

УДК: 524.7—862:520.82

ДЕТАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ГАЛАКТИКИ С ПОЛЯРНЫМ КОЛЬЦОМ NGC 2685

В. В. МАКАРОВ, В. П. РЕШЕТНИКОВ, В. А. ЯКОВЛЕВА

Поступила 27 июля 1988

Принята к печати 20 августа 1988

Приведены результаты детальной поверхностной *UBV*-фотометрии пекулярной галактики NGC 2685. Определены стандартные фотометрические параметры: интегральные величины и показатели цвета главного тела галактики, системы полярных колец, внешней оболочки, найдены параметры приближения главного тела двухкомпонентной моделью (балдж+экспоненциальный диск). Показано, что цвета системы полярных колец ($U-B = -0.05$, $B-V = +0.5$) близки к цветам Sb-Sc-галактик, что, возможно, свидетельствует о ее возникновении в результате взаимодействия спиральной и S0-галактик. Внешняя оболочка состоит из двух подсистем, вероятно, различного происхождения.

1. Введение. Пекулярная галактика NGC 2685 принадлежит к недавно выделенному классу объектов, получивших в литературе название «галактики с полярными кольцами» [1]. Спектральные и фотометрические наблюдения галактик этого класса (например, [1, 2]) показывают, что обычно это видимая почти с ребра галактика типа S0, вокруг которой в плоскости, близкой к полярной, вращается кольцо или диск, состоящий из газа, пыли и звезд. Сложность наблюдений галактик с полярными кольцами обусловлена тем, что они, как правило, имеют небольшие угловые размеры и низкую поверхностную яркость. В этом отношении NGC 2685 является исключением: она расположена ближе всех галактик из списка [1] и поэтому может быть более детально изучена.

Как известно [3, 4], в структуре NGC 2685 выделяются три компонента: 1) вытянутое веретенообразное главное тело размером $\sim 25'' \times 120''$, 2) система колец или волокон, расположенных примерно перпендикулярно большой оси галактики и проявляющихся в виде темных полос в северо-восточной части главного тела, а вне его переходящих в светлые кольца, и 3) внешняя слабосветящаяся оболочка, которая обнаруживается лишь на глубоких снимках. Большинство имеющихся спектральных [5—7], фотометрических [4] и поляризационных [8, 9] наблюдательных данных от-

носятся к главному телу. В радиодиапазоне ($\lambda = 21$ см) NGC 2685 была исследована Шейном [10], обнаружившим две кинематические системы нейтрального водорода, одна из которых связана с системой полярных колец, а вторая — с протяженной внешней оболочкой. Оптические данные о системе колец и слабой внешней оболочке очень скудны. Целью данной работы является исследование внешней малоконтрастной оболочки и восполнение недостающих сведений о распределении поверхностной яркости и показателей цвета в кольцах.

2. *Наблюдательный материал и его обработка.* В настоящей работе использован тот же наблюдательный материал, что и в [4] (9 *UBV*-фотопластинок, по три в каждом цвете, полученных в прямом фокусе 2.6-метрового телескопа БАО АН Арм.ССР). Обработка фотопластинок была произведена заново. Измерение и запись на магнитную ленту были осуществлены на автоматическом микроденситометре АМД-1 в САО АН СССР. Размер измерительной диафрагмы составлял 30×30 мкм (0.65×0.65), шаг записи по сканам и отсчетам — 30 мкм, размер записанного участка — 512×512 .

Дальнейшая обработка была выполнена в ВЦ ЛГУ на ЕС-1033 с помощью комплекса программ цифровой обработки изображений протяженных объектов [11]. Она включала стандартные процедуры: переход от плотностей почернения к относительным яркостям, учет фона неба, сложение нескольких изображений, стандартизацию, определение показателей цвета. Для повышения точности поверхностной фотометрии и выявления слабой малоконтрастной внешней оболочки была произведена сглаживающая линейная фильтрация каждого изображения (частота среза фильтра $\omega_c = 4.4$ цикла/мм) и полиномиальная аппроксимация фона неба. Константы стандартизации определялись привязкой к фотоэлектрическим измерениям яркости фона неба, полученным одновременно со снимками галактики [4]. Точность определения констант стандартизации в полосах *B* и *V* ~ 0.1 — 0.2 , в полосе *U* — несколько хуже. Константы стандартизации показателей цвета найдены с точностью ~ 0.1 , так как при их определении меньше сказываются систематические ошибки.

Результаты нашей фотометрической обработки для главного тела хорошо согласуются с полученными ранее в работе [4]. Хорошо согласуются они также и с фотоэлектрическими измерениями Дресслера и Сендиджа [12] (см. далее рис. 6).

3. *Результаты.* Изофоты NGC 2685 в цветовых полосах *U*, *B* и *V* представлены на рис. 1—3. Распределение показателя цвета *B—V* дается на рис. 4.

3.1. *Главное тело.* Фотометрическое исследование главного тела NGC 2685 было выполнено в работе [4], здесь же мы остановимся на ранее не обсужденных его особенностях.

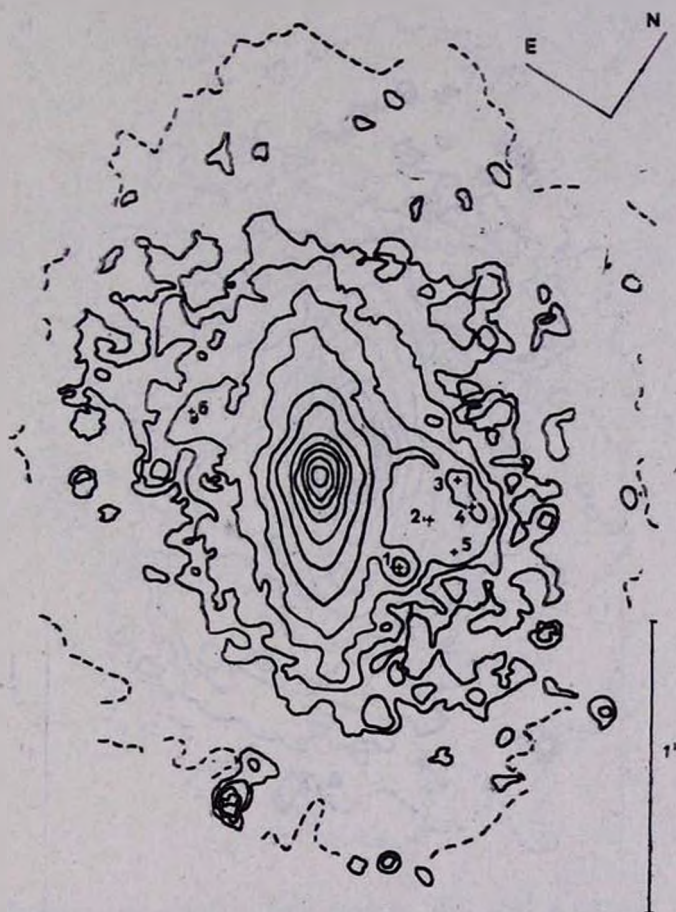


Рис. 1. Распределение поверхностной яркости NGC 2685 в цветовой полосе U . Ярчайшая непрерывная изофота соответствует поверхностной яркости 19.0, крайняя — 24.5, пунктир — 25.5. Шаг изофот — 0.5.

Поглощение света в темных полосах NE-части главного тела проявилось на наших картах в искривлении изофот и в увеличении градиента яркости, особенно заметного в цвете U . Сами полосы не выделились, так как после линейного сглаживания всех обрабатываемых изображений минимальный размер сохранившихся деталей $\sim 5''$.

О форме изофот главного тела галактики можно судить по ее не искаженной поглощением SW-половине. В цвете B и особенно в V форма изо-



фот близка к эллиптической. Рис. 5 иллюстрирует изменение ориентации эллипсов в картинной плоскости и их сжатия с изменением расстояния от центра. Позиционный угол большой оси p (штриховая линия) меняется

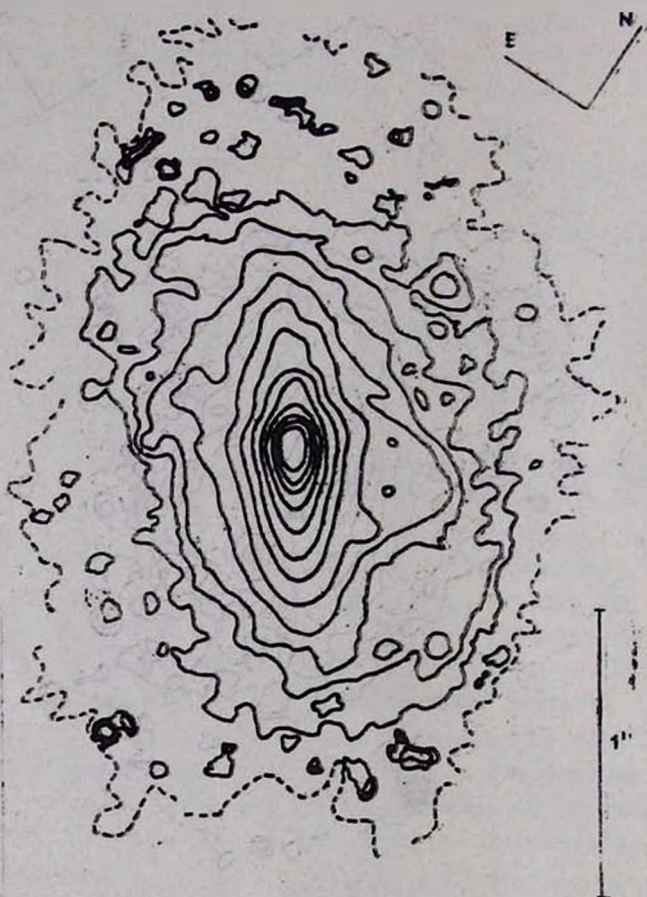


Рис. 2. Распределение поверхностной яркости NGC 2685 в цветовой полосе В. Центральная непрерывная изофота — 19.0, крайняя — 24.5, пунктир — 25.5. Шаг изофот — 0.5.

мало — с удалением от центра он монотонно возрастает от 34° при $r = 10''$ до 40° на расстоянии $60''$. Сплошной линией на рисунке представлено поведение отношения размеров малой и большой полуосей. Внешний вид изофот, фотометрические разрезы вдоль большой и малой оси [4], высокая скорость вращения звездной составляющей и низкая дисперсия скоростей [7] — вся эта совокупность данных свидетельствует о линзовидности галактики. Еще одним подтверждением этого служит ход зависимости

отношения b/a от r на рис. 5. Зависимости такого вида характерны для двухкомпонентных систем типа S0, содержащих балдж и диск.

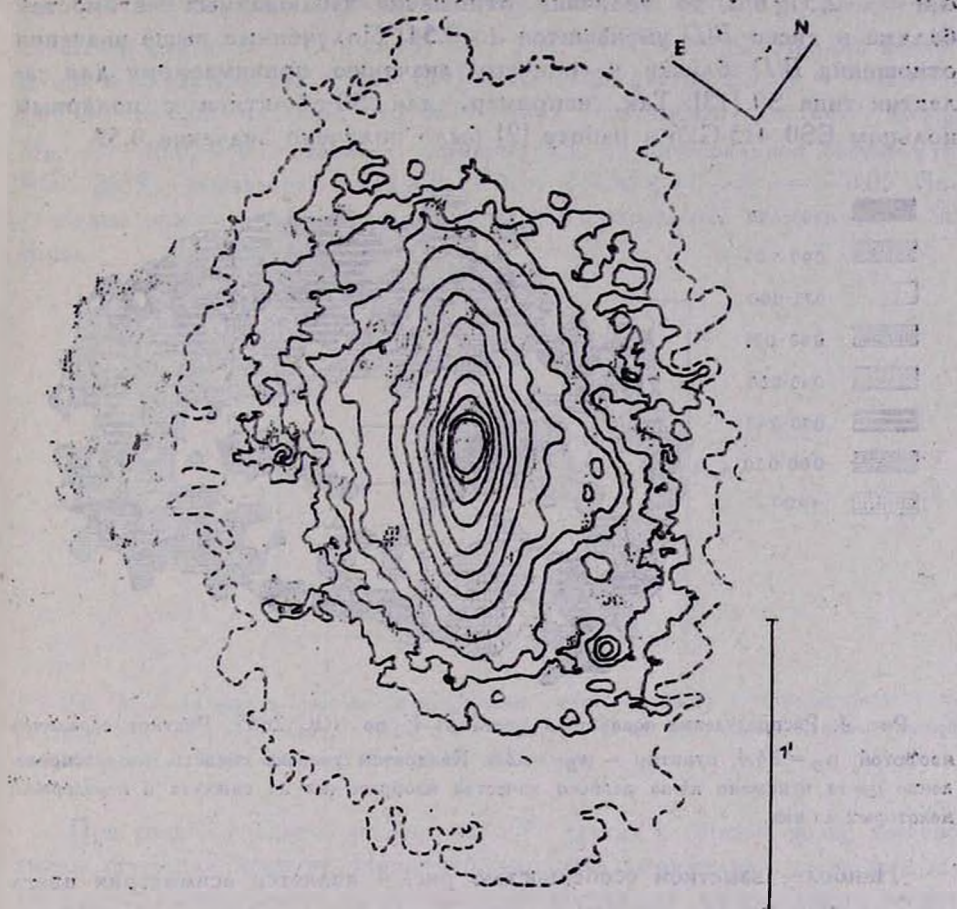


Рис. 3. Распределение поверхностной яркости NGC 2685 в фильтре V. Центральная непрерывная изобота — 18.5, крайняя — 24.0, пунктир — 25.5, шаг — 0.5.

Приняв стандартные распределения поверхностной яркости для балджа ($\sim r^{1/4}$) [и диска ($\sim e^{-ar}$)] мы представили фотометрический разрез вдоль большой оси галактики в цвете B суммой этих компонентов (рис. 6). Параметры балджа и диска, найденные методом наименьших квадратов, приведены в табл. 1.

Наблюдаемые абсолютные звездные величины балджа и диска в полосе B при $R = 17$ Мпк [10] составляют — 18.52 и — 18.60 соответственно. Абсолютная звездная величина главного тела NGC 2685 оказывается равной — 19.3.

Отношение наблюдаемой светимости балджа к светимости диска составляет в фильтре B 0.93. Если ввести поправку за наклон по формуле $\Delta M = -2.5 \lg b/a$, то величина отношения наблюдаемых светимостей балджа и диска B/D уменьшится до 0.54. Полученные выше значения отношения B/D близки к среднему значению, принимаемому для галактик типа $S0$ [13]. Так, например, для $S0$ -галактики с полярным кольцом $ESO\ 415-G26$ в работе [2] было получено значение 0.52.

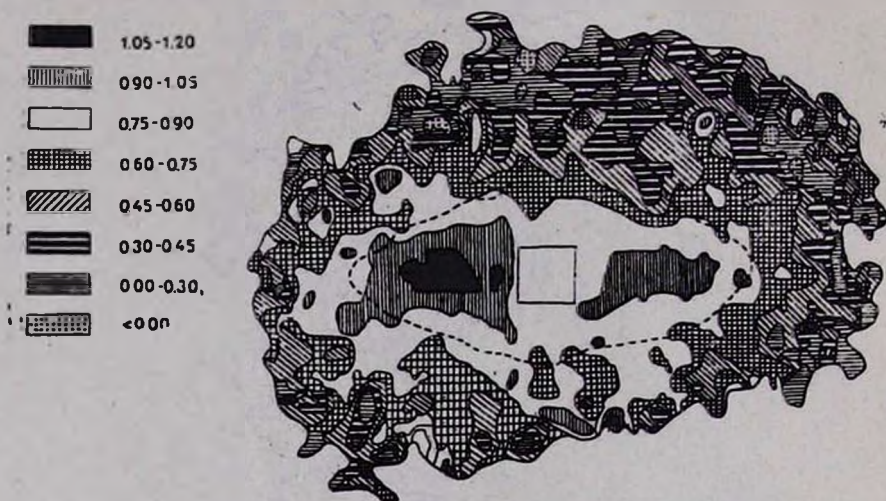


Рис. 4. Распределение показателя цвета $B-V$ по NGC 2685. Рисунок ограничен изофотой $\mu_B = 24.4$, пунктир — $\mu_B = 22.8$. Квадратом указана область, где распределение цвета искажено из-за разного качества изображения на снимках и передержки некоторых из них.

Наиболее заметной особенностью рис. 4 является асимметрия цвета относительно малой оси: NE-половина главного тела краснее ($B-V \approx +1.05$), чем SW-половина ($B-V \approx +0.95$), что объясняется селективным поглощением света пылью в области темных полос. Отметим, что наиболее красные части главного тела разделены в центре относительно более голубой полосой ($B-V \approx +0.8$), примерно совпадающей по направлению с малой осью. Цвет $B-V$ SW-части главного тела довольно постоянен и изменяется от $+1^m0$ до $+0^m8$ при изменении расстояния от ядра вдоль большой оси от $10''$ до $50''$.

3.2. Полярные кольца. Структура системы колец хорошо видна в цветах U и B . Размер большой оси самого яркого светящегося кольца в пределах изофоты $\mu_B = 23.0$ составляет около $80''$, позиционный угол $\rho \approx$

$\approx 100^\circ$. При определении интегральных характеристик кольца учитывались все детали, выступающие над главным телом галактики до изофоты $\mu_U = 23.0$. Получены следующие значения видимой яркости и средних показателей цвета: $B = 15.3$, $\overline{B-V} = +0.54$, $\overline{U-B} = -0.02$. Приняв поглощение в Галактике $A_B = 0.15$ [14] и избытки цветов $E_{B-v} = +0.04$ и $E_{U-v} = +0.03$, находим, что абсолютная светимость системы колец $M_{B_v} = -16.0$, что составляет примерно 3% от интегральной светимости NGC 2685, а показатели цвета $(B-V)_0 = +0.50$ и $(U-B)_0 = -0.05$. Полученные показатели цвета характерны для спиральных галактик Sb—Sc типов.

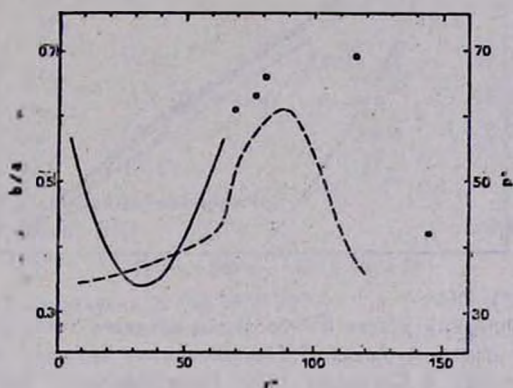


Рис. 5. Зависимость светимости (непрерывная линия, кружки) и позиционного угла большой оси (пунктир) изофот NGC 2685 в полосе B от расстояния вдоль большей оси. Измерения выполнены по SW-половинке галактики.

При тонкой градации изофот на UBV -картах в системе колец хорошо видны сгущения яркости. Например, наиболее выраженная часть (западная) кольца имеет довольно резкий край, состоящий из отдельных сгущений. Фотометрические характеристики наиболее ярких сгущений приведены в табл. 2, где в последнем столбце указана изофота, до которой производилось суммирование для данной конденсации. Номера сгущений приведены в соответствии с рис. 1. Звездочкой в таблице отмечен двойной сгусток.

Следует отметить, что приведенные в табл. 2 значения светимостей являются лишь нижней оценкой истинной светимости этих образований, так как нам не известна величина поглощения в самих кольцах. Существование же пыли в системе колец подтверждается, во-первых, обнаружением поляризации [8] с направлением, перпендикулярным к направлению колец и, во-вторых, наличием темных полос в NE-части главного тела, являющихся продолжением светлых волокон. Цвета и абсолютные величин-

ны сгущений яркости (их средние величины $\overline{B-V} = +0.45$, $\overline{U-B} = -0.3$ и $M_B = -12.6$) типичны для гигантских областей HII в ветвях спиральных галактик.

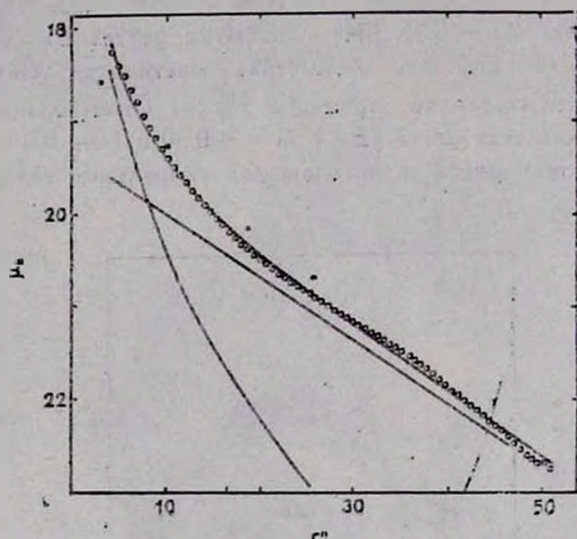


Рис. 6. Фотометрический разрез SW-полюсов главного тела галактики NGC 2685 вдоль большой оси в цветовой полосе B (незаполненные кружки). Заполненные кружки — измерения Дресслера и Сандиджа [12]. Непрерывными линиями изображены распределения яркости в блиде и диске (см. раздел 3.1), а также результирующее приближение наблюдаемого профиля яркости.

3.3. Слабосветящаяся оболочка. Изофота 25.5 лишь приблизительно очерчивает внешнюю оболочку (см. рис. 1—3). Четкой границы у нее нет и, по-видимому, в северном направлении она простирается за обработанную нами область фотоснимков. Если называть внешней оболочкой всю протяженную слабосветящуюся область, поверхностная яркость которой в полосе B не превышает 23.5, то, по нашему мнению, ее следует разделить на две подсистемы.

1) Внутренняя относительно яркая оболочка ($23.6 \leq \mu_B < 24.4$), развернутая на 20° относительно главного тела (обозначена (A) в табл. 1). Ей соответствует максимальное значение позиционного угла большой оси при $r = 90''$ на рис. 5. Размер большой оси в пределах изофоты 24.4 около $155''$. Видимая звездная величина и средняя поверхностная яркость этой подсистемы в фильтре B равны соответственно 14.65 и 24.0, а $M_B = -16.65$. По-видимому, эта оболочка имеет сравнительно резкий край и состоит из отдельных голубых волокон и аморфных уярчений, хорошо видимых на картах B и U . В цвете V оболочка кажется более однородной.

Таблица 1

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ NGC 2685

Галактика в целом:

Расстояние, R (Мпк) [10]	17
Поглощение в Галактике, A_B [14]	0.15
Абсолютная зв. величина, M_B	-19.6
$(B - V)_T$ [16]	+0.85

S0-компонент:

Размер ($\mu_B = 23.5$)	$\sim 30'' \times 120''$
$(B - V)_0$	+0.95
$(U - B)_0$	+0.3
M_{B_0}	-19.45
Балдж μ_B^B 19.32	Диск μ_0^B 19.43
a_* 5.9 (0.49 кпк)	a^{-1} 16.1 (1.32 кпк)
b/a 0.6:	b/a 0.35
M_{B_0} -18.67	M_{B_0} -18.75

Отношение наблюдаемых светимостей

балджа и диска, B/D 0.93

Полярные кольца:

Большая полуось, a ($\mu_B = 23.0$)	40'' (3.3 кпк)
$(B - V)_0$	+0.50
$(U - B)_0$	-0.05
M_{B_0}	-16.0

Внешняя оболочка:

(A) 23.6 < μ_B < 24.4	(B) 24.4 < μ_B < 25.5
a ($\mu_B = 24.4$) 80'' (6.6 кпк)	a ($\mu_B = 25.5$) 2.5 (12.4 кпк)
μ_B 24.0	μ_B 24.8
M_{B_0} -16.65	$(B - V)_0$ +0.45
	M_{B_0} -16.5

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАЦИЙ В NGC 2685

№	B	B_0	$(B - V)_0$	$(U - B)_0$	M_{B_0}	μ_B
1	17.63	17.5	+0.4	-0.4	-13.7	22.5
2	18.72	18.6	+0.4	-0.1	-12.6	22.6
3	18.52	18.4	+0.4	-0.1	-12.8	22.6
4*	18.48	18.3	+0.5	-0.4	-12.9	22.7
5	19.34	19.2	+0.4	-0.3	-12.0	22.7
6	19.58	19.4	+0.5	-0.4	-11.8	22.9

Показатели цвета внутренней оболочки близки к средним показателям цвета полярного кольца, но имеется и ряд более голубых аморфных уярчений. Наряду с этим в западной части оболочки наблюдаются детали с показателем цвета $U-B$ более красным, чем $+0.^m4$. Эти области частично захватывают SW-край галактики. На прямых снимках NGC 2685 (см., например, [15]) в этом районе заметно падение яркости и, возможно, здесь тоже проходит пылевая полоса.

Приняв во внимание разворот внутренней оболочки относительно главного тела, наличие пыли и совпадение показателей цвета со средними значениями для полярных колец, мы пришли к заключению, что эта подсистема скорее связана с полярными кольцами, чем с внешней эллиптической оболочкой.

2) Наружная более слабая оболочка, ограниченная изофотами $24.4 < \mu_B \leq 25.5$ (обозначена (B) в табл. 1). Возможно, оболочка простирается и дальше, но ее край очень размыт и при определении видимой звездной величины и других ее характеристик суммирование производилось до изофоты $\mu_B = 25.5$. Средняя поверхностная яркость этой оболочки 24.8, а ее абсолютная светимость $M_B = -16.5$. Размер большой оси оболочки около $5'$, а направление вытянутости примерно совпадает с направлением большой оси главного тела (черный кружок на рис. 5, соответствующий $\gamma = 145''$). Отметим, что в цвете U сжатие оболочки меньше, чем в B и V . На снимках в B на северо-восток и, вероятно, на юго-запад от примерно эллиптической оболочки тянутся слабые хвосты. Слабое волокно, тянущееся на северо-восток, совпадает с вытянутостью на радиокarte в линии 21 см [10].

Характерный цвет $B-V$ наружной оболочки $+0.45$, но дисперсия значений велика. Показатель цвета $U-B$ изменяется в широких пределах от -0.6 до $+0.2$, более красные участки редки. Частично большой разброс значений объясняется плохой точностью фотометрии для столь низких значений поверхностной яркости, однако можно утверждать, что средние значения показателей цвета внешней оболочки близки к цветам, полученным для сгущений яркости в системе колец.

На карте в полосе B (рис. 2) обращает на себя внимание цепочка конденсаций, имеющих неправильную, часто вытянутую форму. В NE-части оболочки большая часть этих сгущений ложится на дугу эллипса. Для двух средних по яркости сгущений были найдены интегральные характеристики: их абсолютные светимости в B оказались равными -10.5 — -10.8 , а показатель цвета $B-V \approx +0.2$. По этим характеристикам сгущения яркости близки к ассоциациям молодых звезд в БМО.

Полученные в настоящей работе фотометрические характеристики NGC 2685 и ее подструктур суммированы в табл. 1.

4. **Обсуждение.** Из восьми галактик с полярными кольцами, приведенных в [1], лишь у NGC 2685 размер системы колец существенно меньше размера главного тела. По своей структуре система кольцевых волокон в этой галактике также заметно отличается от подобных образований в других, более далеких S0-галактиках — геометрически тонких и, как правило, одиночных колец или дисков. Эти очевидные отличия приводят к выводу о том, что система полярных колец в NGC 2685 находится, вероятно, в стадии формирования или, наоборот, разрушения.

Среди гипотез образования полярных колец наибольшее число сторонников имеет гипотеза об образовании колец вследствие аккреции вещества из межгалактического облака или из соседней галактики. Различаются две возможности: 1) захват и погружение соседней карликовой галактики, богатой газом и пылью, и 2) аккреция части вещества сближающейся галактики вследствие приливного взаимодействия. Шейн [10], вслед за Тумре [17], рассматривает захват карликовой галактики или межгалактического облака, двигавшегося почти параллельно оси вращения S0-галактики. В этом случае эффект дифференциальной прецессии незначителен, основная масса газа не может быстро осесть к экваториальной плоскости галактики, но динамическое трение с газом в дисковой составляющей линзы, а также взаимодействие со звездным ветром приводят к потере углового момента. Так может появиться туго закрученная спираль из газа и пыли, охватывающая главное тело. Перечислим основные трудности, с которыми встречается эта гипотеза в случае NGC 2685:

1) Если считать кольца спирали лежащими в одной плоскости, то ее истинные размеры должны заметно превосходить видимые.

2) Центр галактики не совпадает с центром системы спиральных волокон.

3) Относительное положение светящихся ветвей и пылевых полос на фоне NE-части главного тела имеет систематическое различие, характерное для спиральных галактик.

4) Средние цвета выступающих над телом галактики частей кольца характерны для спиралей Sb—Sc-типов. Цвета и абсолютные звездные величины сгущений яркости в кольце типичны для гигантских областей H II в ветвях спиральных галактик.

Последние три обстоятельства позволяют предположить, что наблюдаемая картина скорее объясняется столкновением линзовидной галактики со спиральной. Остаются загадочными возможная некомпланарность колец и вращение звезд и газа вдоль малой оси в разных направлениях.

Что же касается внешней оболочки, то кажется вполне разумным предположение Шейна [10], считающего, что внешнее кольцо может быть значительно более старым, чем полярные кольца и могло быть образовано

в результате столкновения с межгалактическим облаком или сохраниться с эпохи формирования галактики.

Для дальнейшего продвижения в исследовании NGC 2685, на наш взгляд, большое значение имеет изучение структуры протяженной внешней оболочки и динамики системы полярных колец, для чего необходимы новые фотометрические и спектральные наблюдения высокого качества.

Ленинградский государственный
университет

DETAIL SURFACE PHOTOMETRY OF THE GALAXY WITH POLAR RING NGC 2685

V. V. MAKAROV, V. P. RESHETNIKOV, V. A. YAKOVLEVA

Absolute surface *UBV*-photometry of the peculiar galaxy NGC 2685 is provided. Integral magnitudes and colour indices of the "main body", polar rings and outer envelope are obtained. The buldge and disk components are distinguished in the spindle and this is one more argument that NGC 2685 is a normal lenticular galaxy seen nearly edge-on. The colours of the polar rings ($U-B = -0.05$, $B-V = +0.50$) are very similar to those of Sb-Sc galaxies. These rings may be caused by interaction of the spiral galaxy with a S0 companion. The outer envelope consists of two subsystems, probably of different origin.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Schweizer, B. C. Whitmore, V. C. Rubin, *Astron. J.*, 83, 909, 1983.
2. B. C. Whitmore, D. B. McElroy, F. Schweizer, *Astrophys. J.*, 314, 439, 1987.
3. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, *Astrophys. J.*, 130, 20, 1959.
4. В. А. Газен-Торн, И. И. Попов, В. А. Яковлева, *Астрофизика*, 19, 599, 1983.
5. M.-H. Demoulin, *Comp. Rend. Acad. Sci.*, 260, 3287, 1965.
6. M.-H. Ulrich, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 87, 965, 1975.
7. P. L. Schechter, J. E. Gunn, *Astron. J.*, 83, 1360, 1978.
8. A. Elvius, *Astrophys. and Space Sci.*, 55, 49, 1978.
9. В. А. Газен-Торн, И. И. Попов, В. А. Яковлева, *Письма в Астрон. ж.*, 5, 8, 1979.
10. W. W. Shane, *Astron. and Astrophys.*, 82, 314, 1980.
11. В. В. Макаров, В. П. Решетников, В. А. Яковлева, *Тр. АО АГУ*, 41, 112, 1987.
12. A. Dressler, A. Sandage, *Astrophys. J.*, 265, 664, 1983.
13. F. Simien, C. de Vaucouleurs, *Astrophys. J.*, 302, 564, 1986.
14. D. Burstein, C. Heiles, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 54, 33, 1984.
15. A. R. Sandage, *The Hubble Atlas of Galaxies*, Washington, 1961.
16. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Univ. Texas, Austin, 1976.
17. A. Toomre, in "The Evolution of Galaxies and Stellar Populations", ed. B. Tinsley, R. B. Larson, New Haven. Yale Univ. Observ., 401, 1977.