

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯРКОСТИ ИЗОЛИРОВАННЫХ И ДВОЙНЫХ ГАЛАКТИК

И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева,
А. Л. Щербановский

Для изолированных и для двойных галактик из каталогов [1, 2] выполнены редукции видимых величин к фотометрической системе Холмберга ($m_{H_0}^0$) и угловых диаметров к стандартной изофоте $25^m/\square''(a_{25})$. В этой системе определены поверхностные яркости у 902 одиночных галактик и 980 компонентов пар. Рассмотрены зависимости средней поверхностной яркости от морфологического типа, видимого сжатия и других параметров галактик. Между компактностью галактики и богатством эмиссионных линий в ее спектре наблюдается положительная корреляция. Средняя поверхностная яркость у двойных галактик уменьшается от тесных пар к широким, что, по-видимому, обусловлено эффектом селекции и приливным взаимодействием галактик. Приведенные данные могут быть использованы для выяснения условий образования и эволюции одиночных и двойных галактик.

For isolated and for double galaxies from Catalogue [1, 2] there were made reductions of apparent magnitudes to the photometric system by Holmberg ($m_{H_0}^0$) and of angular diameters to the standard isophote $25^m/\square''(a_{25})$. A surface brightness in this system was determined for 902 single galaxies and for 980 pair components. Dependences of the mean surface brightness on a morphologic type, an apparent axial ratio and on other parameters of galaxies are considered. A positive correlation is observed between a galaxy compactness and a richness of emission lines in its spectra. The mean surface brightness of double galaxies decreases from tight pairs to wide ones, that may be caused by a selection effect and also by a tidal interaction of galaxies. The data presented there could be used to clarify conditions of formation and evolution for single and double galaxies.

Сравнение изолированных и двойных галактик из каталогов [1, 2] проводилось во многих работах. Предметом сопоставления были различные характеристики этих галактик в оптическом и радиодиапазонах (например, [3, 4]).

Поверхностные яркости изолированных и двойных галактик, насколько нам известно, изучались в неопубликованной работе Зонна [5] и в статье [6]. Зонн сравнил системы диаметров двух каталогов [1] — КИГ и [2] — КПГ, используя в качестве опорной систему диаметров каталога Нильсона [7]. Никакой систематической разницы в измерениях диаметров [1], [2] и [7] он не обнаружил. Согласно результатам Зонна, поверхностные яркости в КИГ и КПГ различаются для эллиптических галактик. Работа эта не была завершена, и мы не можем описать здесь ни методику вычислений, примененную Зонном, ни конечные выводы, им полученные.

В работе [6] поверхностные яркости галактик из [1] и [2] вычислялись по формулам Аракеяна [8]. Диаметры галактик брались из каталога МКГ [9], а звездные величины каталога [10] привязывались к системе Холмберга. Авторы [6] нашли, в частности, что средние значения поверхностных яркостей эллиптических галактик не различаются для изолированных и двойных, а изолированные спирали в среднем имеют более низкую поверхностную яркость, чем спирали — компоненты пар.

Причины, побудившие нас повторить сравнение поверхностных яркостей изолированных и двойных галактик, следующие.

1. Как показано в [11] и [12], каталог [9] содержит значительное число случайных ошибок в оценках диаметров галактик. Также отмечено, что по сравнению с каталогом [7] наблюдается систематическая недооценка диаметров в [9], особенно для слабых галактик.

2. Переход от системы звездных величин Цвикки к системе Холмберга был выполнен в [8] недостаточно корректно.

3. За последнее время появилась возможность внести в каталоги [1] и [2] ряд уточнений и дополнений, и наш исходный материал существенно отличается от использованного в работе [6].

Постановка задачи в настоящей работе та же, что и в [6], но мы использовали значительно больший по объему и более информативный материал.

Исходный материал. а) **Изолированные галактики.** Каталог [1] содержит 1051 объект; часть из них, удовлетворяя критерию изолированности, заведомо входит в состав систем галактик. Эти объекты были указаны в работе [14]. Адамс и др. [4] проверили галактики из каталога [1] на выполнимость критерия изолированности по стеклянным копиям Паломарского атласа, где более точно, чем на отпечатках, измеряются диаметры галактик. Авторы [4] выделили три класса объектов: полностью удовлетворяющие критерию изолированности (степень изолированности $i=0$), «неопределенно изолированные» ($i=1$) и галактики, у которых критерий, использовавшийся в [1], после новых измерений диаметров не выполнялся ($i=2$).

С учетом данных работ [14] и [4] «истинно» изолированных галактик осталось 902.

В дополнение к [1] нами была выполнена на картах Паломарского атласа более детальная классификация галактик по морфологическим типам. Объекты были разбиты на шесть классов: E, S0, Sa, Sb, Sc, Sm. Класс спиральных галактик Sa—Sb—Sc содержит также пересеченные спирали. В класс Sm входят как разрушенные спирали, так и иррегулярные галактики. Сравнение нашей классификации с классификацией Нильсона [7] для общих объектов двух каталогов показало удовлетворительное согласие.

б) **Двойные галактики.** По завершении спектрального обзора каталога изолированных пар галактик [15—17] появилась возможность очистить эту выборку от ложных систем. Из 603 пар каталога мы исключили 18 объектов, оказавшихся одиночными галактиками, на которые проектируются яркие звезды. Кроме того, 95 пар с отношением орбитальной массы к светимости $f > > 100 f_{\odot}$ были отнесены к категории оптических двойных или «псевдопар», обусловленных видимой близостью на луче зрения двух ярких членов одной системы галактик (см. подробнее [18]). Таким образом, для последующего анализа мы оставили 980 компонентов физических двойных систем.

Все галактики в парах были заново пересмотрены на картах Паломарского атласа, а в ряде случаев — на более крупномасштабных снимках с целью уточнения их структурных типов. Как и для изолированных галактик, для компонентов пар классификация морфологических типов осуществлялась по единой схеме: E, S0, Sa, Sb, Sc, Sm.

Важным признаком, дополняющим сведения о структурном типе галактики, является ее спектральный индекс. Следуя Тиффту [19], мы разделили двойные галактики по числу и интенсивности эмиссионных линий на четыре спектральных типа: «А» — объекты с чисто абсорбционными спектрами, «W» — галактики с одной-двумя слабыми эмиссионными линиями, «М» — случаи с умеренно интенсивными эмиссиями, «S» — галактики, спектры которых богаты яркими эмиссионными деталями (к этому типу относится большинство объектов Маркаряна и сейфертовские галактики).

Около 30 % двойных систем каталога [2] составляют тесные пары, для которых Цвикки приводил только суммарную звездную величину. Чтобы ослабить роль избирательности, которая может по этой причине возникнуть при статистическом анализе каталога, мы определили раздельно видимые величины компонентов по формулам:

$$\begin{aligned} m_1 &= m + 2.5 \lg (1 + a_2^2 e_2 / a_1^2 e_1); \\ m_2 &= m + 2.5 \lg (1 + a_1^2 e_1 / a_2^2 e_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где a_1 и a_2 — угловые размеры (большие оси) галактик, e_1 и e_2 — видимые сжатия, а m — интегральная звездная величина пары. Использование формул (1) предполагает одинаковую поверхностную яркость у членов одной пары. Отметим, что у некоторой части тесных пар видимые величины компонентов оказались слабее предела $m=15^m.7$.

С учетом указанных дополнений данные обоих каталогов [1] и [2] были записаны на магнитную ленту. Все дальнейшие расчеты выполнялись на ЭВМ М-222.

Формулы редукции. Поверхностная яркость галактики, определяемая через ее видимую величину и угловые размеры, зависит от принятой системы измерений этих двух величин. В нашей задаче угловые диаметры вычислялись до изофоты $25^m/\square''$, а звездные величины Цвикки переводились в систему Холмберга, поскольку редукции для этих систем наиболее разработаны [11, 13]. В принципе можно было бы использовать и другие системы, однако для сравнения характеристик изолированных и двойных галактик это несущественно.

а) **Д и а м е т р ы.** Переход от диаметров из каталогов [1, 2]* к стандартным a_{25} с учетом эффекта Холмберга (ложное увеличение измеряемой большой оси галактик, видимых с ребра) и ослабления изофоты вследствие поглощения проводился по формуле Патюреля [13]

$$\lg a_{25} = 0.741 \lg a + 0.179 \lg b + C_T (\Delta m_A + \Delta m_K) + 0.03. \quad (2)$$

Здесь a, b — измеренные в [1, 2] большая и малая оси галактики и a_{25} выражаются в $0'.1$ дуги; Δm_A — поправка за галактическое поглощение; согласно [20],

$$\Delta m_A = 0.20 \operatorname{cosec} |b^{\text{II}}| \quad (3)$$

(b^{II} — галактическая широта); Δm_K — поправка за космологическое ослабление света, или K -поправка,** выбранная с учетом морфологического типа [21]:

$$\Delta m_K = \begin{cases} 1.49 \cdot 10^{-5} v_0 & (\text{тип E}); \\ 1.09 \cdot 10^{-5} v_0 & (\text{тип Sa}); \\ 0.63 \cdot 10^{-5} v_0 & (\text{тип Sb}); \\ 0.47 \cdot 10^{-5} v_0 & (\text{тип Sc}); \\ 0.22 \cdot 10^{-5} v_0 & (\text{тип Sm}). \end{cases} \quad (4)$$

Коэффициент C_T также зависит от типа галактики и равен

$$C_T = \begin{cases} 0.165 & (\text{E, S0, Sa}); \\ 0.061 & (\text{Sb, Sc, Sm}). \end{cases} \quad (5)$$

б) **О т н о ш е н и е** осей $e = b/a$. Редуцированное к изофоте $25^m/\square''$ отношение осей e_{25} вычислялось также согласно [13]:

$$\lg e_{25} = \begin{cases} 0.894 \lg e & \text{для типов Sa ... Sm;} \\ 0.950 \lg e & \text{для типов E, S0.} \end{cases} \quad (6)$$

Формулы (6) согласуются с приведенными в [22], см. [23].

в) **Звездные величины.** Переход от звездных величин Цвикки m_P [10] к звездным величинам в системе Холмберга m_{H0} , учитывающий нуль-пункт и ошибки штрихующей кассеты, согласно [13], есть

$$m_{H0} = 0.89 m_P - 0.56 \lg a_{25} - 0.28 \lg e_{25} + C_z(a, \delta), \quad (7)$$

где a_{25} вычислялись по формулам (2)–(5), e_{25} — согласно (6), а поправка за том Цвикки есть:

$$C_z(a, \delta) = \begin{cases} 1.07 & (\text{т. I}) \\ 1.23 & (\text{т. V}) \\ 1.45 & (\text{т. II–VI}). \end{cases} \quad (8)$$

При этом расчете диаметр галактики выражен в минутах дуги. Затем звездная величина m_{H0} редуцировалась за галактическое поглощение Δm_A , K -поправку Δm_K [формулы (3) и (4)] и за внутреннее поглощение света

$$\Delta m_i = 0.70 \lg (a_{25}/b_{25}) \equiv -0.70 \lg e_{25}. \quad (9)$$

* Принято, что системы диаметров каталогов [1], [2] и [7] практически совпадают [5].
** K -поправка вычислялась для всех галактик из [2] и для 300 изолированных галактик, имеющих измерения лучевых скоростей v_0 .

Окончательно

$$m_{H_0}^e = m_{H_0} - \Delta m_A - \Delta m_K - \Delta m_i. \quad (10)$$

Совокупность формул редукции (2)—(10) позволяет исключить основные систематические погрешности и делает наблюдательный материал достаточно однородным для дальнейшего статистического анализа.

Выбор формулы для поверхностной яркости. Прежде чем сравнивать между собой одиночные и двойные галактики, необходимо четко определить выражение для средней поверхностной яркости галактики. В этом вопросе не существует пока стандартного подхода. Некоторые авторы (например, [8, 24]) используют следующую формулу средней поверхностной яркости в звездных величинах с квадратной секунды:

$$V_{\square}^e = m + 2.5 \lg (\pi a^2 e / 4) + 8.89, \quad (11)$$

где интегральная величина галактики распределяется внутри площади под эллиптической изофотой, а m и a заданы выбранной системой величин и диаметров.

Такое определение имеет, на наш взгляд, явный недостаток, поскольку поверхностная яркость галактики становится зависимой от ее ориентации относительно луча зрения, или видимого отношения осей $e = b/a$. Оценить роль эффектов ориентации и фотометрической редукции позволяют данные рис. 1. Знаком I на нем изображена зависимость средней поверхностной яркости двойных галактик V_{\square}^e от видимого сжатия при различном выборе значений $\{m, a\}$. Как видим, редукция $a \rightarrow a_{25}$ в среднем ослабляет поверхностную яркость у круглых галактик и повышает ее у объектов, видимых с ребра. Переход $m_p \rightarrow m_{H_0} \rightarrow m_{H_0}^e$ увеличивает поверхностную яркость галактик, особенно у сжатых, вследствие учета поглощения света внутри них. Аналогичные закономерности мы получили также для изолированных галактик. Данные для них мы не приводим, чтобы не усложнять рисунок.

В системе $\{m_{H_0}^e, a_{25}\}$ средняя поверхностная яркость галактик, определяемая выражением (11), тесно коррелирует с видимым сжатием e_{25} . Причина этой зависимости вполне очевидна. При правильном учете внутреннего поглощения света интегральная светимость галактики не должна коррелировать с ее наклоном, а зависимость $V_{\square}^e(e)$ в (11) будет определяться геометрическим фактором площади.

Чтобы ослабить влияние фактора наклона и тем самым уменьшить дисперсию поверхностных яркостей галактик, будем использовать в дальнейшем следующее выражение для редуцированной поверхностной яркости:

$$V_{\square}^e = m_{H_0}^e + 2.5 \lg (\pi a_{25}^2 / 4) + 8.89. \quad (12)$$

Средние значения V_{\square}^e при разных видимых сжатиях двойных галактик изображены на рис. 1, 5. Из этих данных можно заключить, что при $e_{25} > 0.2$ поверхностная яркость галактик остается практически постоянной. У галактик с $e_{25} = 0.1 \div 0.2$ понижение средней поверхностной яркости обусловлено, вероятно, тем, что формула (9) недоучитывает внутреннее поглощение света в галактиках, наблюдаемых с ребра. Нельзя, однако, исключить и другое предположение, что истинно плоские галактики имеют меньшую поверхностную яркость, чем объекты сферической формы. К обсуждению этого момента мы вернемся в следующем параграфе.

Основные закономерности. Распределение числа одиночных и двойных галактик по структурным типам представлено в табл. 1. Для членов пар дополнительно указано число галактик, имеющих различные типы по спектральной классификации, описанной выше. Эти данные подтверждают наш прежний вывод [3] о том, что поздние морфологические типы встречаются среди изолированных галактик значительно чаще, чем среди компонентов пар. В выборке галактик поля эллиптические галактики составляют всего 9% против 20% среди двойных систем. Эту особенность следует рассматривать как проявление известного эффекта сегрегации галактик по структурным типам в зависимости от пространственной концентрации галактик [25]. Морфологическая сегрега-

ТАБЛИЦА 1

Распределение числа изолированных и двойных галактик по морфологическим типам и спектральным признакам

Тип	$n_{\text{дв. г}}$					$n_{\text{из. г}}$ все спектры
	«А»	«W»	«M»	«S»	Все спектры	
E	162	16	8	11	197	83
S0	44	13	4	5	66	79
Sa	57	46	47	48	198	144
Sb	33	80	107	43	263	265
Sc	7	50	90	48	195	240
Sm	0	4	19	38	61	91
Все типы	303	209	275	193	980	902

ция одиночных и двойных галактик, вероятно, отражает различие в начальных условиях образования этих объектов. Другая возможная причина была указана Дресслером [26]: формирование диска галактики путем натекания первичного газа происходит довольно медленно с характерной шкалой времени $T \geq 2 \cdot 10^9$ лет. Поэтому изолированные галактики, в широких окрестностях которых отсутствуют массивные соседи, имеют возможность завершить процесс образования диска быстрее, чем компоненты двойных систем.

Распределение числа двойных галактик по морфологическим и спектральным типам демонстрирует хорошо известную корреляцию между этими признаками. Так, для галактик E и S0 отношение числа абсорбционных объектов («А») к числу галактик, богатых сильными эмиссиями («S»), составляет 13 : 1, а для поздних типов (Sc, Sm) — только 1 : 12. Эти данные указывают на различие в содержании газа и горячих звезд в галактиках разного типа. Было бы интересно выяснить, существуют ли систематические различия по спектральным типам между изолированными и двойными галактиками. К сожалению, имеющийся наблюдательный материал по спектрам изолированных галактик пока недостаточен для ответа на этот вопрос.

ТАБЛИЦА 2

Зависимость средней поверхностной яркости двойных и изолированных галактик от морфологического и спектрального типов

Тип	$\langle B_{\square''} \rangle_{\text{дв. г}}$					$\langle B_{\square''} \rangle_{\text{из. г}}$ (все спектры)
	«А»	«W»	«M»	«S»	Все спектры	
E	$22^{\text{m}}80 \pm 0.04$	$22^{\text{m}}91 \pm 0.11$	$22^{\text{m}}52 \pm 0.16$	$22^{\text{m}}36 \pm 0.25$	$22^{\text{m}}77 \pm 0.04$	$21^{\text{m}}80 \pm 0.06$
S0	22.74 ± 0.07	22.67 ± 0.11	23.11 ± 0.17	22.64 ± 0.23	22.74 ± 0.06	22.20 ± 0.06
Sa	22.95 ± 0.06	22.93 ± 0.08	22.66 ± 0.09	22.37 ± 0.09	22.74 ± 0.04	22.70 ± 0.05
Sb	22.84 ± 0.08	22.58 ± 0.06	22.59 ± 0.05	22.29 ± 0.09	22.57 ± 0.03	22.72 ± 0.04
Sc	23.28 ± 0.17	22.94 ± 0.09	22.71 ± 0.07	22.41 ± 0.09	22.72 ± 0.05	23.12 ± 0.05
Sm	—	22.83 ± 0.40	22.90 ± 0.26	22.42 ± 0.12	22.60 ± 0.11	22.98 ± 0.09
Все типы	22.83 ± 0.03	22.78 ± 0.04	22.67 ± 0.04	22.38 ± 0.05	22.69 ± 0.02	22.72 ± 0.02

ТАБЛИЦА 3

Распределение относительного числа галактик по спектральным признакам для объектов Аракеяна и двойных галактик высокой поверхностной яркости, %

Выборка галактик	«А»	«W»	«M»	«S»
Аракеяна ($n=33$)	36	18	30	16
$B_{\square''} \leq 21^{\text{m}}65$ ($n=46$)	—	6	35	59

Распределения одиночных и двойных галактик по поверхностным яркостям, определяемым формулой (12), представлены соответственно на рис. 2 и 3. Форма обоих распределений близка к гауссовой. Среднее значение поверхностной яркости для изолированных галактик составляет $22^m.72$ со стандартным отклонением $\sigma_B = 0^m.82$. Для двойных галактик $\langle B_{\square} \rangle = 22^m.69$ со стандартом $\sigma_B = 0^m.60$. Отметим, что дисперсия поверхностных яркостей на рис. 2 и 3 оказывается значительно меньшей, чем по данным [6]. Это объясняется лучшей однородностью использованных нами данных, а также редукцией звездных величин и угловых диаметров галактик к стандартной системе.

Зависимость средней поверхностной яркости изолированных и двойных галактик от морфологического и спектрального типа объектов приведена в табл. 2.

Для каждого значения $\langle B_{\square} \rangle$ указаны также стандартные ошибки среднего. Из этих данных следует, что средняя поверхностная яркость двойных галактик монотонно возрастает при переходе от абсорбционных объектов к галактикам, богатым эмиссиями. Амплитуда эффекта составляет около $0^m.45$ и приблизительно одинакова у различных морфологических типов галактик. Эта закономерность под-

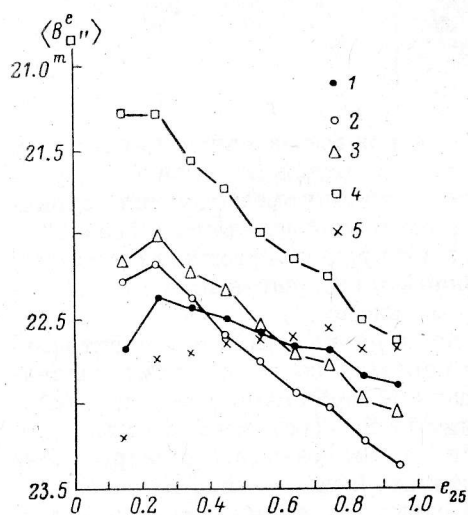


Рис. 1. Зависимость средней поверхности яркости от видимого сжатия для 980 двойных галактик.

Поверхностные яркости, определяемые выражением (11) при следующих данных о видимых величинах и угловых диаметрах галактик: 1 — тр, а; 2 — тр, a_{25} ; 3 — тН₀, a_{25} ; 4 — тН₀, a_{25} ; 5 — значения, вычисленные по формуле (12).

тверждает вывод Аракеяна о том, что галактики с сильными эмиссионными линиями следует искать прежде всего среди объектов высокой поверхностной яркости. С такой целью Аракеяном был составлен каталог галактик высокой поверхностной яркости [8]. Среди двойных галактик число объектов Аракеяна составляет 33, а среди одиночных — только 9. Они отмечены на рис. 2 и 3 штриховкой. Хотя объекты Аракеяна и смещены относительно выборочных средних в сторону высоких поверхностных яркостей, они тем не менее оказываются рассеянными по широкому интервалу B_{\square} . Это обстоятельство мы склонны приписать несовершенству методики, применявшейся Аракеяном. Поясним это следующим примером. Выделим на рис. 3 наиболее компактные галактики, скажем, условием $B_{\square} \leq 21^m.65$. Распределение 46 таких компактных галактик и 33 объектов Аракеяна по спектральным признакам указано в табл. 3. Среди объектов Аракеяна только 16 % характеризуется сильными эмиссиями, тогда как у галактик с $B_{\square} \leq 21^m.65$ относительное число богатых эмиссиями (тип «S») составляет 59 % (к тому же среди последних галактики с абсорбционными спектрами совсем отсутствуют). По-видимому, поиск эмиссионных галактик по признаку их компактности следует проводить на основе более однородной системы угловых диаметров, чем система МКГ [9], и исключать различные систематические эффекты, увеличивающие дисперсию поверхностных яркостей галактик.

Завершая комментарии к вопросу о связи между компактностью галактики и наличием в ее спектре сильных эмиссий, отметим следующий момент. Избыточная поверхностная яркость галактики может быть следствием как ее повышенной светимости, так и в равной степени — малых линейных размеров. Рис. 4 демонстрирует зависимость средней поверхностной яркости от линейного диаметра, построенную по 980 двойным галактикам. Здесь и далее мы используем значение постоянной Хаббла $H = 75$ (км/с) · Мпс⁻¹. При переходе от карликовых объектов к гигантским галактикам поверхностная яркость монотонно уменьшается, достигая перепада $\Delta B_{\square} \approx 1^m.6$. Аналогичный ход регрес-

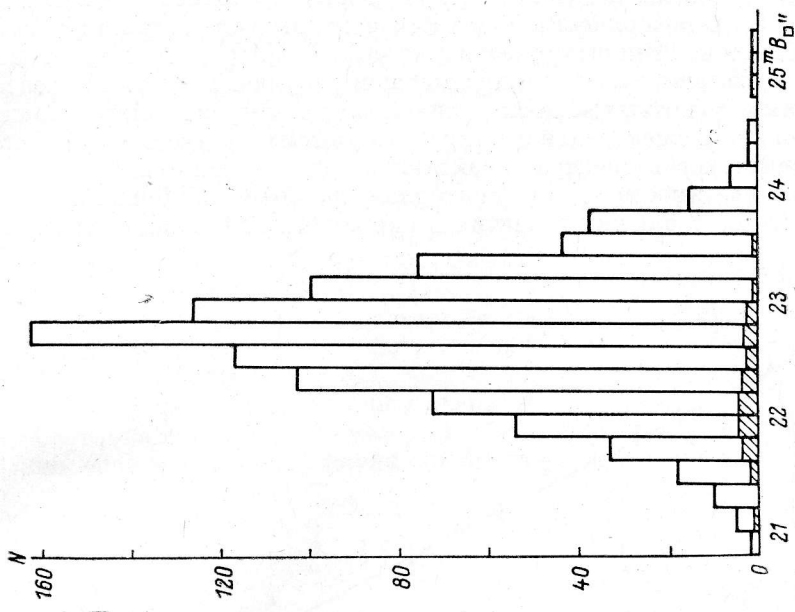


Рис. 2. Распределение 902 изолированных галактик по поверхностным яркостям.

Штриховкой обозначены компактные объекты Аракеляна.

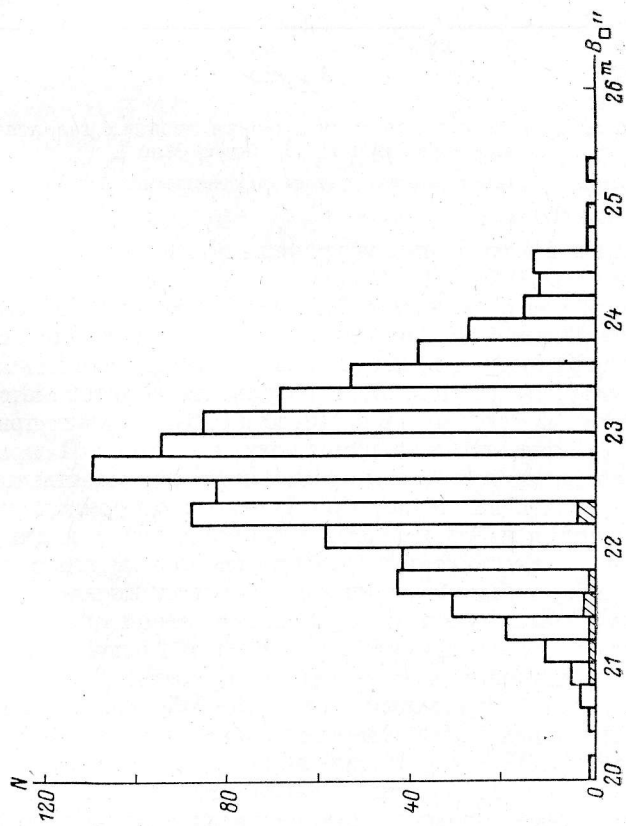


Рис. 3. Распределение 980 двойных галактик по поверхностным яркостям.

Штриховкой отмечены объекты Аракеляна.

сии $\langle B_{\square''} | A_{25} \rangle$ мы получили также по 300 изолированным галактикам с измеренными лучевыми скоростями. Зависимость $\langle B_{\square''} \rangle$ от абсолютной величины двойных галактик представлена на рис. 5. С уменьшением светимости галактик наблюдается падение их поверхностной яркости с некоторым подъемом у самых карликовых объектов. Амплитуда зависимости $\langle B_{\square''} | M_{H_0} \rangle$ составляет всего $0^m.6$, т. е. в 2.5 раза меньше, чем на предыдущем рисунке. В табл. 4 приведены средние значения абсолютных величин и линейных диаметров двойных галактик отдельно для каждого спектрального типа. Из данных следует, что богатство эмиссионных признаков в спектре галактики в среднем монотонно возрастает с уменьшением и светимости, и линейного диаметра объекта. Можно предположить, что в процессе эволюции галактик в карликовых системах дольше всего

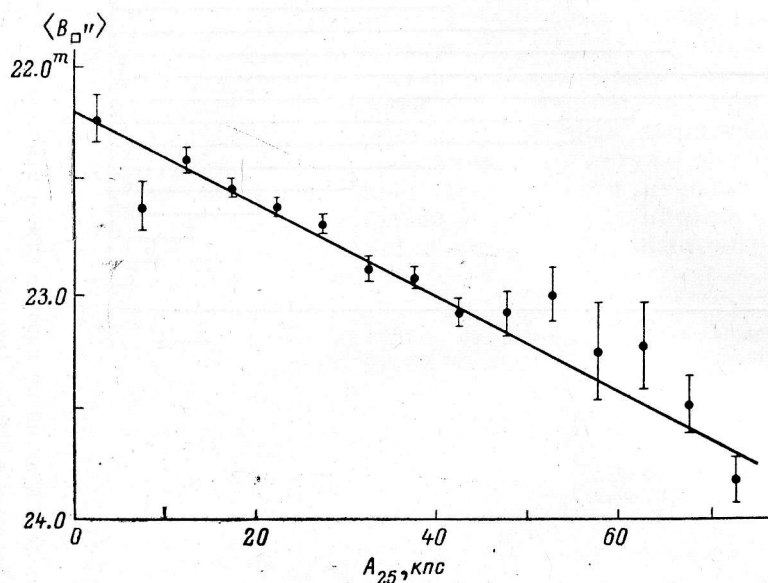


Рис. 4. Зависимость средней поверхностной яркости двойных галактик от их линейного диаметра при $H=75$ (км/с) \cdot Мпс $^{-1}$.

Вертикальными отрезками указаны стандартные ошибки среднего.

сохраняется газ, а вместе с ним и условия для активного звездообразования в настоящую эпоху.

Обратимся еще раз к данным табл. 2 и рассмотрим, как связана поверхностная яркость галактик с морфологическим типом. У компонентов двойных систем средняя поверхностная яркость оказывается практически одинаковой для различных структурных типов. Этот результат представляется нам довольно неожиданным. Отмечая его, мы не видим каких-либо явных причин, обуславливающих такое постоянство поверхностных яркостей. В противоположность двойным изолированные галактики проявляют более естественную зависимость: поверхностная яркость их падает при переходе от ранних типов к поздним. Наибольшие различия наблюдаются для эллиптических и линзовидных галактик: изолированные E-галактики превосходят по поверхностной яркости компоненты пар на одну звездную величину. (Среди эллиптических изолированных галактик в [1] значительную часть составляют компактные и очень компактные по Цвикки объекты). Заметим, что по данным [6] одиночные и двойные E-галактики имеют одинаковые поверхностные яркости. Дополнительный анализ показывает, что этот ошибочный результат обусловлен избирательностью. Большинство одиночных эллиптических галактик из-за своей компактности не попали в каталог МКГ, использованный в [6], и поэтому в статистику были включены только 36 изолированных E-галактик из 83.

Вернемся к вопросу о зависимости между средними поверхностными яркостями и видимыми сжатиями галактик. На рис. 6 приведены регрессии $\langle B_{\square''} | e_{25} \rangle$ для изолированных и двойных галактик без разделения их на структурные

типы. Данные для изолированных галактик обозначены прямоугольниками, высота которых соответствует стандартной ошибке среднего, точками изображены средние по выборке двойных галактик (отрезки при них указывают стандартную ошибку среднего). Обе выборки имеют сходный вид зависимости $\langle B_{\square} \rangle | e_{25} \rangle$ с завалом на малых видимых сжатиях. Небольшой избыток в поверхностных яркостях у круглых изолированных галактик объясняется наличием среди них избытка по сравнению с компонентами пар компактных объектов Цвикки. Понижение средних поверхностных яркостей у галактик, видимых с ребра, следует отнести за счет недооценки внутреннего поглощения света в галактиках по формуле (12). Альтернативная интерпретация этого эффекта (существование корреляции между поверхностной яркостью и пространственным сжатием) представляется менее вероятной, поскольку бедные пылью E- и S0-галактики не обнаруживают отмеченного завала.

По данным рис. 6 изолированные галактики проявляют несколько больший эффект самопоглощения света, чем члены двойных систем, т. е. содержат больше пыли.

Соотношение поверхностная яркость — взаимное расстояние в парах галактик.

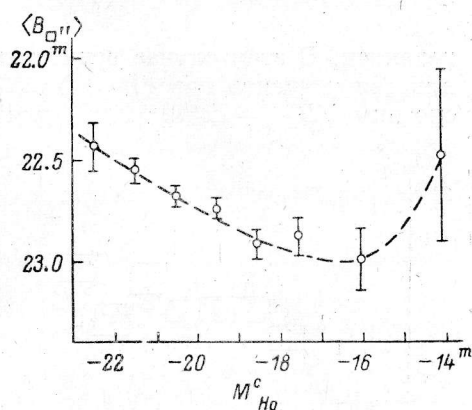


Рис. 5. Зависимость средней поверхностной яркости двойных галактик от абсолютной величины.

Отрезками обозначены стандартные ошибки среднего.

Аракелян и Магтесян [6] обнаружили, что средняя поверхностная яркость двойных галактик уменьшается с ростом линейного расстояния между компонентами пары X , выходя асимптотически (при $X=250$ кпс) на значение $\langle B_{\square} \rangle$ для изолированных галактик. Мы построили зависимость $\langle B_{\square} \rangle | X \rangle$ на более полном наблюдательном материале, очищенном от ложных пар. Средние значения поверхностной яркости при разных X представлены на рис. 7 точками, вертикальные отрезки при них обозначают стандартную ошибку среднего. За исключением одной точки (в области 80—100 кпс) остальные ложатся на нисходящую кривую с перепадом $\Delta B_{\square} = 0^m.7$. Для объяснения этой зависимости рассмотрим два различных предположения. А) В тесных парах, где взаимное расстояние компонентов сравнимо с диаметрами галактик, происходит «обдирание» внешних областей галактик. Приливные эффекты выражены тем сильнее, чем ближе галактики друг к другу, поэтому члены контактных пар будут иметь наиболее высокую поверхностную яркость. Б) Причина наблюдаемой корреляции $\langle B_{\square} \rangle | X \rangle$ может быть вызвана влиянием селекции. Условие включения пары галактик в каталог [2] зависит явным образом как от угловых диаметров и видимых величин галактик, так и от взаимного расстояния между ними. Две галактики ярче $15^m.7$ на большом взаимном расстоянии имеют тем выше вероятность удовлетворить критерию каталога [2], чем больше их угловые размеры по сравнению с окрестными галактиками фона. Следовательно, галактики в широких парах должны отличаться от тесных пар более низкой поверхностной яркостью, что качественно соответствует данным рис. 5.

Для количественной проверки эффекта селекции мы использовали результаты моделирования, воспроизводившего видимое распределение галактик на небе и условия отбора среди них двойных систем. Методика моделирования описана в [27]. Зависимость $\langle B_{\square} \rangle | X \rangle$ для выборки моделированных пар представлена на рис. 7 ромбиками, высота которых соответствует стандартной ошибке среднего.* Как видно из этих данных, предположение о роли селекции способно объяснить основную часть эффекта, наблюдаемого у реальных пар

* Поверхностная яркость моделированных двойных галактик содержит произвольную постоянную, которая допускает параллельный сдвиг ромбиков на рис. 5 вдоль вертикальной оси.

ТАБЛИЦА 4
Средние значения абсолютной величины и линейного диаметра для двойных галактик различного спектрального типа

Спектр	$\langle M_{H\alpha}^e \rangle$	$\langle A_{25} \rangle$, кпс
«А»	-20.60 ± 0.05	29.2 ± 0.7
«W»	-20.45 ± 0.07	26.4 ± 0.8
«M»	-20.13 ± 0.08	22.4 ± 0.6
«S»	-19.61 ± 0.12	17.1 ± 0.8

галактик. В этом случае асимптотическое (при $X=0$) значение поверхностной яркости у членов пар $\langle B_{\square''}|0 \rangle \approx 22^m.7$ находится в превосходном согласии со средним $\langle B_{\square''} \rangle = 22^m.72 \pm 0^m.02$ для изолированных галактик. Наилучшего со-

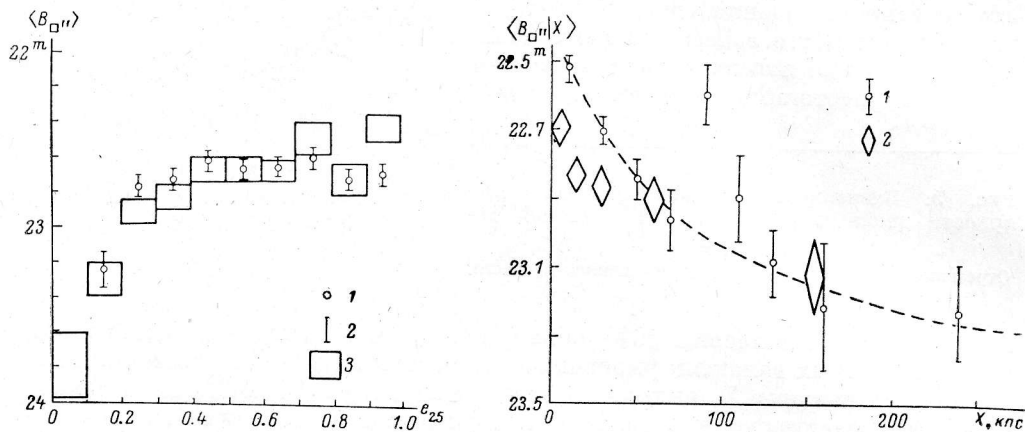


Рис. 6. Зависимость средней поверхностной яркости от видимого сжатия.

1 — двойные галактики; 2 — стандартная ошибка среднего; 3 — изолированные галактики (высота прямоугольника соответствует стандартной ошибке среднего).

Рис. 7. Зависимость средней поверхностной яркости двойных галактик от проекции линейного расстояния между компонентами пары.

1 — средние для реальных пар; 2 — для моделированных. Вертикальные размеры символов соответствуют стандартной ошибке среднего.

ответствия данных для моделированных и реальных пар можно достигнуть, полагая, что кроме основного эффекта избирательности на масштабах $X \leq 40$ кпс небольшое увеличение поверхностной яркости галактик обусловлено их приливным взаимодействием.

Заключение. Использование наиболее полных и однородных выборок одиночных и двойных галактик [1, 2], приведенных к стандартной фотометрической системе звездных величин ($m_{H\alpha}^e$) и угловых диаметров (a_{25}), позволило предпринять поиск систематических различий этих объектов по их поверхностным яркостям. Распределение изолированных и двойных галактик по поверхностным яркостям имеет вид, близкий к гауссовому, со средним значением и стандартным отклонением соответственно $\langle B_{\square''} \rangle_{\text{и.г.}} = 22^m.72 \pm 0^m.02$, $\sigma_B = 0^m.82$ и $\langle B_{\square''} \rangle_{\text{д.г.}} = 22^m.69 \pm 0^m.02$, $\sigma_B = 0^m.60$. У двойных галактик средняя поверхностная яркость практически не зависит от их морфологического типа, напротив, у одиночных $\langle B_{\square''} \rangle$ монотонно уменьшается от ранних типов к поздним. Среди эллиптических галактик одиночные имеют поверхностную яркость на одну звездную величину выше, чем члены двойных систем.

Наблюдательные данные обнаруживают существование положительной корреляции между поверхностной яркостью галактики и богатством эмиссионных признаков в ее спектре. Эмиссионные особенности оказываются наиболее выраженными у карликовых галактик. Это обстоятельство, вероятно, связано с ус-

ловиями эволюции карликовых систем, сохранивших газ и возможность активного звездообразования до настоящего времени.

Поверхностная яркость двойных галактик в среднем уменьшается с увеличением линейного расстояния между компонентами пары. Основной вклад в эту зависимость дает эффект селекции, сопутствующий выделению двойных систем на фоне соседних галактик. В тесных парах повышение поверхностной яркости, вероятно, связано с приливным взаимодействием галактик.

Приведенные наблюдательные данные могут быть использованы для выяснения особенностей в условиях образования и эволюции изолированных и двойных галактик.

Авторы выражают благодарность Г. Г. Коротковой за большую помощь при переводе каталогов изолированных и двойных галактик на магнитную ленту.

Литература

1. Караченцева В. Е. Каталог изолированных галактик. — Сообщ. САО, 1973, 8, с.3.
2. Караченцев И. Д. Каталог изолированных пар галактик северного неба. — Сообщ. САО, 1972, 7, с. 3.
3. Караченцев И. Д., Караченцева В. Е. Различие типов и форм изолированных и двойных галактик. — Астрон. ж., 1974, 51, с. 724.
4. Adams M. T., Jensen E. B., Stocke J. T. A continuum radio survey of isolated galaxies. Preprint of Steward observatory, 1980, No. 277.
5. Зонн В. Частное сообщение. 1974.
6. Аракелян М. А., Магтесян А. П. Средние поверхностные яркости одиночных и двойных галактик. — Астрофизика, 1981, 17, с. 53.
7. Nilson P. Uppsala General Catalogue of Galaxies. Uppsala, 1973. 456 p.
8. Аракелян М. А. Галактики высокой поверхностной яркости. — Сообщ. Бюрокан. обсерв., 1975, XLVII, с. 3.
9. Воронцов-Вельяминов Б. А., Красногорская А. А., Архипова В. П. Морфологический каталог галактик. М., МГУ, 1962, т. I. 206 с.; 1964, т. II. 288 с.; 1963, т. III. 260 с.
10. Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies / F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild et al. 1960, v. I. 319 p.; 1963, v. II. 371 p.; 1966, v. III. 394 p.; 1968, v. IV. 294 p.; 1965, v. V. 320 p.; 1968, v. VI. 246 p.
11. Paturel G. The diameter—luminosity relation. III. The system of magnitudes. — Astron. and Astrophys., 1977, 56, p. 259.
12. Когошвили Н. П. Некоторые замечания относительно размеров и звездных величин галактик, заподозренных в компактности. — Астрофизика, 1977, 13, с. 639.
13. Paturel G. Diameter—luminosity relation. IV. Application to the determination of the Hubble constant. — Astron. and Astrophys., 1979, 71, p. 19.
14. Караченцева В. Е. Изолированные галактики: анализ критерия. — Астрон. ж., 1980, 57, с. 1153.
15. Karachentsev I. D. New radial velocities for 301 pairs of galaxies. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1980, 44, p. 137.
16. Караченцев И. Д. Дополнительные данные о лучевых скоростях и орбитальных массах двойных галактик. — Письма в АЖ, 1981, 7, с. 76.
17. Караченцев И. Д. Двойные галактики, ошибки измерения их лучевых скоростей и среднее отношение массы к светимости. — Письма в АЖ, 1982, 9, с. 64—67.
18. Караченцев И. Д. Однородная выборка двойных галактик. II. Орбитальные массы. — Астрофизика, 1981, 17, с. 429.
19. Tifft W. Double Galaxy investigation. I. Observation. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1982, 50, p. 319—390.
20. Fisher J. R., Tully R. B. Neutral hydrogen observations of DDO dwarf galaxies. — Astron. and Astrophys., 1975, 44, p. 151.
21. Pence W. K-corrections for galaxies of different morphological types. — Astrophys. J., 1976, 203, p. 39.
22. Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Corwin H. C. Second Reference Catalogue of Bright Galaxies. Univ. of Texas Press, 1976. 396 p.
23. Vaucouleurs G. de, Pence W. Contribution to galaxy photometry. IX. Reduction to the standard B_T system of the magnitudes of 1180 galaxies in the Ames, Reiz, and Zwicky catalogs in the Virgo area. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1979, 40, p. 425.
24. Bottinelli L., Gougenheim L., Paturel G. Neutral hydrogen study of 40 Sa spiral galaxies. — Astron. and Astrophys., 1980, 88, p. 32.
25. Воронцов-Вельяминов Б. А. Внегалактическая астрономия. М.: Наука, 1972. с.
26. Dressler A. Galaxy morphology in rich clusters: implication for the formation and evolution of galaxies. — Astrophys. J., 1980, 236, p. 351.
27. Караченцев И. Д., Щербановский А. Л. Моделирование видимого распределения галактик. I. Описание процесса. — Сообщ. САО, 1978, 24, с. 5.

Поступила в редакцию 15 ноября 1982 г.