

## *U, B, V*-ФОТОМЕТРИЯ ГАЛАКТИКИ NGC 3077

Б. П. Артамонов,\* Ф. Бернген,\*\* А. И. Шаповалова

Приведены результаты фотографической *U, B, V*-фотометрии иррегулярной галактики NGC 3077 по пластинкам, полученным наблюдателями Таутенбургской обсерватории (ГДР) на 2-метровом шмидт-телескопе, и результаты фотоэлектрических измерений в *U, B, V* цветах с диафрагмами разных размеров, выполненных на телескопе «Цейсс-600» Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. Фотометрические измерения фотографий галактики стандартизованы сравнением с фотоэлектрическими измерениями. Получены распределения поверхностных яркостей и показателей цвета *B-V, U-B* вдоль главных осей (фотографические измерения) и радиуса галактики (фотоэлектрические измерения). Предложена модель галактики, согласно которой основное излучение в ее центральной части обусловлено покрасневшими В звездами ( $\tau \sim 1 \div 2$ ), а на периферии — смесью излучения покрасневших А—F звезд с рассеянным на пылевых частицах светом ядра. Отмечено сходство NGC 3077 с М 82.

Results of photographic *U, B, V* photometry of the irregular galaxy NGC 3077 from the plate obtained by the observers of Tautenburg Observatory with the Schmidt telescope, and those of *U, B, V* photoelectric measurements made with the «Zeiss-600» telescope of SAO USSR AS at various diaphragms are presented. The photometric measurements of the galaxy photographs are calibrated by a comparison with the photoelectric measurements. Distributions of surface brightness and *B-V, U-B* color indices are obtained along the main axes (photographic measurements) and radius (photoelectric measurements) of the galaxy. A galactic model is suggested according to which the principal radiation in its central part is due to the reddened B stars ( $\tau \sim 1 \div 2$ ); as to the periphery it is caused by the mixture of the reddened A—F stars' radiation with the light of the nucleus scattered by dust particles. The similarity of NGC 3077 and M 82 is pointed out.

### 1. Введение

Галактика NGC 3077 отнесена Сэндиджем [1] к типу Irr II и входит в состав группы галактик М 81. Она имеет эллиптическую форму, ее размеры  $\sim 100'' \times 150''$ . В центральной части галактики видны наложения темных и светлых пятен, среди которых трудно различить ядро. В работе [2] указано на небольшое раздвоение ядра. У галактики имеется гало низкой поверхностной яркости, в котором пыль или светящаяся материя распределена в виде радиальных волокон [3].

NGC 3077 имеет спектр раннего типа А — F с эмиссионными линиями [4]. Маркарян [5] отнес ее к галактикам типа М 82 по признаку несоответствия большого интегрального показателя цвета ( $C. I. = 0.76$ ) раннему спектральному типу.

Согласно колориметрическим исследованиям [6, 7] центральная часть галактики имеет более синий цвет ( $C. I. \sim 0.5$ ), чем периферийные области ( $C. I. \sim 0.9-1.0$ ). Авторы [6, 7] предполагают, что в центральной части галактики основной вклад в излучение обусловлен белыми звездами, а на периферии — красными звездами.

В работе [2] изучена эмиссия водорода (области HII) в центральной части галактики и высказаны предположения о составе источников ионизации.

\* Сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга.

\*\* Сотрудник Центрального института астрофизики АН ГДР.

Изучая поле скоростей в NGC 3077, Демулен [3] обнаружила наличие малого градиента скорости в позиционном угле  $150^\circ$  (разница экстремальных скоростей составляет  $\sim 60$  км/сек.) и интерпретировала его присутствием больших случайных движений.

## 2. Наблюдательный материал и методика обработки

Снимки галактики NGC 3077 были получены наблюдателями Таутенбургской обсерватории (ГДР) на 2-метровом шмидт-телескопе. Сведения об измененных фотопластинках приведены в таблице.

Комбинация указанных сортов эмульсии и фильтров соответствует системе  $U, B, V$  с точностью  $\pm(0^m03 \div 0^m05)$ . Негативы измерены в САО АН СССР на шнель-фотометре с квадратной диафрагмой, вырезающей на небе  $8''2 \times 8''2$ . Фотометрирование производилось вдоль большой и малой осей галактики (рис. 1). Ошибки измерений в цветах  $U, B$  составляют  $\sim 0^m07$  на прямолинейной части характеристических кривых и более  $0^m1$  в областях передержек и недодержек; в цвете  $V$  (одна фотопластинка) принята стандартная фотографическая точность  $\sim 10\%$ .

Результаты фотометрических измерений фотографий галактики стандартизованы сравнением с фотоэлектрическими измерениями.

Фотоэлектрические измерения NGC 3077 выполнены на электрофотометре с ФЭУ-64 со счетчиком фотонов, установленном на телескопе «Цейсс-600» САО АН СССР. Методика наблюдений обычная с привязкой к звезде  $24d$  UMa, близко расположенной к объекту. Наблюдения проводились в  $U, B, V$  цветах с набором круглых диафрагм диаметрами  $16'', 28'', 56'', 84'', 140''$ .

Сделано 3 серии наблюдений со всеми диафрагмами (16—17.II.1974;

Рис. 1. Схематическое изображение галактики NGC 3077.

$A_1B_1$  и  $A_2B_2$  — фотометрические разрезы вдоль малой и большой осей NGC 3077 соответственно; кружки разных диаметров — проектирующиеся звезды; N — север, W — запад.

17—18.II.1974; 19—20.II.1974) и две дополнительных серии наблюдений с диафрагмами  $16'', 28''$  и  $56''$  (21—22.II.1974). Время накопления составляло по 60 сек. для галактики и фона вокруг нее, по 3 сек. для звезды сравнения и фона вокруг нее.

Ошибки фотоэлектрических наблюдений составляют  $\sim 0^m1$  с наименьшей диафрагмой ( $d=16''$ ) и  $\sim(0^m03-0^m05)$  с остальными диафрагмами. Столь большие ошибки обусловлены неточностью наведения на центр диффузного объекта (по максимуму отсчета).

Привязки фотографических измерений к фотоэлектрическим сделаны путем сравнения распределений яркости вдоль радиуса галактики в  $U, B,$

Дата наблюдения	Цветовая система	Эмульсия + фильтр	Экспозиция, мин.
1.III.1963	$U$	ZU2+UG2	100
17.I.1969	$U$	ZU2+UG2	25
1.III.1963	$B$	ZU2+GG13	60
17.I.1969	$B$	ZU2+GG13	15
8.III.1967	$V$	403aD+GG11	60

$V$  цветах. Ошибки привязки нуль-пунктов составляют  $\sim 0.^m2$  в  $U, V$  цветах и  $\sim 0.^m3$  в  $V$  цвете.

Полученные данные позволяют сделать некоторые выводы о структуре галактики, несмотря на довольно большие ошибки в нуль-пункте. Дифференциальные измерения имеют хорошую внутреннюю сходимость результатов и на их основе можно обсудить относительные изменения цвета по галактике.

### 3. Результаты наблюдений и обсуждение

Результаты фотографических измерений приведены на рис. 2, 3, где обозначения  $A_1B_1$  и  $A_2B_2$  соответствуют фотометрическим разрезам на рис. 1.

Вдоль большой оси галактики (разрез  $A_2B_2$ , рис. 3) наблюдается интенсивное покраснение при переходе от центра к периферии галактики (показатели цвета  $B-V$  возрастают от  $\sim 0.^m3$  в центре до  $\sim 1.^m5$  на периферии, а показатели цвета  $U-B$  возрастают от  $\sim -0.^m2$  в центре до  $\sim 0.^m3$  на периферии в направлении  $A_2$ ). Вдоль малой оси галактики (разрез  $A_1B_1$ , рис. 2) также сначала наблюдается интенсивное покраснение при переходе от центра к периферии, но с некоторых  $R$  (для  $U-B$  с  $R \geq 50''$ , для  $B-V$  с  $R \geq 100''$ )

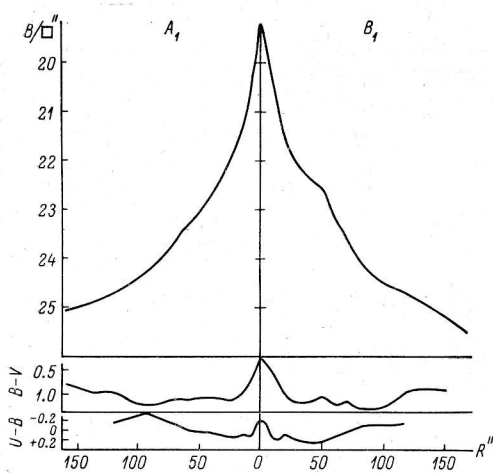


Рис. 2. Распределение поверхностной яркости  $B/\square''$  (верхний график) и показателей цвета  $B-V$  и  $U-B$  (средний и нижний графики соответственно) вдоль малой оси  $A_1B_1$  NGC 3077.

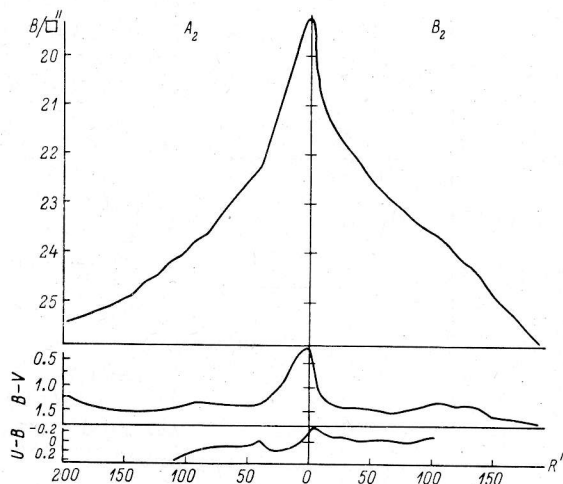


Рис. 3. Распределение поверхностной яркости  $B/\square''$  (верхний график) и показателей цвета  $B-V$  и  $U-B$  (средний и нижний графики соответственно) вдоль большой оси  $A_2B_2$  NGC 3077.

и до края начинается посинение галактики, причем показатели цвета  $U-B$  на краю галактики иногда имеют даже меньшие значения, чем в центре.

По данным фотоэлектрических измерений были получены распределения средней поверхностной яркости  $V/\square''$  и показателей цвета  $U-B, B-V$  (усредненные по кольцевым зонам) вдоль радиуса галактики (рис. 4). Как следует из рис. 4, в среднем при переходе от центра к периферии галактики наблюдается покраснение (заметим, что фотоэлектрические данные получены до расстояний  $\sim 60''$ ).

Дальнейшее обсуждение результатов измерений удобнее провести на двухцветной диаграмме. На диаграмме  $U-B, B-V$  (рис. 5) точками и кружками с точкой нанесены значения показателей цвета  $B-V, U-B$  на разных расстояниях от центра галактики согласно данным рис. 2, 3, 4. Взяты значения показателей цвета на следующих расстояниях от центра: из рис. 2, 3 на  $R=0'', 10'', 20'', 40'', 60'', 80'', 100''$  в направлениях от центра  $A_1, B_1, A_2, B_2$ ; из

рис. 4 на  $R=0'', 10'', 20'', 35'', 55''$ . Затем точки, соответствующие данным направлениям от центра, соединены линиями и, таким образом, получены цветовые «треки», т. е. ход цветов вдоль радиуса галактики в разных направлениях от центра.\*

Ядерная область галактики (до  $R \leq 12''$ ) содержит большое количество ионизованного водорода; для существования эмиссионной области такого размера требуются сотни звезд О класса и тысячи звезд В класса по оценкам работы [2]. Предположение о сейфертовском типе этой галактики [8], вероятно, ошибочно, так как эмиссионные линии в ее спектре значительно

уже линий в сейфертовских галактиках [3]. Однако согласно данным работы [2] непрерывный спектр галактики NGC 3077 в инфракрасной и оптической областях похож на непрерывный спектр типичной сейфертовской галактики NGC 1068. Поэтому трудно сделать однозначный выбор модели центральной области NGC 3077, особенно ее ядра.

Рассмотрим в первом приближении вариант ионизации газа в центральной области галактики горячими звездами. Согласно рис. 5 можно предположить, что центральная область галактики имеет цвет, совпадающий на диаграмме  $U-B, B-V$  с цветом В звезд, погруженных в пыль. Параметры покраснения составляют:  $E_{B-V} \sim 0.^m4 \div 0.^m8$ ,  $A_V \sim 1.^m2 - 2.^m4$  (см. рис. 5), что соответствует оптической толщине пыли  $\tau \sim 1 \div 2$ . Эти оценки можно сравнить с результатами для галактики М 82 [9], где в центральной области обнаружены сверхскопления О—В звезд в пылевом облаке с  $\tau \sim 3$ .

NGC 3077 мы наблюдаем почти анфас, а М 82 — сбоку, поэтому в последней мы должны видеть в проекции на центр большее количество пыли. К сожалению, в известной нам литературе не имеется прямых доказательств присутствия В звезд в центре NGC 3077, как это получено по наблюдаемым линиям в спектре М 82.

Интегральный спектр NGC 3077 (как и М 82) показывает спектральный тип А—F [4]. На рис. 5 покрасневшие А—F звезды не попадают на измеренные по разрезам цветовые «треки». Области галактики на расстояниях  $40'' - 100''$  от центра попадают в области значений показателей цвета, которые можно объяснить либо излучением покрасневших О звезд, либо, вероятно, комбинацией излучения покрасневших А—F звезд с каким-то неизвестным излучением. Горячие О звезды не будем рассматривать в качестве претендентов на эту область галактики хотя бы по двум причинам: 1) в этой области галактики не наблюдается эмиссия газа; 2) оптическая толща пыли должна увеличиться в несколько раз по сравнению с центром, что трудно объяснить.

В работах [10—12] было показано, что на периферии галактики М 82 (вдоль малой оси) значительный вклад в излучение обусловлен рассеянным

излучением.

\* Центральная область NGC 3077 по фотоэлектрическим измерениям имеет более красный цвет, чем по фотографическим (см. рис. 5). Вероятно, при большой диафрагме ( $d=16''$  — наименьшая диафрагма при наших фотоэлектрических измерениях) слабее выражен «синий» пик для центральной области галактики, что легко видеть при сравнении градиентов цветов на рис. 2, 3 и 4.

светом ядра на частицах пыли, которые переизлучают свет в голубую область спектра. Можно предположить, что яркая центральная область В звезд в NGC 3077 (как и в М 82) освещает пыль на больших расстояниях от центра галактики и рассеянный свет (более голубой, чем цвет покрасневших В звезд) смешивается со светом А—F звезд (вероятно, тоже покрасневших). В этом случае становится понятным положение периферийных областей NGC 3077 на двухцветной диаграмме (рис. 5). Отмеченное ранее посинение галактики на периферии вдоль малой оси также, по-видимому, обусловлено значительным вкладом голубого рассеянного света в излучение галактики в этом направлении.

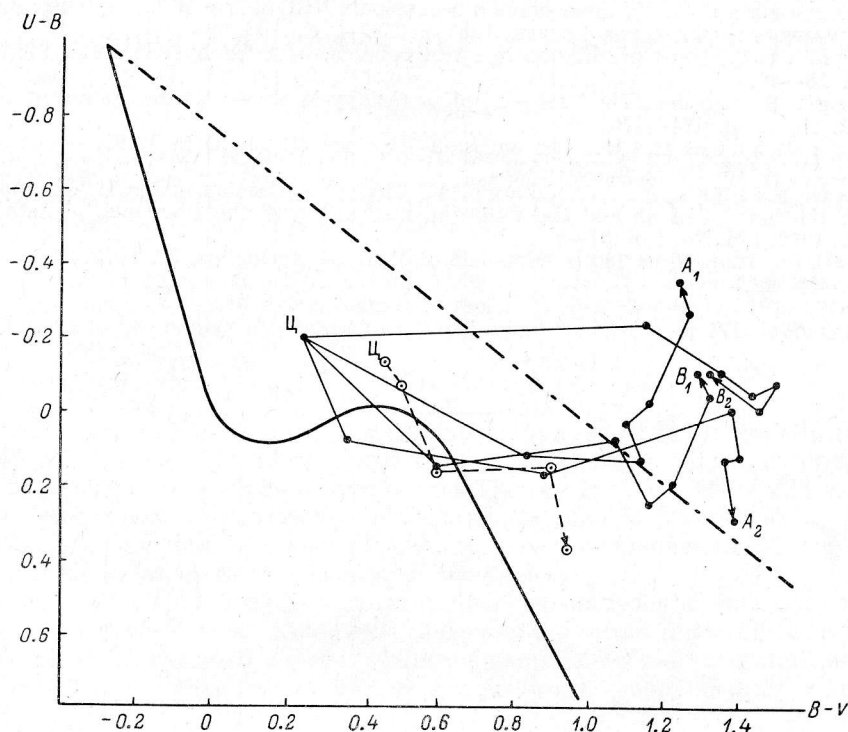


Рис. 5. Диаграмма  $U - B$ ,  $B - V$ .

Ц — центр галактики NGC 3077; тонкие сплошные линии, соединяющие точки, — ход цветов вдоль радиуса галактики (цветовые «треки») в направлениях  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $A_2$ ,  $B_2$ ; пунктирная линия — ход цветов вдоль радиуса галактики согласно фотоэлектрическим измерениям; стрелками отмечены направления от центра к периферии галактики; жирная линия — зависимость  $U - B$ ,  $B - V$  для звезд главной последовательности; штрихпунктирная линия — линия покраснения для O звезд.

Интересно отметить, что на фотографиях NGC 3077 в  $U$ ,  $B$  лучах отчетливо видны характерные волокна, направленные по радиусу галактики, а в центре светлые пятна пылевых облаков. Эта картина подобна структуре М 82, но смотрится в разных плоскостях.

Таким образом, галактика NGC 3077 по ряду признаков подобна галактике М 82, однако неясно, имеют ли место сходные физические процессы (типа предполагаемого взрыва в ядре М 82).

Было бы очень интересно получить спектры NGC 3077 с высоким разрешением.

В заключение авторы (Артамонов Б. П. и Шаповалова А. И.) выражают искреннюю благодарность дирекции ЦИА АН ГДР и Таутенбургской обсерватории за предоставление оригинальных негативов галактики NGC 3077 для исследования.

### Литература

1. Sandage A. R. The Hubble Atlas of Galaxies. Washington, 1961.
2. Артамонов Б. П., Назарова Л. С. Исследование центральной области галактики NGC 3077. — Изв. Крымск. астрофиз. обс., 1973, 50, № 1, с. 115—121.
3. Demoulin M.—H. Observations of galaxies with large amounts of dust. III. Velocity field in NGC 3077. — *Astrophys. J.*, 1969, 157, No. 1, p. 81—86.
4. Humason M. L., Mayall N. U., Sandage A. R. Redshifts and magnitudes of extragalactic nebulae. — *Astron. J.*, 1956, 61, No. 3, p. 97—162.
5. Маркарян Б. Е. Иррегулярные галактики типа М 82. — *Сообщ. Бюраканск. обс.*, 1963, 34, с. 19—29.
6. Маркарян Б. Е., Оганесян Э. Я., Аракелян С. Н. Детальная колориметрия галактик NGC 2976, 3031 (М 81), 3034 (М 82) и 3077. — *Сообщ. Бюраканск. обс.*, 1962, 30, с. 3—20.
7. Каллоглян А. Т. Замечания о галактиках NGC 3077 и М 82. — В сб.: Звезды, туманности, галактики, Ереван, 1967, с. 253—258.
8. Seyfert C. Nuclear emission in spiral nebulae. — *Astrophys. J.*, 1943, 97, No. 1, p. 28—40.
9. Vergh S. van den. The Post—Eruptive Galaxy M 82. — *Astron. Astrophys.*, 1971, 12, No. 3, p. 474—476.
10. Heskathorn H. M. The emission—line velocity field in M 82. — *Astrophys. J.*, 1972, 173, No. 3, p. 501—528.
11. Visvanathan N., Sandage A. Linear polarisation of the  $H_{\alpha}$  emission line in the halo of M 82 and the radiation mechanism of the filaments. — *Astrophys. J.*, 1972, 176, No. 1, p. 57—74.
12. Mathis J. S. Dust in the filaments of M 82. — *Astrophys. J.*, 1973, 183, No. 1, p. 41—48.

Декабрь 1974 г.