

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

МАЙ, 1980

ВЫПУСК 2

УДК 523.855

ОСОБЕННОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ ЧЕТЫРЕХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ПЕРВОГО ТИПА

В. Н. ПОПОВ, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 12 мая 1979

Приведены данные о контурах некоторых эмиссионных линий в спектрах сейфертовских галактик первого типа Маркарян 304, 335, 352 и III Zw 2. Обнаружено изменение контура линии H_{β} в спектре III Zw 2, выражающееся в появлении широкого глубокого компонента со сдвигом относительно центра линии, соответствующем доплеровской скорости $-4500 \div -8500$ км/с. Это изменение совпадает по времени с резким увеличением радиоизлучения от галактики, а, возможно, и с ростом эмиссии в рентгеновском диапазоне. Можно предположить, что многокомпонентная структура является характерной для контуров эмиссионных линий сейфертовских галактик I типа.

1. *Введение.* Активность ядер галактик, открытая В. А. Амбарцумяном [1], очень ярко проявляется в ядрах сейфертовских галактик. Высокие светимости, большие скорости движения газа, богатый эмиссионный спектр, высокая степень ионизации газа и часто сопутствующее радио и (или) рентгеновское излучение указывают на высокую степень активности этих ядер. Среди двух типов сейфертовских галактик, выделенных в [2] на основе спектральных различий, первый тип обладает свойствами, которые указывают на большую степень активности их ядер. Их светимости систематически выше, чем у второго типа, они обладают, в среднем, большим ультрафиолетовым избытком и, в некоторых случаях, являются рентгеновскими источниками [3, 4].

Нами проведено исследование профилей эмиссионных линий четырех сейфертовских галактик первого типа: Маркарян 304, 335, 352 и III Zw 2. Такая работа позволяет получить сведения о кинематической структуре газа в ядрах. Работы Уокера [5], Воронцова-Вельяминова, Дибая, Проника, Есипова [6—8] и других выявили присутствие в сейфертовских ядрах дискретных облаков газа, обладающих значительными относительными

скоростями. Исследования профилей линий фактически являются единственным способом обнаружения подобных образований. Другим аспектом работы является поиск изменения деталей профилей линий, которые могут дать сведения о процессах, идущих в ядре [9, 10]. Даже если за время, охваченное нашими наблюдениями, не обнаруживаются заметные изменения, построение контуров, тем не менее, сохраняет свою ценность, поскольку становится отправным пунктом для поиска изменений в будущем.

Определены также эквивалентные ширины наиболее ярких эмиссионных линий в спектрах объектов.

2. *Аппаратура и наблюдательный материал.* Спектры галактик получены авторами на трех инструментах, с применением различных светоприемников. Данные об отдельных спектрограммах приведены в табл. 1.

Таблица 1

№	Объект	Спектр	Дата	Эксп. (мин)	Дисперсия (А/мм)
1	Маркарян 304	UVITS 302a	23/24.09.73	15	220 (0.22)
2	" "	UVITS 312b	25/26.09.73	7	"
3	" "	БТА № 11	20/21.09.77	25	90 (0.25)
4	" "	БТА № 20	04/05.07.73	29	70
5	" "	БТА № 21	"	21	70
6	" "	ЗТА+ОМА № 1	29/30.07.78	30	100
7	Маркарян 335	UVITS 307b	24/25.09.73	6	220 (0.22)
8	" "	БТА № 7	18/19.09.73	20	90
9	" "	БТА № 8	"	12	"
10	" "	ЗТА № 3	01/02.01.78	100	135
11	" "	БТА № 34	05/06.07.78	11	70 (0.6)
12	" "	БТА № 35	"	12.5	"
13	" "	БТА № 36	"	12	"
14	" "	ЗТА № 4	28/29.09.78	360	135
15	Маркарян 352	UVITS 307c	24/25.09.73	25	220 (0.22)
16	" "	ЗТА+ОМА № 8	03/04.08.78	70	50
17	" "	ЗТА+ОМА № 9	13/14.08.78	30	200
18	" "	БТА № 37	26/27.08.78	20	70
19	III Zw 2	UVITS 314c	25/26.09.73	15	220 (0.22)
20	"	UVITS 326c	29/30.09.73	12	"
21	"	БТА № 31	05/06.07.78	20	220 (0.22)
22	"	БТА № 32	"	20	70

Примечание. Номера спектров БТА и ЗТА даны по рабочему списку и не соответствуют номерам по журналам наблюдений соответствующих телескопов.

Названия столбцов не нуждаются в пояснениях, за исключением двух из них. В последнем столбце, кроме дисперсии, если спектр снимался с расширением, в скобках указана величина расширения. Индекс же спектра содержит указание на аппаратуру, с которой он получен:

БТА обозначает 6-м телескоп САО АН СССР, спектрограф СП-160 с ЭОП типа М9ЦВ, эмульсия 103а-0.

UVITS установлен на 2.7-м телескопе обсерватории МакДональд в США, ЭОП типа С33011, эмульсия Па-0.

ЗТА 2.6-м — телескоп Бюраканской астрофизической обсерватории АН Арм.ССР со спектрографом UAGS. Снимки получались на пластинках Kodak IIIa-J, чувствленных прогревом и подсветкой [11]. Спектры галактик Маркарян 304 и 352 получены также на этом телескопе и спектрографе, но со светоприемником ОМА (оптический многоканальный анализатор) на 500 каналов.

Обработка спектров, полученных на фотоэмульсию, проводилась по регистрограммам, записанным на микрофотометре ИФО-451, а спектры, полученные с ОМА, — по записям, вычерченным графопостроителем, входящим в комплект аппаратуры.

Суперпозиция профилей отдельных линий по разным спектрам производилась после перевода в интенсивности, нормировки интенсивностей к единице в максимуме интенсивностей и перевода длин волн в доплеровские скорости, соответствующие сдвигу от центра линий.

3. Краткая характеристика объектов, результаты наблюдений.

Маркарян 304 = II Zw 175 [12]. Принадлежность этого объекта к галактикам сейфертовского типа отмечена впервые в [13]. Эта галактика обладает весьма высокой светимостью $M_U = -22^m8$ (здесь и ниже при определении абсолютных звездных величин для постоянной Хаббла принято значение $H = 75$ км/с · Мпс) и значительным ультрафиолетовым избытком: $U-B = -0^m92$ [14]. Является рентгеновским источником со светимостью $6.4 \cdot 10^{44}$ эрг-с в диапазоне энергий 2—10 кэВ [4].

Полученная нами ширина линии $H\beta$ на уровне половинной интенсивности — около 4600 км/с. Это значение несколько меньше величины 5900 км/с, приведенной в [15]. Различие можно объяснить неопределенностью в проведении уровня непрерывного спектра, а также различием в разрешающей способности аппаратуры. На наших спектрах № 4 и 5 разрешение не хуже 2.5 Å, в то время как все спектры в [15] получены с разрешением в 10 Å.

Запрещенные линии значительно уже и их ширина на уровне половинной интенсивности около 600 км/с. На рис. 1 сплошной линией представлен профиль линии $H\beta$, а пунктиром — профиль небулярной линии, составленной суперпозицией профилей линий N_1 и N_2 . По оси абсцисс от-
2—295

ложена доплеровская скорость, а по оси ординат — интенсивность излучения, нормированная к единице в максимуме.

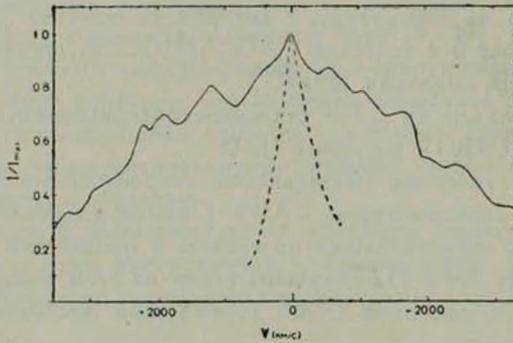


Рис. 1. Профили линий $H\beta$ (сплошная кривая) и усредненной линии $N_1 + N_2$ (пунктирная) в спектре Маркарян 304.

Профиль $H\beta$ довольно симметричен. На нем можно выделить почти симметрично расположенные пары компонентов со скоростями $\pm 400 \div 600$ км/с, $\pm 1100 \div 1500$ км/с и $\pm 1800 \div 2500$ км/с.

Сравнение полученного нами профиля линии $H\beta$ с контуром, построенным Денисюком [16], показывает сильную зависимость вида профиля от разрешения системы. При полученном в [16] разрешении порядка 6 Å компоненты сливаются и заметен только широкий подъем крыльев, приблизительно на равных расстояниях от центра линии, соответствующих скоростям около ± 2000 км/с.

Для построения профилей не всегда целесообразно использовать линию $H\alpha$ из-за искажения ее контура наложением бленды [N II] λ . 6548/83. Тем не менее, оказалось, что в спектре Маркарян 304 интенсивность последних линий невелика и они не вносят значительных изменений в контур линии $H\alpha$. В частности, и в профиле $H\alpha$ хорошо заметна пара компонентов со скоростями $\pm 1800 \div 2500$ км/с, которые соответствуют таким же компонентам в линии $H\beta$.

Маркарян 335. Этот интересный объект сравнительно яркое, что позволяет получить данные повышенной точности. Его видимая величина $m_v = 13^m 90$; $B - V = +0^m 28$, $U - B = -0^m 65$ [14], а по данным [17] $m_v = 13^m 85$, $B - V = +0^m 41$, $U - B = -0^m 70$. Еще в [12] отмечено сходство распределения энергии в спектре Маркарян 335 с распределением энергии в спектре QSO и присутствие в эмиссии линии $H\alpha$. Там же высказано предположение о наличии в спектре признаков галактик сейфертовского типа, которое впоследствии подтвердилось [13]. Более подробное спектральное исследование показало, что в спектре имеет-

ся значительной интенсивности излучение в Fe II [15]. По наблюдениям со спутников [3, 4] обнаружено, что галактика является рентгеновским источником умеренной интенсивности, излучающим около $7.8 \cdot 10^{43}$ эрг/с в диапазоне энергий 2—10 кэВ.

Наши измерения дают ширину водородных линий на уровне половинной интенсивности около 1500 км/с, что хорошо согласуется с величиной 1600 км/с, приведенной в [15]. Ширина же небулярных линий на уровне половинной интенсивности равна 400 км/с.

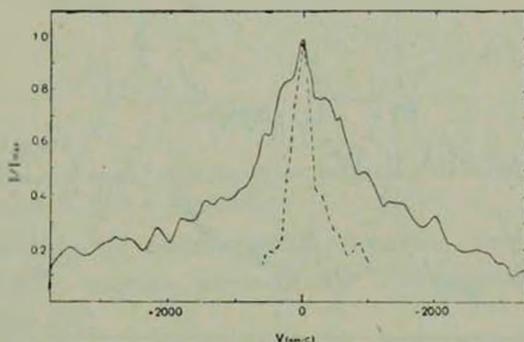


Рис. 2. Усредненные профили водородных линий H_β , H_γ и H_δ (сплошная кривая) и небулярных линий N_1 , N_2 (пунктирная) в спектре Маркарки 335.

На рис. 2 сплошной линией представлен профиль водородных линий, полученный наложением усредненных профилей линий H_β , H_γ и H_δ . На этом же рисунке пунктиром показан контур небулярной линии, составленный наложением усредненных контуров линий N_1 и N_2 .

Заметно выделяются симметрично расположенные компоненты со скоростями около ± 300 км/с и $\pm 500 \div 600$ км/с, которые имеются как у водородных, так и, возможно, у запрещенных линий. Между линиями H_β и N_2 на регистрограммах заметен подъем, который, по нашему мнению, возникает вследствие наложения линий F II λ 4923.9.

В целом, контуры водородных линий асимметричны и имеют сложную форму. Вблизи центра линий, вплоть до скоростей около ± 1000 км/с, синее крыло более приподнято, в то время как на красном крыле заметен крутой спад. Затем, по мере удаления от центра линии, положение меняется. Голубое крыло сравнительно быстро сходит на нет у скорости — 3000 км/с, в то время как красное спадает очень медленно и поэтому трудно указать, где оно исчезает. Создается впечатление, что N_1 и N_2 «сидят» на очень широком красном крыле H_β . Это хорошо заметно на рис. 3а и б, представляющих собой участки регистрограмм спектров ЗТА № 4 и БТА № 34, включающих линии N_1 , N_2 и H_β .

III Zw 2. Это наиболее яркий член тройной системы галактик [18]. Подробно исследован Арпом и Сарджентом, красное смещение $z = 0.09$ [19, 20]. У галактики было обнаружено заметное радиоизлучение [19]. Является ярчайшим среди сейфертовских галактик рентгеновским источником со светимостью $1.4 \cdot 10^{45}$ эрг/с в диапазоне энергий 2—10 кэВ [4].

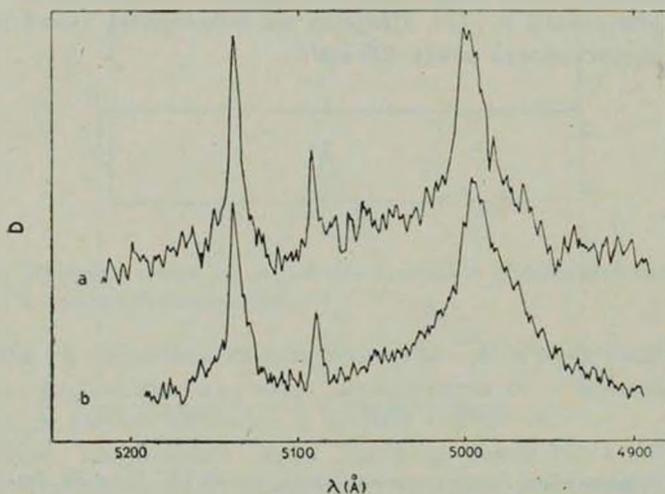


Рис. 3. Регистрограмма спектров Маркарян 335 в области H_{β} : а) ЗТА № 4, б) БТА № 34.

В начале 1978 г. было обнаружено резкое увеличение радиоизлучения на частотах 1—100 ГГц [21], причем исследования на VLBI показали, что около 85% всего потока на частоте 10.6 ГГц (около 1.2 Ян) излучается неразрешенным источником с размером менее $0.4 \cdot 10^{-10}$ секунд дуги (менее 1 пс).

Нами было проведено сравнение спектров 1973 г. со спектрами 1978 г. и между ними найдено некоторое различие. На голубом крыле линии H_{β} на расстоянии от центра линии, соответствующем доплеровской скорости $4500 \div 8500$ км/с, заметен подъем, который отсутствует на более ранних спектрах (см. рис. 4). Наиболее вероятное объяснение — это появление нового компонента линии, возникшего вследствие выброса, появившегося в ядре галактики. К сожалению, у нас нет возможности проследить, имеется ли симметричный компонент на красном крыле линии, поскольку на спектре 1978 г. область линий N_1 и N_2 , на которую должен попадать этот компонент, имеет дефект. Этот выброс, по всей видимости, сопровождается резким возрастанием радиоизлучения. Поскольку объект не был обнаружен ранее как рентгеновский источник по наблюдениям со спутников UHURU и Ariel, в

то время как со спутника SAS-3 было найдено рентгеновское излучение, то можно предположить, что произошла одновременно и вспышка в рентгеновском диапазоне. На основании имеющихся данных можно предположить, что в ядре III Zw 2 наблюдается вспышка, весьма схожая с той, которая была обнаружена в ядре галактики Маркарян 6 [10, 22].

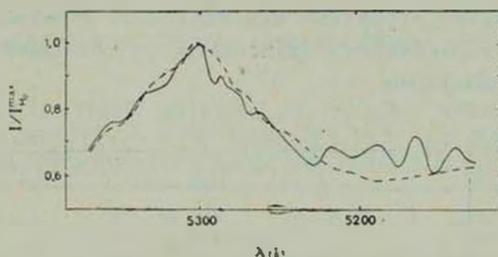


Рис. 4. Профили линии $H\beta$ в спектрах галактики III Zw 2, полученных в 1973 г. (пунктирная кривая) и 1978 г. (сплошная).

Маркарян 352. Это сейфертовская галактика умеренной светимости $M_V = -19^m1$, с хорошо выраженным ультрафиолетовым избытком: $U-B = -0^m66$ [17].

Ширина водородных линий на уровне половинной интенсивности составляет около 3400 км/с. Полученная нами величина довольно близка к приведенной в [15] (3800 км/с). Запрещенные линии на уровне половинной интенсивности имеют ширину около 500 км/с. В целом контур водородных линий слегка асимметричен, причем красное крыло более приподнято, чем голубое. Интересно отметить, что у запрещенных линий если и существует слабо выраженная асимметрия, то в противоположную сторону. Впрочем, в последнем случае речь идет о той части линии, которая заключена в пределах ± 300 км/с от центра, в то время как крылья водородных линий удалены от центра на значительно большее расстояние. На рис. 5 представлены усредненные контуры линии $H\beta$ и, пунктиром, синтетической небулярной линии, составленной наложением усредненных профилей линий N_1 и N_2 .

Недалеко от центра всех линий, на расстоянии ± 500 км/с заметна симметричная пара компонентов. У линии $H\beta$, кроме того, имеется пара компонентов на расстоянии ± 1000 км/с, которая, возможно, присутствует и у запрещенных линий. На большем расстоянии от центра контуры водородных линий более гладки, хотя на скоростях около ± 1500 км/с, возможно, имеется еще одна пара компонентов. Резкий спад интенсивности на красном крыле $H\beta$, на расстоянии от центра, соответствующем скорости около $+1000$ км/с, отмеченный в [16], по нашим данным отсутствует полностью.

В пользу реальности отмеченных выше компонентов эмиссионных линий в спектрах обсужденных в настоящей статье сейфертовских галактик первого типа можно привести следующие доводы:

1. Опыт показывает, что у ярких эмиссионных линий вблизи их максимума интенсивности из-за влияния флуктуаций фона сколько-нибудь значительных ложных вторичных максимумов не возникает. Поэтому, если вблизи максимума выявляются компоненты, то с большой вероятностью их можно считать реальными.

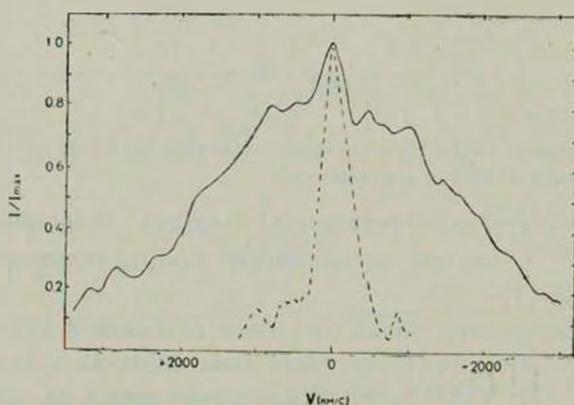


Рис. 5. Усредненные профили линий $H\beta$ (сплошная кривая) и $N_1 + N_2$ в спектре Маркарян 352.

2. Компоненты выявлены не по одному спектру, а по среднему из нескольких (см. табл. 1).

3. Отмеченные компоненты расположены симметрично относительно максимума интенсивности.

Конечно, не исключена возможность того, что некоторая часть из отмеченных компонентов окажется результатом случайных ошибок. Для полной уверенности необходимо получить спектры этих галактик с большей дисперсией.

В табл. 2 приведены полученные нами эквивалентные ширины наиболее ярких эмиссионных линий в спектрах ядер исследованных галактик.

По спектрам ЭТА № 3 и 4 уточнено красное смещение галактики Маркарян 335, z, которое оказалось равным 0.0256. Для центрального максимума водородных и запрещенных линий оно совпадает с точностью до 0.0003.

4. *Заключение.* Профили водородных линий исследованных нами галактик сейфертовского типа, принадлежащих к классу 1, обладают много-

компонентной структурой и, в некоторых случаях, асимметрией. Этот результат указывает на то, что электронное рассеяние не может играть решающую роль в формировании контуров водородных линий сейфертовских галактик первого типа. Наличие заметной симметрии в распределении компонентов относительно центра линий можно считать указанием на то, что соответствующие им облака газа возникли в результате выбрасывания масс газа в противоположные стороны (выброс-контрвыброс).

Таблица 2
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ НАИБОЛЕЕ ЯРКИХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ ЯДЕР ЧЕТЫРЕХ ИССЛЕДОВАННЫХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ПЕРВОГО ТИПА

Объект	$\lg W_{H\alpha}$	$\lg W_{H\beta}$	$\lg W_{N_I, N_2}$
Маркарян 304	2.27	1.82	1.38
Маркарян 335	2.3	1.81	1.74
Маркарян 352	2.1	1.56	1.18
III Zw 2	2.3	1.59	1.76

Примечание. В интенсивности линий включены все компоненты, так как последние практически невозможно измерять независимо. В интенсивность H_{α} включена также интенсивность блендированных с ней линий $[N II] \lambda. 6548/83$, которые во всех исследованных объектах имеют очень низкую интенсивность в сравнении с H_{α} и почти не изменяют ее эквивалентную ширину.

Обнаруженные новые компоненты не отделяются четко от основных очень широких водородных линий, типичных для Sy 1. Поэтому оценки доли энергии от полного профиля и эквивалентной ширины отдельных компонентов будут настолько неуверенными, что, на наш взгляд, ценность таких оценок была бы сомнительной.

Обнаружено изменение в профиле линии H_{β} галактики III Zw 2, проявляющееся в появлении нового компонента на голубом крыле линии. Это изменение произошло в течение 1973—1978 гг. и сопровождается возрастанием радиоизлучения и, возможно, рентгеновского излучения. Это явление сходно с наблюдавшейся ранее в ядре галактики Маркарян 6 вспышкой. Следует отметить, что до вспышки ядро Маркарян 6 обладало спектральными особенностями сейфертовских галактик второго типа, в то время как III Zw 2 является галактикой Sy 1.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

Примечание при корректуре. Недавно появилась статья Остерброка и Коэна (M. N., 187, 61, 1979), в которой приведен другой пример существования компонентов у водородных линий в спектре сейфертовской галактики первого типа Марк. 668, смещенных в коротковолновую часть от основных линий на 2800 км/с.

EMISSION LINE DISTINCTIONS IN THE SPECTRA OF FOUR
TYPE 1 SEYFERT GALAXIES

V. N. POPOV, E. Ye. KHACHIKIAN

Data on some emission line profiles in the spectra of type 1 Seyfert galaxies Markarian 304, 335, 352 and III Zw 2 are presented. A change in $H\beta$ profile in the spectrum of III Zw 2 is found, represented by the appearance of a new wide blue component with $-4500 \div -8500$ km/s doppler shift. This change coincides in time with the rapid rise of radio-emission from the galaxy and, probably, with the rise of X-ray emission.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Изв. АН Арм.ССР, сер. физ.-мат. наук, 11, 9, 1959.
2. Э. Е. Хачикян, Д. В. Видман, Астрофизика, 7, 389, 1971.
3. R. Giacconi, Physica Scripta, 17, 159, 1978.
4. H. Tananbaum, G. Peters, W. Forman, R. Giacconi, C. Jones, Y. Avni, Ap. J., 223, 74, 1978.
5. М. Ф. Уохер, в сб. «Нестационарные явления в галактиках», Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1968, стр. 75.
6. Э. А. Дибай, Б. А. Воронцов-Вельяминов, в сб. «Нестационарные явления в галактиках», Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1968, стр. 21.
7. Э. А. Дибай, В. И. Проник, в сб. «Нестационарные явления в галактиках», Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1968, стр. 83.
8. Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Астрон. цирк., № 467, 1968.
9. Y. Andrillat, A. J., 73, 862, 1968.
10. Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 9, 139, 1973.
11. В. Н. Попов, А. С. Амирханян, Астрон. цирк., № 1023, 1978.
12. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Астрофизика, 7, 511, 1971.
13. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Астрофизика, 8, 177, 1972.
14. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. М. Лютый, Астрофизика, 8, 433, 1972.
15. D. E. Osterbrock, Ap. J., 215, 733, 1978.
16. Э. К. Денисюк, Труды III Европейской астрономической конференции, Тбилиси, 1976, стр. 202.
17. E. Ye. Khachikian, D. W. Weedman, Ap. J., 192, 581, 1974.
18. F. Zwicky, Catalogue of Selected Compact Galaxies and of Post-Eruptive Galaxies, Zurich, 1971.
19. H. Arp, Ap. J., 152, 1101, 1968.
20. W. L. W. Sargent, Ap. J., 160, 405, 1970.
21. J. J. Wittels, W. D. Cotton, I. I. Shapiro, Ap. J., 225, L47, 1978.
22. Э. Е. Хачикян, Докторская диссертация, Ереван, 1975.