

ВОДОРОДНЫЕ ЛИНИИ В СПЕКТРЕ ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 6
В ПЕРИОД ЕЕ АКТИВНОСТИ

В. И. ПРОНИК, К. К. ЧУВАЕВ

Поступила 15 марта 1972

В 1970 — 1971 гг. с помощью спектрографа 2.6-метрового телескопа Крымской астрофизической обсерватории, работающего с ЭОП-ом, были получены спектры галактики Маркарян 6 (IC 450) с дисперсиями 330 и 100 А/мм.

В течение года наблюдений поток в линии H_{β} уменьшился почти в 2 раза, а интенсивность непрерывного спектра более чем в 3 раза. Между этими величинами наблюдается четкая корреляция. При больших потоках в непрерывном спектре линия H_{β} достигает насыщения.

На всех спектрах водородные линии имеют очень широкие крылья ($\sim \pm 5500 - 6000$ км/сек). Сложная структура этих линий указывает на существование отдельных облаков газа с различными скоростями.

Обнаруженный в начале 1969 г. Э. Хачикяном и Д. Видманом фиолетовый компонент водородных линий существует до настоящего времени.

1. Летом 1970 г. в программу спектральных наблюдений на 2.6 м телескопе им. Г. А. Шайна Крымской астрофизической обсерватории был включен ряд наиболее интересных объектов из опубликованных Б. Е. Маркаряном списков галактик с ультрафиолетовым континуумом [1]. Первые спектры объекта Маркарян 6 (IC 450) получены нами 1/2.XI.1970 г. При их просмотре нельзя было не обратить внимания на тот факт, что линии водорода двойные: с фиолетовой стороны от главного, центрального ядра линии появился компонент, не отмеченный ранее в работе [2]. Позже, во время визита в Крымскую астрофизическую обсерваторию Д. В. Видмана (США) и Э. Е. Хачикяна (Бюраканская обсерватория), нам стало известно, что по их наблюдениям фиолетовый компонент у водородных линий был обнаружен еще в январе 1969 г. Результаты этих наблюдений и их интерпретация приведены в [3].

Последний спектр объекта Маркарян 6, на котором еще не было заметно фиолетового компонента, датирован февралем 1968 г. Согласно [3], дополнительный максимум в крыле водородных линий образовался за время меньше или порядка одного года. При столь быстрых изменениях представлялось весьма интересным проследить дальнейшее изменение контуров водородных линий. С этой целью в течение года на спектрографе с 3-х камерным ЭОП-ом нами велись систематические наблюдения спектра галактики Маркарян 6. В результате было получено свыше 20-ти расширенных спектров с дисперсиями 100 и 335 А/мм. При дисперсии 335 А/мм спектры охватывают область от 4300 до 7000 А; при дисперсии 100 А/мм — область протяженностью около 1000 А. Поэтому, для получения линий H_{β} и H_{α} с большей дисперсией, делались две экспозиции при различном положении дифракционной решетки.

Данные о хронологии и количестве спектров приведены в табл. 1. Количество спектров с дисперсией 100 А/мм относится только к области с линией H_{β} . Спектры в области H_{α} фотографировались не во все даты. Спектры за 1/2. XI. 1970 г. сильно передержаны и не обрабатывались.

2. Спектр объекта Маркарян 6 в области длин волн λ 3700 — 5100 А, относящийся к эпохе 1968 г., описан в [2]. Сведения об интенсивностях и эквивалентных ширинах линий H_{β} и $N_1 + N_2$ [O III] имеются в [3, 4]. Однако никаких замечаний относительно контура линии H_{β} в этих работах нет.

На всех наших спектрах (рис. 1) линия H_{β} наблюдается в виде центрального пика, расположенного на широкой подложке, образованной протяженными крыльями. Ширина пика примерно такая же, как и ширина небулярных линий. С фиолетовой стороны от этого пика на расстоянии 50 А четко виден более слабый компонент. Длинноволновое крыло H_{β} простирается вплоть до линии λ 4959 [O III], так что общая ширина линии H_{β} у основания составляет 160 — 180 А.

В красной области спектра (рис. 2) наиболее яркой деталью является линия H_{α} с широкими крыльями, на которые накладываются линии λ 6548, 6584 [N II]. Интенсивность линии λ 6548 в центре по крайней мере вдвое меньше центральной интенсивности H_{α} . Полная ширина линии H_{α} у основания — более 300 А. Из других линий наиболее яркими являются λ 6300 [OI] и дублет λ 6717, 6731 [S II]. Отношение $I_{\lambda 6731}/I_{\lambda 6717} \approx 0.9 - 1.0$.

В связи с тем, что контур линии H_{α} искажен линиями [N II], мы решили ограничиться изучением линии H_{β} . Все спектры в области линий H_{β} и [O III] измерены на микрофотометре МФ-2. После учета

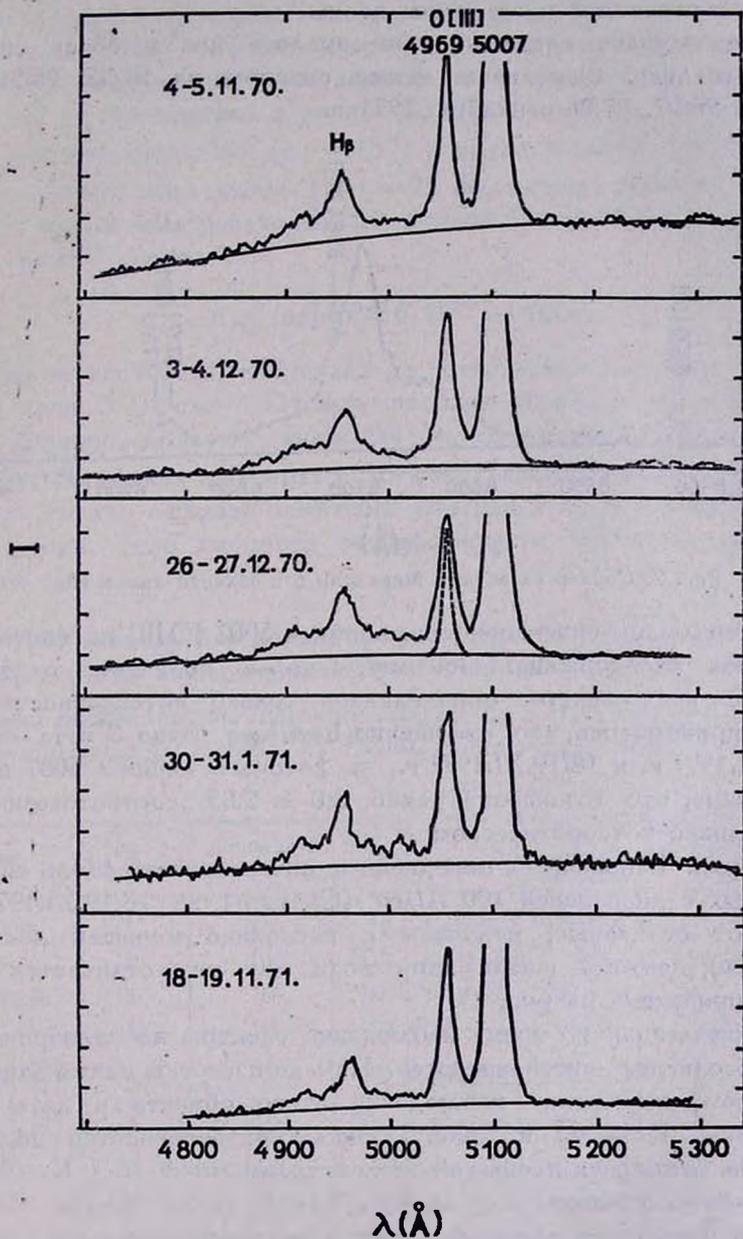


Рис. 1. Спектры галактики Маркарян 6 в области линии H β . Для характеристики инструментального контура на спектре 26—27.XII.1970 г. пунктиром изображена линия ночного неба.

спектра ночного неба и фона ЭОП-а строилось распределение интенсивности в зависимости от длины волны.

В тех случаях, когда за ночь имелось два и более спектров, они осреднялись. Осреднены также спектры за 21/22, 28/29 марта 1971 г. и 26/27, 27/28 сентября 1971 г.

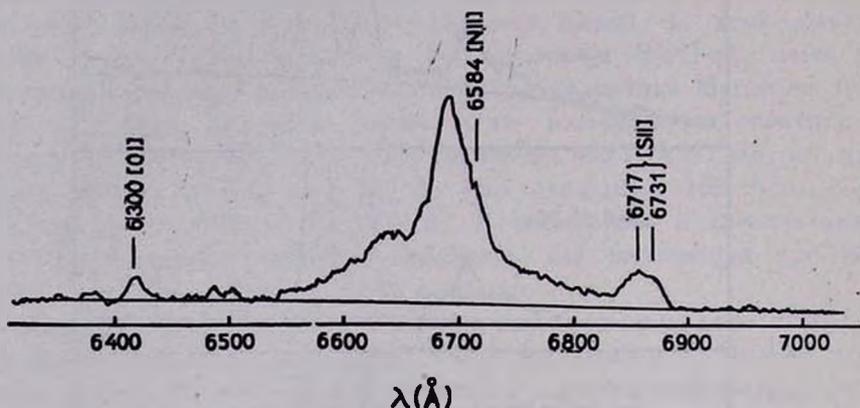


Рис. 2. Спектр галактики Маргарян 6 в области линии H_{α} .

Центральная интенсивность линии $\lambda 5007$ [O III] на многих спектрограммах передержана. Поэтому, с целью получения однородных данных, на всех спектрах определялась только интенсивность линии $\lambda 4959$ и принималось, что отношение $I_{\lambda 5007}/I_{\lambda 4959}$ равно 3 (На спектрах за 30/31.I.1971 г. и 18/19.XI.1971 г., на которых линия $\lambda 5007$ не была передержана, это отношение равно 3.0 и 2.85, соответственно, что весьма близко к теоретическому).

На рис. 1 приведены осредненные интенсивности вдоль спектров, полученных с дисперсией 100 А/мм (Спектры за 18/19.XI.1971 г., в отличие от остальных, получены с несколько меньшей дисперсией (106 А/мм), поэтому шкала длин волн для них отличается от той, которая приведена на рис. 1).

К сожалению, во время наблюдений спектры не калибровались в шкале абсолютных интенсивностей. Нам не известны также какие-либо данные фотометрических наблюдений этого объекта в даты наших наблюдений. Поэтому на рис. 1 шкалы интенсивностей подобраны так, чтобы суммарная площадь под контурами линий $N_1 + N_2$ [O III] для всех дат была примерно одинаковой. Такой выбор шкалы интенсивностей соответствует предположению о постоянстве потока излучения в небулярных линиях [O III]. У нас нет прямых доказательств правильности сделанного предположения, но в качестве косвенного аргумента может послужить оценка возможного характерного времени измене-

ний линий [O III]. Изменение потока в линиях [O III] может быть вызвано не только изменением ионизации газа, но и изменением электронной температуры. Поэтому, кроме времени рекомбинации, которое зависит от плотности газа, мы должны знать также и линейные размеры области, светящейся в линиях [O III]. Исходя из средней наблюдаемой яркости галактики ($m_v \sim 15^m$) и средней эквивалентной ширины центрального пика линии $H\beta$ ($\sim 25 \text{ \AA}$), можно оценить величину потока в нем, а зная расстояние до объекта ($z = 0.019$, $H = 75 \text{ км/сек-мпс}$) и полную светимость:

$$E_{H\beta} (\text{ядро}) \approx 6 \cdot 10^{40} \text{ эрг/сек.}$$

Электронная плотность, найденная по отношению $I_{\lambda 6731}/I_{\lambda 6717}$ [5], примерно равна $3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. Отсюда находим нижнюю границу эффективных размеров области, занятой газом, светящимся в линиях [O III]: $d \approx 20 \text{ пс}$. При таких размерах и времени рекомбинации $t = (n_e C^{-1}) \approx 25 \text{ лет}$ трудно ожидать заметного изменения потока в линиях [O III] за 1—2 года, если скорость возбуждающего агента не превышает скорости света.

3. Для анализа изменений, происходящих в спектре со временем, были определены полная эквивалентная ширина линии $H\beta$ — $W_{H\beta}$ и суммарная эквивалентная ширина линий $N_1 + N_2$ [O III] — $W_{N_1+N_2}$. Эти величины приведены в табл. 1. Чтобы исключить влияние непрерыв-

Таблица 1

Даты	Число спектров	Дисперсия А/мж	$W_{H\beta}$ (А)	$W_{N_1+N_2}$ (А)	$\frac{W_{H\beta}}{W_{N_1+N_2}} \cdot 10^2$	$\frac{10^4}{W_{N_1+N_2}} (\text{А})^{-1}$
4/5.11.70	3	100	59	156±52	37±0.52	62.5
3/4.12.70	2	100	117	405±40	29±0.9	24.7
26/27.12.70	2	100	100	302±27	33.5±1.2	33.3
30/31.1.71	1	100	82	235	35.0	42.5
21/22.3.71 28/29.3.71}	4	335	95	384±17	28.5±1.0	26.0
26/27.9.71 27/28.9.71}	6	335	114	535±35	21.4±0.8	18.7
18/19.11.71	2	100	117	510±14	22.5±1.0	19.6

ного спектра, на рис. 3 представлен график изменения отношения $W_{H\beta}/W_{N_1+N_2}$ со временем. Вертикальные черточки соответствуют сред-

неквадратичным ошибкам. Полыми кружочками нанесены данные из [3]. Как видно из рисунка, отношение потоков в линиях с начала 1968 г. до начала 1970 г. возросло в 4 раза; последние два года оно уменьшается. Возможно, что полный цикл от минимума до максимума займет 4—4.5 года. Поскольку мы считаем, что поток в линиях $N_1 + N_2$ не меняется, то рис. 3 фактически представляет изменение полного потока в линии $H\beta$. Из графика видно также, что поток в линии $H\beta$ меняется не монотонно, а со значительными флуктуациями. Сильная флуктуация, например, имела место в конце 1970 г. и начале 1971 г.

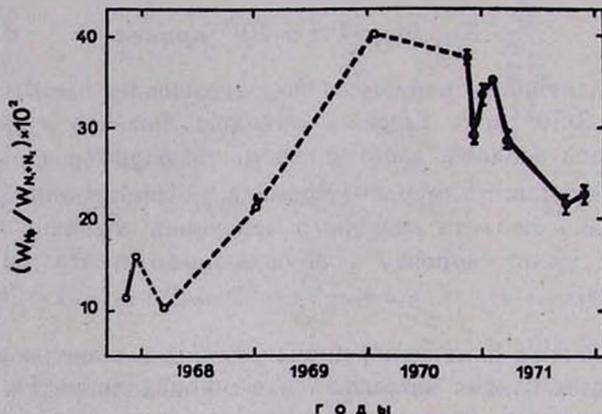


Рис. 3. Изменение полного потока в линии $H\beta$ со временем; поток в небулярных линиях [O III] предполагается постоянным (см. текст). Полые кружки—по данным [3], заполненные—по данным табл. 1.

Если предположение о постоянстве потока в линиях $N_1 + N_2$ [O III] правильно, то изменения $(W_{N_1+N_2})^{-1}$ характеризуют изменения величины потока в непрерывном спектре.

Из табл. 1 видно, что эта величина в течение последнего года уменьшилась более чем в 3 раза.

Весьма интересным оказалось сопоставление величин $W_{H\beta} / W_{N_1+N_2}$ и $(W_{N_1+N_2})^{-1}$ для разных дат (рис. 4). Цифры около точек на рис. 4 указывают хронологическую последовательность наблюдений. Кроме наших данных, в [3] имеется отношение интенсивностей $H\beta$ к $N_1 + N_2$, а в [4]—отношение эквивалентных ширины этих же линий для спектра 12.I.1970 г. Крестик на рис. 4 соответствует среднему значению этих отношений, а концы вертикальной линии—самим отношениям.

В рамках предположения $F_{N_1+N_2} = \text{const}$ рис. 4 свидетельствует о тесной связи потока в $H\beta$ с потоком в непрерывном спектре. Такую

зависимость можно ожидать, если ионизация конечной массы плотного газа, ответственного за излучение в крыльях водородных линий, меняется с величиной потока L_c -квантов: плато на верхней части кривой рис. 4 соответствует полной ионизации газа.

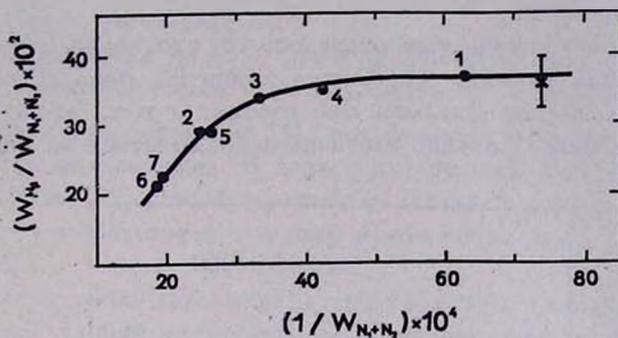


Рис. 4. Зависимость между полным потоком в линии $H\beta$ и потоком в непрерывном спектре; поток в небулярных линиях [O III] предполагается постоянным (см. текст).

4. До сих пор нет единого мнения о причине возникновения широких крыльев у водородных линий. Обычно рассматриваются два возможных механизма: рассеяние на электронах и доплеровское расширение вследствие больших скоростей.

Очевидно, что в первом случае крылья линий должны быть гладкими и симметричными. Наличие фиолетового компонента у водородных линий в спектре Маркарян 6 несомненно свидетельствует о существовании сгустка газа, имеющего скорость примерно 3000 км/сек относительно основной массы газа.

Сравнительно большие „шумы“ на спектрограммах, обусловленные в основном шумами ЭОП-а, не позволяют рассматривать мелкие детали и неровности контура как реальные. Тем не менее, при сравнении отдельных спектров в разные даты, создается впечатление, что крылья линии $H\beta$ состоят из отдельных деталей.

На рис. 5 приведены фотометрические записи красного крыла $H\beta$, полученные по индивидуальным спектрам в разные даты. Некоторые детали, по-видимому, превосходят по интенсивности детали, которые могут быть вызваны шумами. При желании можно увидеть даже систематическое смещение деталей со временем (пунктирные линии на рис. 5). Если отмеченный факт подтвердится в дальнейшем, мы вынуждены будем прийти к выводу, что протяженные крылья $H\beta$ об-

условлены отдельными сгустками газа, скорость которых изменяется со временем.

5. Из рис. 1 видно, что фиолетовый компонент линии H_{β} , обнаруженный Видманом и Хачикяном [3], продолжает существовать до настоящего времени.

Необычайно интересным оказалось то, что линия H_{β} имеет очень широкие крылья (80—90 Å). Контур линии H_{β} (рис. 2) указывает на еще большую ширину крыльев. Это говорит о том, что красное крыло H_{β} , по-видимому, должно частично накладываться на линию λ 4959.

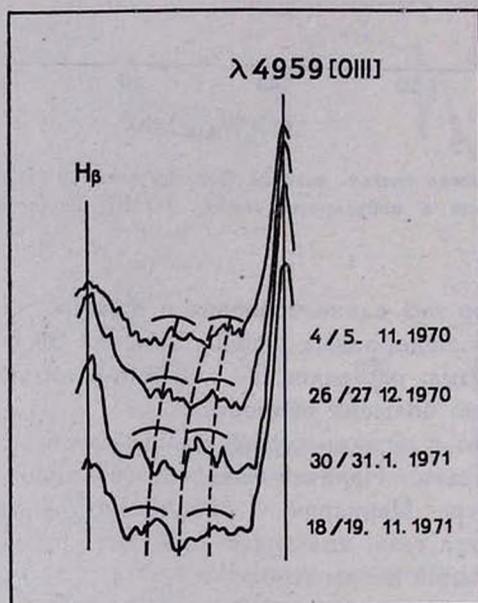


Рис. 5. Красное крыло линии H_{β} по индивидуальным спектрам в разные даты. Пунктирными линиями отмечены положения, вероятно, одних и тех же деталей.

Остается непонятным, почему в работах [3, 4] широкие крылья водородных линий остались неотмеченными. Более того, в [4] сказано, что галактика Маркарян 6 относится к классу объектов, водородные и запрещенные линии которых имеют примерно одинаковую ширину (второй класс по Видману и Хачикяну). Согласно [4], для объектов этого класса характерно большое отношение интенсивностей линий [O III] к H_{β} :

$$\frac{I_{N_1+N_2}}{I_{H_{\beta}}} \approx 10.$$

Для объектов с широкими водородными линиям (первый класс объектов) $I_{N_1+N_2}/I_{H_2} \approx 1$. В спектре Маркарян 6 до появления фиолетового компонента это отношение равнялось примерно 10; в период наибольшей яркости H_2 оно было равным 2.5. Сейчас $I_{N_1+N_2}/I_{H_2} \approx 5$ и, по-видимому, продолжает увеличиваться.

Таким образом, ни по виду контура линии H_2 , ни по отношению $I_{N_1+N_2}/I_{H_2}$ галактику Маркарян 6 нельзя отнести к какому-то одному классу объектов классификации [4], поскольку указанные характеристики меняются со временем. В данном случае можно говорить только о двух состояниях ядра: возбужденном и невозбужденном. Возбужденное состояние соответствует первому классу объектов, невозбужденное — второму.

Полученные наблюдательные данные о сильных изменениях контура водородных линий и интенсивности непрерывного спектра определенно указывают на высокую активность ядра галактики Маркарян 6. Наличие фиолетового компонента и сложной структуры широких крыльев водородных линий роднит эту галактику с такими объектами, как ЗС 390.3, ЗС 227, III Zw2 и, вероятно, NGC 3227. Относительно галактики ЗС 390.3 хорошо известно, что она активна. Есть также указания на изменения в контурах водородных линий у ядра NGC 3227 [6].

Таким образом, весьма возможно, что сложная структура контуров водородных линий является хорошим индикатором высокой активности ядер галактик.

В заключение мы выражаем благодарность М. М. Бутслову, В. Ф. Анисимову и Е. С. Агапову за предоставление в наше распоряжение аппаратуры, Б. П. Абражевскому за конструирование и отладку подвижной кассеты для спектрографа, А. И. Смирнову за модернизацию блоков питания ЭОП-а, а также А. И. Брунс и Т. Н. Никулиной за большую помощь в обработке спектров и оформлении настоящей работы.

Примечание при корректуре. На спектрах, полученных в мае 1972 г., фиолетовый компонент у водородных линий продолжает оставаться хорошо заметным.

HYDROGEN LINES IN THE SPECTRUM OF MARKARIAN 6
GALAXY DURING ITS ACTIVITY

V. I. PRONIK, K. K. CHUVAEV

The spectra of Markarian 6 (IC 450) galaxy were obtained in 1970—1971 with dispersion of 335 and 100 $\text{\AA}/\text{mm}$ using an image-tube spectrograph at the 2.6 m telescope of the Crimean Astrophysical observatory.

During one year of observations the H_{β} flux decreased by nearly two times and the intensity of continuum more than three times. A strong correlation between these values has been found. For larger fluxes of continuum the H_{α} line showed a saturation effect.

On all spectra the hydrogen lines have very broad wings ($\sim \pm 5500\text{--}6000 \text{ km/sec}$). The complex structure of these lines indicates the presence of separate gas clouds with different velocities.

Blueshifted components of hydrogen lines discovered by E. Khachikian and D. Weedman at the beginning of 1969 still exist.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967; 5, 443, 581, 1969.
2. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 4, 587, 1968.
3. Е. Ye. Khachikian, D. W. Weedman, *Ap. J.*, 164, L 109, 1971.
4. Э. Е. Хачикян, Д. В. Видман, *Астрофизика*, 7, 389, 1971.
5. H. E. Saraph, M. J. Seaton, *M. N.*, 148, 367, 1970.
6. И. И. Проник, *Астрон. цирк.* (в печати).