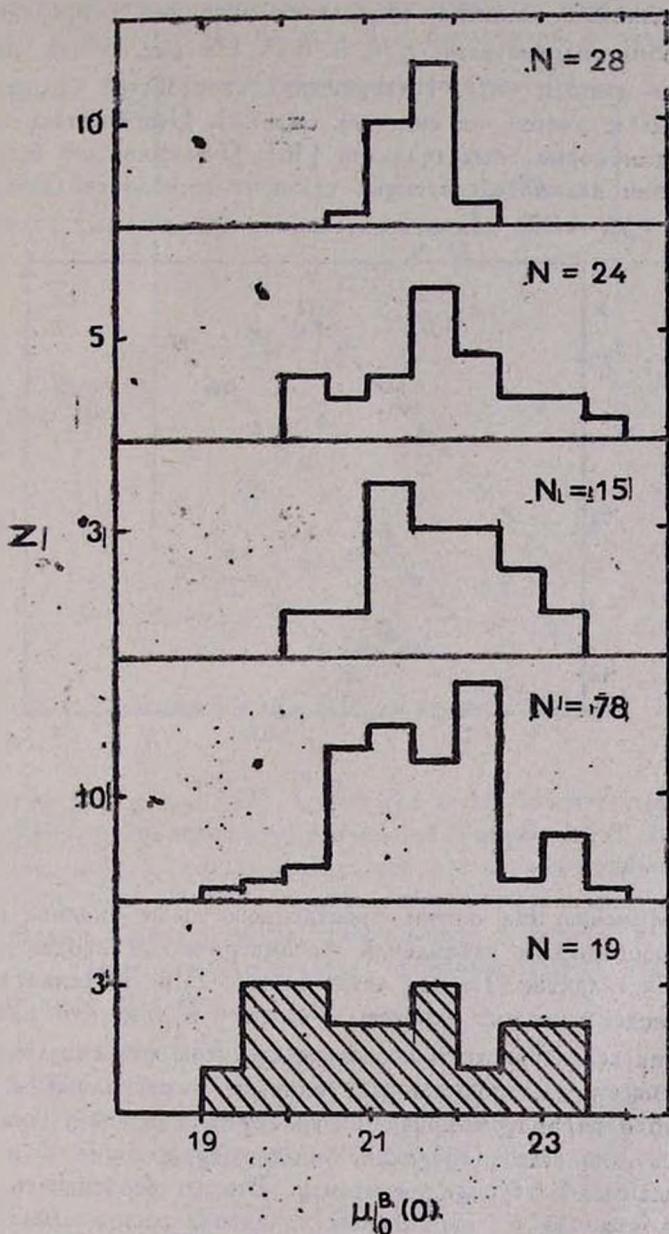


Рис. 4. Распределения значений $\mu_0(0)$ для выборок нормальных галактик по данным работ (сверху вниз) [5, 15, 11, 12] и для взаимодействующих галактик по нашим данным (заштрихованная гистограмма).

4.3. Соотношение $r_e/h-B/D$. В работе автора [16] было показано, что у нормальных галактик существует значимая корреляция между безразмерными параметрами r_e/h и B/D . На рис. 6 эта зависимость построена по данным табл. 1 (отношения светимостей балджа и диска были найдены с учетом их видимых сжатий). Непрерывная линия—соотношение для нормальных галактик [16]. Очевидно, что безразмерные характеристики взаимодействующих галактик хорошо согласуются с зависимостью $r_e/h-B/D$ для относительно изолированных галактик.

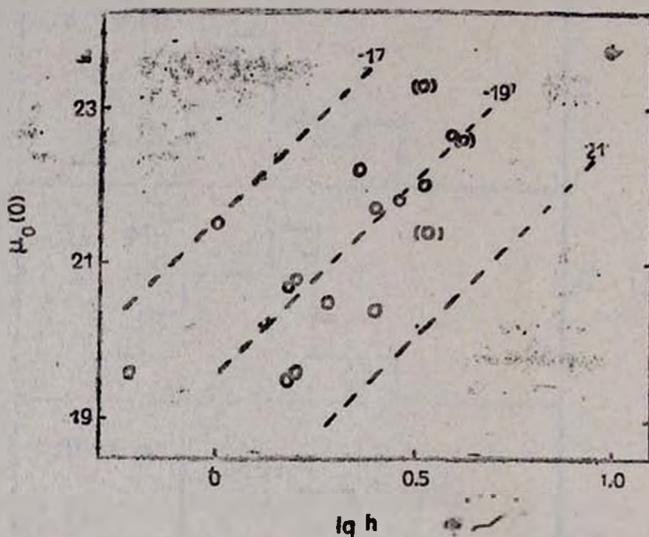


Рис. 5. Зависимость $\mu_0(0) - \lg h$ для дисков взаимодействующих галактик (кружки).

5. *Заключение.* На основе проведенного выше анализа нами отмечены две особенности глобальной фотометрической структуры взаимодействующих галактик. Первая относится к E и S0 галактикам в составе взаимодействующих систем и состоит в том, что на диаграмме $\mu_e - \lg r_e$ их характеристики несколько смещены относительно стандартной зависимости для нормальных галактик и расположены в той же области, что и параметры ярчайших галактик скоплений. Причиной этого, возможно, являются сблочки, часто окружающие E и S0 галактики во взаимодействующих системах. Вторая особенность состоит в том, что, в отличие от нормальных галактик, распределение значений поверхностной яркости центров экспоненциальных дисков взаимодействующих галактик имеет почти плоскую форму. Среднее значение $\mu_0(0)$ для взаимодействующих галактик в полосе B равно 21.25, что ярче соответствующего значения для нормальных галактик, равного 21.8. При-

чина этой особенности не ясна. Возможно, что к уменьшению $\mu_0(0)$ приводят инициируемые взаимодействием области звездообразования, повышающие поверхностную яркость как околоядерной области, так и

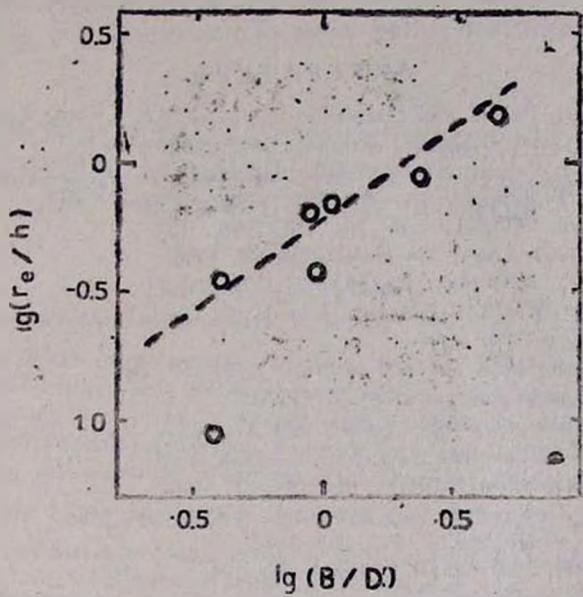


Рис. 6. Зависимость $r_e/h - B/D$ для взаимодействующих галактик (кружки).

диска галактики в целом [17]. Суммируя в заключение результаты нашего краткого обзора фотометрических характеристик взаимодействующих галактик, можно сделать вывод, что достаточно сильное приливное взаимодействие, при котором расстояние между галактиками сравнимо с их диаметрами (такие объекты преобладают в нашей выборке), относительно мало изменяет глобальные фотометрические характеристики дисков и балджей галактик.

Ленинградский государственный университет

ON THE PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF INTERACTING GALAXIES

V. P. RESHETNIKOV

The standard relationships between the global photometric parameters (μ_0 , r_e , $\mu_0(0)$, h) of bulges and disks of interacting galaxies are considered. It is shown that on the whole these relationships are the same as for non-interacting galaxies. The following features of the glo-

bal photometric structure of interacting galaxies are noted. Firstly, for E and SO galaxies relation $\mu_0 - \lg r$, is a little displaced in respect to the standard relationship for normal galaxies. Secondly, the distribution of the values $\mu_0(0)$ have almost flat shape. The mean value $\mu_0(0)$ in the B band is equal to 21.25 which is approximately $\Delta\mu = 0.5$ brighter than for the corresponding value of non-interacting galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. C. Kennicutt, Paired and Interacting Galaxies, Eds. J. W. Sulentic, W. C. Keel, C. M. Telesco, NASA CP-3098, 1990, p. 269.
2. T. M. Heckman, Paired and Interacting Galaxies, Eds. J. W. Sulentic, W. C. Keel, C. M. Telesco, NASA CP-3098, 1990, p. 359.
3. B. C. Whitmore, ST Sci Prepr. No. 410, 1990.
4. G. de Vaucouleurs, Ann. Astrophys., 11, 247, 1948.
5. K. C. Freeman, Astrophys. J., 160, 811, 1970.
6. F. Stmlen, The World of Galaxies, Eds. H. G. Corwii, L. Bottiaelli, Springer-Verlag, 1988, p. 293.
7. J. M. Schombert, G. D. Bothun, Astron. J., 92, 60, 1987.
8. В. П. Решетников, Диссертация, Л., 1990.
9. В. А. Воронцов-Вельяминов, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 28, 5, 1977.
10. H. Arp, Atlas of Peculiar Galaxies, Pasadena, 1966.
11. T. Borozon, Astrophys. J. Suppl. Ser., 46, 177, 1981.
12. F. Stmlen, G. de Vaucouleurs, Astrophys. J., 302, 564, 1986.
13. J. Kormendy, Astrophys. J., 218, 333, 1977.
14. J. M. Schombert, Astrophys. J. Suppl. Ser., 64, 643, 1987.
15. C. W. Fraser, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 29, 161, 1977.
16. В. П. Решетников, Кинемат. и физ. небесн. тел., 6, 30, 1990.
17. Н. А. Вушouse, Astrophys. J., 320, 49, 1987.
18. В. Л. Афанасьев, в сб. «Активные ядра и звездная космогония», МГУ, 1987, с. 34.
19. P. Benvenuti, M. Capaccioli, S. D'Odorico, Astron. and Astrophys., 53, 141, 1976.
20. В. В. Макаров, В. П. Решетников, В. А. Яковлева, Астрофизика, 30, 15, 1989.
21. M. S. Burkhead, D. J. Hutter, Astron. J., 86, 523, 1981.
22. В. А. Гаец-Торн, В. П. Решетников, В. А. Яковлева, Астрофизика, 32, 255, 1990.
23. M. F. Dival, Astron. and Astrophys., 98, 352, 1981.
24. D. H. Martinus, G. Chincarini, Astrophys. J., 209, 372, 1976.
25. В. П. Решетников, О. К. Сильченко, Астрофизика, 33, 157, 1990
26. R. R. de Souza, L. N. da Costa, Astrophys. J. Suppl. Ser., 68, 173, 1988.
27. В. П. Решетников, Астрофизика, 30, 581, 1989.
28. J. M. Mackenty, Astrophys. J. Suppl. Ser., 72, 231, 1990.
29. S. M. Kent, Astrophys. J. Suppl. Ser., 59, 115, 1985.
30. K. Kodaira, M. Watanabe, S. Okamura, Astrophys. J. Suppl. Ser., 62, 703, 1986.
31. P. C. van der Kruit, Astron. and Astrophys., 173, 59, 1987.
32. S. T. Gottesman, M. E. Mahon, Paired and Interacting Galaxies, Eds. J. W. Sulentic, W. C. Keel, C. M. Telesco, NASA CP-3098, 1990, p. 209.
33. В. П. Решетников, В. А. Яковлева, Астрофизика (в печати).