

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

НОЯБРЬ, 1978

ВЫПУСК 4

УДК 523.855

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 348

В. Ф. ЕСИПОВ, В. Н. ПОПОВ, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 6 августа 1978

На основе 24 спектров, полученных с ЭОП, проведено спектрофотометрическое исследование ядра сейфертовской галактики типа 2 Маркарян 348. Определены относительные интенсивности ряда эмиссионных линий и вычислены физические характеристики излучающего газа. Построены усредненные профили H_{β} , N_1 и N_2 и обнаружены компоненты, расположенные почти симметрично относительно центра линий на расстояниях, соответствующих доплеровским скоростям до ± 2000 км/сек. Предполагается сходство активности ядра Маркарян 348 с активностью, наблюдаемой в ядре Маркарян 6.

1. *Введение.* Известно, что сейфертовские галактики, в зависимости от вида их спектра, согласно [1], могут быть разделены на два класса. К первому классу относятся объекты с весьма широкими водородными линиями и сравнительно более узкими запрещенными линиями; отношение $I_{N_1-N_2}/I_{H_{\beta}}$ порядка единицы. Линии же ядер сейфертовских галактик второго типа имеют приблизительно одинаковую ширину, заметно превосходящую инструментальный контур и отношение $I_{N_1+N_2}/I_{H_{\beta}}$ порядка десяти. Как физическая природа ядер сейфертовских галактик, так и ход их эволюции далеки от окончательного выяснения. Поэтому особое внимание уделяется более подробному спектрофотометрическому исследованию этих объектов.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования одной из сейфертовских галактик второго типа — Маркарян 348 [2].

Общий вид оптического спектра этого объекта описан в [3] и определено красное смещение z равное 0.014. Отмечено также присутствие следующих эмиссионных линий: H_{α} , H_{β} , $[N II] \lambda\lambda 6548/83$, $[S II] \lambda\lambda 6717/30$ и $[O I] \lambda 6300$. Ширина линии H_{α} по данным, приведенным в этой

же работе, оценивается в 60 А. Профиль этой линии (точнее — профиль бленды $H_{\gamma} + [N II] \lambda\lambda. 6548/83$) со спектральным разрешением около 6 А построен Денисюком [4]. Остерброк [5] отмечает сходство оптического спектра Маркарян 348 с оптическим спектром радиисточника 3С 33. Товмасыан и Шрамак [6] обнаружили переменное радионизлучение от галактики на волнах 3.7, 6 и 11.1 см. В течение года — с августа 1972 г. по сентябрь 1973 г. — излучение объекта на более коротких волнах упало по мощности почти в два раза, оставаясь почти на постоянном уровне на волне 11.1 см. Этот спад в [6] объясняется вспышкой, имевшей место за 3—9 лет до наблюдений.

2. *Аппаратура и наблюдательный материал.* Получено 24 спектра Маркарян 348 на разных телескопах. Данные о наблюдательном материале приведены в табл. 1. Ниже приводится краткое описание аппаратуры, с помощью которой снимались спектры, обозначенные в табл. 1 различными индексами:

Спектр UVITS получен на 2.7-м телескопе обсерватории Мак-Дональд в США со спектрографом UVITS (Ultra Violet Image Tube Spectrograph).

БТА обозначает спектры, полученные на 6-м телескопе со спектрографом СП-160 и ЭОП типа М9ЦВ.

Индексы А и Б обозначают соответственно А и Б спектрографы Южной станции ГАИШ, на которых устанавливается ЭОП типа ФКТ-1 [7].

В графе «Эмульсия» указано, на какой пленке (для спектра 1—пластинке) регистрировалось изображение с экрана ЭОП. Звездочкой помечены эмульсии, очувствленные подсветкой.

Регистрограммы спектров записаны на микрофотометре ИФО-451. Перевод в интенсивности и первичная обработка профилей линий производились на ЭВМ типа «Наири-2» по специально разработанной программе. Спектральная чувствительность системы, с которой получен спектр № 1, определена по калибровочному спектру звезды класса АО. Для остальных спектров чувствительность системы на каждом из участков N_1 , N_2 , N_3 и [SII], H_{γ} , [NII] в отдельности считалась постоянной.

3. *Описание спектров.* На наших спектрах обнаружен ряд линий, не отмеченных ранее другими авторами. В табл. 2 приведены данные об относительных интенсивностях линий излучения. Знаком «+» отмечены не обнаруженные ранее линии; двоеточием отмечены значения интенсивностей, которые определены с меньшей точностью (до $\pm 50\%$) из-за блендирования или шумов аппаратуры. Помимо указанных в табл. 2 линий, в спектре имеются эмиссионные детали, которые можно отождествить с линиями Fe II. Этот результат весьма интересен, поскольку излучение Fe II, как правило, наблюдается в сейфертовских галактиках первого типа.

Таблица 1

№	Индекс спектра	Дата	Дисп. (А, м.м)	Эмульсия	Спектральный диапазон (А)
1	UVITS 303	23.09.73	225	103аD	3500—7000
2	БТА 4	18.09.77	90	103аО	3800—5300
3	БТА 5	"	"	"	"
4	БТА 6	"	"	"	"
5	БТА 9	19.09.77	"	"	5000—6500
6	БТА 10	"	"	"	3800—5300
7	А—0500— 20	10.09.72	220	А 600*	5200—6800
8	А—0445— 15	12.09.72	"	"	4000—5600
9	А—2152— 33	"	"	"	5200—6800
10	А—2305— 10	"	"	"	"
11	А—0355— 20	"	"	"	"
12	А—0018— 10	"	"	"	5600—7200
13	А—0042— 20	"	"	"	"
14	А—0130— 40	"	"	"	"
15	А—0322— 10	14.09.72	"	"	5900—7500
16	А—0247— 20	"	"	"	6200—7800
17	А—0204— 20	"	"	"	6300—7900
18	А—0443— 10	15.09.72	"	"	4000—5600
19	А—0427— 8	"	"	"	4500—6100
20	А—0408— 8	"	"	"	5000—6600
21	А—0337— 13	"	"	"	5300—6900
22	Б—0033—180	16.09.72	55	103аD*	6450—6900
23	Б—2317—210	18.09.72	"	А 600*	4700—5150
24	Б—0350— 95	"	"	"	6450—6900

На рис. 1 показан общий вид спектра — регистрограмма снимка 1 (табл. 1).

Ширины как запрещенных линий, так и линий бальмеровской серии приблизительно одинаковы и достигают 40—60 А, что соответствует доплеровским скоростям около 2000—3000 км/сек. Интересно отметить, что на уровне половинной интенсивности ширины всех линий очень близки и составляют около 800 км/сек в шкале доплеровских скоростей. Близость по ширине запрещенных и разрешенных линий хорошо согласуется со сравнительно высоким отношением $I_{N_1+N_2}/I_{H_3} \approx 10$, которое свойственно сейфертовским галактикам второго типа.

На рис. 2 и 3 представлены усредненные профили линий H_3 , N_1 и N_2 , полученные по спектрам 1—3, 6, 8, 18 и 19. По оси абсцисс отложена скорость доплеровского сдвига от центра линии, соответствующая изменению

длины волн, а по ординате — интенсивность излучения, нормированная к единице в максимуме линии.

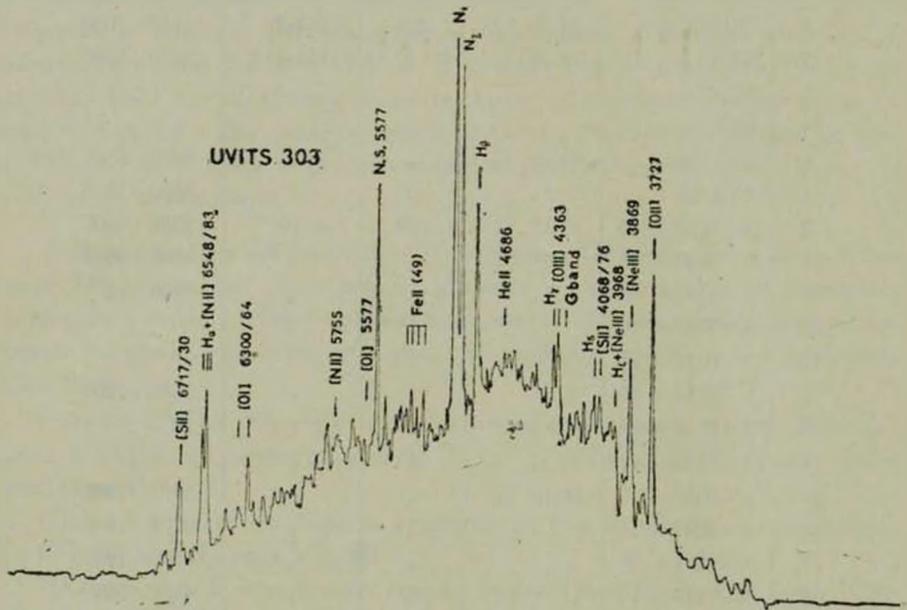


Рис. 1.

Таблица 2

Ион	λ	I_{λ}/H_{β}	Ион	λ	I_{λ}/H_{β}
[SII]	6717 30	5.3	HeII	4686 ⁺	0.16:
H _{β}	6563	3.4:	[OIII]	4363 ⁺	0.5:
[NII]	6548 83	2.2:	H _{γ}	4340 ⁺	0.5:
[OI]	6300 64	2.3:	H _{δ}	4102 ⁺	0.2:
HeI	5876 ⁻	0.2:	[SII]	4068 76 ⁺	0.5:
[NII]	5755 ⁻	0.2:	HeI	4026 ⁺	0.1:
[OI]	5577 ⁺	0.2:	[NeIII]	3968 3869 ⁻	0.8:
[OIII]	4959 5007	10.0	[OII]	3727 ⁻	3.4
H _{δ}	4861	1.0			

Как видно из этих рисунков, профили эмиссионных линий имеют заметную асимметрию, при этом более приподнято синее крыло. Наличие большого числа спектров позволило выделить при усреднении интересные особенности профилей, в частности надежно определить присутствие ком-

понент, которые обнаруживаются как у водородных, так и у запрещенных линий. Это особенно хорошо заметно на рис. 3, на котором представлены усредненный профиль линии $H\beta$ и профиль «синтетической» линии, со-

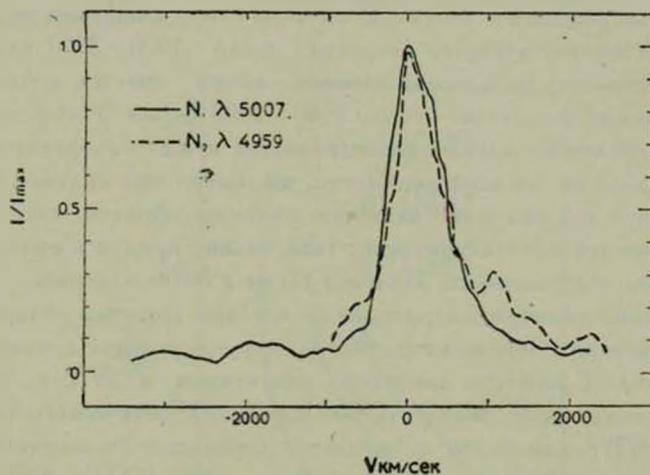


Рис. 2.

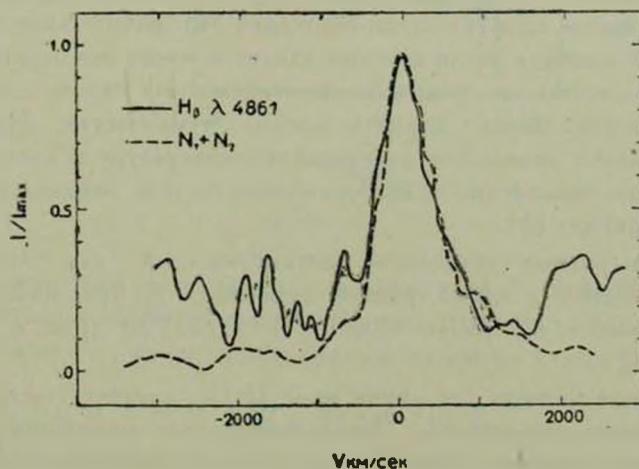


Рис. 3.

ставленный наложением усредненных профилей N_1 и N_2 . Наблюдается также и определенная симметрия в распределении компонент относительно центра линии. В интервале скоростей 600—800 км/сек по обе стороны от

центра всех линий имеется заметный подъем, который имеет большую относительную интенсивность у линии $H\beta$. На основе этого можно предположить, что облако газа, ответственное за излучение этой компоненты, имеет большую среднюю плотность, чем основная масса газа и поэтому слабее светится в запрещенных линиях. В области синих смещений на расстоянии от центра, соответствующего скорости около 1900—2300 км/сек, также имеется компонент: на красной стороне линий имеется компонент с несколько меньшей скоростью—около 1500—2000 км/сек. У этой пары компонент различие относительных интенсивностей между водородными и запрещенными линиями по всей видимости, выражено еще сильнее. Если предположить, что это различие является, главным образом, следствием различия плотностей излучающих масс газа, можно прийти к выводу, что газ, имеющий большую скорость, является также и более плотным.

На основе имеющегося материала сделана попытка обнаружить возможные изменения оптического спектра, коррелирующие с изменением радиоизлучения. Сравнение спектров, полученных в 1972 г., со спектром 1973 г. не показывает значительных изменений оптического спектра. На спектрах 1977 г. как будто наблюдается небольшое уменьшение (на 10—20%) эквивалентной ширины эмиссионных линий [O III] 4959/5007.

4. *Определение некоторых физических параметров излучающего газа.* Наличие в спектре ядра галактики Маркарян 348 значительного количества эмиссионных линий, в число которых входит и много запрещенных, позволяет предположить, что механизм их возбуждения сходен с механизмом возбуждения эмиссионных линий в газовых туманностях. Наблюдаемые линии позволяют определить электронную температуру и плотность излучающей среды, независимо от ее химического состава, используя метод «пересечения кривых» [8].

Кривые равных отношений интенсивностей для линий ионов [O III] $\lambda\lambda$ 4959/5007 и λ 4363 (рис. 4, кривая а); [N II] $\lambda\lambda$ 6548/83 и λ 5755 (рис. 4, кривая б); [S II] $\lambda\lambda$ 4068/76 и $\lambda\lambda$ 6717/30 (рис. 4, кривая в) взяты по [8].

Используя кривую для линий иона [S II], следует учесть некоторые дополнительные соображения. Дифференциальное межзвездное поглощение влияет на отношение $I_{\lambda 4068,76}/I_{\lambda 6717,30}$ в сторону его понижения. Различие в потенциалах ионизации S II — 23.4 эв и O III, N II — 54.9 и 29.6 эв соответственно, может явиться причиной стратификации областей, излучающих линии этих ионов. В частности, линии иона S II, имеющего наиболее низкий потенциал ионизации, излучаются из более холодной области, в которой отношение $I_{\lambda 4068,76}/I_{\lambda 6717,30}$ понижено. Оба этих эффекта, снижая величину отношения $I_{\lambda 4068,76}/I_{\lambda 6717,30}$, приводят к некоторому смещению соответствующей

шей ему кривой влево и вниз. Именно такое смещение и наблюдается на рис. 4.

Полученные таким образом величины, характеризующие физические условия в излучающей области, позволяют оценить массу и эффективный объем излучающего газа.

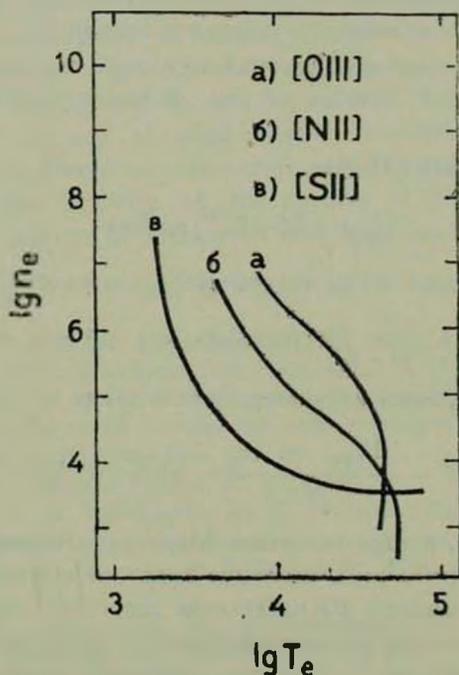


Рис. 4.

Ядро галактики имеет звездную величину $m_B = 15.3$ [9], расстояние до нее составляет 56 Мпс (при $H = 75$ км/сек Мпс, $z = 0.014$). Согласно [10] поток в линии $H\beta$ от звезды нулевой величины класса G4 составляет

$$F_1 = 3 \cdot 10^{-9} \text{ эрг/сек} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{А}. \quad (1)$$

Тогда, при эквивалентной ширине линии $H\beta$ около 15 А, получаем наблюдаемый поток от галактики в линии $H\beta$

$$F_2 = 3.4 \cdot 10^{-14} \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{сек}. \quad (2)$$

С учетом расстояния до галактики получаем полное излучение небулярной зоны в линии $H\beta$

$$S_{H\beta} = 1.3 \cdot 10^{40} \text{ эрг/сек}. \quad (3)$$

Поток излучения от единичного объема водорода определяется по [11] формулой

$$S_{H\beta}^1 = 22.4 \cdot 10^{-20} n_e \frac{b_4(T_e)}{7^{3/2}} e^{-\frac{9814}{T_e}}, \quad (4)$$

где $b_4(T_e)$ — параметр, характеризующий населенность четвертого уровня атома водорода. Его величина, интерполированная по [12], равна 1.025. n_e — электронная плотность, которая по нашим измерениям (см. рис. 4) равна $6.5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, T_e — температура, которая определялась вместе с n_e и равна $50\,000 \text{ K}$.

При этих условиях (4) дает:

$$S_{H\beta}^1 = 1.05 \cdot 10^{-18} \text{ эрг/сек}. \quad (5)$$

Тогда эффективный объем излучающего газа равен

$$V_{\text{эфф.}} = 1.2 \cdot 10^{58} \text{ см}^3 \simeq 4.1 \cdot 10^2 \text{ пс}^3.$$

Соответственно, масса излучающего газа равна

$$M = \frac{V_{\text{эфф.}} \cdot n_e \cdot m_H}{M_{\odot}} = 6.6 \cdot 10^4 M_{\odot}.$$

Таким образом, в ядре галактики Маркарян 348 наблюдаются значительные массы горячего газа, имеющие скорости порядка нескольких тысяч километров в секунду. Распределение скоростей компонент линий по направлению вдоль луча зрения обнаруживает признаки симметрии по отношению к основной линии. Имеются основания предполагать, что ядро Маркарян 348 показывает активность наподобие той, которая была обнаружена ранее в ядре сейфертовской галактики Маркарян 6 [13—16]. Симметрия в распределении скоростей компонент линий дает основание предположить, что, возможно, в ядре Маркарян 348 имел место выброс масс газа в диаметрально противоположные стороны, как это предполагается в [16] в отношении вспышки в ядре Маркарян 6.

Один из авторов (Э. Е. Х.) выражает благодарность проф. Х. Смиту за предоставленную возможность наблюдать на $107''$ телескопе МакДональдской обсерватории.

Г А И Ш

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF SEYFERT GALAXY
MARKARIAN 348

V. F. YESIROV, V. N. POPOV, E. Ye. KHACHIKIAN

On the basis of 24 image tube spectra a spectrophotometric study of the nucleus of type 2 Seyfert galaxy Markarian 348 was carried out. The relative intensities of number of emission lines are determined and physical characteristics of the emitting gas are calculated. The mean profiles of $H\alpha$, N_1 and N_2 are drawn and components are found to be present. They are situated almost symmetrically from the centrum of the lines and have corresponding velocities of up to 2000 km/sec. A similarity of the activity of the nucleus of Markarian 348 to that observed in the nucleus of Markarian 6 is supposed.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Е. Хачикян, Д. В. Видман, *Астрофизика*, 7, 389, 1971.
2. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 7, 511, 1971.
3. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, *Астрофизика*, 6, 39, 1970.
4. Э. К. Денисюк. Труды III Европейской астрономической конференции. Тбилиси, «Мецниереба», 1976, стр. 202.
5. D. E. Osterbrock, *Physica Scripta*, 17, 137, 1978.
6. R. A. Sramek, H. M. Toumasian, *Ap. J.*, 191, L13, 1973.
7. В. Ф. Есипов. Новая техника в обсерватории, вып. 1, Наука, Л., 1971.
8. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников, В. И. Пооник, *Изв. Кр.АО*, 39, 147, 1969.
9. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. М. Лютый, *Астрофизика*, 8, 473, 1972.
10. А. Д. Код. Звездные атмосферы, ИЛ, М., 1963, стр. 67.
11. D. Menzel, *Ap. J.*, 85, 330, 1973.
12. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников, *Изв. Кр.АО*, 38, 1968.
13. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян, *Астрон. цирк.*, № 591, 1970.
14. E. Ye. Khachikian, D. W. Weedman, *Ap. J.*, 164, L109, 1971.
15. П. Нагни, Э. Е. Хачикян, М. М. Бутслов, Г. Т. Геворкян, *Астрофизика*, 9, 39, 1973.
16. Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 9, 139, 1973.