



НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЕРЕМЕННОСТИ СПЕКТРА Kaz 102

М.А.КАЗАРЯН¹, А.М.МИКАЕЛЯН²

Поступила 12 декабря 2006

Принята к печати 15 февраля 2007

Приводятся результаты спектрального исследования квазара Kaz 102. Показано, что его спектр меняется целиком, т. е. меняются как параметры линий, так и непрерывный спектр. На основании сравнения результатов, приведенных ранее и в настоящей работе, сделан вывод, что в течение времени, примерно 27.5 лет, эквивалентные ширины и относительные интенсивности линий увеличиваются, а их полуширины уменьшаются. Меняется также спектральный состав Kaz 102: в спектрах, полученных в 2000 и 2001гг., появились новые линии: HeII λ 4686, [OIII] λ 4363 и другие, которые не наблюдались в спектрах, полученных в 1973г. Определены электронная плотность, масса газового составляющего и его эффективный радиус, которые равны $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$, $2 \cdot 10^4 M_{\odot}$ и 0.2 пк, соответственно.

Ключевые слова: *галактики: переменность - объект: Kaz 102*

1. *Введение.* Первые данные спектрального и фотометрического исследования квазара Kaz 102 ($V = 15.78$, $z = 0.136$, $M = -23.6$) были опубликованы в работах [1-3]. После этих статей данный объект изучался в течение более двадцати лет. Полученные результаты опубликованы в 80 работах. Некоторые из них, как и [1,3], были посвящены только Kaz 102. Среди них мы хотели бы особенно отметить работу А.Тревеса и др. [4], в которой спектр Kaz 102 изучался в широком диапазоне частот от $3 \cdot 10^{14}$ до $3 \cdot 10^{17}$ Гц. В этой работе показано, что спектр Kaz 102 меняется. Подобные результаты получены в [5], где исследования проводились в оптическом диапазоне λ 4000^o - 7000^o А.

В настоящей работе на основе новых наблюдений также были получены результаты, которые подтверждают переменность спектра Kaz 102, как непрерывного, так и в отдельных спектральных линиях.

2. *Наблюдения и обработка.* Спектры Kaz 102 получены на 1.93-м телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (ОНР, Франция) со спектрографом CARELEC, установленным в фокусе Кассегрена [6]. Высота щели спектрографа при получении обоих спектров была примерно 5'.5, а ширина - 2". Наблюдения проводились 27 сентября 2000г. и 21 сентября 2001г. Получены два спектра, которые охватывают область примерно

дл 4200 – 7600 Å. При наблюдениях были использованы гризмы с постоянными $C = 600 \text{ мм}^{-1}$ и $C = 300 \text{ мм}^{-1}$, которые дают дисперсии 66 Å/мм (0.89 Å/pix) и 133 Å/мм (1.8 Å/pix), соответственно. Для первой гризмы результирующее спектральное разрешение примерно равно 3.4 Å , а для второй - 6.8 Å . В качестве приемника излучения использован CCD EEV 42-20 ($2048 \times 1024 \text{ pix}$) с размером пикселей в $13.5 \times 13.5 \text{ мкм}$. Экспозиция каждой из этих спектров была 20 мин. Для калибровки потоков наблюдались стандартные звезды EG 247 (2000г.) и BD +28 4211 (2001г.), которые использовались также для исправления наблюдений за атмосферное поглощение.

Спектры Kaz 102 обрабатывались в пакете программ ESO-MIDAS. Использовалась программа "exohp" (и соответствующие вспомогательные программы) для автоматической обработки спектров 1.93-м телескопа. В программе осуществляются: исправление поля CCD, очистка космических частиц, вычитание фона неба и устранение атмосферного поглощения, переход на длины волны, исправление за зенитное расстояние и переход от относительных интенсивностей на потоки с помощью стандартной звезды.

В ходе анализа спектров (выполненном также в пакете программ ESO-MIDAS) отождествлялись все спектральные линии, измерялись их положения и красные смещения, полные ширины линий на уровне нулевой интенсивности (непрерывного спектра) FWHI, полные ширины линий на уровне половины интенсивности FWHM, эквивалентные ширины EW и интенсивности линий I . Отношения S/N для полученных спектров в непрерывном спектре находятся в пределах 10-15, а в эмиссионных линиях - в пределах 20-100.

3. *Анализ эмиссионного спектра.* Тонкий анализ профилей эмиссионных спектральных линий производился с помощью специальной программы SPECTRAI [7], любезно предоставленной М.П.Верон-Сетти и Ф.Вероном. Спектры были смещены обратно по z (красное смещение для Kaz 102 $z = 0.136$) для получения позиций линий в соответствии с лабораторными длинами волны. Путем совмещения шаблонного спектра эллиптической галактики, была изъята звездная составляющая, наложенная на спектр AGN. Для освобождения от многочисленных линий железа (в основном - FeII) и дальнейшего тонкого анализа спектра, использовался шаблон FeII, полученный в работе [8] для типичной галактики I Zw 1. Как известно, линии железа особенно сильны в галактиках типа NLS1 (Narrow Line Seyfert 1), но присутствуют почти во всех AGN.

Затем производился поиск истинных компонентов эмиссионных линий. Программа SPECTRAI нацелена на разложение суммарно

наблюдаемых эмиссионных спектральных линий на отдельные компоненты, причем она в состоянии находить также линии разных элементов, слитые из-за близости их позиций, толщины и недостаточного спектрального разрешения, таких, как, например, $H\alpha$ и [NII]. Основной формой профилей линий принимается гауссиана, хотя в некоторых случаях широкие линии лучше характеризуются формой лоренцианы. Программа разбивает наблюдаемые контуры на истинные профили и вычисляет их параметры: позиции, полуширины и интенсивности. Анализ производился отдельно для области вокруг $H\alpha$ (охватывая также линии [NII] $\lambda\lambda$ 6584/6548, [OI] $\lambda\lambda$ 6364/6300, [FeVII] λ 6087 и HeI λ 5876) и H β (охватывая также линии [OIII] $\lambda\lambda$ 5007/4959/4363, HeII λ 4686, H γ , H δ и др.) и затем, полученные результаты для уверенности сравнивались. Если полученные профили имели похожие параметры в обеих этих областях, то делался вывод о правильности разложения спектральных линий программой SPECTRAI. Бальмеровские линии, а также все остальные разрешенные линии (HeI, HeII и др.) были представлены двумя широкими и одним узким компонентами. Запрещенные линии представлены узкими профилями, соответствующими узким профилям разрешенных линий, что свидетельствует об их происхождении в одной и той же околоядерной области галактики. Одновременно определяется наклон непрерывного спектра. После анализа профилей спектральных линий и определения их параметров, стало возможно их применение для вычисления физических параметров Kaz 102.

4. Эмиссионный спектр Kaz 102. В спектре Kaz 102 наблюдаются эмиссионные линии [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548, $H\alpha$, [OI] $\lambda\lambda$ 6364, 6300, [FeVII] λ 6087, HeI λ 5876, [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, 4363, H β , HeII λ 4686, H γ ,

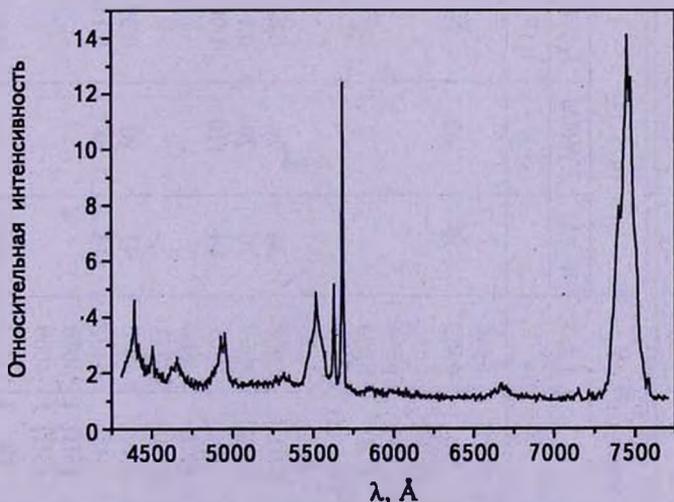


Рис.1. Спектр Kaz 102, полученный в 2001г. на 1.93-м телескопе ОНР.

Таблица 1

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ, ПОЛУШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ
KAZ 102

Элемент	λ_0 (А)	1973 [3]			1990 [4]		2000			2001			Гип. В	
		W_λ (А)	FWHM	$I_\lambda / I_{H\beta}$	W_λ (А)	$I_\lambda / I_{H\beta}$	W_λ (А)	FWHM	$I_\lambda / I_{H\beta}$	W_λ (А)	FWHM	$I_\lambda / I_{H\beta}$		$I_\lambda / I_{H\beta}$
			(А)					(А)			(А)			
[NII]	6584									339.0	31.3	4.18	2.78	
H α	6563	750	168							1188.2	97.0	4.72		
[NII]	6548									172.6	38.4	1.73		
[OI]	6364									5.3	19.9	0.10		
[OI]	6300									10.6	37.8	0.11		
[FeVII]	6087									3.2	30.7	0.04		
HeI	5876									15.4	32.6	0.18		
[OIII]	5007	34	20	0.43	29	0.29	76.5	11.9	2.64	94.6	10.5	3.49		
[OIII]	4959	10	20	0.14			26.6	11.5	0.95	29.4	9.7	1.17		
H β	4861	84	110	1.00	90	1.00	168	69.2	1.00	164.8	63.5	1.00	1.00	
HeII	4686						12.2	36.3	0.14	11.1	27.4	0.16		
[OIII]	4363						33.1	30.7	0.44	35.0	28.4	0.47		
H γ	4340	43	90	0.39	42	0.53	67.2	62.4	0.44	50.1	44.1	0.44	0.50	
H δ	4102	14	48	0.14			32.1	59.4	0.22	42.2	75.5	0.22	0.29	
[SII]	4076						8.5	26.3	0.13	3.0	8.3	0.14		
[SII]	4069													
He	3970													
[NeIII]	3968			0.08			12.8	29.9	0.18	8.8	14.5	0.23		
[NeIII]	3869			0.19			9.9	14.4	0.28	18.6	15.2	0.47		

H δ , [SII] $\lambda\lambda$ 4076, 4069, H ϵ , [NeIII] $\lambda\lambda$ 3968, 3869 и H γ . На рис.1 приведен спектр Kaz 102, полученный 21 сентября 2001г., на котором хорошо видны отмеченные линии.

Данные эквивалентных ширин, полуширин и относительных интенсивностей этих линий приведены в табл.1. Здесь же показаны значения тех же величин, полученные в работах [3,4].

На рис.2а, б, с приведены контуры линий H α + [NII] $\lambda\lambda$ 6584/6548,

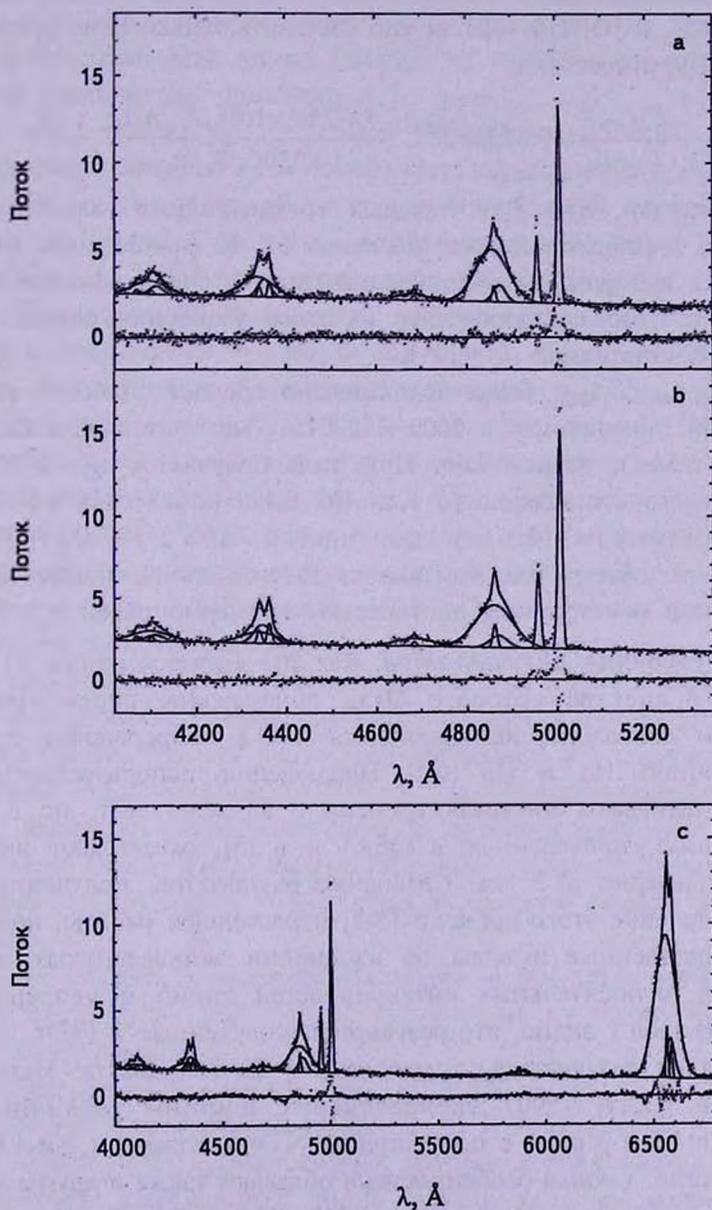


Рис.2а, б, с. Профили линий, построенные по спектрам, полученным в 2000 и 2001гг.

[OIII] λ 5007, 4959, H β , H γ + [OIII] λ 4363 и H δ + [SII] λ 4076/4069. Профили линий H α + [NII] λ 6584 были построены и в [5], где для них приведены эквивалентные ширины и полуширины.

5. *Физические параметры Каз 102.* Для определения электронной температуры T_e и электронной плотности n_e , необходимо иметь два уравнения, которые устанавливают связь между этими параметрами. В нашем случае на основании отношений интенсивностей линий N $_1$ + N $_2$ и [OIII] λ 4363 можно составить только одно уравнение, которое в [9] имеет вид:

$$\frac{E_{N_1+N_2}}{E_{\lambda 4363}} = 0.0753 e^{33000/T_e} \frac{1 + 2.67 \times 10^5 (\sqrt{T_e}/n_e)}{1 + 2300 \sqrt{T_e}/n_e}$$

Учитывая то, что T_e в газовых составляющих галактик мало отличается от общепринятого значения 10^4 К (наибольшее отличие может быть в 2 раза), а отличия значений n_e очень большие (могут достигать 10^6), то целесообразнее из этого уравнения определить n_e для Каз 102, принимая $T_e = 10^4$ К.

Для $E_{N_1+N_2}/E_{\lambda 4363}$ было использовано среднее значение из двух наблюдений, полученных в 2000 и 2001гг., мало отличающихся друг от друга (табл.1), равное 9.06. При этом получается $n_e = 2 \cdot 10^7$ см $^{-3}$. Масса газового составляющего Каз 102 была определена по методу, разработанному в [10], и получается $M = 2 \cdot 10^4 M_{\odot}$. Радиус эффективного объема, где помещается газовое составляющее Каз 102 с отмеченной электронной плотностью, примерно равен $r_{эф} = 0.2$ пк.

6. *Обсуждение результатов.* Каз 102 является одним из ярких квазаров, в спектре которого были обнаружены переменности в оптическом диапазоне, выявляющиеся как в непрерывном спектре, так и в линиях H α и H β [4,5]. Наблюдения, используемые в этих работах, охватывают интервал времени с 23 мая 1987г. по 3 марта 1996г. Данные, приведенные в табл.1 и в [5], охватывают интервал времени примерно 27.5 лет. Сравнение результатов, полученных для Каз 102 в течение этого времени [3-5] и настоящей работы, позволяет делать существенные выводы об изменении эквивалентных ширин, полуширин, относительных интенсивностей линий и непрерывного спектра. Из табл.1 видно, что результаты, полученные в 1973г., сильно отличаются от результатов, полученных в 2000 и 2001гг. Например, для H α и [OIII] λ 5007 эквивалентные ширины увеличиваются примерно в 1.6 и 3 раза, а полуширины уменьшаются в 1.7 и 1.9 раза, соответственно. Такими особенностями обладают также и другие линии, в том числе и бальмеровские линии H β , H γ и H δ . Получается, что в течение этого времени эквивалентные ширины линий увеличиваются,

а полуширины - наоборот, уменьшаются, т. е. они сужаются. Всего относительные интенсивности линий [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959 в 2001г. увеличились более чем в 8 раз. Этот результат говорит о том, что возбужденность газового составляющего Kaz 102 сильно увеличилась, так как интенсивности этих линий очень чувствительны по отношению к степени его возбужденности. К тому же на последнем этапе развития газового составляющего Kaz 102 степень его возбужденности в течение одного года с 27 сентября 2000г. по 21 сентября 2001г. увеличилась, так как интенсивности линий [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959 в этом промежутке времени увеличились примерно в 1.3 раза.

Из табл.1 видно, что на раннем этапе времени с 1973 по 1990гг. эквивалентные ширины и относительные интенсивности линий [OIII] λ 5007, H β и H γ почти не менялись. В работе [5] изучались только контуры линии H α в спектрах, полученных для Kaz 102 в 1987/1988 и 1995/1996гг. H α в [5] была представлена двумя контурами, широким и узким. Для широкого контура при первом наблюдении эквивалентная ширина и полуширина получились 550 Å и 102 Å, а при втором - 570 Å и 132 Å, соответственно. При втором наблюдении в [5] приводятся те же параметры для линий [NII] λ 6584, которые равны 31 Å и 26 Å, соответственно. При сравнении этих результатов линии H α с соответствующими результатами, полученными в [3], можно сказать, что они оба в [5] уменьшились. Что касается результатов для линии [NII] λ 6584, то их не с чем сравнивать, так как в спектрах Kaz 102, полученных в 1973г., эта линия вообще не наблюдалась. Причем параметры тех же линий при наблюдении в 2001г. равны 339 Å и 31 Å, соответственно.

Из табл.1 видно, что в спектрах, полученных в 2000 и 2001гг. наблюдались многие линии, которые не были отмечены в работах [3-5]. Можно уверенно сказать, что эти линии не наблюдались и в спектрах Kaz 102, полученных Э.Е.Хачикяном в 1973г. [3]. Из них особенно надо выделить линии, имеющие высоковозбужденное происхождение (HeII λ 4686 и авроральную линию [OII] λ 4363). Это свидетельствует в пользу того, что в течение 27.5 лет (1973/2001) оптический диапазон спектра значительно изменился.

Контур каждой из разрешенных линий, в том числе линии бальмеровской серии H α , H β , H γ и H δ состоит из узкого и широкого компонентов (рис.2а, б, с).

Крылья широких компонентов линий H α , H γ и H δ покрывают сравнительно узкие запрещенные линии [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548, [OIII] λ 4363 и [SII] $\lambda\lambda$ 4076, 4069, соответственно, которые хорошо видны на рис.2а, б, с. Контуров запрещенных линий намного уже, чем контуры разрешенных линий, которые на рис.2 хорошо видны в линиях [OIII] $\lambda\lambda$ 5007

и 4959. При сравнении контуров линий $\text{H}\alpha$, $\text{H}\gamma$ и $\text{H}\delta$, приведенных в [3] и в настоящей работе, приходим к выводу, что они существенно изменились. Контуров этих линий в [3] явно асимметричны и гораздо шире, чем контуров приведенные на рис.2а, б, с, т.е. меняются не только интенсивности линий, но и их вид. На рис.3 приведены вышеотмеченные два спектра, наложенные друг на друга. При построении этого рисунка совмещались между собой линии [OIII] $\lambda\lambda$ 5007 и 4959 по позициям и по интенсивностям, соответственно. Как было отмечено выше, разница по времени при получении этих спектров составляет примерно один год, причем нижний спектр рис.3 был получен на один год позже (2001г.). Из этого рисунка видно, что в течение одного года менялись линии бальмеровской серии как по интенсивностям, так и по ширинам, причем в 2001г. линии стали намного уже. В [5] было показано, что в течение семи месяцев, начиная

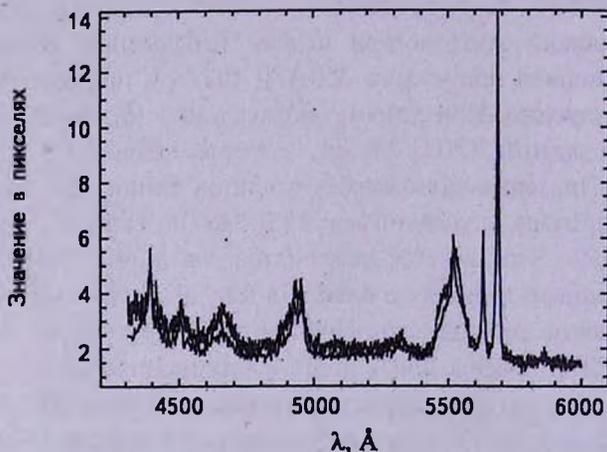


Рис.3. Наложенные друг на друга спектры 2000 и 2001г., с совмещением между собой линий [OIII] $\lambda\lambda$ 5007 и 4959.

с августа 1995г., в области $\text{H}\beta$ непрерывный спектр поменялся и стал на $0^{\text{m}}.25$ величину ярче. В нашем случае яркость непрерывного спектра за один год уменьшилась примерно настолько же в отмеченной области. Кроме того было показано, что как в наших наблюдениях, так и в [5] разница интенсивностей непрерывных спектров, полученных в разные времена, увеличивается в сторону коротких волн.

7. Заключение. Резюмируя вышеприведенные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Данные, полученные в настоящей работе, показывают, что спектр Kaz 102 меняется существенно, меняются как параметры линий, так и непрерывный спектр.

2. При сравнении результатов, приведенных в [3-5] и в настоящей

работе, был сделан вывод, что в течение примерно 27.5 лет, эквивалентные ширины и относительные интенсивности линий увеличиваются, а полуширины уменьшаются несмотря на то, что линии становятся более интенсивными.

3. Поменялся спектральный состав Kaz 102: в спектрах, полученных в 2000 и 2001гг., появились новые линии HeII $\lambda 4686$, [OIII] $\lambda 4363$ и другие, которые не наблюдались в спектрах, полученных в 1973г.

4. Определены электронная плотность и масса газового составляющего, а также его эффективный радиус, которые равны $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$, $2 \cdot 10^4 M_{\odot}$ и 0.2 пк, соответственно.

В работе использовались щелевые спектры, полученные на 1.93-м телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (ОНР). Авторы благодарны М.П.Верон-Сетти и Ф.Верону за любезное предоставление спектров Kaz 102 из их наблюдательной программы и пакета SPECTRAI для анализа эмиссионных спектров.

¹ Ереванский государственный университет

² Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: astro@ysu.am aregmick@apaven.am

NEW DATA ON SPECTRAL VARIABILITY OF Kaz 102

M.A.KAZARIAN¹, A.M.MICKAELIAN²

The results of the spectral investigation of the quasar Kaz 102 are presented. It is shown that its spectrum completely changes as both parameters of lines as well as the continuous spectrum. On the basis of the comparison of the results, which were presented earlier and in this article, we have concluded that during a period of approximately 27.5 years, the equivalent widths and relative intensities of the lines have increased but the FWHM, decreased. The spectral composition of Kaz 102 also changes: in the spectra obtained in 2000 and 2001, new lines HeII $\lambda 4686$, [OIII] $\lambda 4363$, and others have appeared that were not observed in the spectra, obtained in 1973. The electron density, mass of the gaseous component and its effective radius are determined, which are equal to $2 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-3}$, $2 \cdot 10^4 M_{\odot}$ and 0.2 pc, respectively.

Key words: *galaxies:variability - individual:Kaz 102*

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Казарян, Р.Ф.Карсвелл, Э.Е.Хачикян, *Астрон. цирк.* №813, 2, 1974.
2. М.А.Казарян, *Астрофизика*, 15, 5, 1979.
3. М.А.Казарян, Э.Е.Хачикян, *Астрофизика*, 17, 661, 1981.
4. A.Treves, H.H.Fink, M.Malkan, *Astrophys. J.*, 442, 589, 1995.
5. J.A. de Diego, D.Dultzin-Nasyan, E.Benitez, K.L.Thompson, *Astron. Astrophys.*, 330, 419, 1998.
6. G.Lemaitre, D.Kohler, D.Lacroix, J.-P.Meunier, A.Vin, *Astron. Astrophys.*, 228, 546, 1989.
7. P.Véron, P.O.Lindblad, E.J.Zuiderwijk, M.P.Véron-Cetty, G.Adams, *Astron. Astrophys.*, 87, 245, 1980.
8. M.P.Véron-Cetty, M.Joly, P.Véron, *Astron. Astrophys.*, 417, 515, 2004.
9. В.В.Соболев, *Курс теоретической астрофизики*, Наука, М., 1975.
10. Э.А.Дибай, В.И.Проник, *Астрофизика*, 1, 78, 1965.