

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

АВГУСТ, 1977

ВЫПУСК 3

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ОТ ПОКАЗАТЕЛЯ ЦВЕТА

М. А. АРАКЕЛЯН

Поступила 1 апреля 1976

Показано, что эквивалентная ширина линии $[O III] \lambda 5007$, а также отношение интенсивностей этой линии и H_{β} в спектрах объектов сейфертовского типа убывают с уменьшением показателя цвета $U-B$. Между тем, в спектрах других галактик с эмиссионными линиями эти величины возрастают с уменьшением показателя цвета.

Поведение рассмотренных величин в галактиках, не относящихся к сейфертовскому типу, может быть интерпретировано как следствие низкой электронной плотности газа, в случае которой относительная интенсивность запрещенных и водородных линий обуславливается лишь электронной температурой. Что касается поведения тех же величин в спектрах объектов сейфертовского типа, оно может быть приписано в среднем более высоким значениям электронной плотности и изменениям этой величины в рассмотренном интервале цветов. Такая интерпретация ведет, в свою очередь, к заключению, что электронная плотность в объектах типа NGC 1068 несколько ниже, чем в галактиках типа NGC 4151.

Сравнение характера зависимости эквивалентных ширин эмиссионных линий от показателя цвета у нормальных галактик и галактик Сейферта представляет очевидный интерес, поскольку может способствовать пониманию природы объектов сейфертовского типа. На материале классических галактик Сейферта и ряда нормальных галактик подобные зависимости рассматривались ранее И. И. Проник [1]. Особенно перспективным представляется исследование зависимости от показателя цвета отношения интенсивностей запрещенных и водородных линий, поскольку, в силу различия механизмов образования, интенсивности этих линий различным образом зависят от свойств источника ионизирующего излучения. В настоящей статье рассматривается зависимость от показателя цвета $U-B$ эквивалентных ширин линий $[O III] \lambda 5007$ и H_{β} .

1. *Объекты сейфертовского типа.* Как известно, некоторые объекты сейфертовского типа характеризуются очень высоким значением отношения интенсивностей запрещенных и водородных линий. Существует даже точка зрения, что высокое значение отношения интенсивностей запрещенных и водородных линий является достаточным условием для отнесения галактики к сейфертовскому типу (см. примечание к [2]). Однако результаты измерения эквивалентных ширин эмиссионных линий в спектрах ряда объектов сейфертовского типа из числа галактик Маркаряна [3—5] свидетельствуют о том, что это условие, по крайней мере, не является необходимым. Для иллюстрации в табл. 1 приведены эквивалентные ширины линий $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$ в спектрах 15 галактик сейфертовского типа, полученные в [3—5]. Таблица содержит также показатели цвета $B-V$ и $U-B$, полученные с диафрагмой, размер которой указан в шестом столбце. В седьмом столбце приведены ссылки на фотоэлектрические измерения. В случаях, когда галактики наблюдались с несколькими диафрагмами, приведены данные, полученные с наименьшей диафрагмой.

Таблица 1

N	$W_{[O III]}$	$W_{H\beta}$	$B-V$	$U-B$	A	Литература
78	95	15	0.99	-0.31	15"	[6]
79	35	70	0.47	-0.78	10	[7]
106	—	90	0.22	-0.90	10	[7]
110	30	25	0.76	-0.67	15	[8]
124	20	35	0.61	-0.47	25	[7]
141	7	10	0.60	-0.45	10	[7]
142	5	20	0.44	-0.58	10	[7]
198	50	15	0.82	+0.07	15	[8]
205	15	50	0.31	-0.90	10	[7]
268	15	—	0.94	+0.28	15	[8]
270	35	4	0.92	+0.31	15	[8]
273	50	20	0.77	+0.10	15	[8]
279	40	40	0.88	-0.10	13.5	[9]
290	25	50	0.56	-0.92	13.5	[9]
298	25	15	1.01	-0.09	15	[8]

Как видим, если даже исключить из рассмотрения галактики Маркаряна 106 и 268, интервал значений отношения интенсивностей $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$ составляет примерно полтора порядка. При этом у сейфертовских галактик типа NGC 1068 (с широкими водородными и запрещенными линиями) это отношение в среднем существенно больше, чем у объектов типа NGC 4151 (с широкими водородными и узкими запрещенными линиями).

Это обстоятельство было недавно отмечено Т. Ф. Адамсом и Д. В. Видманом [10], которые произвели детальное исследование интенсивности эмиссионных линий в спектрах более 30 сейфертовских галактик. Сначала мы рассмотрим зависимость эквивалентных ширин линий от показателя цвета безотносительно к принадлежности сейфертовских галактик к тому или иному типу. Зависимости $\lg W_{[O III]}$ и $\lg W_{H\beta}$ от исправленного за по-

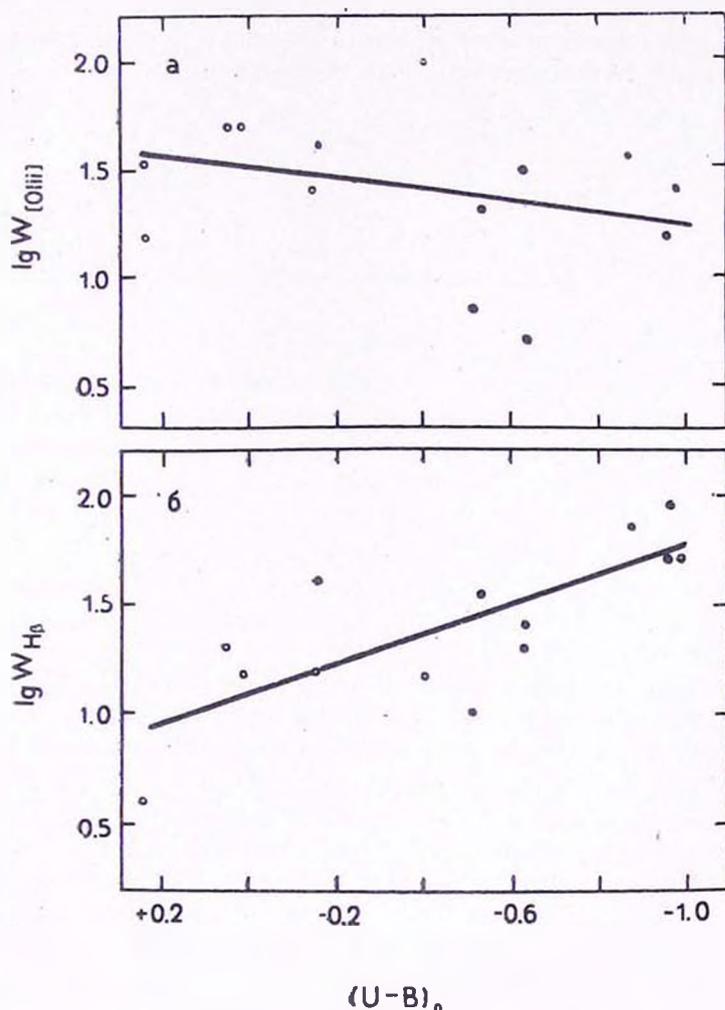


Рис. 1. Зависимость эквивалентных ширин линий $[O III] \lambda 5007$ (а) и $H\beta$ (б) объектов сейфертовского типа от показателя цвета $(U-B)_0$.

краснение света в Галактике показателя цвета $U-B$ приведены на рис. 1а и 1б. Как видим, если сейфертовские галактики рассматриваются безотно-

сительно к принадлежности к тому или иному типу, то выявляется зависимость эквивалентных ширин линий от показателя цвета. При этом, хотя коэффициент корреляции между $\lg W_{[O III]}$ и $(U-B)_0$ невелик ($0.32 \pm \pm 0.24$), важно то обстоятельство, что он имеет знак, противоположный коэффициенту корреляции между $\lg W_{H\beta}$ и $(U-B)_0$, равному -0.79 ± 0.10 . Таким образом, при посинении сейфертовских галактик запрещенные линии в среднем ослабевают, между тем, как водородные линии усиливаются. Второй из этих фактов отмечался ранее Проник [1]. Соответствующие зависимости могут быть представлены соотношениями

$$\lg W_{[O III]} = 0.28 (U - B)_0 + 1.51, \\ \pm 0.24 \qquad \pm 0.13$$

и

$$\lg W_{H\beta} = -0.69 (U - B)_0 + 1.08. \\ \pm 0.16 \qquad \pm 0.09$$

Из этих соотношений следует, что относительная интенсивность запрещенных и водородных линий существенно зависит от показателя цвета $(U-B)_0$. Эта зависимость, представленная на рис. 2, может быть выражена соотношением

$$\lg \frac{W_{[O III]}}{W_{H\beta}} = 0.93 (U - B)_0 + 0.46, \\ \pm 0.23 \qquad \pm 0.13,$$

а соответствующий коэффициент корреляции составляет 0.77 ± 0.11 .

Подобный характер зависимости относительной интенсивности запрещенных и водородных линий от показателя цвета следует также из измерений Адамса и Видмана [10]. По данным о 27 галактиках, для которых указанные авторы приводят потоки* в $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$, коэффициент корреляции между логарифмом отношения потоков и показателем цвета равен 0.72 ± 0.09 , а зависимость между этими величинами имеет вид

$$\lg \frac{f_{[O III]}}{f_{H\beta}} = 1.51 (U - B)_0 + 0.87. \\ \pm 0.29 \qquad \pm 0.14$$

На рис. 1 и 2 сейфертовские галактики, относящиеся, согласно [10], к типу NGC 1068 (Маркарян 78, 198, 268, 270, 273 и 298), обозначены круж-

* Адамс и Видман приводят потоки, включающие и излучение в непрерывном спектре. Поэтому приведенные ими величины отличаются от использованных нами.

ками, а объекты типа NGC 4151 — точками. Поскольку первые являются заметно менее голубыми, то естественно, что на этих рисунках объекты двух типов в значительной мере сгруппированы.

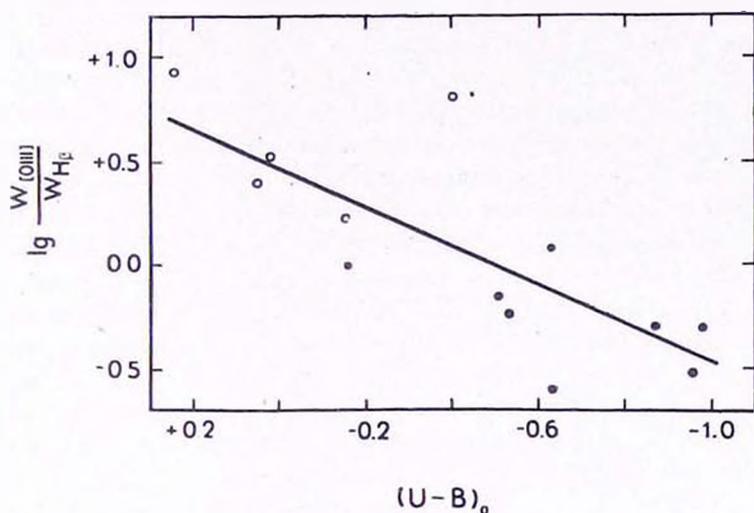


Рис. 2. Зависимость отношения эквивалентных ширин линий $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$ объектов сейфертовского типа от показателя цвета $(U-B)_0$.

Как отмечалось, Адамс и Видман, измерившие потоки и светимости в линиях у ряда сейфертовских галактик, выявили значительные различия этих величин в галактиках типа NGC 1068 и типа NGC 4151. Зависимость потоков от цвета указанными авторами не рассматривалась, и на основании полученных результатов был сделан вывод о полном различии физической природы объектов этих двух типов. Однако разделение сейфертовских галактик на два типа является в определенной степени условным, поскольку как по ширине запрещенных линий, так и по показателям цвета имеет место непрерывный переход от объектов типа NGC 1068 к объектам типа NGC 4151. Объектами промежуточного типа являются, например, NGC 1275 и Маркарян 279. (Ширина $H\beta$ на уровне непрерывного спектра у Маркарян 279 равна 135 Å, а ширина линий $[O III]$ — 40 Å). О непрерывном переходе между объектами двух типов свидетельствует и характер зависимости интенсивностей запрещенных и водородных линий, а также их относительной интенсивности от показателя цвета. Поэтому интерпретация, предложенная Адамсом и Видманом, не является единственно возможной. Другая возможность состоит в том, что имеется широкий диапазон параметров сейфертовских галактик, возникающий благодаря большому интервалу цветов и других свойств источников ионизирующего излучения.

2. *Галактики, не относящиеся к сейфертовскому типу.* Рассмотрим теперь аналогичные зависимости между интенсивностями эмиссионных линий и показателями цвета у галактик, не относящихся к сейфертовскому типу. Возрастание интенсивности водородных линий с посинением нормальных галактик установлено в цитированной выше работе Проник [1]. С другой стороны, в заметке [11] показано, что галактики Маркаряна, в спектрах которых интенсивность линии $[O III] \lambda 5007$ превосходит интенсивность $H\beta$, имеют заметно больший ультрафиолетовый избыток, чем галактики, в которых имеет место противоположное соотношение. Отсюда можно заключить, что корреляция эквивалентной ширины запрещенных линий с ультрафиолетовым избытком является более сильной, чем корреляция эквивалентной ширины водородных линий. Об этом же свидетельствуют и

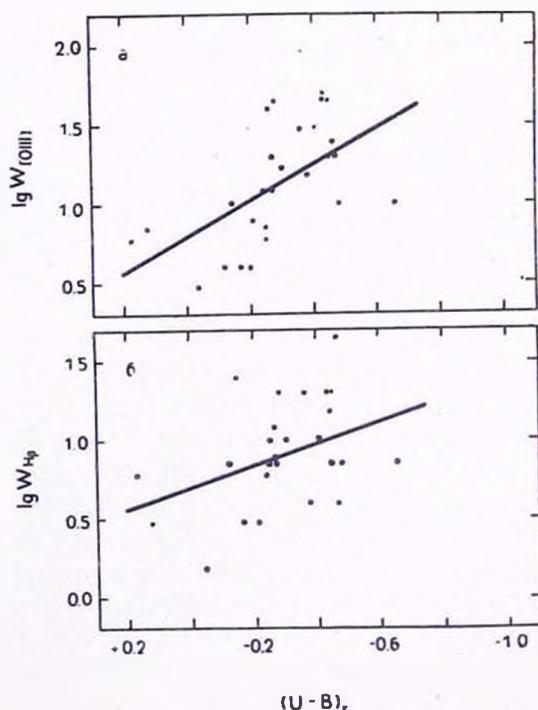


Рис. 3. Зависимость эквивалентных ширин линий $[O III] \lambda 5007$ (а) и $H\beta$ (б) галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, от показателя цвета $(U-B)_c$.

рис. 3а и 3б, где представлены зависимости от показателя цвета логарифмов эквивалентных ширин линий $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$ 30 галактик, измеренных в [3—5]. Соответствующие данные приведены в [11]. Легко видеть, что, в отличие от сейфертовских галактик, у галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, эквивалентные ширины как водородных, так и запрещенных линий возрастают с посинением. При этом коэффициент кор-

реляции между $\lg W_{[O III]}$ и $(U - B)_0$ несколько превышает коэффициент корреляции между $\lg W_{H\beta}$ и $(U - B)_0$. Они равны соответственно -0.57 ± 0.13 и -0.37 ± 0.17 . Зависимости между логарифмами эквивалентных ширин и показателями цвета могут быть представлены как

$$\lg W_{[O III]} = -1.16 (U - B)_0 + 0.80, \\ \pm 0.33 \qquad \pm 0.11$$

и

$$\lg W_{H\beta} = -0.67 (U - B)_0 + 0.72. \\ \pm 0.35 \qquad \pm 0.12$$

Таким образом, обнаруживается определенное различие в зависимости между эквивалентными ширинами линий и показателями цвета в сейфертовских галактиках и галактиках, не относящихся к сейфертовскому типу. В объектах первого типа эквивалентная ширина запрещенных линий в среднем убывает с посинением, а в объектах второго типа — растет.

Из приведенных соотношений очевидно, что имеется также различие в поведении отношения эквивалентных ширин запрещенных и водородных линий. Зависимость логарифма этого отношения от $(U - B)_0$ представлена на рис. 4 и может быть выражена как

$$\lg \frac{W_{[O III]}}{W_{H\beta}} = -0.44 (U - B)_0 + 0.12. \\ \pm 0.29 \qquad \pm 0.10$$

Хотя коэффициент корреляции довольно мал (-0.29 ± 0.18), можно утверждать, что отношение интенсивностей запрещенных и водородных линий в галактиках, не относящихся к сейфертовскому типу, по крайней мере, не убывает с посинением. Между тем, как мы видели выше, с посинением ядер сейфертовских галактик эта величина определенно убывает.

Приведем, наконец, аналогичные коэффициенты и соотношения, основанные на измерениях Видмана [6]. Вычисленный по данным [6] коэффициент корреляции между $\lg W_{[O III]}$ и $(U - B)_0$ оказывается равным -0.77 ± 0.11 , а коэффициент корреляции между $\lg W_{H\beta}$ и $(U - B)_0$: -0.73 ± 0.13 . Соотношения между рассматриваемыми величинами таковы:

$$\lg W_{[O III]} = -2.38 (U - B)_0 + 0.72, \\ \pm 0.60 \qquad \pm 0.27$$

и

$$\lg W_{H\beta} = -1.82 (U - B)_0 + 0.68. \\ \pm 0.53 \qquad \pm 0.24$$

Наконец, зависимость отношения интенсивностей $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$ от показателя цвета имеет вид

$$\lg \frac{W_{[O III]}}{W_{H\beta}} = -0.56(U - B)_0 + 0.00, \\ \pm 0.33 \qquad \pm 0.17$$

а соответствующий коэффициент корреляции равен -0.42 ± 0.24 .

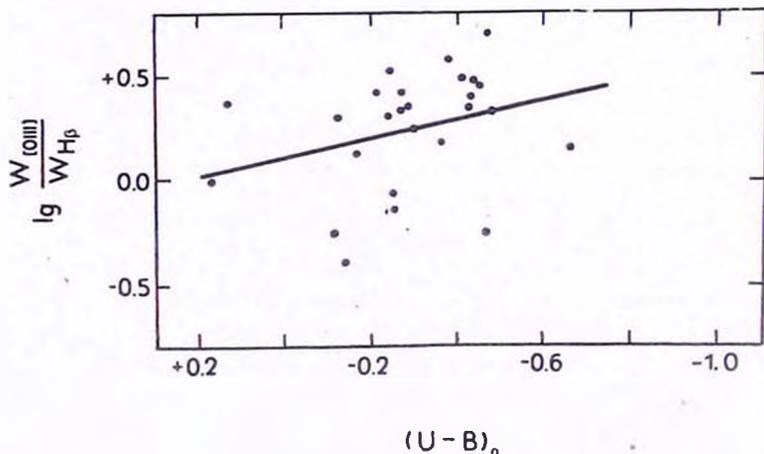


Рис. 4. Зависимость отношения эквивалентных ширин линий $[O III] \lambda 5007$ и $H\beta$ галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, от показателя цвета $(U-B)_0$.

Следует отметить, что вследствие различия расстояний рассмотренных объектов и различия использованных при электрофотометрии диафрагм доля регистрируемого при измерениях излучения самих галактик у различных объектов различна. Это обстоятельство должно вести к искусственному росту дисперсий приведенных соотношений. Можно поэтому полагать, что приведенные выше коэффициенты корреляции являются заниженными.

3. *Обсуждение.* Как известно, интенсивность эмиссионных линий водорода при достаточно большой оптической толщине среды непосредственно определяется мощностью излучения источников ионизации за границей лаймановской серии. Поэтому рост эквивалентных ширин водородных линий с уменьшением показателя цвета $(U-B)_0$ должен рассматриваться как прямое следствие того, что

а) оптическая толщина газа за границей лаймановской серии как в объектах сейфертовского типа, так и в галактиках, не относящихся к сейфертовскому типу, больше или порядка единицы;

б) показатели цвета $U-B$ ядер галактик того и другого типа коррелируют с интенсивностью L_{α} -излучения.

Рост интенсивности линий [O III] с уменьшением показателя цвета у галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, можно, очевидно, объяснить ростом степени ионизации кислорода с посинением. Что касается относительной интенсивности [O III] и $H\beta$, то при невысоких плотностях она зависит, в первую очередь, от электронной температуры среды, в которой эти линии образуются. При этом отношение суммы интенсивностей линий [O III] и [O II] к интенсивности $H\beta$ возрастает с ростом электронной температуры (см., например, [12]). Поэтому, если отвлечься от возможности различий в химическом составе галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, то полученная зависимость относительной интенсивности запрещенных и водородных линий может быть интерпретирована как следствие роста электронной температуры светящегося газа с посинением ядер.

Обратимся теперь к объектам сейфертовского типа. Делая в их случае те же самые предположения, что и в случае галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, мы должны были бы заключить, что с посинением ядер этих объектов происходит понижение степени ионизации и электронной температуры газа. Однако такая ситуация представляется довольно неестественной. Более естественным является предположение, что уменьшение в среднем интенсивности запрещенных линий с посинением обусловлено различием в относительных объемах и массах зон, излучающих запрещенные линии, в сейфертовских галактиках типа NGC 1068 и типа NGC 4151. (Как отмечалось, на рис. 1 и 2 объекты этих двух типов довольно четко группируются).

Что касается зависимости от показателя цвета относительной интенсивности линий [O III] и $H\beta$, то она, по-видимому, обусловлена более высокой электронной плотностью ($> 10^4$) и достаточно широким интервалом изменения этой величины в рассмотренных выборках объектов сейфертовского типа. Таким образом, выявленные различия в поведении относительной интенсивности линий [O III] и $H\beta$ в объектах сейфертовского типа и галактиках, не относящихся к сейфертовскому типу, могут быть приписаны различию электронных плотностей светящегося в тех и других газа. В предложенной интерпретации электронная плотность газа в сейфертовских галактиках типа NGC 1068 в среднем несколько ниже, чем в объектах типа NGC 4151.

Приведенные выше предположения представляются наиболее простым объяснением различий в поведении эквивалентных ширин эмиссионных линий в галактиках двух рассмотренных типов. Правильность этих предположений легко может быть проверена спектральными наблюдениями, охватывающими линии [O III] λ 4363 и [O II] λ 3727. Посредством таких наблюдений могут быть получены непосредственные оценки электронных температур и электронных плотностей газа в рассматриваемых галактиках. Если результаты подобных наблюдений не подтвердят предло-

женной картины, то возникнет необходимость поисков более сложных объяснений.

Автор благодарен В. И. Пронику и В. Ю. Теребижу за полезное обсуждение и критические замечания.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

EMISSION LINE INTENSITY DEPENDENCE OF SEYFERT GALAXIES UPON COLOUR INDEX

M. A. ARAKELIAN

It is shown that equivalent width of $[O III] \lambda 5007$ and intensity ratio of this line and $H\beta$ in the spectra of Seyfert-type objects decrease with the decreasing of colour index $U-B$. Meanwhile both these quantities in the spectra of non-Seyfert galaxies increase with the decreasing of the colour index.

The behavior of quantities considered in the spectra of non-Seyfert galaxies can be interpreted as the result of low electron density of gas, which leads to the situation when relative intensity of forbidden and hydrogen lines depends only upon the electron temperature. As to the behavior of the same quantities in the spectra of Seyfert-type objects, it can be ascribed to the higher mean value of electron density and the variation of this value in the colour interval considered. Such an interpretation leads, in turn, to the conclusion that electron density in NGC 1068 type objects is somewhat lower than in NGC 4151 type galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Проник, *Астрон. ж.*, 49, 768, 1972.
2. W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 173, 7, 1972.
3. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, *Астрофизика*, 6, 39, 1970.
4. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 6, 357, 1970.
5. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 7, 177, 1971.
6. D. W. Weedman, *Ap. J.*, 171, 5, 1972.
7. Э. А. Дибай, *Астрофизика*, 6, 350, 1970.
8. D. W. Weedman, *Ap. J.*, 183, 29, 1973.
9. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. М. Лютый, *Астрофизика*, 8, 473, 1972.
10. T. F. Adams, D. W. Weedman, *Ap. J.*, 199, 19, 1975.
11. М. А. Аракелян, *Астрофизика*, 12, 559, 1976.
12. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, В. И. Проник, *Изв. Крымской обс.*, 29, 291, 1963.