

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ SB-ГАЛАКТИК NGC 3504 И NGC 4643

Б. П. Артамонов

Проведена фотометрия перемычек и центральных областей галактик NGC 3504 (SBb) и NGC 4643 (SBO) по фотографиям, полученным через семь узкополосных фильтров. Показатели цвета перемычек изученных галактик близки к показателям цветов наиболее голубых центральных областей нормальных S и J_{rr} галактик и перемычек галактик типа SBc. Центральные области в галактиках NGC 3504 и NGC 4643 значительно краснее перемычек этих галактик. На краю перемычки галактики NGC 3504 имеется большая область HII с массой ионизованного газа $\leq 10^6 M_{\odot}$.

Photometry is performed of the bars and central regions of the galaxies NGC 3504 (SBb) and NGC 4643 (SBO) using the plates obtained through seven narrow-band filters. Color indices of the bars of the studied galaxies are close to those of the bluest central regions of S and J_{rr} galaxies and of the bars of SBc-type galaxies. The central regions of the galaxies NGC 3504 and NGC 4643 are considerably redder than the bars of these galaxies. At the bar end of NGC 3504 galaxy there is a large HII region with the mass of ionized gas $\leq 10^6 M_{\odot}$.

1. Введение

Получение фотометрических данных для галактик с пересеченными спиральями остается актуальным в настоящее время, так как многие галактики этого типа очень слабы и мало изучены. Одной из важных задач является сравнительное изучение SB-галактик с обычными спиральными галактиками. Исследование спектрального состава (баров) галактик типа SBc показало, что перемычки похожи на центральные области обычных спиральных галактик и имеют очень мощные зоны HII [1]. По содержанию ионизованного газа SB-галактики находятся между неправильными галактиками J_{rr} [1] и S-галактиками [2].

В дополнение к работе [1] рассмотрим более «ранние» SB-галактики, а именно галактики NGC 3504 и NGC 4643. Галактика NGC 3504 классифицирована как SBb [3]. Перемычка имеет изогнутый вид (рис. 1а, б). Приведем ряд данных для этой галактики из работ [2, 4]:

- а) расстояние до галактики NGC 3504 $R=19.8 \cdot 10^6$ пс,
- б) общая масса галактики $2.5 \cdot 10^9 \leq M \leq 9 \cdot 10^9 M_{\odot}$,
- в) масса ядра $M_n=2.5 \cdot 10^9 M_{\odot}$,
- г) фотографическая величина галактики $m_{pg}=11^m6$,
- д) в спектре, особенно в центре галактики, хорошо видны линии эмиссии HII областей.

Из работы [5] известно, что галактика NGC 3504 имеет звездообразное ядро (по бюраканской классификации ядер ~ 5), а галактики с такими ядрами имеют сильное радиоизлучение [6]. Галактика NGC 4643 классифицирована, как SBO [6—8], и имеет четкую центральную конденсацию (по бюраканской классификации ядер ~ 3 [9]). Следы эмиссии

в спектре галактики не видны [2], не удалось также измерить радиоизлучение [6].

Таким образом, галактики NGC 3504 и NGC 4643 имеют большое различие в известных характеристиках центральных областей. Интересно изучить перемиčky этих галактик для сравнения с перемичками «поздних» галактик. На рис. 1 показаны репродукции фотографий галактик NGC 3504 (а, б) и NGC 4643 (в, г), полученные через фильтр 6100 и фильтр H_{α} .

2. Наблюдательный материал и обработка

Фотографии галактик NGC 3504 и NGC 4643 были получены К. К. Чуваевым и И. И. Проник в прямом фокусе 2.6-метрового рефлектора Крымской астрофизической обсерватории с электронно-оптическим преобразователем через семь узкополосных фильтров. Методика наблюдений и данные о цветовой системе описаны в [10, 11]. Эффективные длины волн пропускания для фильтров (обозначения фильтров приняты в соответствии с работой [10]) приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Обозначение фильтра	3727	4600	5060	V	6100	H_{α}	КС
$\lambda_{эфф}, \text{Å}$	3770	4590	5050	5250	6090	6600	7320

Для абсолютной калибровки использовались внефокальные изображения звезд 76 Com ($V=9^m10$; $B-V=0^m547$; $U-B=0^m028$; $S_p=GOV$) и 146 Com ($V=5^m29$; $B-V=-0^m049$; $U-B=-0^m118$; $S_p=AO$). Данные

о цветах и спектральных классах взяты из работ [12, 13].

В табл. 2 приведены сведения об использованном фотографическом материале. (В каждом случае число снимков семь).

Фотографическая обработка проводилась на микрофотометре МФ-4 с квадратной диафрагмой, размер которой соответствовал участку $2'' \times 2''$ на небе и был выбран с учетом размера изображений звезд на негативах. Выполнено два фотометрических разреза, вдоль и поперек перемиčky (через центр галактики), для каждой галактики. Фотометрирование проводилось с круглой диафрагмой (около $3''$ на небе) яркого объекта в галактике NGC 3504 в линии H_{α} (см. рис. 1, б) на краю перемиčky и такого же участка галактики, симметрично расположенного относительно центра на противоположном краю перемиčky и не имеющего большей яркости в линии H_{α} .

ТАБЛИЦА 2

Объект	Дата	Экспозиция
NGC 3504	29—30 III 1968	40s — 7m
76 Com		40s — 7m
NGC 3504		10s — 1m45s
76 Com		10s — 1m45s
NGC 4643	27—28 II 1968	40s — 7m
76 Com		40s — 7m
NGC 4643		10s — 1m45s
76 Com		10s — 1m45s
NGC 4643	5—6 VI 1968	8s — 70s
146 Com		8s — 70s
NGC 4643		4s — 35s
146 Com		4s — 35s

лактики), для каждой галактики. Фотометрирование проводилось с круглой диафрагмой (около $3''$ на небе) яркого объекта в галактике NGC 3504 в линии H_{α} (см. рис. 1, б) на краю перемиčky и такого же участка галактики, симметрично расположенного относительно центра на противоположном краю перемиčky и не имеющего большей яркости в линии H_{α} .

3. Результаты фотометрии

Галактика NGC 3504

Фотометрические разрезы вдоль и поперек перемычки приведены на рис. 2, а и б, соответственно в фильтре 6100 и в фильтре H_α . По оси абсцисс отложены расстояния по обе стороны от центра галактики. По оси ординат показано абсолютное значение потока энергии в условных единицах (единица потока $F = (3 \pm 1) \cdot 10^{-17}$ эрг/см²·сек. $\text{\AA} \square''$). На рис. 1 и рис. 2 стрелками указано направление фотометрических разрезов вдоль и поперек перемычки в NGC 4643 и в NGC 3504. На рис. 3, а—з приведены распределения энергии в непрерывном спектре в относительных единицах (за единицу взято значение интенсивности в фильтре 6100) для избранных участков перемычки. Для левого и правого крыльев перемычки изучены участки на расстояниях 30'', 10'', 5'' (б, в, з) от центра галактики. То же самое сделано для фотометрического разреза поперек перемычки на расстояниях 20'', 10'', 5'' (е, ж, з) от центра галактики. Из этих данных ясно, что с приближением к центру галактика становится, в общем, более красной по цвету. Сравнение двух участков на противоположных концах перемычки (рис. 3 а, д) показало, что в левом крыле имеется комплекс горячих звезд с областью III, а в правом отсутствуют следы ионизованного газа (слабое свечение в линии H_α , отсутствие бальмеровского скачка).

Поток энергии в фильтре H_α (после вычета непрерывного спектра) для области III получается из наших фотометрических измерений следующим:

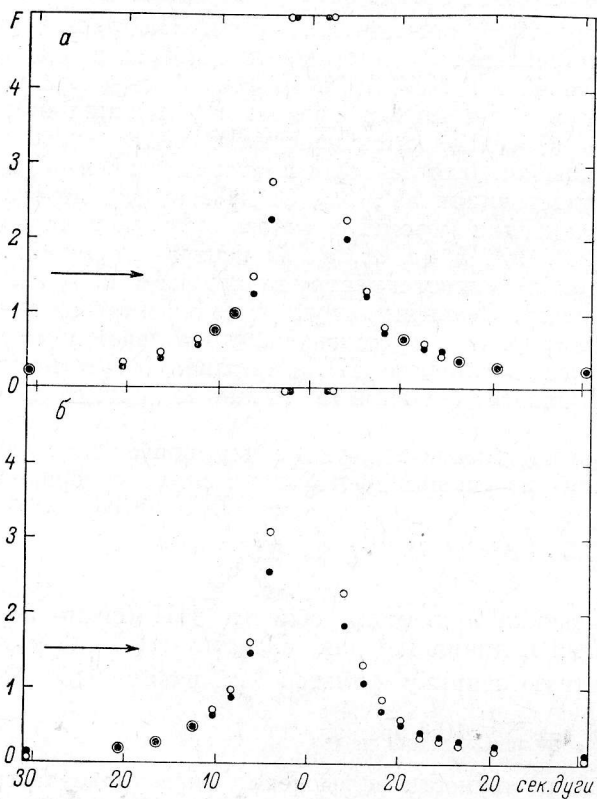
$$F(H_\alpha) = 3.5 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{сек.} \text{\AA} \square''.$$

Зная расстояние до галактики и диаметр области III (около 3''), можно оценить поток энергии в линии H_α для области III NGC 3504 (учтем при этом эквивалентную ширину фильтра H_α , равную 150 \AA):

$$F(H_\alpha) = 2.3 \cdot 10^{39} \text{ эрг/сек.}$$

Ошибки этой оценки зависят от точности определения диаметра области III. Используя объемный коэффициент излучения в линии H_α при $T_e = 10\,000^\circ \text{ K}$ $\epsilon(H_\alpha) = 3.18 \cdot 10^{-25} n_e^2 \text{ эрг/сек.} \cdot \text{см}^3$ [14], можно найти электронную плотность в области III при известном потоке излучения $F(H_\alpha) = \int \epsilon(H_\alpha) dV = \epsilon(H_\alpha) \cdot V$, где V — объем однородной газовой сферы. Для области III в перемычке галактики NGC 3504 найдем $V = 4 \cdot 10^{62} \text{ см}^3$ и $n_e \approx 4$. Масса ионизованного газа M в исследуемой области, которая в первом приближении рассматривается нами как однородная сфера, будет около $M \leq 10^6 M_\odot$. Полученное значение массы является верхней границей, так как не известен вклад излучения в фильтре H_α линии [NII] $\lambda 6583$. Предположим, что видимый размер области III является радиусом зоны Стремгrena (1.'' 5 или $S_0 = 150 \text{ пс}$). По формуле $S_0 \cdot n_e^{1/2} = U(\text{Sp})$ [14] оценим минимальное количество горячих звезд, необходимое для ионизации газа в такой III области. Из анализа зависимости $U(\text{Sp})$ в работе [15] получим, что для ионизации области III в перемычке галактики NGC 3504 достаточно семи звезд спектрального класса O7—O8 или около 70 звезд класса B2. Отметим, что в центральной области галактики NGC 3504 наблюдается зона III [2, 4], но измерить поток энергии в линии H_α невозможно, так как на полученных негативах центр галактики передержан. Необходимы специальные наблюдения с малыми экспозициями.

Фотометрические разрезы вдоль и поперек перемычки в галактике NGC 4643 приведены на рис. 4 (направление разрезов обозначено стрелками на рис. 4 и на рис. 1 в, г). Обозначения по осям координат на рис. 4 приняты такими же, как на рис. 2, но единица потока равна $F=(1.3\pm 0.1)\times 10^{-16}$ эрг/см²·сек.Å □". На рис. 4 видно, что распределение интенсивности в перемычке относительно центра галактики (не совсем) не симметрично. Этот результат согласуется с наблюдениями перемычек SBc-галактик [1], где эффект асимметрии проявляется увереннее. Причина асимметрии распределения интенсивности в перемычках пока неясна.



Распределение энергии в непрерывном спектре в разных участках перемычки галактики NGC 4643 показано на рис. 5 (на расстояниях 4'' и 18'' от центра галактики). На рис. 5, б, г проведено сравнение наших результатов

Рис. 4. Фотометрические разрезы галактики NGC 4643.
а — вдоль перемычки в фильтре 6100 (1) и в фильтре H_β (2),
б — поперек перемычки.

Рис. 4. Фотометрические разрезы галактики NGC 4643.

а — вдоль перемычки в фильтре 6100 (1) и в фильтре H_β (2),
б — поперек перемычки.

по распределению энергии в непрерывном спектре с данными фотоэлектрических измерений центральной области галактики NGC 4643 с круглой диафрагмой около 10'' из работ Тифта [7, 8]. Отметим хорошее совпадение наших результатов с данными Тифта. Цветовые системы Тифта и Чуваева—Проник почти совпадают [16], что дает возможность сравнения фотоэлектрических измерений с фотографическими. Из рис. 5 следует (при сравнении градиента непрерывного спектра), что центральная область галактики NGC 4643 по цвету краснее измеренных участков ее перемычки.

4. Обсуждение результатов

Сравнение характеристик галактик NGC 4643 (SBO) NGC 3504 (SBb) и галактик типа SBc [1] проведем на двухцветной диаграмме в системе Тифта (на рис. 6). Разность цветов (1—3) на рис. 6 соответствует $m(\lambda_{эфф}=3750 \text{ Å}) - m(\lambda_{эфф}=4835 \text{ Å})$, а (3—4) соответствует $m(\lambda_{эфф}=4835 \text{ Å}) - m(\lambda_{эфф}=5945 \text{ Å})$. На двухцветной диаграмме приведены контуры областей, которые занимают показатели цветов для деталей спиралей галактик типа SBc (сплошной линией) [1], для деталей перемычек галактик типа SBc (пунктирной линией) [1] и для центральных областей нормальных и галак-

тик по данным Тифта (заштрихованная область) [7, 8, 17]. Для галактик NGC 3504 и NGC 4643 приведены на рис. 6 усредненные показатели цвета для разных участков перемычки и центральной части галактики.

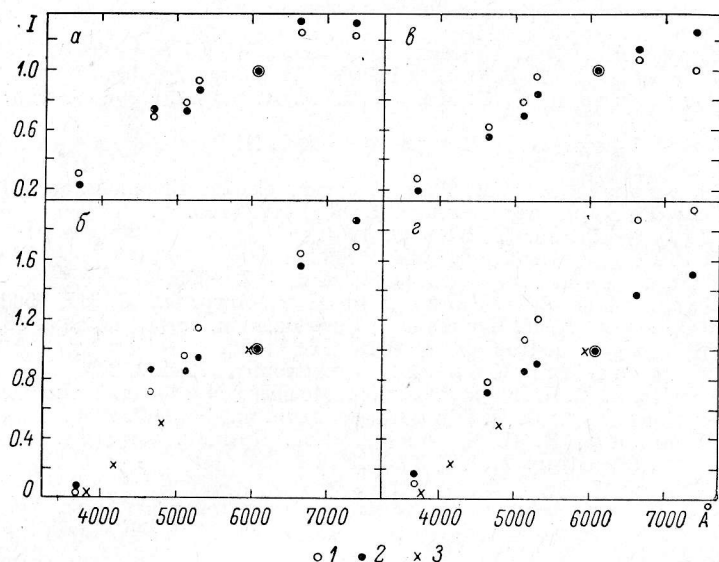


Рис. 5. Распределение энергии в непрерывном спектре для разных участков галактики NGC 4643.

а, б — участки перемычки на расстояниях 18'', 4'' слева (1) и справа (2) от центра; в, г — участки галактики на расстояниях 18'', 4'' выше (1) и ниже (2) центра; 3 — данные Тифта для центральной области [7, 8].

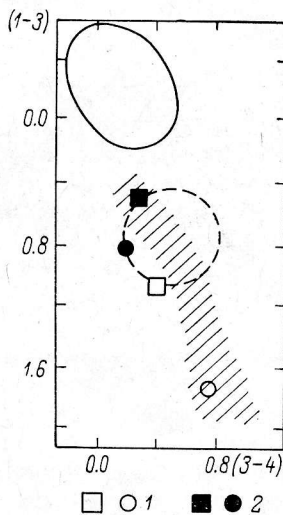
Из рис. 6 следует, что показатели цвета перемычек изученных нами галактик близки к показателям цвета их у галактик SBc [1]. Цвет ядра галактики NGC 4643 соответствует более красным цветам ядер S и J галактик. Вероятно, ядро галактики NGC 4643 является малоактивным образованием (очень красный цвет, отсутствие следов эмиссии в спектре и радиоизлучения [6]). Для более широких выводов о ядрах галактик типа SBO требуются наблюдения еще нескольких галактик этого типа.

5. Выводы

1. Перемычки галактик NGC 4643 и NGC 3504 близки по цвету к наиболее голубым центральным областям S и J галактик и перемычкам SBc галактик.

Рис. 6. Двухцветная диаграмма в системе Тифта.

Участки диаграммы, обведенные сплошной линией — детали спиралей SBc галактик [1], пунктирной линией — детали перемычек SBc галактик [1], заштрихованная область — наблюдения Тифта центральных частей нормальных S и J галактик [7, 8, 16]. По нашим измерениям: 1 — среднее для перемычки и ядра галактики NGC 4643; 2 — среднее для перемычки и ядра галактики NGC 3504.



2. Цвет центральных областей галактик NGC 4643 и NGC 3504 более красный, чем у перемычек этих галактик.

3. Галактика NGC 3504 имеет большую область HII на краю перемычки, которая по массе превосходит комплексы ионизированного газа в спиральных Галактики.

В заключение автор выражает благодарность К. К. Чуваеву и И. И. Проник за предоставление негативов галактик для обработки.

Литература

1. И. И. Проник, Изв. Крымск. астрофиз. обс., 45 (в печати).
2. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, *Astrophys. J.*, **135**, 694, 1962.
3. M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage, *Astron. J.*, **61**, 97, 1956.
4. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, *Astrophys. J.*, **132**, 661, 1960.
5. А. Т. Каллоглян, Г. М. Товмасын, Сообщ. Бюракан. обс., **36**, 31, 1964.
6. Г. М. Товмасын, *Астрофизика*, **2**, № 4, 419, 1966.
7. W. C. Tifft, *Astron. J.*, **66**, 390, 1961.
8. W. C. Tifft, *Astron. J.*, **74**, 354, 1969.
9. Г. М. Товмасын, *Астрофизика*, **1**, № 2, 197, 1965.
10. М. М. Бутслов, И. М. Копылов и др., *Астр. ж.*, **39**, 315, 1962.
11. И. И. Проник, К. К. Чуваев, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **38**, 219, 1962.
12. H. E. Weaver, *Astrophys. J.*, **116**, 612, 1952.
13. H. L. Johnson, C. F. Kiskales, *Astrophys. J.*, **122**, 209, 1955.
14. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, *Межзвездная среда*, Физматгиз, М., 1963.
15. Р. Е. Гершберг, В. И. Проник, *Астр. ж.*, **36**, 902, 1959.
16. И. И. Проник, К. К. Чуваев, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **43**, 1971.
17. W. C. Tifft, *Astron. J.*, **68**, 302, 1963.