

УДК: 524.45NGC3718:520.826.2

ДЕТАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ПЕКУЛЯРНОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 3718

В. А. ГАГЕН-ТОРН, В. П. РЕШЕТНИКОВ, В. А. ЯКОВЛЕВА

Поступила 6 марта 1990

Принята к печати 20 марта 1990

Приведены результаты детального фотометрического изучения пекулярной галактики NGC 3718. Показано, что NGC 3718 представляет собой нормальную Sb-галактику, структура которой искажена приливным взаимодействием.

1. *Введение.* В настоящей статье сообщаются результаты детальной фотографической фотометрии пекулярной галактики NGC 3718 (Агр 214). Некоторые предварительные результаты ее фотометрического изучения, ведущегося в Астрономической обсерватории Ленинградского университета, уже опубликованы в работах [1, 2]. Первая из них посвящена в основном поляриметрии NGC 3718, во второй даются фотометрические и цветовые характеристики вдоль нескольких избранных разрезов галактики.

Репродукции крупномасштабных снимков галактики NGC 3718 имеются в Хаббловском атласе галактик [3] и в Атласе пекулярных галактик Арпа [4]. Морфология галактики очень необычна. Ее главное тело пересекает мощная изогнутая пылевая полоса. В центральной части галактики она очень узка и кажется выходящей из почти звездообразного ядра. С удалением от ядра полоса изгибается и, расширяясь, охватывает значительную часть видимого главного тела галактики; области окончания полосы являются началом двух слабосветящихся протяженных образований, напоминающих спиральные ветви.

Расстояние до галактики при $H_0 = 75$ км/с Мпк составляет 13 Мпк, так что 1" соответствует линейный размер 63 пк. Общие сведения о галактике приводятся в табл. 1.

Масштабность и необычность пылевой полосы затрудняют морфологическую классификацию NGC 3718. Холмберг [5] относит ее к галактикам типа $S0_p$, Сендидж в [3] указывает, что Хаббл, мысленно устранив полосу, также классифицировал галактику как $S0_p$. Вокулёр [6, 7] припи-

сывает ей тип SAB(s)a, Арп [8] — SBb. Радионаблюдения галактики [9] не прояснили ситуацию, так как по одним характеристикам галактику можно отнести к ранним морфологическим подклассам, по другим — к поздним. Не ясна также природа слабых внешних образований, напоминающих спиральные ветви. В [9], например, приводится мнение Линдблада, считающего, что они образованы веществом, выхваченным из галактики в результате приливного взаимодействия с NGC 3729. (Галактика NGC 3729 расположена от NGC 3718 на расстоянии $12'$ (45 кпк) и именно ее влиянием обычно объясняют многие особенности NGC 3718).

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ NGC 3718

α, δ (1950)		$11^{\text{h}}29^{\text{m}}83, +53^{\circ}20'.7$
l, b		$147^{\circ}02, 60^{\circ}22$
Морфологический тип		SAB (s) b
Расстояние		13 Мпк ($1'' = 63$ пк)
Поглощение в Галактике		0.0
Интегр. вид. зв. вел., B_T		11.39
Интегр. показат. цвета, $(B-V)_T$		+0.89
	$(U-B)_T$	+0.32
Абсолютная зв. вел., M_{B_T}		-19.18
Большая ось ($\mu_B = 26$)		$9'.8 = 37.1$ кпк
Видимое сжатие ($\mu_B = 26$)		0.28
Наклон плоскости галактики, i		60° :
Эффективный эквивал. радиус,		(U) (B) (V)
	r_e°	$87'' \quad 69.4 \quad 63.5$
Индексы концентрации,	C_{21}	1.85 1.9 2.1
	C_{32}	1.6: 1.8 2.05
Балдж	μ_e^B	19.23
	r_e	$4.1 = 0.26$ кпк
Диск	b/a	1.0
	μ_0^B	21.26
	h	$46'' = 2.9$ кпк
	b/a	0.5
Отношение светимостей		
балджа и диска в полосе B, B/D		0.38

Целью данной работы является исследование глобальной фотометрической структуры NGC 3718, определение стандартных фотометрических характеристик галактики и более точная, чем предыдущие, морфологическая классификация.

2. *Наблюдения и обработка.* Нами использован тот же наблюдательный материал, что и в работе [2] — 7 *UBV*-снимков (3 в *B*, по 2 в *U* и *V*), полученных весной 1978 г. и 1979 г. в прямом фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории. Пластины были записаны на магнитную ленту на микрофотометре АМД САО АН СССР. Размер измерительной диафрагмы составлял 35×35 мкм ($0^{\circ}75 \times 0^{\circ}75$), шаг записи по сканам и отсчетам — 35 мкм, размер записанного участка — 810×810 ($10^{\circ}2 \times 10^{\circ}2$).

Обработка была выполнена на ЕС-1033 ВЦ АГУ с помощью комплекса программ, описанного в [10]. Большой размер записанных изображений не позволил воспользоваться для сглаживания программой линейной фильтрации и для этой цели была использована медианная фильтрация с окном 3×3 .

Константы стандартизации определялись привязкой к фотоэлектрическим измерениям яркости фона неба, полученным одновременно со снимками галактики, а также к наблюдениям нескольких участков галактики (марок), опубликованным в [1]. Результирующие значения констант были найдены путем усреднения значений, определенных разными способами. Погрешность констант стандартизации составляет в полосе *B* $0^m 07$, в *V* — $0^m 14$, а в *U*, по-видимому, около $0^m 2$ (в этой полосе для стандартизации использована лишь одна марка центральной части галактики).

3. *Результаты и обсуждение.* 1) *Изوفоты.* На рис. 1 приведены изофоты NGC 3718 в полосах *B* и *V*. Изофоты наглядно демонстрируют структуру галактики, состоящей из линзообразного главного тела и двух слабых широко раскрытых спиральных ветвей. Структура главного тела сильно искажена полосой поглощения, проходящей примерно в $5''$ к SW от ярчайшей точки галактики. В районе ядра полоса довольно узка ($\sim 10''$), затем она плавно расширяется и отклоняется в стороны спиральных ветвей.

Основные результаты фотометрического исследования NGC 3718 приведены в табл. 1. Длина большой оси галактики по изофоте $\mu_B = 26$ составляет примерно 9.8, её позиционный угол $P. A. \approx 0$. Это согласуется с диаметром по изофоте $\mu_B = 25$, приведённым в RC2 [7], 8.7, и близко к значению 10.5 по изофоте $\mu_V = 26$ согласно [11]. Видимое сжатие галактики с учётом слабых спиральных ветвей $b/a = 0.28$. Сжатие линзообразного главного тела $b/a \approx 0.5$ (соответствующее значение в RC 2 — 0.51), длина его большой оси $\sim 5'$, $P. A. \approx 155^\circ$. Оценка наклона галактики по сжатию главного тела: $i \approx \arccos \frac{b}{a} = 60^\circ$.

2) *Интегральные характеристики.* Интегрирование в пределах все более слабых изофот дает следующие полные асимптотические видимые звездные величины NGC 3718: $B_T = 11.39 \pm 0.10$, $V_T = 10.50 \pm 0.15$ и $U_T = 11.7 \pm 0.2$. Величины B_T и V_T в пределах ошибок согласуются с приведёнными в RC 2: $B_T = 11.26 \pm 0.11$ и $V_T = 10.53 \pm 0.18$.

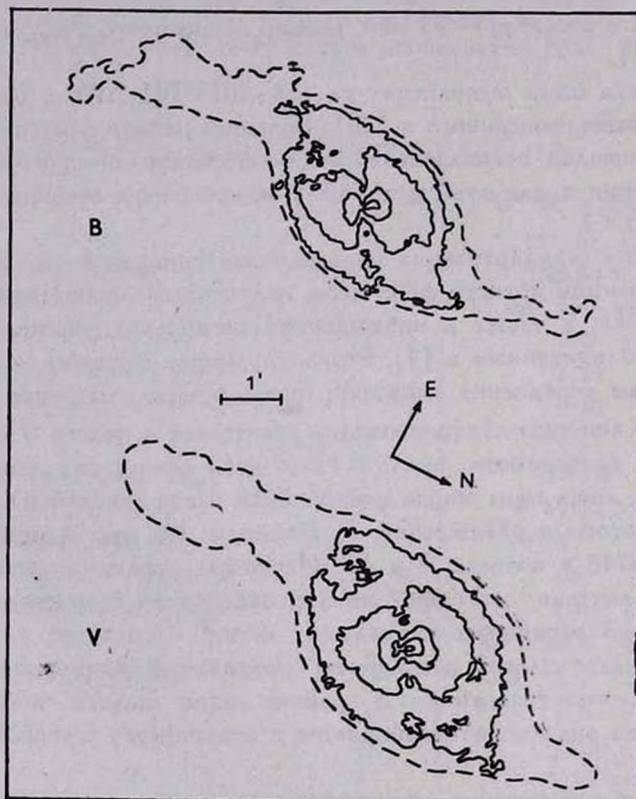


Рис. 1. Изофоты NGC 3718 в цветовых полосах B и V . Ярчайшая непрерывная изофота в полосе B соответствует поверхностной яркости 20.5, слабейшая — 23.5, пунктир — 24.5. В фильтре V соответствующие значения — 20, 24 и 25. Шаг изофот — 1.0.

В работе [9] на основе радионаблюдений построена кривая вращения NGC 3718. Оптический радиус галактики по нашим данным составляет $\sim 5'$ (18.9 кпк). Радиальная скорость на этом расстоянии от ядра по [9] составляет 220 ± 30 км/с и, следовательно, масса галактики в пределах оптического радиуса равна $m = \frac{V^2 \cdot r}{G} \operatorname{cosec}^2 i = (2.8 \pm 0.8) \cdot 10^{11} m_{\odot}$. Видимой звездной величине галактики $B_T = 11.39$ при $R. = 13$ Мпк соответст-

вует светимость $L_B = 7.3 \cdot 10^9 L_\odot$ и, следовательно, наблюдаемое отношение масса—светимость составляет для NGC 3718 $f = m/L_B = 38 \pm 14$. Полученное значение очень велико и свидетельствует о значительной недооценке светимости галактики из-за поглощения пылевой полосой.

3) *Распределение светимости и цветов.* Для анализа фотометрической структуры NGC 3718 нами был рассмотрен разрез с позиционным углом 35° , проходящий через точку максимальной яркости галактики. Этот разрез примерно перпендикулярен полосе поглощения и, по-видимому, за исключением самой середины в наименьшей степени искажен ее влиянием. Распределение поверхностной яркости вдоль разреза в полосе B показано на рис. 2а, распределения показателей цвета $B-V$ и $U-B$ — на рис. 2б и с. Положение точки $r = 0''$ (ядра галактики) определено путем совмещения SW и NE крыльев разреза в области $r \geq 40''$. В пределах $1''-2''$ она совпадает с точкой максимальной яркости.

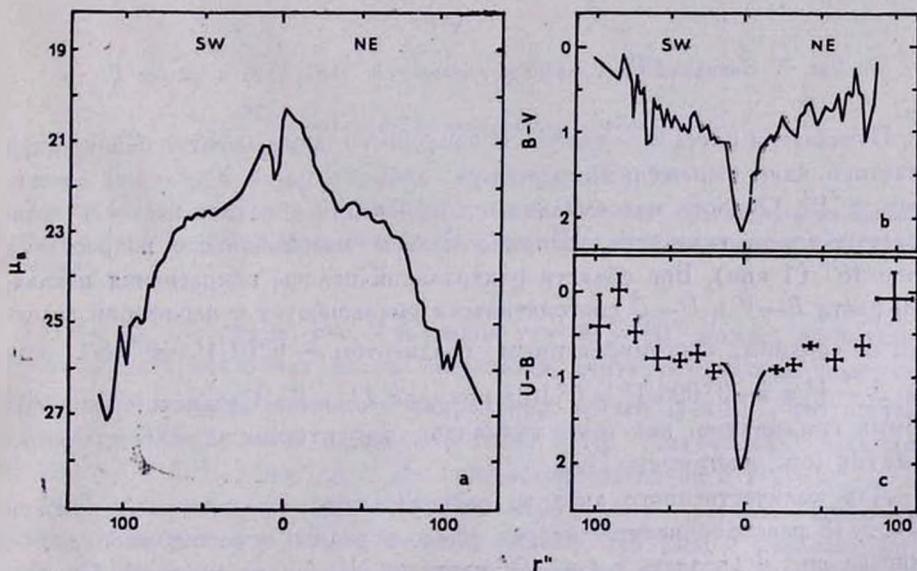


Рис. 2а. Фотометрический разрез галактики в фильтре B ($P.A. = 35^\circ$); б, с — Распределение показателей цвета вдоль разреза.

Представленный на рис. 2 фотометрический разрез имеет типичную для спиральных галактик структуру (см., например, [12]). Рис. 3, на котором изображен эквивалентный профиль светимости, также демонстрирует характерное для спиральных галактик распределение поверхностной яркости — на нем четко выделяется околоядерная область, где основной

вклад в светимость дает балдж, и последующий участок с экспоненциальным падением яркости, типичным для дисковых составляющих.

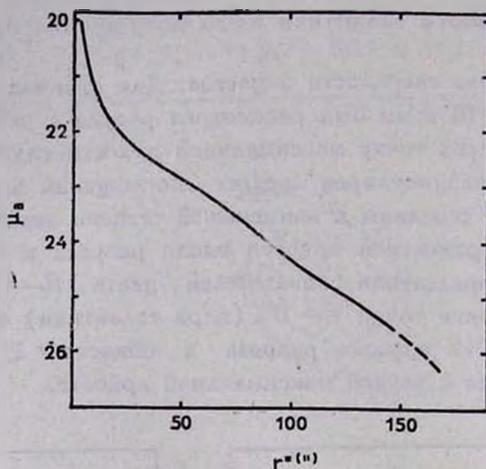


Рис. 3. Эквивалентный профиль светимости NGC 3718 в полосе В.

Показатели цвета $B-V$ и $U-B$ (рис. 2b, c) показывают в районе ядра галактики явно выраженный максимум, избытки цвета в котором составляют $\sim 1^m$. Область максимального покраснения с точностью $\approx 1''$ совпадает с ядром галактики. Ширина полосы максимального покраснения около $16''$ (1 кпк). Вне области центральной полосы покраснения показатели цвета $B-V$ и $U-B$ систематически уменьшаются к периферии галактики со средним спроецированным градиентом $\sim 0^m 01/1'' = 0^m 16/1$ кпк для $B-V$ и $\sim 0^m 006/1'' = 0^m 10/1$ кпк для $U-B$. Существование подобных градиентов, как и их величины, характерны для спиральных галактик (см., например, [12]).

Для количественного анализа распределения поверхностной яркости NGC 3718 рассматриваемый разрез был усреднен относительно ядра — точки на рис. 4 (область с $r \leq 10''$ взята по NE крылу разреза). По точкам, расположенным вне областей $r \leq 10''$ и $35'' \leq r \leq 85''$, было найдено приближение разреза стандартной двухкомпонентной моделью (балдж + экспоненциальный диск). Получены следующие значения параметров балджа и диска (параметр h пересчитан к большой оси галактики с учетом ее видимого сжатия):

$$\text{балдж} - \mu_e = 19.23, r_e = 4.1, b/a = 1.0;$$

$$\text{диск} - \mu_0 = 21.26, h = 46'', b/a = 0.5.$$

Найденное по этим данным отношение светимостей балджа и диска в полосе B с учетом наклона составляет 0.38. Это значение B/D характерно для спиральных галактик Sab—Sb типов [13].

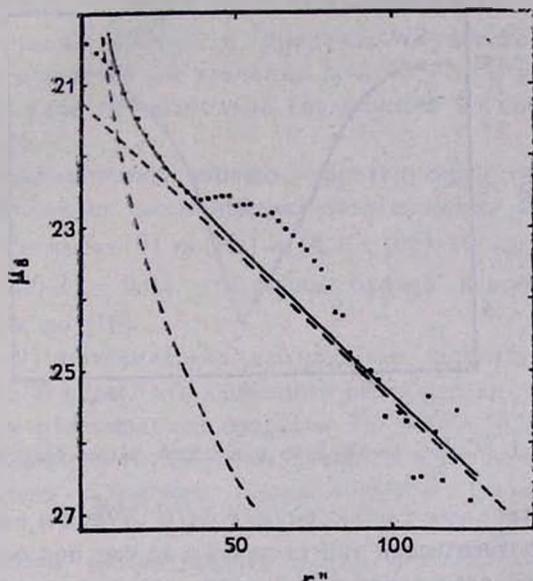


Рис. 4. Усредненный разрез NGC 3718 (точки). Пунктир — распределения яркости в диске и балдже, непрерывная линия — результирующее приближение фотометрического разреза.

Избыток яркости на рис. 4 в районе $r = 40''$ — $80''$ можно, по-видимому, интерпретировать как вклад спиральной структуры. Тогда получаем оценку интегральной светимости спиральных ветвей $B \approx 13^m$, что составляет около 20% видимой светимости NGC 3718. Полученная величина так же, как и B/D , характерна для спиральных галактик с $T > 1$.

Найденное выше приближение фотометрического разреза позволяет оценить поглощение в районе пылевой полосы. На рис. 5 показана разность наблюдаемой поверхностной яркости и вычисленной по изображенной на рис. 4 аппроксимации. Экстраполяция SW и NE крыльев профиля поглощения на точку $r = 0''$ дает оценку максимального поглощения $A_B \approx 4^m.2$. Следовательно, мы получаем, что максимальное покраснение в ядре галактики должно составлять около 1^m . Это значение хорошо согласуется с непосредственной оценкой покраснения по рис. 2.

В заключение этого пункта отметим еще одну особенность распределения цветов по NGC 3718. В работах [1, 2] было показано, что северо-восточная часть галактики является более синей по сравнению с юго-за-

падной. Наши данные подтверждают этот вывод — в пределах расстояния $r = 10'' - 75''$ средний показатель цвета NE крыла нашего фотометрического разреза $\overline{B-V} = +0.80 \pm 0.04$, а SW крыла — $\overline{B-V} = 0.89 \pm 0.04$.

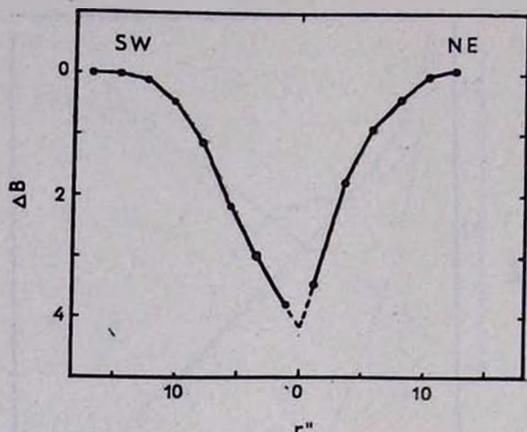


Рис 5. Модель поглощения в пылевой полосе галактики.

4) *Морфологическая классификация NGC 3718.* Во введении было отмечено, что морфологический тип галактики до сих пор определялся очень неуверенно. Самой распространенной является в настоящее время классификация NGC 3718 Вокулёром [6, 7] — SAB(s)a ($T=1$). Полученные нами новые данные позволяют уточнить эту классификацию.

В качестве основного параметра возьмем отношение интегральных светимостей баджла и диска. Как мы уже отмечали, в фильтре B это отношение для NGC 3718 составляет 0.38, что соответствует галактикам Sab—Sb типов. Для контроля мы рассмотрели также приближение двухкомпонентной моделью эквивалентного профиля галактики, изображенного на рис. 3. Результаты приближения таковы: $\mu_s = 23.90$, $r_s = 26''$, $\mu_0 = 21.73$ и $h = 41''$. Это даёт отношение $B/D = 0.19$, характерное для Sbc—галактик [13] (примерно этому же типу соответствуют приведённые в табл. 1 значения индексов концентрации [14]).

Таким образом, NGC 3718 с наибольшей вероятностью можно отнести к галактикам типа Sb ($T=3$), поскольку приведенные выше оценки отношения B/D находятся в пределах разброса значений для галактик этого типа.

Обсудим, как согласуются с нашей классификацией NGC 3718 другие ее характеристики. Согласно [15], средний, исправленный за наклон, цвет галактик типа Sb: $B-V = +0.64$. Предположив, что NGC 3718 является типичной Sb-галактикой, находим избыток цвета, обусловленный наклоном галактики и поглощением пылевой полосой. — $E_{B-V} = +0.25$.

Следовательно, для величины интегрального поглощения получаем оценку $A_B \geq 4.4 \cdot E_{B-V} = 1^m$. Исправленная за поглощение видимая звездная величина галактики составляет, следовательно, $B_0 \leq 10.3$, абсолютная звездная величина — $M_B \leq -20.3$ и светимость $L_B \geq 2.0 \cdot 10^{10} L_\odot$. Отношение массы галактики в пределах оптического радиуса к её светимости уменьшается до значения $f_0 < 14 \pm 5$. С учётом погрешности эта оценка удовлетворительно согласуется со средним значением для Sb-галактик.

Другая характеристика, хорошо коррелирующая с морфологическим типом,— это отношение массы нейтрального водорода к полной светимости галактики. Согласно [9] $m(\text{HI}) = (4.7 \pm 0.8) \cdot 10^9 m_\odot$ и, следовательно, $m(\text{HI})/L_B \approx 0.24 \pm 0.04$, что очень близко к среднему значению для Sb-галактик по [16].

Согласно [9] максимальная наблюдаемая скорость вращения NGC 3718 равна 220 ± 30 км/с. Учтя найденный ранее наклон галактики ($i=60^\circ$), получаем оценку максимальной скорости $V_m = 254 \pm 35$ км/с. В пределах указанной погрешности это значение близко к медианному значению максимальной скорости вращения галактик типа Sb согласно [17] — $V_m = 222$ км/с.

Таким образом, можно сделать вывод, что совокупность фотометрических и кинематических данных о NGC 3718 оказывается внутренне согласованной, если ее классифицировать как галактику типа Sb или, более подробно, SAB(s)b.

5) *Пространственная структура NGC 3718.* Пекулярность морфологии NGC 3718 часто связывают с ее гравитационным взаимодействием с NGC 3729. Наиболее простым и реалистичным является предположение, согласно которому NGC 3718 — это расположенная к нам почти с ребра галактика, чей диск первоначально лежал в плоскости, совпадающей с плоскостью пылевой полосы в центре галактики, а затем в результате взаимодействия с NGC 3729 его внешние части сильно изогнулись [9]. Возможно, что расширение полосы поглощения с удалением от ядра является следствием одновременного разворота плоскости пылевого диска от начальной плоскости.

Согласно такой модели в центральной части галактики плоскость пылевого диска почти совпадает с лучом зрения. Судя по видимой на рис. 5 асимметрии поглощения в ядре, диск ориентирован так, что его SW часть к нам ближе, NE — дальше. Об этом же, по-видимому, свидетельствует и крупномасштабная асимметрия распределения показателя цвета $B-V$ вдоль малой оси. Для проверки предположения о происхождении асимметрии распределения цвета вследствие поглощения в слое пыли нами была

рассмотрена зависимость $(B - V)_{SW} - (B - V)_{NE}$ от $\mu_B(SW) - \mu_B(NE)$, где $(B - V)_{SW}$ и $(B - V)_{NE}$ — показатели цвета вдоль малой оси на равных расстояниях к SW и NE от ядра, а $\mu_B(SW)$ и $\mu_B(NE)$ — поверхностные яркости в тех же точках. Результат приведён на рис. 6, где точками показаны результаты настоящей поверхностной фотометрии, кружками — данные работы [2] (все — в зоне $10'' \leq r \leq 55''$), а крестом — результаты фотозлектрической фотометрии из [1]. Прямая линия — ожидаемая корреляция для нормального закона покраснения $A_B = 4 \cdot E_{B-V}$. Очевидно, что данные наблюдений удовлетворительно согласуются с ожидаемой зависимостью и не противоречат сделанному предположению.

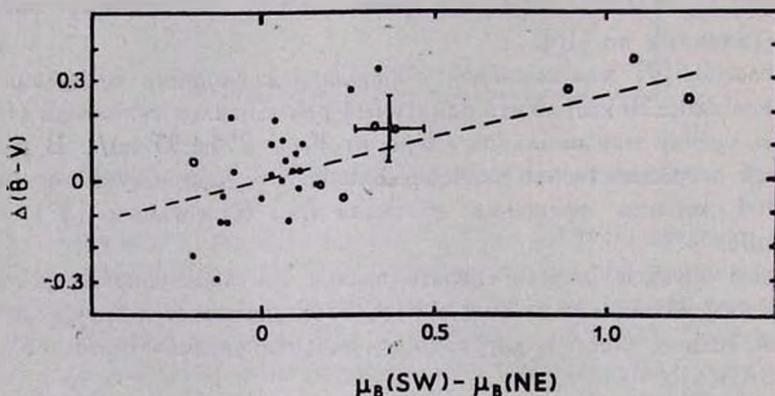


Рис. 6. Асимметрия распределения поверхностной яркости и показателя цвета $B-V$ вдоль малой оси галактики.

Считая далее, что плоскости пылевого и звездного дисков совпадают, мы получаем, что галактика обращена к нам юго-западным краем. Согласно [9], NGC 3718 вращается так, что ее северная часть приближается, южная — удаляется. Следовательно, слабые внешние спирали галактики являются отстающими, как и полагается нормальным спиральным ветвям. Обычную спиральную природу внешних протяженных образований подтверждают также их цветовые характеристики: так, вплоть до $4'$ (15 кпк) от ядра показатель цвета южной более яркой спирали остается примерно постоянным ($B-V = +0.3 \div +0.4$) и соответствует цвету нормальных ветвей.

4) *Заключение.* Результаты нашего фотометрического изучения показали, что NGC 3718 является достаточно обычной галактикой типа Sb. Пекулярность морфологии NGC 3718 обусловлена, по-видимому, некомпланарностью ее структуры и условиями видимости (луч зрения почти сов-

падает с плоскостью центральной части галактики). Для дальнейшего продвижения в изучении NGC 3718, по нашему мнению, необходимы новые высококачественные фотометрические наблюдения центральной части галактики (с разрешением не хуже $1''$), а также детальное исследование ее поля скоростей.

Авторы выражают благодарность руководству Бюраканской астрофизической обсерватории за предоставление времени на 2.6-метровом телескопе и руководству САО АН СССР за возможность использования микроденситометра АМД.

Ленинградский государственный
университет

DETAIL SURFACE PHOTOMETRY OF PECULIAR GALAXY NGC 3718

V. A. HAGEN—THORN, V. P. RESHETNIKOV, V. A. YAKOVLEVA

The results of photometric investigation of peculiar galaxy NGC 3718 are given. NGC 3718 is shown to be a normal Sb galaxy disturbed by the tidal forces.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Гаген-Торн, И. И. Попов, В. А. Яковлева, *Астрофизика*, 17, 35, 1981.
2. И. И. Попов, *Тр. АО ЛГУ*, 39, 73, 1984.
3. A. Sandage, *The Hubble Atlas of Galaxies*, Carnegie Inst. of Washington, 1961.
4. H. Arp, *Atlas of Peculiar Galaxies*, Pasadena, 1966.
5. E. Holmberg, *Medd. Lund. Astron. Observ.*, № 136, 1, 1958.
6. Ж. Вокулёр, в кн. «Строение звездных систем», М., 1962, стр. 351.
7. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Austin, 1976.
8. H. Arp, *Astrophys. J.*, 185, 797, 1973.
9. N. J. Allsopp, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 186, 343, 1979.
10. В. В. Макаров, В. П. Решетников, В. А. Яковлева, *Тр. АО ЛГУ*, 41, 112, 1987.
11. K. Kodaira, M. Watanabe, S. Okamura, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 62, 703, 1986.
12. R. Buta, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 64, 383, 1987.
13. F. Simien, G. de Vaucouleurs, *Astrophys. J.*, 302, 564, 1986.
14. В. П. Решетников, *Космосат. и физ. небесн. тел.*, 1990 (в печати).
15. А. В. Засов, В. В. Дёмин, *Астрон. ж.*, 56, 941, 1979.
16. G. Efsthliou, G. Lake, J. Negroponte, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 199, 1069, 1982.
17. V. C. Rubin, D. Burstein, W. K. Ford, N. Thonnard, *Astrophys. J.*, 289, 81, 1985.
18. D. Burstein, C. Helles, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 54, 33, 1984.