

УДК: 524.726—7

О ПРИРОДЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЯДЕР СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

Г. М. ТОВМАСЯН, С. А. АКОПЯН

Поступила 14 августа 1985

Принята к печати 20 октября 1986

Рассмотрено распределение U — B , B — V , J — H и H — K цветов центральных частей галактик с различными оценками бюраканской классификации. Показано, что в ядерных областях многих галактик с оценками 5 и 2s, а также 2 и 4, имеется избыток ультрафиолетового излучения. В ядерных областях галактик с оценками 5, 4 и 2s имеется также избыточное ИК-излучение.

1. *Введение.* Исследование центральных областей около 600 спиральных галактик, выполненное в Бюраканской астрофизической обсерватории [1], выявило наличие в них определенных структурных особенностей, таких, например, как звездообразные и расщепленные ядра. На этой основе была выполнена классификация центральных областей галактик (см. [1] и ссылки в ней) и было высказано предположение, что звездообразные (с оценкой 5) и звездopodobные (с оценкой 4) ядра находятся, возможно, в активной фазе своего развития [2]. Выполненные затем наблюдения радиоизлучения спиральных галактик показали, что по сравнению с галактиками без оптических признаков активности ядер (галактики с оценками 1 и 3), радиоизлучение заметно чаще наблюдается от галактик с оценками 5 и 2s, а также 2 и 4 [3—5]. Наличие радиоизлучения нетепловой природы подтверждало, что в ядрах галактик, обозначенных баллами 5, 2s, 2 и 4, действительно, в большей или меньшей степени протекают активные процессы. Сопоставление спектральных индексов радиоизлучения галактик различных бюраканских классов показало, что радиоисточники в активных ядрах галактик с оценками 2, 4, 5 и 2s имеют более пологие спектры, что является признаком молодости, чем радиоисточники в галактиках с оценками 1 и 3 без проявлений активности [6]. Недавнее рассмотрение U , B , V цветов спиральных галактик также указало на наличие определенной корреляции — галактики с более активными ядрами оказались и более голубыми [7]. Ранее было замечено, что в галактиках с оценками 5 и 2s намечается наличие избыточного ИК-излучения [8]. В последних двух ра-

ботах [7, 8], однако, были использованы данные о цветовых измерениях, относящихся к исследуемым галактикам в целом, и взятые в основном из Справочного каталога ярких галактик [9].

В настоящей работе сделана попытка рассмотреть распределение цветов именно ядерных областей галактик с известной бюраканской классификацией. Для этого из литературы [10—17] нами были отобраны данные наблюдений спиральных галактик, проведенных в U, B, V, J, H, K цветах лишь с такой апертурой, отношение диаметра которой к большим осям галактик, взятым из [9], оказалось меньше 0.2, т. е. рассматривались цвета только центральных областей галактик с линейными размерами в среднем менее 4 кпк. Это, конечно, существенно больше, чем линейные размеры ядерных радиоисточников, которые, согласно работам [18—20], не превышают обычно 1 кпк и иногда меньше 1 кпк. Тем не менее, очевидно, что полученное в данной работе распределение цветов в большей степени будет относиться именно к ядрам галактик, чем в работах [7, 8], в которых на результаты существенное воздействие могло иметь звездное население дисков этих галактик и их спиральных рукавов.

2. *Результаты обработки наблюдательных данных.* В табл. 1 приведены результаты определения средних значений цветов $U-B, B-V, J-H$ и $H-K$ для галактик с различными бюраканскими оценками центральных областей. В этой таблице n — объем выборки, т. е. количество галактик, для которых вычислены $\bar{x} \pm \sigma_x$ — средние значения цветов с соответствующими стандартными ошибками.

Таблица 1

СРЕДНИЕ ЦВЕТА РАЗЛИЧНЫХ ВЫБОРОК ГАЛАКТИК

Цвет		Бюраканский класс				
		3	4	5	2s	2
$U-B$	n	70	33	19	9	10
	$\bar{x} \pm \sigma_x$	0.46 ± 0.02	0.38 ± 0.05	0.12 ± 0.08	0.11 ± 0.09	0.10 ± 0.09
$B-V$	n	70	33	19	9	10
	$\bar{x} \pm \sigma_x$	0.96 ± 0.03	0.91 ± 0.03	0.76 ± 0.05	0.80 ± 0.07	0.74 ± 0.08
$J-H$	n	45	18	14	7	7
	$\bar{x} \pm \sigma_x$	0.72 ± 0.01	0.74 ± 0.02	0.75 ± 0.05	0.81 ± 0.03	0.76 ± 0.03
$H-K$	n	46	19	15	7	8
	$\bar{x} \pm \sigma_x$	0.27 ± 0.01	0.31 ± 0.02	0.41 ± 0.05	0.31 ± 0.03	0.29 ± 0.03

Заметим, что из рассмотрения исключены галактики с баллом 1, т. е. без следов центрального сгущения, поскольку относительно них не оказа-

лось данных в ИК-диапазоне, а галактик с соответствующими измерениями в U, B, V оказалось всего 4.

Наиболее многочисленными с измеренными цветами $U-B, B-V$, а также $J-H$ и $H-K$ оказались выборки галактик с оценкой 3, то есть галактик с яркими центральными сгущениями без наличия признаков присутствия ядер. Эти две выборки оказались и наиболее однородными — среднеквадратичные отклонения в их случае оказались, в среднем, минимальными. Поэтому, для выявления наличия цветовых признаков активности ядер галактик в группах галактик с другими оценками их центральных частей (2, 2s, 4 и 5) мы сравнивали средние значения их цветов со средними значениями цветов галактик с оценкой 3 с пассивными ядрами. Рассмотрение данных табл. 1 показывает, что по сравнению со средними значениями цветов $U-B$ и $B-V$ центральных областей галактик с оценкой 3 средние значения тех же цветов других групп галактик меньше. Это означает, что, по крайней мере, у многих из них имеется избыток ультрафиолетового и голубого излучения.

Как известно (см., например, [21]), основными характеристиками галактических совокупностей, в качестве каковых здесь рассматриваются цвета галактик различных бюраканских классов, являются средние значения и их дисперсии. Значения этих параметров обычно оцениваются по выборкам, составляющим часть этих совокупностей. В нашем случае большинство выборок имеют малый объем, поэтому им было приписано t -распределение Стьюдента. Сначала сравнивались дисперсии каждого цвета классов 2, 2s, 4 и 5 с соответствующей дисперсией класса 3 с использованием критерия Фишера и квантилей F -распределения. Затем для трех доверительных вероятностей определялась реальность отличия средних цветовых значений классов 2, 2s, 4 и 5 от средних значений класса 3. При этом использовались два критерия, один — в случае равенства дисперсий (t -критерий), другой — в случае их значимого различия (T -критерий) и квантили t -распределения. Результаты приведены в табл. 2, где дана максимальная из рассмотренных вероятностей, для которой средние реально различны. Прочерки означают совпадение средних значений.

Таблица 2
ДОСТОВЕРНОСТЬ РАЗЛИЧИЙ СРЕДНИХ ЦВЕТОВЫХ ИНДЕКСОВ ГАЛАКТИК БЮРАКАНСКИХ КЛАССОВ

	2	2s	4	5
$U-B$	0.999	0.999	—	0.999
$B-V$	0.95	0.999	—	0.999
$J-H$	—	0.95	—	—
$H-K$	—	—	0.99	0.99

Итак, оценки статистической значимости замеченных различий цветов показывают, что различия в цвете $U-B$ для галактик с оценками 2, 2s, 5 значимы с доверительной вероятностью 0.999. Это говорит о том, что центральные области этих групп галактик, без сомнения, обладают ультрафиолетовым избытком. Среднее значение цвета $U-B$ этих трех групп (с общим числом галактик 38) равно 0.11 ± 0.09 и существенно отличается (с доверительной вероятностью 0.999) от среднего значения того же цвета галактик с оценкой 3 без признаков активности ядер, равного 0.46 ± 0.009 .

С такой же достоверностью (доверительная вероятность 0.999) отличаются средние значения цветов $B-V$ центральных областей галактик с расщепленными и звездообразными ядрами (2s и 5) от цвета, принятых как стандартных, галактик с баллом 3. Для галактик с оценкой 2 различие средних значений цветов $B-V$ значимо с доверительной вероятностью 0.95. У галактик же с оценкой 4 цвета $U-B$ и $B-V$ существенно не отличаются от соответствующих цветов стандартных галактик с оценкой 3.

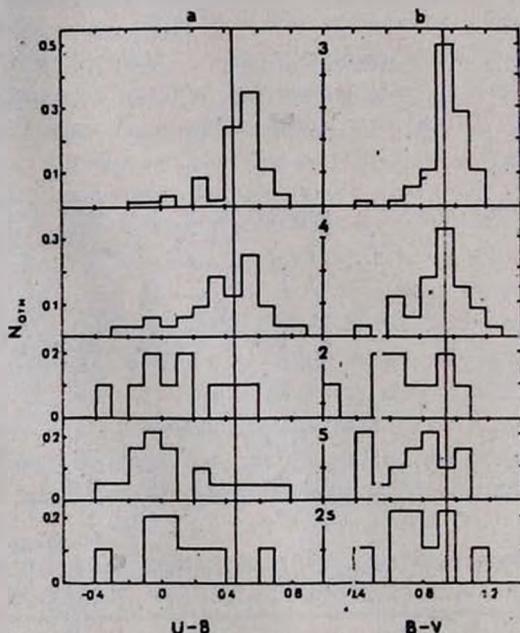


Рис. 1. Гистограммы распределения $U-B$ (а) и $B-V$ (б) цветов центральных частей спиральных галактик различных бюраканских классов.

На рис. 1а, б приведены гистограммы, которые достаточно хорошо иллюстрируют отличия цветов $U-B$ и $B-V$ галактик с оценками 2, 2s, 5 и 4 от тех же цветов галактик с оценкой 3. На гистограммах показано процентное распределение по $U-B$ и $B-V$ цветам для галактик каждого бю-

раканского класса в отдельности. Вертикальные линии на гистограммах соответствуют средним значениям цветовых индексов выборки галактик с оценкой 3.

Рассмотрение гистограммы цветов $U-B$ для галактик с оценкой 3 показывает, что среднее значение $U-B$ для каждой группы галактик несколько смещено от пика с $U-B = 0.55$ довольно нормального распределения в сторону меньших значений, обусловленное, очевидно, вкладом ряда галактик с цветами $U-B \leq 0.20$. В то же время известно, что небольшая часть галактик с оценкой 3 имеет измеримое радиоизлучение, то есть обладает признаками активности. Это, в основном, галактики с более высокой поверхностной яркостью, свидетельствующей, по-видимому, о присутствии в этих галактиках слабых ядер, неразличимых на ярком фоне их центральных частей [5]. Если допустить, что галактики с оценкой 3 с $U-B \leq 0.2$ принадлежат к таким галактикам с невыявленными ядрами и исключить их при оценке среднего значения, то среднее значение $U-B$ стандартных галактик с оценкой 3 без всяких признаков активности ядер будет ближе к значению 0.55, и тогда отличие средних значений цветов $U-B$ других групп галактик от стандартных будет еще больше.

Примечательно также, что цвета $U-B$ меньше 0.2 у 7 галактик из 10 (70%) с оценкой 2, у 5 галактик из 9 (55%) с оценкой 2s, у 10 галактик из 19 (53%) с оценкой 5 и у 7 галактик из 33 (21%) с оценкой 4, в то время как среди 70 галактик с оценкой 3 без признаков активности ядра таких галактик имеется всего 3 (4%).

Более наглядно различие цветов у групп галактик с различными бюраканскими классами видно на рис. 2. На этом рисунке представлены от-

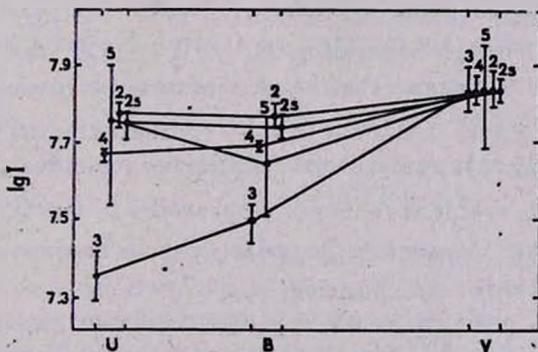


Рис. 2. Относительное распределение потоков излучения различных бюраканских классов в фильтрах U, B, V .

носительные распределения средних значений интенсивностей различных групп галактик в полосах U, B и V . Для расчета средних значений интенсивностей по видимой звездной величине и известному расстоянию каждой

галактики (при $H = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$) определена абсолютная величина галактики в соответствующие значения интенсивностей излучения в каждой из рассмотренных цветовых полос. Для сравнения распределения энергии в спектрах различных групп галактик средние значения интенсивностей всех групп в полосе V приравнены на рис. 2 к среднему значению интенсивностей группы галактик с оценкой 3. На рисунке представлены также соответствующие стандартные отклонения.

Сравнение усредненного распределения энергии группы галактик с оценкой 3 с распределением энергии звезд различных спектральных классов [22] в диапазоне U, B, V показывает, что распределение энергии в спектре этих галактик по характеру достаточно хорошо совпадает с распределением энергии в спектрах звезд типов K0—K5 различных классов светимости. Это не противоречит представлениям, что население центральных частей спиральных галактик (их балджей) состоит, в основном, из звезд поздних типов.

Из рис. 2 видно также, что в усредненном распределении энергии всех групп галактик с подозреваемыми в активности ядрами с оценками 2, 2s, 4 и 5 очевидно присутствие в той или иной степени дополнительного ультрафиолетового излучения.

Поскольку, однако, рассмотренные нами цветовые данные относятся все же к значительно большим по размерам областям центральных частей галактик ($\leq 4 \text{ кпк}$), то можно было бы ожидать, что полученные результаты могли быть обусловлены звездным населением спиральных рукавов. В работе [7], например, это замечается довольно определенно — галактики классов 2, 4, 5 и 2s с отрицательными значениями $U-B$ заметно чаще встречаются среди галактик поздних типов Sc и Scd. В нашем случае, когда рассматриваются цвета небольших объемов центральных частей галактик вокруг их ядер, воздействия звездного населения спиральных рукавов определенно не видно. Так, если выделить интервал $(\overline{U-B})_3 \pm \sigma_3$, (где $(\overline{U-B})_3$ — среднее значение, а σ_3 — среднеквадратичное отклонение в этом цвете 3 группы), который охватывает большинство значений «нормальных» галактик, то среди галактик с оценкой 5 с $U-B < (\overline{U-B})_3 - \sigma_3$ имеются галактики различных морфологических подтипов в следующих количествах: 1 галактика подтипа Sa, 7 — Sab, 2 — Sb, 2 — Sbc и только 1 — Scd. Среди галактик с расщепленными ядрами (с оценкой 2s): 2 — S0/a, 1 — Sb, 3 — Sbc и только 1 — Sc. Таким образом, с уверенностью можно сказать, что избыточные ультрафиолетовые цвета центральных областей галактик со звездообразными и расщепленными ядрами не обусловлены звездным населением их спиральных рукавов, поскольку в этом случае среди галактик с избыточными ультрафиолетовыми

цветами, в основном, должны были бы встречаться галактики более поздних подтипов.

Воздействие цвета спиральных рукавов, возможно, сказывается в случае галактик с оценкой 4 и, особенно, с оценкой 2. В случае галактик с оценкой 4 имеются 5 галактик подтипа S0/a с $U-B < (\overline{U-B})_3 - \sigma_3$, 1 — Sa, 1 — Sb, 4 — Sbc, 4 — Sc и 2 — Scd. А среди галактик с оценкой 2: 1 — Sb, 1 — Sbc, 3 — Sc и 2 — Scd. Заметим, что во всех произведенных подсчетах вместе с обычными спиральными подсчитаны также галактики с перемычками.

Что же касается инфракрасных цветов $J-H$ и $H-K$, то средние значения этих цветов в группах галактик с оценками 2, 2s, 4 и 5 несколько больше, чем у выборки галактик с оценкой 3, т. е. в этом случае в центральных областях других групп галактик наблюдается небольшой избыток инфракрасного излучения. В цвете $H-K$ это особенно заметно у галактик с оценкой 5, а в цвете $J-H$ у галактик с оценкой 2s.

Отличие средних значений цветов $H-K$ групп галактик с оценками 4 и 5 от группы галактик с оценкой 3 значимо с доверительной вероятностью 0.99. Доверительная вероятность отличия среднего значения цвета $J-H$ галактик с оценкой 2s от среднего значения того же цвета галактик с оценкой 3 составляет 0.95. Гистограммы распределения по цветам $J-H$ и $H-K$ для галактик различных бюраканских классов представлены на рис. 3 а, б.

Интересно отметить, что из 12 галактик со звездообразными ядрами с данными наблюдений во всех шести фильтрах (U, B, V, J, H, K) одновременно избыточное ультрафиолетовое излучение по цвету $U-B$ и избыточное ИК-излучение по цветам $H-K$ или $J-H$ имеется у семи галактик. В галактиках других групп наличие УФ-избытка наряду с ИК-избытком встречается реже: 2 из 4 в случае галактик с оценкой 2, 2 из 6 в случае галактик с оценкой 2s и всего 2 из 15 в случае галактик с оценкой 4. При этом считалось, что УФ-избыток имеется у тех галактик, у которых $U-B < (\overline{U-B})_3 - \sigma_3$, а ИК-избыток у тех галактик, у которых или $J-H > (\overline{J-H})_3 + \sigma_3$, или $H-K > (\overline{H-K})_3 + \sigma_3$.

3. *Заключение.* Таким образом, рассмотрение цветов $U-B$ и $B-V$ центральных областей стандартных галактик с оценкой 3 и галактик с расщепленными и звездообразными ядрами позволяет с уверенностью сказать о наличии в последних дополнительного ультрафиолетового излучения. Причем, это дополнительное ультрафиолетовое излучение не обусловлено звездным населением спиральных ветвей, а присуще, очевидно, самим ядрам этих галактик. В случае же галактик с оценкой 4 и 2 обнаруженное избыточное ультрафиолетовое излучение некоторых из этих галактик, возможно, частично обусловлено горячими звездами спиральных ветвей.

Вероятно, что избыточное УФ-излучение в галактиках с оценкой 5 и 2s, и в какой-то мере и в галактиках с оценками 2 и 4, обусловлено большим количеством горячих звезд в ядерных областях, где, видимо, идут интенсивные процессы звездообразования, на что в случае сейфертовских

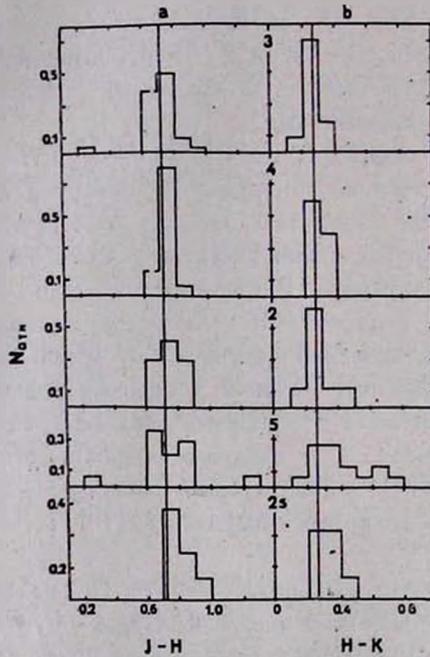


Рис. 3. Гистограммы распределения $J-H$ (а) и $H-K$ (б) цветов центральных частей спиральных галактик различных бюраканских классов.

галактик и галактик с УФ-избытком указывается в работах [23, 24]. Не исключено, что, как и в случае галактик, рассмотренных Б. Е. Маркаряном [25], дополнительный голубой цвет может быть обусловлен частично не-тепловым излучением. Наличие же во многих случаях дополнительного ИК-излучения в звездообразных ядрах с оценкой 5 может быть обусловлено тепловым излучением имеющихся там пылевых облаков. Процессы звездообразования, видимо, в несколько меньших масштабах происходят также в некоторых галактиках с оценкой 2 и 4.

В заключение авторы выражают признательность рецензенту за выявление досадной ошибки при вычислении показателей цвета избыточного излучения.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE NATURE OF NUCLEI OF SPIRAL GALAXIES

H. M. TOVMASSIAN, S. A. HAKOPIAN

The distribution of colours $U-B$, $B-V$, $J-H$ and $H-K$ of the central parts of galaxies of different Byurakan classes is considered. It has been shown that in the nuclear regions of many galaxies of types 5 and 2s, and also of types 2 and 4 there is excess of UV -emission. In the nuclear regions of galaxies of types 5, 4 and 2s an excess of IR -emission is present as well.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сообщ. Бюракан. обсерв., 47, 43, 1975.
2. А. Т. Каллолян, Г. М. Товмассян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 36, 31, 1964.
3. Г. М. Товмассян, Астрофизика, 3, 555, 1967.
4. H. M. Tovmassian, *Astrophys. J. Lett.*, 178, L47, 1972.
5. Г. М. Товмассян, Астрофизика, 18, 25, 1982.
6. В. Г. Малумян, Астрофизика, 19, 251, 1983.
7. В. Г. Малумян, Астрофизика, 22, 31, 1985.
8. Г. М. Товмассян, Астрофизика, 12, 555, 1976.
9. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, Jr., *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, University of Texas Press, 1976.
10. G. Wegner, *Astrophys. J. Space Sci.*, 60, 15, 1979.
11. W. C. Kul, D. W. Weedman, *Astron. J.*, 83, 1, 1978.
12. D. Griesmith, *Astron. J.*, 85, 789, 1980.
13. A. Alcaino G., *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 26, 261, 1976.
14. R. Michard, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 49, 591, 1982.
15. R. P. S. Stone, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 48, 395, 1982.
16. В. Т. Дорошенко, В. Ю. Тербиж, Астрофизика, 19, 5, 1983.
17. D. J. Gezart, M. Schmitz, J. M. Mead, *Catalog of Infrared Observations*, NASA Reference Publ., 1118, 1984.
18. E. Hummel, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 41, 151, 1980.
19. J. J. Condon, *Astrophys. J.*, 242, 894, 1980.
20. D. L. Jones, R. A. Sramek, Y. Terzian, *Astrophys. J.*, 246, 28, 1981.
21. Е. И. Пустыльник, *Статистические методы анализа и обработки наблюдений*, Наука, М., 1968.
22. Бюл. Вильн. астрон. обсерв., № 35, 1972.
23. J. P. Huchra, *Astrophys. J.*, 217, 928, 1977.
24. V. A. Balzano, *Astrophys. J.*, 268, 602, 1983.
25. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 34, 3, 1963.