

УДК 524.7

ЧЕТЫРЕХЦВЕТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК.
СРАВНЕНИЕ С ГАЛАКТИКАМИ МАРКАРЯНА

А. Т. КАЛЛОГЛЯН, Ф. БЕРНГЕН

Поступила 2 апреля 1983

Принята к печати 25 апреля 1983

Приводятся результаты $UBVR$ поверхностной фотометрии семи нормальных спиральных галактик. Проведено сравнение фотометрических параметров, определенных для этих галактик и галактик с ультрафиолетовым избытком излучения. В частности показано, что после вычитания яркости ядер из интегральной яркости, галактики обоих типов показывают почти одинаковое распределение на диаграмме ($U-B$, $B-V$).

1. Введение. В работах [1—3] и [4, 5] приводились результаты $UBVR$ и UBV поверхностной фотометрии соответственно шести и трех галактик Маркаряна, взятых из списков [6, 7]. Были определены некоторые фотометрические характеристики для галактик Маркарян 7, 8, 10, 11, 12, 13, 185, 186 и 190. В частности было показано, что на диаграммах ($U-B$, $B-V$) имеется большой разброс показателей цвета различных областей внутри каждой отдельной галактики. Ядра большинства исследованных галактик оказались весьма голубыми. В некоторых случаях до 60—70% интегрального излучения галактики обусловлено областями, находящимися по своим цветам выше кривой абсолютно черного тела. Из результатов многоапертурной фотометрии, выполненной Брошом и Шейвивом [8], следует, что и в случае изолированных спиральных галактик значительная доля интегрального излучения иногда обусловлена областями в данной галактике, находящимися на диаграмме ($U-B$, $B-V$) выше кривой абсолютно черного тела. К тому же эти галактики, подобно галактикам S_m и Im , показывают посинение $U-B$ в ядерной области при уменьшении апертуры. В этом отношении изолированные спиральные галактики напоминают галактики с активными ядрами. При этом авторы приходят к выводу, что ультрафиолетовое излучение ядер скорее имеет незвездную природу.

Согласно Ларсону и Тинслей [9], в отличие от нормальных галактик, интегральные цвета пекулярных галактик Арпа, с явными признаками взаимодействия, показывают большой разброс на диаграмме ($U-B$,

В—V). Авторы считают, что большой разброс обусловлен вспышками звездообразования с характерным временем порядка 2×10^7 лет. При этом отметим, что состояние ядер галактик не учитывается. Между тем, явления, происходящие в ядрах галактик, столь разнообразны, а иногда столь грандиозны, что имеет смысл рассмотрение динамических и других особенностей внеядерных областей галактик в зависимости от состояния соответствующих ядер. Эту задачу поставил еще в 1964 г. В. А. Амбарцумян и привел некоторые доводы в пользу предположения, согласно которому ядро галактики влияет на ее эволюцию [10]. Следует с самого начала оговориться, что вряд ли можно ожидать строгих, а тем более однозначных корреляций между параметрами ядер и внеядерных областей галактик. Однако если рассмотреть ядра, находящиеся в примерно одинаковой форме активности, то можно надеяться прийти к более определенным выводам. В этом отношении подходящими объектами являются галактики Маркаряна, активность которых проявляется в наличии ультрафиолетового избытка излучения у их ядер. В пользу сказанного может свидетельствовать тот факт, что в подавляющем большинстве случаев в морфологии этих галактик наблюдается та или иная пёкулярность (см., например, [11, 12]).

Для выяснения роли ядра в жизни галактики целесообразно сопоставить фотометрические характеристики, определенные на однородном материале как для галактик с активными ядрами, так и для галактик с нормальными ядрами. Для этой цели метод поверхностной фотометрии представляется одним из наиболее подходящих и доступных. В настоящей статье приводятся результаты такого исследования для семи нормальных галактик, а точнее галактик с ядрами, активность которых не установлена, и полученные фотометрические характеристики сопоставляются с таковыми, полученными нами для галактик Маркаряна в цитированных выше работах.

2. *Наблюдательный материал и методика измерений.* С целью сохранения однородности наблюдательных данных были использованы снимки, на которых ранее нами фотометрировались галактики Маркаряна. Снимки были получены в системе *UBVR* в шмидтовском фокусе Таутенбургского двухметрового телескопа. На этих снимках ранее были измерены галактики Маркарян 7, 8 и 10—13 (см. [1—3]). Методика измерений описана в тех же статьях. Используемая диафрагма на объективном фотометре Таутенбургской обсерватории вырезает на снимках квадрат со стороной около $5''$.

В табл. 1 приведен список исследованных галактик. В первом столбце приведены номера галактик по каталогу Нильсона [13]. Последующие столбцы содержат данные, также взятые из этого каталога: морфологический тип, позиционный угол большой оси, оценка наклона галактик к

лучу зрения по 7-балльной системе (7—видимые с ребра), размеры галактик, определенные соответственно на синих и красных картах Паломарского атласа, и видимые интегральные величины.

Таблица 1
ДАННЫЕ ОБ ИЗМЕРЕННЫХ ГАЛАКТИКАХ

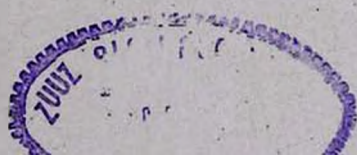
UGC	Морф. тип	Р.А.	δ	Размеры	$m_{\text{гр}}$
04 169	Sc	140°	5	1.7×0.8 1.8×0.8	13 ^m .5
04 159	S	90	—	0.9×0.5 0.9×0.4	13.9
04 128	Sc	45	4	1.8×1.1 1.7×0.9	13.9
04 057	Sa	55	6	2.6×0.7 2.7×0.8	13.4
04 036 NGC 2441	Sc/SBc	—	1	2.3×2.2 2.2×2.2	12.7
03 859	Sa	45	3	1.6×1.1 1.7×1.2	13.3
03 858	Sa	120	2	1.2×1.0 1.4×1.1	13.8

Первые три галактики в табл. 1 находятся на снимках области галактик Маркарян 10 и 13, а четыре последних — на снимках области галактик Маркарян 7, 8, 11, 12. Отметим еще, что согласно [13] галактики UGC 04 169 и 04 159, а также UGC 03 858 и 03 859 составляют пары.

Как видно из данных табл. 1 все исследуемые галактики являются спиралями. Распределение исследованных нами в [1—5] галактик с ультрафиолетовым избытком излучения по морфологическим типам таково: 6—спиральных, 2—иррегулярных и 1—типа S0. Преобладание спиральных галактик среди этих объектов обусловило выбор в этой статье только спиралей.

Все нижеследующие данные приведены в нашей цветовой системе. Их можно перевести к стандартной системе UBV по приведенным в [1] уравнениям. Для R -цвета $\lambda_{\text{эф}} = 6300 \text{ \AA}$, что очень близко к значению эффективной длины волны стандартной R -системы Бекера.

3. *Результаты.* В табл. 2 приведены интегральные звездные величины и показатели цвета исследуемых галактик. Все три показателя цвета $U-B$, $B-V$ и $V-R$ определялись в тех радиусах, где можно было вычислить соответствующие звездные величины. Из-за сравнительно яркой предельной звездной величины в цвете R показатель цвета $V-R$ определялся для более внутренних областей галактик.



В последних двух столбцах табл. 2 приведены средние ($B/\square''$) и средневзвешенные (β_0) поверхностные яркости галактик. Средние поверхностные яркости определялись обычным путем деления интегральной интенсивности данной галактики на соответствующую площадь, выраженной в кв. секундах дуги. β_0 определялась по использованной для галактик Маркаряна формуле, приведенной в [1]:

$$\beta_0 = -2.5 \lg i = -2.5 \lg \int f(i) ds / \int f(i) ds, \quad (1)$$

где i — поверхностная яркость в разных точках галактики, ds — элемент площади, а $f(i)$ — некоторый, заранее принятый вес. Значения $f(i)$ определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} f(i) &= i_0 & \text{при } i \geq i_0, \\ f(i) &= i & \text{при } i < i_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь i_0 некоторая условная поверхностная яркость, введением которой интервал поверхностной яркости в галактике разбивается на две части. Как и в случае галактик Маркаряна, для i_0 в звездных величинах с кв. секунды дуги принято значение $21^m.5$.

Таблица 2

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЛАКТИК

UGC	B	$U-B$	$B-V$	$V-R$	Размеры	$B/\square''$	β_0
04 169	17 ^m .79	-0 ^m .19	0 ^m .54	0 ^m .20	0.1×0.1	22 ^m .98	22 ^m .43
	14.21	-0.06	0.48	0.10	1.2×0.55		
	14.01	—	0.51	—	1.6×0.85		
04 159	17.34	0.03	0.44	0.42	0.1×0.1	22.74	21.90
	14.79	-0.11	0.50	0.23	0.9×0.4		
	14.68	—	0.53	—	1.1×0.5		
04 128	17.69	0.25	0.76	0.39	0.1×0.1	23.24	22.62
	14.62	0.05	0.70	0.24	1.0×0.7		
	14.45	—	0.73	—	1.2×0.9		
04 057	16.96	0.05	0.61	0.72	0.1×0.1	23.20	22.17
	14.43	0.30	0.88	0.45	1.2×0.5		
	13.92	—	0.96	—	2.4×0.8		
04 036	18.07	0.29	1.12	0.26	0.1×0.1	23.19	22.78
	13.76	0.03	0.80	0.23	1.4×1.2		
	13.54	—	0.82	—	1.7×1.6		
03 859	17.71	0.32	0.70	0.49	0.1×0.1	23.09	22.01
	14.70	0.34	0.89	0.28	0.7×0.4		
	14.36	—	0.97	—	1.2×0.9		
03 858	17.07	0.31	0.55	0.59	0.1×0.1	23.23	22.12
	14.96	0.27	0.83	0.32	0.6×0.5		
	14.64	—	0.91	—	1.4×0.9		

При определении β_0 большой вес придается более ярким областям в данной галактике. Как известно, в определении $\overline{B/\square''}$ существенную роль играют слабые внешние области галактик, которые иногда сильно занижают ее значение. При этом для разных галактик их влияние может оказаться совершенно различным.

По данным табл. 2 среднее значение $\overline{B/\square''}$ для трех галактик типа Sa равно 23^m17 , а для трех галактик типа Sc 23^m14 , то есть оба значения практически совпадают. Между тем, средние значения β_0 для этих же двух групп соответственно равны 22^m10 и 22^m61 , то есть по поверхностной яркости галактики типа Sa в среднем на 0^m5 ярче галактик типа Sc, что и следовало ожидать. К тому же дисперсии величины β_0 для 7 нормальных галактик и 9 галактик Маркаряна соответственно равны 0.09 и 0.12, тогда как дисперсии величины $\overline{B/\square''}$ для двух выборок существенно отличаются (они соответственно равны 0.03 и 0.20). Исходя из сказанного, мы считаем более целесообразным использование параметра β_0 при сравнении средних поверхностных яркостей различных типов галактик. Среднеарифметическое значение β_0 для 7 галактик, исследуемых в настоящей статье, равно 22^m29 , а для 9 галактик Маркаряна 21^m56 . Таким образом, по средневзвешенным поверхностным яркостям галактики с ультрафиолетовым избытком излучения в среднем на 0^m7 ярче нормальных галактик. Между тем, согласно Хукра [14] средние поверхностные яркости галактик Маркаряна и галактик поля, вычисленные обычным способом, практически совпадают.

На диаграммах ($U-B$, $B-V$), построенных для каждой из 7 нормальных галактик, были нанесены точки, характеризующие значения $U-B$ и $B-V$ для каждой измеренной площадки. Затем отсюда были вычислены суммарные интенсивности в B -цвете областей в каждой галактике, находящихся по своим цветам в полосах, параллельных кривой абсолютно черного тела. Эти суммарные интенсивности были разделены на интегральную интенсивность всей галактики в B -цвете. Ширина взятых нами полос равна 0^m2 . Как и в работах [1—5], полоса № 4 примыкает к кривой абсолютно черного тела сверху, а полоса № 5 — снизу. Полученные данные приведены в табл. 3.

Из данных табл. 3 можно прийти к следующим выводам: во-первых, максимум суммарной интенсивности в таких полосах для всех галактик попадает ниже кривой абсолютно черного тела; во-вторых, вопреки ожидаемому, величина K , определяющая долю интенсивности выше кривой абсолютно черного тела, не увеличивается при уменьшении $U-B$. Так, например, в случае галактики UGC 04 036, обладающей довольно красным ядром, $K \approx 0.5$, тогда как в случае галактики UGC 04 169 с наиболее голу-

бым ядром $K = 0.18$. В подтверждение сказанному укажем, что в среднем для всех семи нормальных галактик $K = 0.28$, а для девяти галактик с ультрафиолетовым избытком излучения ядер $K = 0.27$.

Таблица 3

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ В ПОЛОСАХ
НА ДИАГРАММАХ ($U-B$, $B-V$)

UGC	№ полосы							K
	1	2	3	4	5	6	7	
04 169	—	—	0.037	0.142	0.310	0.433	0.078	0.179
04 159	0.015	0.040	0.048	0.089	0.487	0.244	0.077	0.192
04 128	—	0.005	0.057	0.206	0.562	0.170	—	0.268
04 057	0.005	0.019	0.064	0.238	0.330	0.151	0.193	0.326
04 036	—	0.009	0.060	0.420	0.459	0.047	0.005	0.489
03 859	—	0.017	0.016	0.194	0.403	0.370	—	0.227
03 858	0.009	0.014	0.079	0.183	0.252	0.463	—	0.285

На рис. 1 приведены диаграммы ($U-B$, $B-V$), построенные для ядер галактик, для галактик в целом и для галактик без учета яркости ядерных областей. Для сравнения на диаграммах нанесены также галактики с ультрафиолетовым избытком излучения, данные о которых взяты из работ [1—5].

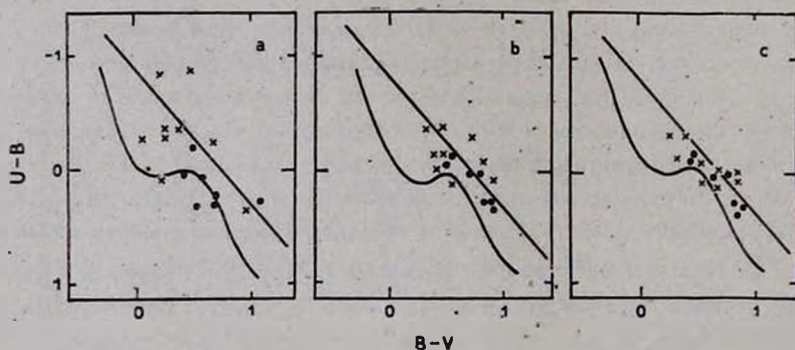


Рис. 1. Диаграммы ($U-B$, $B-V$) для а) ядер галактик, б) галактик в целом и в) галактик без учета яркости ядер. Точки — нормальные галактики, крестики — галактики Маркаряна.

На рис. 1а бросается в глаза большой разброс в распределении галактик Маркаряна. Для нормальных галактик он несравненно меньше. Это различие, правда, в меньшей степени, сохраняется и на рис. 1б, на котором нанесены интегральные цвета галактик. Оно почти исчезает на рис. 1с, где использованы цвета галактик без учета яркости их ядер. Вместе с тем,

внешние области галактик Маркаряна существенно более красные, чем их ядра.

4. **Заключение.** В ходе настоящего исследования получены следующие результаты:

Во-первых, по средневзвешенным поверхностным яркостям галактики с ультрафиолетовым избытком излучения ядер в среднем на $0^m.7$ ярче нормальных спиральных галактик, исследованных в этой статье. Этот вывод, однако, основан на небольшом материале и нуждается в дальнейшем подтверждении.

Во-вторых, распределение интенсивности относительно кривой абсолютно черного тела на диаграмме ($U-B$, $B-V$) не зависит от состояния ядра. Как в случае галактик с ультрафиолетовым избытком излучения ядер, так и для нормальных спиральных галактик в среднем около 30% интегрального излучения обусловлено областями, находящимися по своим цветам выше кривой абсолютно черного тела.

В-третьих, большой разброс, наблюдаемый для интегральных цветов галактик Маркаряна на диаграмме ($U-B$, $B-V$), обусловлен ядрами этих галактик. При вычитании интенсивности ядер из интегральных интенсивностей, этот разброс сильно уменьшается и почти не отличается от такового для нормальных спиральных галактик. К аналогичному выводу пришел Видман [15] на основании фотоэлектрических наблюдений нескольких галактик Маркаряна.

Таким образом, с одной стороны, активные ядра (какими считаются ядра галактик Маркаряна) чаще присутствуют в галактиках высокой поверхностной яркости, а с другой — характер излучения внеядерных областей галактик, по-видимому, не зависит от наличия в них активного ядра с избытком излучения в ультрафиолетовой области спектра. При этом отметим, что галактика Маркарян 10 из нашей выборки принадлежит к типу сейфертовских.

Согласно Бирману и Фрике [16], оптические и радиоособенности большинства галактик Маркаряна, исключая галактики типа Sy 1, можно объяснить вспышками звездообразования в них. Имея в виду результаты настоящей работы, следует допустить, что предполагаемые вспышки звездообразования происходят, в основном, в ядрах галактик с ультрафиолетовым избытком излучения. Однако для более правильного истолкования наблюдательных данных необходимо привлечь к рассмотрению большее число галактик с активными и неактивными ядрами, чем исследовано в настоящей статье.

Авторы глубоко благодарны академику В. А. Амбарцумяну за полезную дискуссию. Один из авторов (А. Т. К.) признателен руководству и

сотрудникам Таутенбургской обсерватории за оказанное содействие при выполнении настоящей работы.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Центральный институт астрофизики АН ГДР

A FOUR-COLOUR PHOTOMETRY OF SPIRAL GALAXIES. A COMPARISON WITH MARKARIAN GALAXIES

A. T. KALLOGHLIAN, F. BÖRNGEN

The results of *UBVR* surface photometry of seven normal spiral galaxies and a comparison of some photometric parameters of these galaxies with galaxies having ultraviolet excess of radiation are given. It has been particularly shown that the subtraction of nuclear brightnesses from integrals leads to about the same distribution of underlying galaxies of both types on the $(U-B, B-V)$ diagram.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Бёрнген, А. Т. Каллоглян, *Астрофизика*, 10, 159, 1974.
2. Ф. Бёрнген, А. Т. Каллоглян, *Астрофизика*, 11, 5, 1975.
3. Ф. Бёрнген, А. Т. Каллоглян, *Астрофизика*, 11, 617, 1975.
4. Ф. Бёрнген, А. Т. Каллоглян, А. Г. Еликян, *Астрофизика*, 12, 13, 1976.
5. Ф. Бёрнген, А. Т. Каллоглян, А. Г. Еликян, *Астрофизика*, 13, 233, 1977.
6. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967.
7. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 443, 1969.
8. N. Brosch, G. Shavit, *Ap. J.*, 253, 526, 1982.
9. R. B. Larson, B. M. Tinsley, *Ap. J.*, 219, 46, 1978.
10. V. A. Ambartsumian, "The Structure and Evolution of Galaxies", Interscience Publishers, London—New York—Sydney, 1965, p. 1.
11. А. Т. Каллоглян, *Астрофизика*, 7, 521, 1971.
12. Ф. Бёрнген, А. Т. Каллоглян, *Астрофизика*, 11, 369, 1975.
13. P. Nilson, *Uppsala Astr. Obs. Ann*, № 6, 1973.
14. J. P. Huchra, Ph. D. Thesis, Pasadena, 1977.
15. D. W. Weedman, *Ap. J.*, 183, 29, 1973.
16. P. Bterman, K. Fricke, *Astron. Astrophys.*, 54, 461, 1977.