

УДК 524.7.82—13

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЕКУЛЯРНОЙ
ГАЛАКТИКИ NGC 2685

В. А. ГАГЕН-ТОРН, И. И. ПОПОВ, В. А. ЯКОВЛЕВА

Поступила 10 марта 1983

Принята к печати 25 апреля 1983

Приводятся результаты детальной *UBV*-фотометрии пекулярной галактики NGC 2685, выполненной по 10 негативам, полученным на 2,6-метровом телескопе Бюраканской обсерватории. Рассмотрение всей совокупности имеющихся наблюдательных данных (фотометрических, спектральных и поляризационных) говорит в пользу предположения о том, что NGC 2685 представляет собой пару сталкивающихся галактик.

1. *Введение.* Галактика NGC 2685 по мнению многих астрономов является «пекулярнейшей из всех галактик» [1]. На рис. 1 приведена репродукция ее снимка, полученного нами на 2,6-метровом телескопе Бюраканской обсерватории в цветовой полосе *B*. Видно, что главное тело галактики, размеры которого составляют примерно $100'' \times 25''$, имеет сигарообразный вид. Северо-восточная часть его пересечена рядом перпендикулярных большой оси темных полос, которые продолжаютсся вне главного тела в виде светящихся колец. На негативах, полученных на 5-метровом [2] и 6-метровом [3] телескопах, виден еще внешний слабосветящийся эллипс, ориентация и центр которого совпадают с таковыми для главного тела. Согласно [4] интегральный спектр NGC 2685 — G5, а лучевая скорость — $V_0 = +960$ км/с.

До середины 70-х годов NGC 2685 была относительно мало исследована, и мы включили ее в программу изучения пекулярных галактик, ведущуюся в Астрономической обсерватории Ленинградского университета. К этому времени не было опубликовано никаких фотометрических данных за исключением интегральных величин, определенных Холмбергом [5] ($m_{pg} = 12^m.04$, $m_{pv} = 11^m.38$), но морфология галактики уже обсуждалась [1, 2, 6]. По мнению Бербиджей [6], главное тело и внешний эллипс — это S0-галактика, видимая почти с ребра (из формы эллипса следует, что угол между главной плоскостью галактики и лучом зрения составляет около 20°), пекулярные же кольца образовались в результате действия магнит-

ных сил. Наиболее удивительный вывод был сделан Демулен [7] в 1965 г. Получив на 193-см телескопе спектрограмму со щелью, расположенной вдоль малой оси галактики, она обнаружила наклон как эмиссионной линии $\lambda 3727$ [O II], так и абсорбционных линий H и K. Этот наклон Демулен интерпретировала как результат вращения главного тела галактики и системы светящихся колец вокруг видимой большой оси. Вращение газовых масс вокруг большой оси было подтверждено Ульрих [8] в 1975 г. по спектрограммам, полученным на 4-метровом телескопе.

В конце 70-х годов Эльвиус [9] и авторами настоящей работы [10] были выполнены поляризационные исследования NGC 2685, установившие наличие в полосах крупномасштабного магнитного поля. Тогда же Горбацкий и Коровяковский [3] предложили оригинальную модель, согласно которой сигарообразное тело представляет собой результат взрыва в ядре очерченной кольцами галактики. Как мы уже отмечали ранее [10], появившиеся тогда же фотометрические данные [11] (результаты фотоэлектрических *UBVR* наблюдений с круглыми диафрагмами, центрированными на ядро) как будто бы не давали свидетельств в пользу этой модели. Однако окончательное решение вопроса о механизме свечения главного тела галактики и о природе галактики вообще требует детального фотометрического исследования. Результатам такого исследования и их обсуждению и посвящена настоящая статья.

2. *Наблюдения и обработка.* Основной наблюдательный материал (снимки в цветовых полосах *UBV*) был получен в прямом фокусе 2.6-метрового телескопа Бюраканской обсерватории (масштаб снимков 20"/мм). Снимки калибровались трубочным фотометром. Для обработки было отобрано 10 пластинок: четыре в полосе *U* и по три в полосах *B* и *V*. Выдержки были подобраны так, что во всех случаях фон неба оказался в нижней части прямолинейного участка характеристической кривой. Связь между нашей фотометрической системой и стандартной системой Джонсона была исследована по снимкам скопления NGC 1778 [12]. Системы оказались настолько близкими, что при нашей методике стандартизации никаких поправок за систему вносить не пришлось.

Стандартизация осуществлялась двумя способами: по фотоэлектрическим маркам в галактике и по одновременным с получением снимков фотоэлектрическим оценкам яркости фона неба вблизи от галактики. Подробности методики стандартизации изложены в [13]. Фотоэлектрические наблюдения проводились нами на телескопе АЗТ-14 Бюраканской станции Ленинградского университета ($D = 48$ см) с астрофотометром АФМ-6 [14]. Все определения сделаны дифференциальным способом относительно расположенной в непосредственной близости от галактики звезды BD + 59° 1220, для которой принято согласно [15]: $V = 9.20$,

$B - V = +0.38$, $U - B = +0.08$. Поправки за разность зенитных расстояний не превышали 0^m05 , а за систему — 0^m02 .

Результаты фотоэлектрических наблюдений галактики, выполненных с круглыми диафрагмами, приведены в табл. 1, где во втором столбце указаны координаты области относительно ядра, а в третьем диаметр площадки. Точность в определении величины $V = \pm 0^m05$, цвета $B - V = \pm 0^m02$, но цвет $U - B$ из-за малого потока в полосе U может быть ошибочен более, чем на 0^m1 . Наши результаты для ядерной области удовлетворительно согласуются с данными работы [11].

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

№ площадки	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	d	V	$B - V$	$U - B$
Т. 1	0.0	0.0	53.4	12 ^m 08	+0 ^m 92	+0 ^m 47
Т. 1	0.0	0.0	25.7	12.57	+0.95	+0.40
Т. 2	-14.5	-25.7	26.7	13.65	+0.97	—
Т. 3	+12.1	+17.0	26.7	14.24	+1.11	—

Измерение пластинок проводилось на автоматическом микроденситометре АМД-1 Специальной астрофизической обсерватории с диафрагмой размером 20×20 мкм ($0.''4 \times 0.''4$). Направление сканирования (ось OX) было выбрано параллельным большой оси главного тела галактики (оно выверялось по звездам). И шаг по оси OX , и сдвиг между сканами (по оси OY) составляли $0.''4$, так что фотометрия велась сплошным способом. Результаты измерений плотности (256 сканов по 256 отсчетов в скане + 10 сканов для фона неба в стороне от галактики) для всех 10 пластинок, а также результаты измерения трубчатого фотометра были записаны на магнитную ленту. Дальнейшая обработка проводилась на машине ЕС-1033 Вычислительного центра ЛГУ в соответствии с изложенным в [13] алгоритмом по комплексу программ, созданному в АО ЛГУ.

Использование этого комплекса позволяет: перейти от плотностей к яркостям в относительных единицах (своих для каждой пластинки); найти и вычесть средний фон неба; произвести в случае необходимости параллельный перенос координатных систем на пластинках; свести все яркости на пластинках данного цвета к одной системе, провести усреднение, ввести веса, и получить для всех полос яркости I в относительных единицах; определить по маркам в галактике и фону неба постоянные стандартизации, т. е. постоянные, которые надо прибавлять к значениям $-2.51g I$ для перехода к абсолютным значениям яркостей; получить яркости в звездных

величинах с кв. секунды дуги в любой из полос, а также цвета; провести, если это требуется, сглаживание по 9 точкам. Результаты выдаются как в цифровой, так и в графической форме.

Поскольку ядерная область оказалась передержанной, для стандартизации по маркам использовалась кольцевая марка с центром в точке 1 и точка 2 (точка 3 лежит в области темных полос и суммирование фотографических яркостей там затруднительно). Средние значения постоянных стандартизации с учетом постоянной, найденной по фону неба (а для цвета $U-V$ из-за малой точности данных табл. 1 лишь она и была получена), равны: $C_B = 25^m37 \pm 0^m15$, $C_{BV} = 1^m14 \pm 0^m03$, $C_{UB} = -1^m36$. Приведенные ошибки дают оценку возможной систематической ошибки в яркости B/\square'' и цвете $B-V$. Для цвета $U-V$ такой оценки нет, но необходимо отметить, что значения постоянных стандартизации C_B и C_{BV} , полученные по фону, практически не отличаются от принятых средних значений.

3. *Результаты наблюдений.* Распределение поверхностной яркости в галактике NGC 2685 в полосах UBV приводится, соответственно, на рис. 2а, б, с, построенных после сглаживания по 9 точкам. Разные значки дают разные уровни яркости. Интервалы яркости, изображенные одним и тем же значком, подобраны так, чтобы рисунок воспринимался как график, дающий изофоты. Интервалы равняются примерно 0^m5 в ярких участках с большим градиентом яркости и 0^m3 в более слабых и пологих участках. Уровни яркости указаны на рисунках.

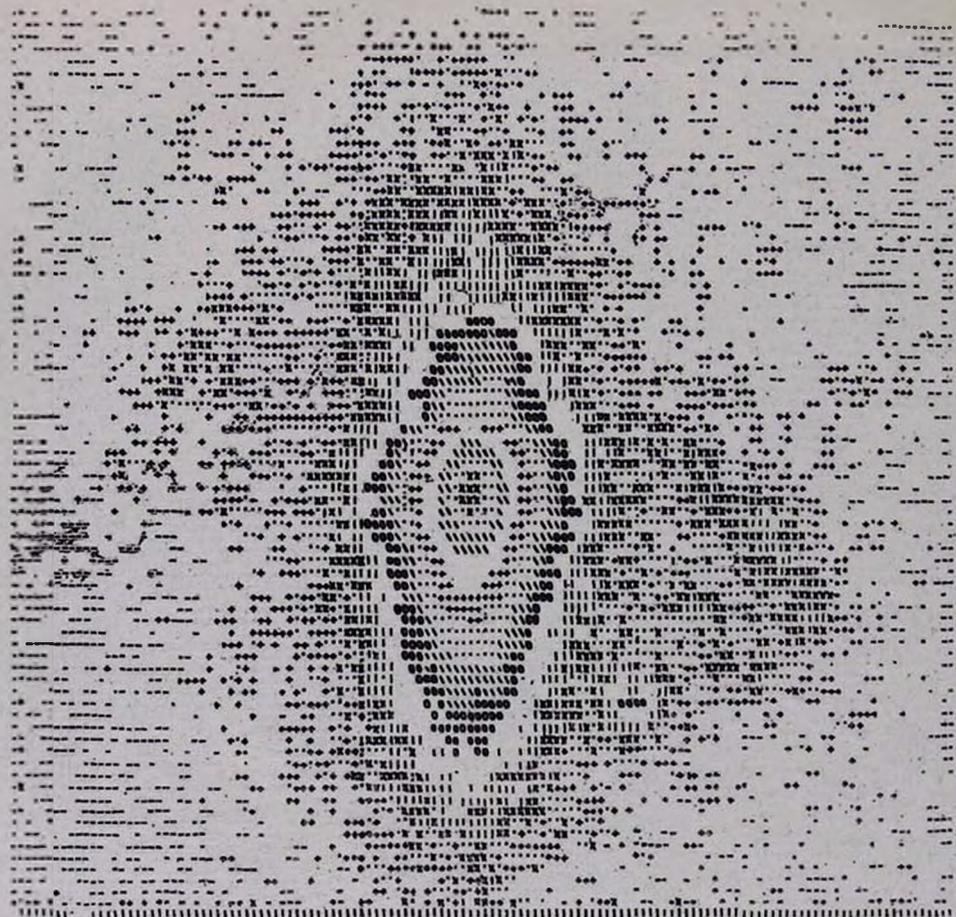
Более детальные сведения о распределении яркости вдоль большой и малой осей главного тела галактики дают соответственно рис.-3а, б и 4а, б. Они построены в координатах $\lg I \div r^{1.4}$ для возможности сопоставления распределения яркости с законом де Вокулера [16], предложенным им для эллиптических галактик.

При изучении распределения цветов выяснилось, что совмещение пластинок, полученных в разных полосах, с точностью до размера диафрагмы, которое было выполнено ЭВМ, недостаточно: была получена асимметрия цветов в областях, где нет оснований ее ожидать (в районе т. 2). Поэтому мы построили фотометрические разрезы вдоль большой и малой осей для всех трех цветовых полос и по этим разрезам методом хэрд Погсона [17] определили точки максимальной яркости. Оказалось, что эти точки в пределах нескольких десятых долей размера диафрагмы не совпадают друг с другом. После смещения разрезов в полосах U и V относительно разреза в полосе B асимметрия существенно уменьшилась. Полученные значения цветов вдоль большой и малой осей главного тела галактики приведены в табл. 2.



Рис. 1. Снимок NGC 2535, полученный на 2.6-метровом телескопе в цветовой полосе В. Север сверху, запад справа.

К ст. В. Гаген-Торна и др.



Символ	U/б"
x	- 17.0
*	- 18.4
\	- 19.0
пробел	- 19.6
+	- 20.1
*	- 20.5
\	- 20.9
0	- 21.2
пробел	- 21.5
	- 21.8
x	- 22.1
*	- 22.4
+	- 22.7
пробел	- 23.0
-	- 24.0

ЛЕКУ ДИРНАД ГАЛАКТИКА NGC 2685

Рис. 2а Распределение яркости в NGC 2685 в полосе U.

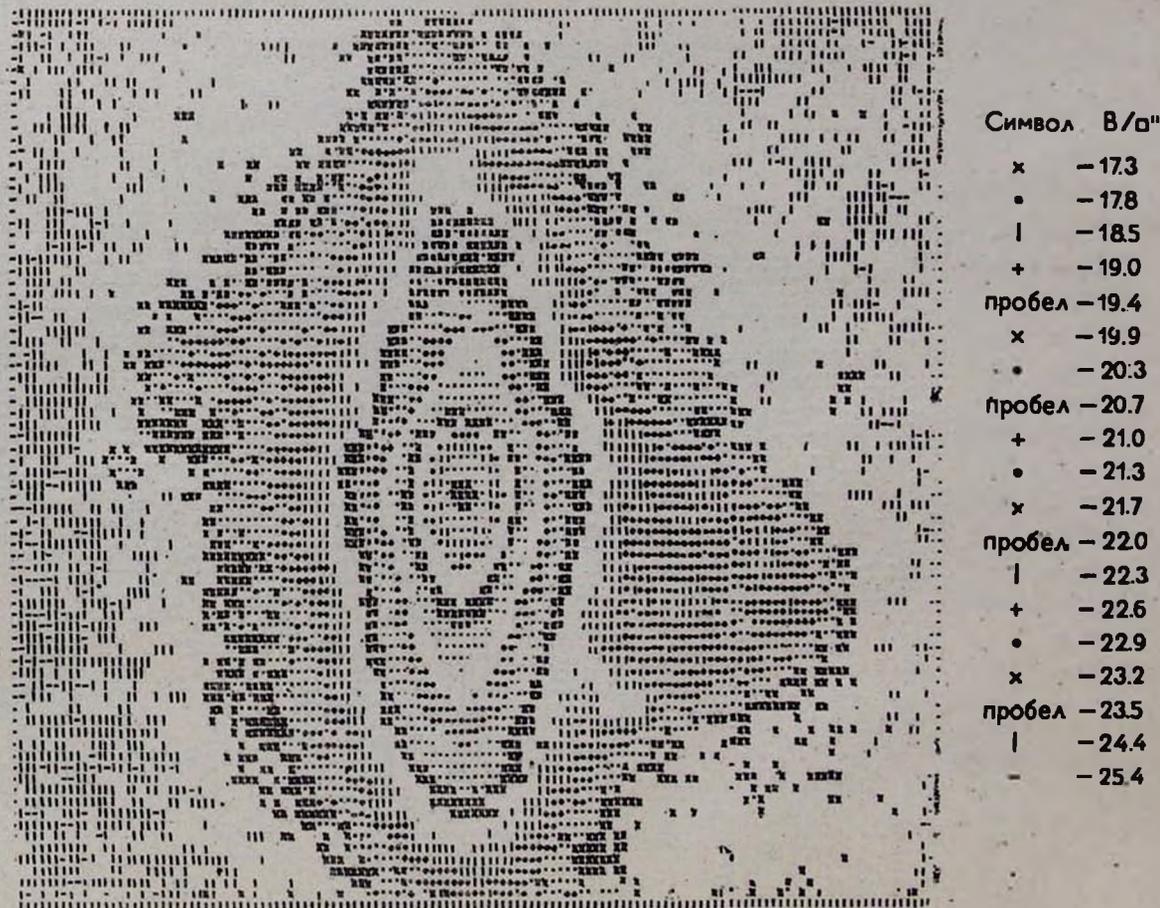
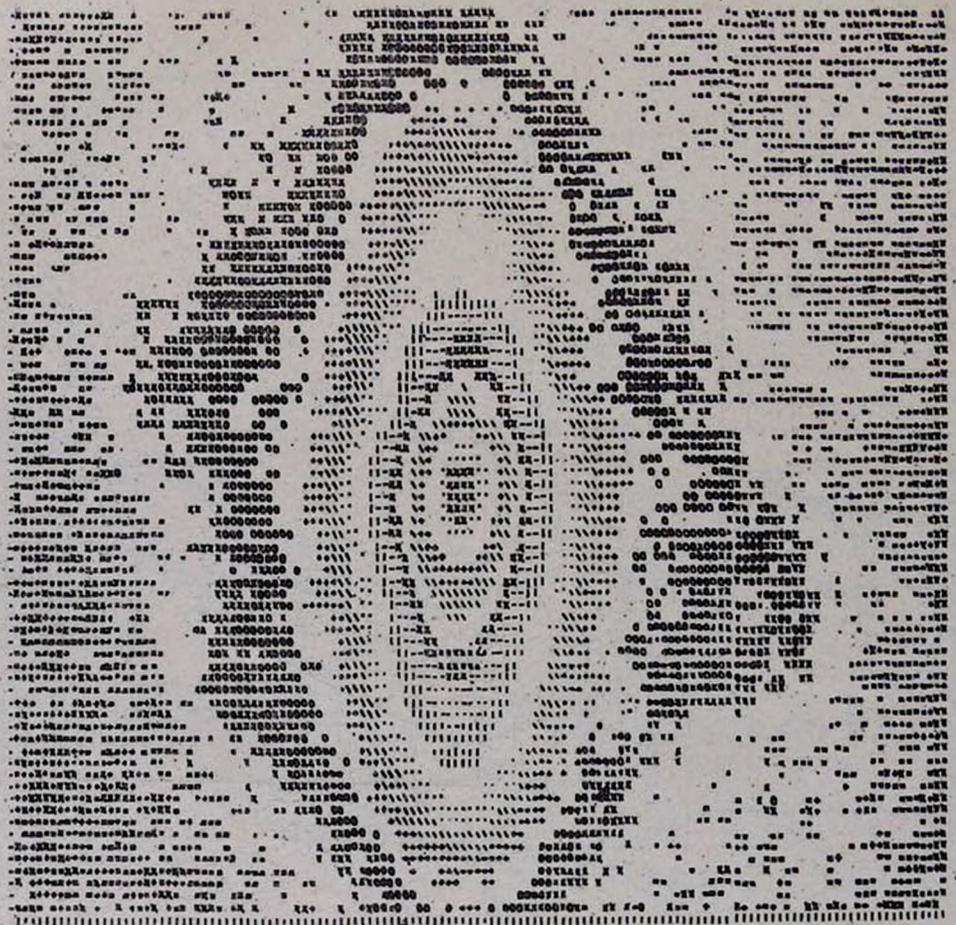


Рис. 2b. Распределение яркости в NGC 2685 в полосе В.



Символ	V/σ'
x	-16.6
o	-17.2
пробел	-17.7
+	-18.2
\	-18.7
пробел	-19.1
x	-19.4
-	-19.7
	-20.1
пробел	-20.4
o	-20.7
\	-21.0
+	-21.3
пробел	-21.6
0	-21.9
x	-22.2
пробел	-22.5
=	-23.2
+	-23.7
x	-24.2

Рис. 2с. Распределение яркости в NGC 2685 в полосе V.

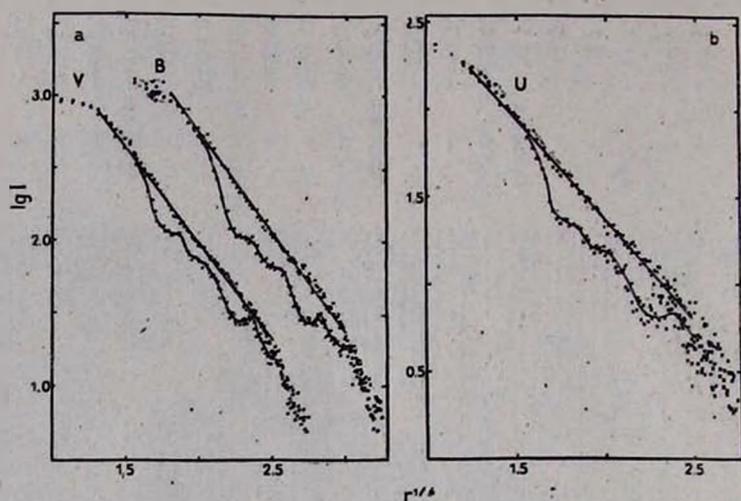


Рис. 3. Распределение яркости вдоль большой оси главного тела: а — в полосах *B* и *V* (график для полосы *B* смещен по оси абсцисс вправо на 0.5), б — в полосе *U*. Точки — «чистая» половина галактики, крестики — область темных полос.

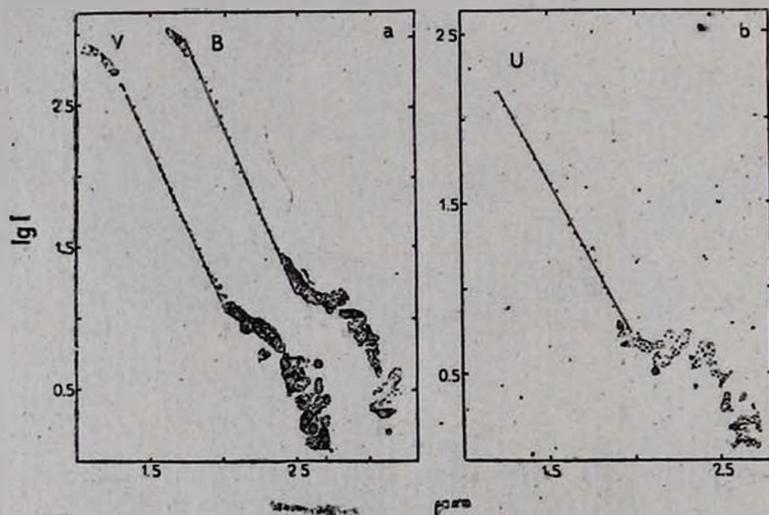


Рис. 4. Распределение яркости вдоль малой оси главного тела в сторону кольца: а — в полосах *B* и *V* (график для полосы *B* смещен по оси абсцисс вправо на 0.5), б — в полосе *U*.

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВ ВДОЛЬ БОЛЬШОЙ И
МАЛОЙ ОСЕЙ ГЛАВНОГО ТЕЛА NGC 2685

Большая ось				
r	"Чистая" область		В сторону темных полос	
	B-V	U-B	B-V	U-B
4.9	0 ^m .84	0 ^m .69	1 ^m .01	0 ^m .56
6.2	0.91	0.64	1.02	0.54
7.4	1.01	0.54	1.09	0.49
8.6	1.06	0.50	1.21	0.40
9.8	1.02	0.44	1.21	0.44
11.1	0.97	0.39	1.19	0.36
12.3	0.94	0.36	1.26	0.41
13.5	0.99	0.31	1.19	0.39
14.8	1.02	0.31	1.21	0.29
20.1	1.09	0.24	1.22	0.44
27.1	1.06	0.14	1.11	0.20
29.9	1.04	0.22	1.09	0.46
39.0	0.90	0.44	0.99	0.14

Малая ось				
	К юго-востоку		К северо-западу	
	B-V	U-B	B-V	U-B
5.3	0.79	0.46	0.79	0.44
6.6	0.87	0.31	0.94	0.32
7.8	0.94	0.24	0.97	0.16
11.5	0.99	0.10	1.02	0.06
13.9	0.89	0.11	0.97	0.19
15.2	0.89	0.11	0.99	0.19

Средние значения цветов главного тела галактики по данным табл. 2 получаются $\overline{B-V} = +0.95$, $\overline{U-B} = +0.32$ (если не учитывать данные для части большой оси с темными полосами), причем изменения цвета $B-V$ практически незаметны, но в $U-B$ галактика голубеет к краям. Что же касается области светящихся колец, то для них в среднем $\overline{B-V} = +0.60$, $\overline{U-B} = -0.55$. Для центра самой яркой конденсации в южной части кольца найдено: $B-V = +0.45$, $U-B = -0.66$. Точки, соответствующие средним цветам основного тела галактики и светящихся

колец, нанесены на рис. 5. Штрихи дают разброс индивидуальных значений.

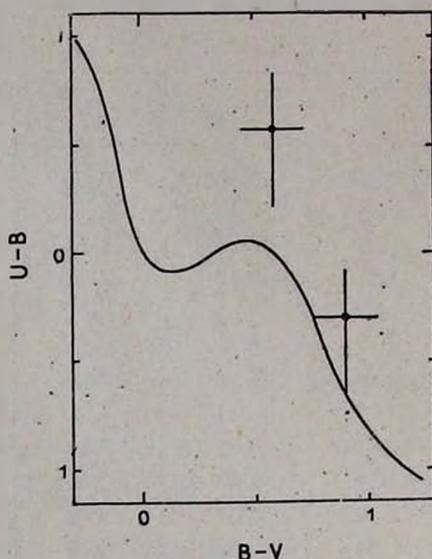


Рис. 5. Двухцветная диаграмма (нанесены средние значения цветов для главного тела и светящихся колец и указан разброс индивидуальных значений).

4. *Обсуждение результатов.* Прежде всего рассмотрим данные для главного тела галактики. Как уже говорилось, в модели, предложенной в [3], эта область представляет собой результат взрыва в ядре галактики, очерченной кольцами, но механизм свечения этой области в [3] не конкретизируется. Мы считаем, что имеющаяся сейчас совокупность наблюдательных данных позволяет утверждать, что свечение главного тела NGC 2685 имеет звездную природу.

Два аргумента в пользу этого дают результаты фотометрических наблюдений. Во-первых, это измерение цветов. Имеющиеся фотометрические данные ([11] и настоящая работа) и результаты фотографических наблюдений, приведенные в табл. 2, показывают, что цвета главного тела значения цветов главного тела, попадает в область, занятую этими галактиками. На двухцветной диаграмме (рис. 5) точка, характеризующая средние значения цветов главного тела, попадает в область, занятую этими галактиками, а сами эти значения вполне соответствуют полученному для центральной области интегральному спектру G5.

Во-вторых, распределение яркости в главном теле NGC 2685 следует, как это видно из рис. 3а, b и 4а, b, закону де Вокулера: $\lg I \sim r^{1/4}$. Как известно (см., например, [11]), закон де Вокулера выполняется не только

для эллиптических, но и для некоторых линзовидных галактик, так что изучение распределения яркости согласуется с представлением, что главное тело представляет собой эллиптическую или линзовидную галактику.

Далее еще два аргумента в пользу обычного звездного свечения главного тела дают результаты спектральных и поляризационных наблюдений. На спектрограммах NGC 2685, полученных Шехтером и Ганном [18], на 5-метровом телескопе, удается проследить абсорбционные линии H и K в направлении большой оси до расстояний, больших $20''$. Очевидно, здесь мы имеем дело со звездным излучением. В [10] мы уже указывали на то, что поляризация в юго-западной части главного тела невелика. Проведя дополнительные наблюдения, мы уточнили результаты для этой области и получили $p = 0.1\% \pm 0.4\%$, так что поляризация здесь во всяком случае меньше 1.2% (3σ). Это исключает, например, синхротронный механизм свечения этой области, но вполне согласуется с представлением о том, что свечение имеет звездную природу.

Следующий важный вопрос — является ли главное тело NGC 2685 эллипсоидальным или линзовидным образованием. В первом случае вращение вокруг большой оси возможно, но во втором оно должно быть безусловно исключено. Фотометрические наблюдения не дают решающих аргументов в пользу того или иного представления, хотя некоторые указания на то, что система является линзовидной, дает отклонение формы изофот от эллипсов; на рис. 2b, c во внешних частях заметна дисковая составляющая. Гораздо более определенные свидетельства того, что система линзовидная, дают спектральные наблюдения. Согласно [18] абсорбционные линии H и K на спектрограмме, полученной со щелью спектрографа, расположенной вдоль большой оси главного тела NGC 2685, показывают наклон, причем кривая лучевых скоростей оказывается типичной для галактик S0 (разница в лучевой скорости в ядре и на расстоянии в $20''$ от него составляет 115 км/с). Авторы [18] заключают, что главное тело представляет собой видимую с ребра галактику S0, вращающуюся вокруг малой оси. К объяснению наклона линий H и K на спектрограммах, полученных со щелью, параллельной малой оси [7, 18], мы вернемся несколько позже.

Рассмотрим теперь данные о светящихся и темных кольцах. То, что это связанные между собой образования, несомненно. Первоначальное предположение о пылевой природе темных колец получило подтверждение после того, как были выполнены поляризационные наблюдения [9, 10]. Наличие поляризации в области темных колец с направлением, совпадающим с направлением полос, наиболее естественно объясняется селективным по отношению к плоскости поляризации поглощением асимметричными ориентированными пылинками. Селективность поглощения по отношению к длине волны, характерная для пылевых частиц, видна из рассмотрения рис. 3a, из которого следует, что поглощение в темных полосах (их за-

метно четыре) всегда больше в цвете B , чем в цвете V (0^m87 ; 0^m65 ; 0^m72 ; 0^m40 и соответственно 0^m55 ; 0^m40 ; 0^m50 ; 0^m25).*

Пыль, ясно видимая в проекции на главное тело, имеется и в районе светящихся колец. Свидетельством тому является наличие в области наиболее яркого светящегося кольца поляризации излучения, найденной Эльвиус [9]. Здесь поляризация возникает, очевидно, при рассеянии света на пылевых частицах. Направление поляризации, перпендикулярное направлению кольца, требует наличия асимметричных пылевых частиц, ориентированных магнитным полем, направленным вдоль кольца. Данные работ [9, 10] показывают, однако, что степень поляризации невелика. Поэтому очевидно, что рассеянное излучение составляет лишь малую часть общего излучения колец.

Кольца показывают множество структурных деталей и по этому признаку неотличимы от ветвей поздних спиральных галактик. Средние значения цветов колец (см. рис. 5) также оказываются близкими к цветам поздних спиралей и иррегулярных галактик. Многие светящиеся пятна (например, наиболее яркая деталь в южной части кольца), вероятно, являются областями звездообразования, содержащими области H II.

Наконец, изучение поведения линии $\lambda 3727$ показывает (см. [18]), что кольца вращаются, причем в северо-западной части (в области яркого кольца) скорость отрицательна относительно центра и разность на расстоянии $20''$ составляет около 100 км/с. Это значение не является несбыточным для спиральной галактики.

Вернемся теперь к наклону абсорбционных линий, получающемуся при расположении щели спектрографа вдоль малой оси главного тела. Согласно [18] он дает для северо-западной части скорость, положительную относительно центра (около 50 км/с на расстоянии $10''$). Если считать, как это делает Демулен [7], что этот наклон указывает на вращение главного тела вокруг большой оси, а кольца считать образованиями, возникшими в результате каких-то процессов, происходивших (или происходящих) в главном теле, то объяснить вращение звездной составляющей и газовых масс в противоположных направлениях, как нам кажется, крайне затруднительно.

Альтернативная точка зрения состоит в том, что это две галактики в процессе столкновения. Как мы показали, каждая из галактик сама по себе не является столь уж пекулярной, хотя особенности есть и у той, и у другой. У галактики S0 — это градиент скорости вдоль малой оси, у спиральной галактики — некомпланарность спиральных ветвей [1]. Если бы эти основные особенности удалось объяснить как следствие взаимодействия

* Из-за неважного качества изображения ($2''-3''$) приводимые числа ненадежны. Но селективность поглощения несомненна.

галактик, гипотеза о столкновении не встречала бы существенных возражений. Что касается галактики S0, то, как нам кажется, имеется возможность объяснить наличие градиента скорости вдоль малой оси прецессионным движением оси вращения, обусловленным взаимодействием со спиральной галактикой. Относительно второй особенности: без проведения специальных расчетов трудно сказать, может ли столкновение вызвать нарушение компланарности спиральных ветвей. Если бы система была жесткой (типа часовой пружины), то в результате столкновения могла бы возникнуть наблюдаемая конфигурация. Может ли придать необходимую жесткость ветвям явно имеющееся в них магнитное поле, не ясно.

5. *Заключение.* Мы хотим отметить, что проблему галактики NGC 2685 никак нельзя считать решенной окончательно. Необходимы дополнительные спектральные наблюдения для детального изучения поля скоростей и дальнейшие фотометрические измерения с более крупномасштабным телескопом и при лучших атмосферных условиях. Нужна также количественная проверка тех сугубо качественных соображений, которыми мы закончили предыдущий раздел.

В заключение авторы выражают благодарность комиссии КТШТ и руководству Бюраканской обсерватории за предоставление времени на 2.6-метровом телескопе, А. С. Амирханяну за помощь в наблюдениях на нем, а также дирекции САО и Ю. П. Коровяковскому за предоставленную нам возможность использовать микроденситометр АМД-1 для измерения негативов.

Ленинградский государственный
университет

PHOTOMETRIC INVESTIGATION OF THE PECULIAR GALAXY NGC 2685

V. A. HAGEN-THORN, I. I. POPOV, V. A. YAKOVLEVA

The results are given of the detailed *UBV*-photometry of the highly peculiar galaxy NGC 2685. Ten plates of the galaxy were obtained with the 2.6-m telescope of the Byurakan observatory. Consideration of all the available data—photometric, spectroscopic and polarimetric—lead to the suggestion that NGC 2685 is a pair of colliding galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Внегалактическая астрономия. Наука, М., 1972, стр. 349.
2. A. R. Sandage, The Hubble Atlas of Galaxies, Washington, 1961.
3. В. Г. Горбачук, Ю. П. Коровяковский, Письма АЖ, 5, 11, 1979.
4. M. L. Humason, N. H. Mayall, A. R. Sandage. A. J., 61, 97, 1956.
5. E. Holmberg, Medd. Lund Obs., Ser. II, No. 136, 1, 1958.
6. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Ap. J., 130, 20, 1959.
7. M.-H. Demoulin, Comp. Rend. Acad. Sci., 260, 3287, 1965.
8. M.-H. Ulrich, P.A.S.P., 87, 965, 1975.
9. A. Ebelus, Astrophys. Space Sci., 55, 49, 1978.
10. В. А. Гаген-Торн, И. И. Попов, В. А. Яковлева, Письма АЖ, 5, 8, 1979.
11. J. Kormendy, Ap. J., 214, 359, 1977.
12. А. С. Амирханян, И. И. Попов. Сообщ. Бюраканской обс., вып. 52, 89, 1980.
13. И. И. Попов, Диссертация, ЛГУ, 1982.
14. В. А. Домбровский, В. А. Гаген-Торн, С. М. Гуткевич, Т. А. Полякова, М. А. Свечников, О. С. Шулов, Труды АО ЛГУ, 22, 83, 1965.
15. V. M. Blanco, S. Demers, G. G. DuGless, M. P. Fitzgerald, Publ. US Naval Obs., 2-nd ser., 21, 1, 1968.
16. G. de Vaucouleurs, Ann. Astrophys., 11, 247, 1948.
17. В. П. Цесевич, В кн. «Методы исследования переменных звезд», под ред. В. Б. Никонова, Наука, М., 1971, стр. 58.
18. P. L. Schechter, J. E. Gunn, A. J., 83, 1360, 1978.