

УДК: 524.6—355:520.843

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГАЛАКТИКИ М 82. II

А. С. АМИРХАНЯН, В. А. ГАГЕН-ТОРН, В. П. РЕШЕТНИКОВ

Поступила 20 июля 1984

Принята к печати 5 ноября 1984

Приводятся результаты спектральных наблюдений пекулярной галактики М 82. Изучено расщепление эмиссионных линий в южных волокнах и найдена электронная плотность в составляющих их газовых облаках. Для шести разрезов определены кривые лучевых скоростей. Новые данные позволяют вернуться к объяснению наблюдаемой в волокнах поляризации рассеянием излучения центральных областей на пыли в свободных электронах.

1. *Введение.* В нашей предыдущей статье [1] была подчеркнута важность спектральных исследований галактики М 82 в связи с обнаружением Эксоном и Тэйлором [2] сложного строения эмиссионной линии  $H_\alpha$  в южной ее части и было подтверждено установленное ими для этой области наличие доплеровских эллипсов у линий  $H_\alpha$  и  $[N II] \lambda 6583$ . Было найдено также, что в северной части галактики доплеровских эллипсов нет. В настоящей статье проводится более развернутое исследование южной области галактики по калиброванным спектрограммам (что дает возможность оценить относительные интенсивности линий и получить сведения о физических условиях в излучающем газе).

2. *Наблюдательный материал и обработка спектрограмм.* Наблюдательный материал (6 спектрограмм галактики М 82 в интервале  $\lambda\lambda$  6100—6900 Å) был получен на 2.6-метровом телескопе Бюраканской обсерватории в январе 1982 г. со спектрографом UAGS, установленным в фокусе Ньюсмита. Приемником излучения служил трехкаскадный ЭОП типа УМ-92 с магнитной фокусировкой, мультищелочным катодом, экраном зеленого свечения и перебрасывающей (с масштабом 1:1) оптикой. Регистрация осуществлялась на эмульсию типа А600Н, гиперсенсibilизированную прогревом. Дисперсия спектрограмм — 50 Å/мм, разрешение — 3 Å. Для калибровки использовался ступенчатый ослабитель. Щель спектрографа размером  $2'' \times 60''$  выставлялась в позиционном угле  $65^\circ$  (параллельно большой оси галактики). Положение щелей указано на рис. 1. Времена

экспозиций в зависимости от яркости области менялись от 30 мин (спектр № 1) до 5 мин (спектр № 4). Репродукции спектров № 1, 4, 6 даются на рис. 2.

Обработка велась по записям спектров, полученным на микрофотометре PDS Бюраканской обсерватории. Каждый спектр записывался дважды. Во-первых, с диафрагмой размером  $25 \times 100$  мкм, шагом в направлении дисперсии 10 мкм (0.5 А) и шагом поперек дисперсии 100 мкм (4"). В этом случае получалось 17 сканов, из которых первый и последний приходились на спектр сравнения. Скорость каретки самописца была выбрана так, что масштаб записи оказался 0.4 А/мм. Эти записи использовались для изучения профилей линий и нахождения поля скоростей. Во-вторых, запись производилась с вдвое более высокой щелью и более быстрой протяжкой ленты самописца (масштаб записи — 1.6 А/мм). В этом случае для каждой спектрограммы в пределах спектра галактики получалось по 6 сканов. Эти записи использовались для изучения относительных интенсивностей линий, причем сравнивались лишь близкие по расположению линии, поскольку чувствительность ЭОП по полю и его спектральная характеристика специально не исследовались.

3. *Результаты наблюдений.* а) *Профили линий.* Рассмотрение рис. 2 и записей показывает, что линии имеют сложное строение. На спектрах № 1—2 в западной части, где щель приходится на область интенсивного свечения в  $H_{\alpha}$ , заметно расширение линий, которые асимметричны и имеют форму обрезанного эллипса. К востоку линии несколько сужаются и их ширины остаются примерно постоянными. Спектр № 4 получен со щелью, проектирующейся на конденсации А (там, где усилен континуум) и С (обозначения конденсаций см. в [4]). Линии  $H_{\alpha}$  и [N II] здесь сильно передержаны, но видно, что структура линий отличается от того, что имеет место для спектров № 1—2. На спектрах № 5 и 6 линии относительно узки и симметричны. Спектрограммы № 2 и 6 получены примерно для тех же областей, что и спектрограммы в 1\*, и соответствующие спектры очень похожи друг на друга. Новые данные, таким образом, подтверждают различие в профилях для южной и северной частей галактики, отмеченное в [1].

Остановимся подробнее на форме линий на спектрограммах № 1 и 2. Несмотря на то, что на них из-за передержки не видно просвета в центре линии, на ряде записей линии выглядят заметно расщепленными. Однако в большинстве случаев четкого расщепления нет, но линии сильно асимметричны. Профили всех эмиссионных линий ( $H_{\alpha}$ , [N II] и [S II]) имеют сходное строение. В предположении, что наблюдаемый профиль представ-

\* На рис. 1 в [1] положения щелей нанесены неверно — оба отрезка следует сместить вниз на 1.5 мм (10").

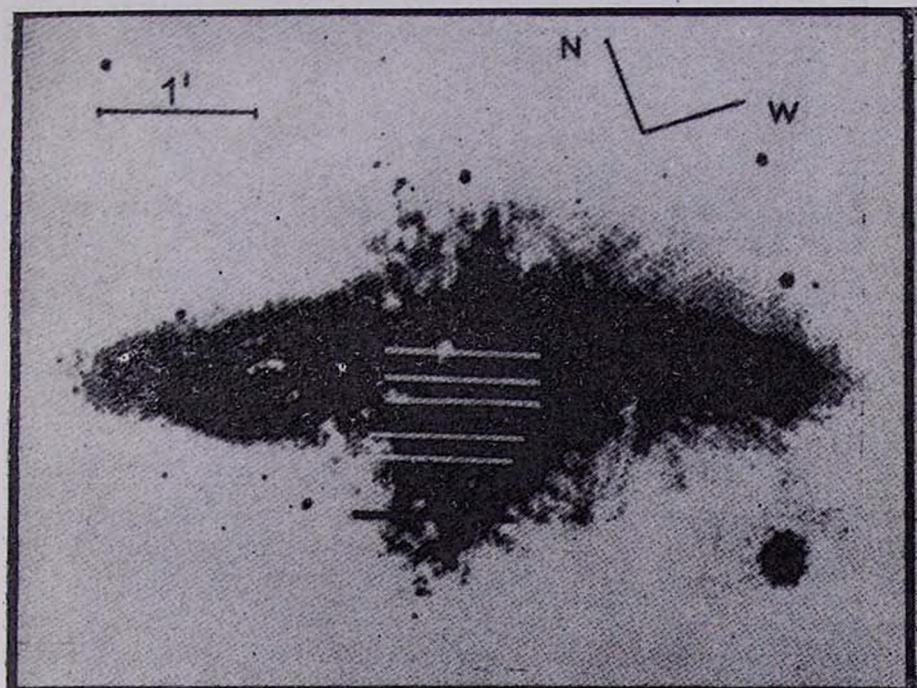


Рис. 1. Расположение щелей спектрографа (снимок М 82 в  $H\alpha$  перепечатан из [3]).

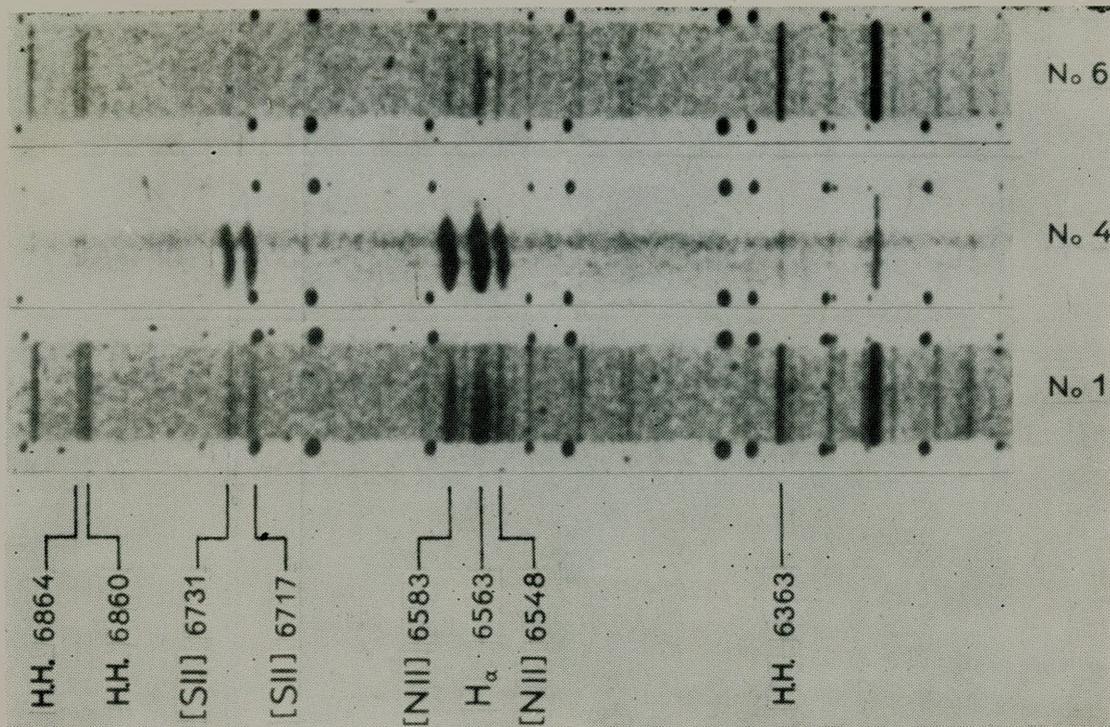


Рис. 2. Репродукции спектров № 1, 4, 6 (SW — внизу).

ляет собой сумму двух симметричных профилей, не разложенных из-за недостаточного разрешения спектрограмм, было проведено разделение профилей и найдена величина расщепления. Результаты представлены на рис. 3, где по оси абсцисс отложено расстояние от малой оси, за которую принята проходящая через конденсацию А прямая, перпендикулярная направлению щелей. Максимальная величина расщепления составляет 230 км/с, что согласуется с данными работ [1, 2]. Область максимального расщепления расположена в  $10''$  к западу от малой оси. Отметим, что величина расщепления заметно превышает разрешение, составляющее около 135 км/с.

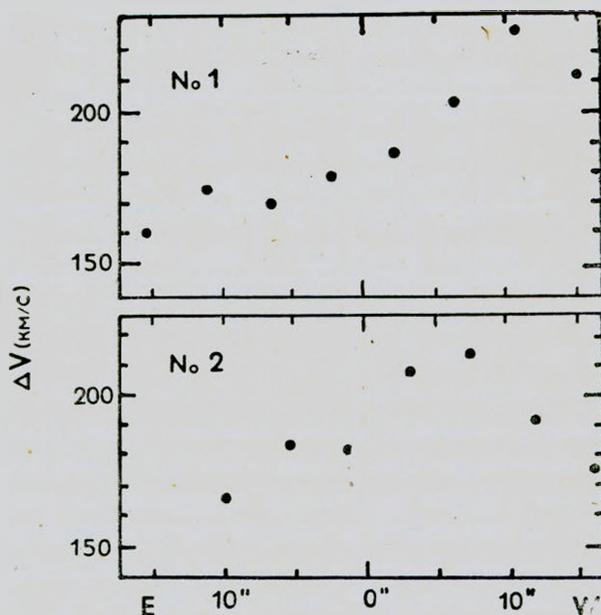


Рис. 3. Расщепление линий (указаны средние по всем линиям значения).

б) *Поле скоростей.* Для изучения поля скоростей использовались линии  $H\alpha$ ,  $[N II]$  и  $[S II]$ . Поскольку систематических различий между определениями скоростей по линиям разных элементов найдено не было, результаты просто усреднялись. Определение длин волн производилось относительно спектра сравнения следующим образом. По первому и последнему сканам (где записан спектр сравнения) находились длины волн начала и конца сканируемого участка. Затем для каждой линии в каждом скане делалось по два определения длины волны (от начала скана и от его конца) и бралось среднее значение. В случае расщепленных линий за положение линии принималась середина суммарного профиля. Ошибка

определения лучевой скорости, найденная из внутренней сходимости результатов по всем линиям, оказалась около 10 км/с. Данные изучения поля скоростей приведены в табл. 1, дающей гелиоцентрические скорости. Поправка для их перевода в скорости относительно местного стандарта покоя составляет + 6.2 км/с.

Таблица 1  
КРИВЫЕ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ (км/с)

Расст. от малой оси (")	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
25 SW	—	—	—	146	136	—
20	—	—	115	141	138	192
15	160	138	205	116	132	173
10	136	149	133	95	145	165
5	131	159	163	131	169	159
0	131	170	188	190	183	183
5	131	170	210	221	203	181
10	132	158	220	223	217	224
15	141	153	217	226	255	255
20	160	255	250	249	—	—
25	185	—	—	275	—	—
30 NE	190	—	—	—	—	—

Полученные нами результаты можно сравнить с уже имеющимися в литературе. Они удовлетворительно согласуются как с результатами ранней работы Хекаторна [5], так и с кривой вращения, построенной в [4] по спектру для той же области, для которой получен наш спектр № 4. Согласие лучевых скоростей, полученных для отдельных деталей структуры М 82, с результатами работы [4] демонстрирует табл. 2.

Таблица 2  
СКОРОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ КОНДЕНСАЦИЙ

Деталь	Наст. работа	Работа [4]
А	190 км/с	200 км/с
В	137	127
С	108	109
Ядро (радиосточник)	133	130

в) *Определение электронной концентрации.* Электронная концентрация определялась по отношению интенсивностей линий дублета [S II]  $\lambda\lambda$  6717, 6731. При этом использовалось среднее значение электронной

температуры  $T_e = 10^4$  К, получающееся для газовых облаков Галактики. Вид зависимости отношения  $I_{6717}/I_{6731}$  от  $n_e$  брался из работы Носова [6], который использовал для расчета этой зависимости уточненные атомные константы. Результаты определения  $n_e$  представлены на рис. 4. Ошибки в определении  $n_e$  могут достигать 50% в ярких областях и 100% в слабых.

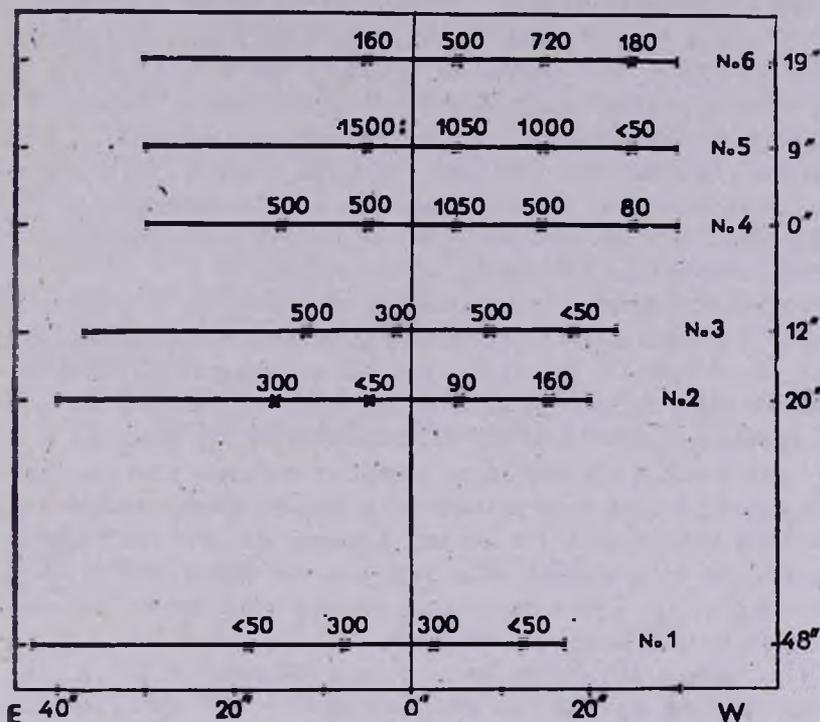


Рис. 4. Распределение электронной концентрации  $n_e$  по галактике.

4. *Обсуждение результатов.* Сопоставление относительных интенсивностей эмиссионных линий показывает, что в разных участках галактики они существенно различны. Это хорошо демонстрирует рис. 4, показывающий распределение  $n_e$  по галактике. Изменение  $n_e$  от  $1000 \text{ см}^{-3}$  до  $50 \text{ см}^{-3}$  соответствует изменению отношения  $I_{6717}/I_{6731}$  от 0.9 до 1.4\*. Отсюда сразу же следует, что причиной свечения волокон в эмиссионных линиях не может быть только рассеяние излучения центральных областей на веществе волокон — в волокнистой структуре имеется собственное свечение газа.

\* Такое большое изменение  $n_e$ , разумеется, нельзя объяснить ошибками в определении этого отношения.

Поэтому предложенная в [1] для объяснения результатов поляризационных наблюдений при наличии расщепления линий модель чистого рассеяния на расширяющейся пылевой оболочке (как и всякая модель с чистым рассеянием) должна быть пересмотрена. При наличии собственного свечения газа гипотеза о чистом рассеянии несовместима с фактом идентичности поляризации в континууме и эмиссионных линиях. Этот факт, установленный Висванатаном [7] для одного из удаленных волокон, по-видимому, не совсем правомерно распространялся на всю волокнистую структуру. В самом деле, в работе [8] найдено, что степень поляризации в волокнистой структуре существенно меньше в цвете  $R$ , нежели в цвете  $V$ . Это, вероятно, служит указанием на то, что излучение в полосе  $R$  разбавлено неполяризованным излучением эмиссионных линий  $H_\alpha$  и  $[N II]$ , излучаемых газом волокон. Наличие в области волокон газа с относительно высоким значением  $n$ , позволяет вернуться к предложенному в [9] объяснению возникновения поляризации при рассеянии на газовой-пылевой оболочке волокон (пыль + свободные электроны).

Распределение электронной плотности (малые ее значения в середине разреза 2 и увеличение в середине разреза 1), а также данные о расщеплении линий (рис. 3) позволяют, по всей вероятности, заключить, что газовые облака в южной части галактики представляют собой некоторую расширяющуюся оболочку. Но продолжается ли эта оболочка в северную часть галактики и где находится центр, от которого идет расширение, по имеющимся данным пока установить с определенностью нельзя. Из рассмотрения данных табл. 1 и 2 и рис. 4 видно, что хотя газ в общем принимает участие во вращении галактики, как оно определено по абсорбционным линиям (см. [10]), но облака распределены крайне неоднородно и имеют большие собственные скорости.

При имеющейся оценке массы газа в оболочке  $\sim 10^{40}$  г [11] грубая оценка кинетической энергии оболочки дает  $\sim 10^{55}$  эрг. Гипотеза о происхождении оболочки в результате взрыва в ядре галактики [11] весьма проблематична, поскольку она требует полной энергии взрыва не менее  $10^{57}$  эрг. Механизм такого огромного и практически мгновенного энерговыделения неясен. Гораздо правдоподобнее выглядит предположение о «выдувании» оболочки световым давлением центральных областей галактики [12]. О'Коннел и Мангано [4] показали, что в центральной области M 82 находятся молодые звездные скопления (конденсации A, C, F, ...), образовавшиеся не более  $5 \cdot 10^7$  лет назад во время недавней вспышки звездообразования и обладающие оптической светимостью до  $10^{42}$  эрг/с. Из-за большого поглощения в ядерной области M 82 эти скопления за редким исключением невидимы и проявляют себя лишь как сильные ИК-источники. Суммарная оптическая светимость всех скоплений, вероятно, не менее  $10^{43}$  эрг/с. За время  $10^7$  лет (грубая оценка возраста оболочки)

энерговыведение ядерной области составит не менее  $10^{57}$  эрг. Считая, что эффективность преобразования энергии излучения центральных областей галактики в кинетическую энергию движущегося газа составляет, как и для типичных областей Н II  $\sim 1\%$  [13], получаем кинетическую энергию оболочки  $\sim 10^{55}$  эрг.

5. *Заключение.* В заключение отметим, что по-прежнему остается открытым вопрос о центре, от которого происходит расширение газовых облаков в М 82. Для его выяснения необходимо получить спектрограммы волокнистой структуры в северной части галактики. Было бы полезно также иметь спектрограмму для области южных волокон, промежуточной между теми, для которых получены спектрограммы № 1 и № 2, и продвинуться дальше в западную часть с тем, чтобы получить доплеровские эллипсы в линиях полностью.

Вторая важная, но весьма сложная задача — проведение спектрополяриметрических наблюдений в области волокнистой структуры для прямого подтверждения различий в поляризации в линиях и непрерывном спектре, поскольку результаты наблюдений [8], строго говоря, допускают и другое истолкование.

Авторы благодарны комиссии КТШТ и дирекции Бюраканской обсерватории за предоставление наблюдательного времени на 2.6-метровом телескопе.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория  
Ленинградский государственный  
университет

## SPECTRAL OBSERVATIONS OF GALAXY M 82. II

A. S. AMIRKHANIAN, V. A. HAGEN-THORN, V. P. RESHETNIKOV

The results of spectral observations of peculiar galaxy M 82 are given. The emission line splitting in spectra of the south filaments is studied. Electron densities in filamentary structure and radial velocity curves for six positions are found. New data allow to return to the explanation of observed polarization in terms of scattering of radiation of central galaxy regions by dust and free electrons.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Амirkханян, В. А. Гаген-Торн, В. П. Решетников, *Астрофизика*, 18, 31, 1982.
2. D. J. Axon, K. Taylor, *Nature*, 274, 37, 1978.

3. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Внегалактическая астрономия. Наука, М., 1972, стр. 347.
4. R. W. O'Connell, J. J. Mangano, Ap. J., 221, 62, 1978.
5. H. M. Neckathorn, Ap. J., 173, 501, 1972.
6. И. В. Носов, Астрон. цирк., № 1050, 1, 1979.
7. N. Visvanathan, Sky and Telescope, 40, 142, 1970.
8. J. F. Chesterman, W. S. Pallister, M. N. R A S., 191, 349, 1980.
9. В. А. Гаген-Торн, Астрофизика, 4, 93, 1968.
10. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, V. C. Rubin, Ap. J., 140, 942, 1964.
11. C. R. Lynds, A. R. Sandage, Ap. J., 137, 1005, 1963.
12. R. H. Sanders, D. S. Balamore, Ap. J., 166, 7, 1971.
13. В. М. Lacker, Ap. J., 149, 23, 1967.