

УДК: 524.7-724

НОВЫЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЯДРАХ ГАЛАКТИК KAZ 26 И KAZ 73

М.А.КАЗАРЯН, Ж.Р.МАРТИРОСЯН

Поступила 27 сентября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Приводятся результаты спектрального исследования ядер галактик Kаз 26 и Kаз 73. Вычислены относительные интенсивности эмиссионных линий, эквивалентные ширины, полуширины и скорости расширения линий на уровне непрерывного спектра. Определены электронные плотности и массы газовых составляющих ядер этих галактик. Определено также число звезд, обеспечивающих свечение газовых составляющих, ядер галактик. Вычислена степень ионизации газа, содержащегося в каждом из ядер этих галактик. Сделан вывод, что ядро Kаз 26 по своим физическим особенностям подходит на "Starburst" галактики. Показано, что Kаз 73 является лайнером (Sy3).

1. *Введение*, В течение 26 лет многими авторами в разных обсерваториях мира многосторонне изучались галактики с УФ-избытком, обнаруженные М.А.Казаряном [1]. Любое исследование таких галактик приводит к новым результатам, которые способствуют лучшему пониманию их физической природы. К их числу относятся галактики Kаз 26 и Kаз 73, каждая из которых обладает звездообразным ядром, хорошо видимым на фотографиях, приведенных в [2,3]. Кроме того, ядро первой из них является самым голубым объектом среди ядер галактик, красные смещения которых близки к ее красному смещению (см. ниже).

Что касается галактики Kаз 73, то она в [3] была отнесена к числу галактик типа Sy2. Ниже мы покажем, что она является лайнером, как принято, обозначаемым через Sy3. Так что Kаз 73 пополняет ряды лайнеров, которых среди галактик типа Сейферта сравнительно мало, всего 13.9% [4].

Обе галактики изучались неоднократно. Результаты исследования Kаз 26 приведены в основном в [1,2,5,6], а Kаз 73 - в [1,3,7].

В настоящей работе для Kаз 26 впервые приводятся результаты спектральных наблюдений, проведенных в 1981г. на 6-м телескопе САО РАН, а также другие новые данные. Для Kаз 73 приводятся данные спектральных наблюдений, проведенных на 6-м телескопе в 1978г.

2. *Наблюдательный материал*. Как было отмечено выше, все спектры, которые использовались в работе, были получены на 6-м телескопе САО РАН одним из авторов (М.А.К.). Данные о них приведены в табл.1. Часть спектров, содержащихся в ней использовалась в [7] для определения эквивалентных ширин линий и относительных интенсивностей

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

№ Галактики	Дата наблюдения	Спектрограф	Светоприемная аппаратура	Экспозиция (мин)	Спектральная область (Å)	Количество спектров
Kaz 26	30.X.1981г.	UAGS	Сканер	9	5650-7100	2
	31.X.1981г.	"	"	6	4320-5750	2
	"	"	"	6	3350-4780	2
Kaz 73	1.VII.1978г.	СП-160	ЭОП-М9ЩВ	10	7170-5750	1
	"	"	"	10	6200-4800	1
	4.VII.1978г.	"	"	10	5150-3700	1
	"	"	"	5	"	1
	"	"	"	5	7170-5750	1

эмиссионных линий. Результаты подробного исследования этих спектров впервые представлены в настоящей статье.

Щели спектрографов UAGS и СП-160 проходили через яркие центральные части галактик. Дисперсия спектрографов UAGS и СП-160-100 Å/мм и 65 Å/мм соответственно.

3. *Эквивалентные ширины, полуширины линий и относительные интенсивности эмиссионных линий.* В спектре ядра галактики Kaz 26 наблюдаются линии [SII] $\lambda\lambda$ 6731, 6717; [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548, H_{α} , [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, H_{β} , H_{γ} и [OII] λ 3727. Средние значения относительных интенсивностей эмиссионных линий, эквивалентных ширин и полуширин линий приведены в табл.2. Для области H_{γ} получены четыре спектра, которые позволяют определить среднюю квадратическую ошибку данных для линии H_{γ} . Среднеквадратические ошибки средних величин для

Таблица 2

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ, ПОЛУШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ KAZ 26

Ион	λ_0	$W_{\lambda}(\text{Å})$		$I_{\lambda}/I_{H\beta}$		FWHM (км/с) Наст. работа
		Работа [2]	Наст. работа	Работа [2]	Наст. работа	
[SII]	6731	8.3	+	0.45	1.12	210
[SII]	6717	9.5	+	0.61	1	310
[NII]	6584	39	+	2.5	5.04	220
H_{α}	6563	70	+	5.3	11.76	240
[NII]	6548	12	+	0.86	1.44	250
[OIII]	5007	6.5	10.8	0.39	0.56	290
[OIII]	4959	2.2	4.1	0.14	0.18	340
H_{β}	4861	14.1	21.4	1	1	320
H_{γ}	4340	4.2	6.5	0.39	0.47	360
[OII]	3727	9.1	22.5	2.1	0.77	530

относительной интенсивности, эквивалентной ширины и полуширины линии H_γ равны ± 0.04 , $\pm 0.6\text{\AA}$, $\pm 18\text{ км/с}$ соответственно. Судя по этим данным, можно считать, что ошибки наблюдений других линий будут находиться в этих же пределах. Длинноволновая часть непрерывного спектра ядра галактики Kaz 26 была очень слабой, поэтому для линий [SII] $\lambda\lambda$ 6731, 6717, [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548 не были определены эквивалентные ширины. В табл.2 их места отмечены крестиками, в знак того, что они присутствуют в спектре. Для каждой из этих линий определена лишь полуширина. На рис.1 приведены профили остальных линий ядра Kaz 26.

В спектре ядра галактики Kaz 73 наблюдаются эмиссионные линии [SII] $\lambda\lambda$ 6731, 6717, [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548, H_α , [OI] $\lambda\lambda$ 6364, 6300, [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, [OII] λ 3727. Линии H_p , H_γ , H_δ , H_ϵ , H_z и H_{10} наблюдаются как в эмиссии, так и в поглощении, линии H и K CaII, а также D_1 и D_2 NaI получились в поглощении. Компонент поглощения линии H_p , по сравнению с эмиссионным компонентом, очень слабый, так что при определении относительных интенсивностей линий им можно пренебречь. На рис.2 приведены профили линий ядра галактики Kaz 73. Контур каждой из линий $H_p - H_{10}$ в спектре ядра галактики Kaz 73 состоит из сравнительно узкого эмиссионного и широкого абсорбционного компонентов, поэтому целесообразно вычислить для их абсорбционных компонентов скорости расширения на уровне непрерывного спектра (HWI_0). Такая величина была определена также для эмиссионной линии [OIII] λ 5007, так как ее контур состоит из верхней узкой и нижней широкой частей, для ее нижней части получилась довольно большая скорость расширения, $HWI_0 = 900\text{ км/с}$.

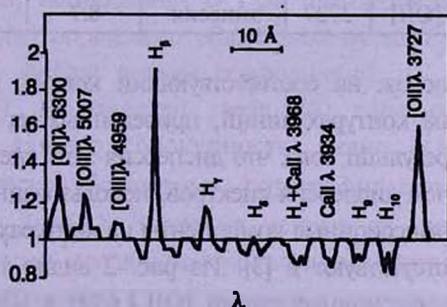
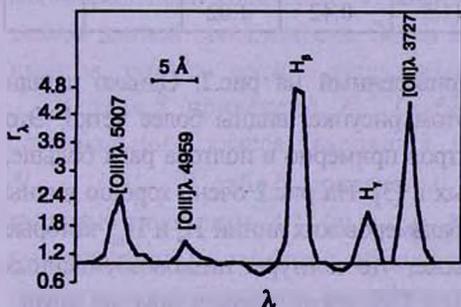


Рис.1. Профили линий ядра галактики Kaz 26. Рис.2. Профили линий ядра галактики Kaz 73.

В табл.3, кроме HWI_0 , приведены также эквивалентные ширины, относительные интенсивности и полуширины линий.

Коротковолновые линии, а также линия [OI] λ 6300, хорошо выявляются в спектре ядра Kaz 73, полученном с экспозицией 10 мин, а длинноволновые линии [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548 и H_α - в спектре с экспозицией 5 мин. Результаты, приведенные в табл.3, соответствуют обработкам этих спектров. Контур для 8 линий, наблюдавшихся в спектре ядра галактики Kaz 73, приведены в [3] и были построены по наблюдениям со сканером. Каждый из них очень

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ, ПОЛУШИРИНЫ И
ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ KAZ 73

Ион	λ_0	Эмиссия или абсорбция	$W_\lambda(\text{Å})$		$I_\lambda/I_{H\beta}$		FWHM (км/с)	HWI ₀ (км/с)
			Работа [3]	Наст. работа	Работа [3]	Наст. работа		
[SII]	6731	эмиссия	9.7	12.4	1.0	0.99	420	
[SII]	6717	"	9.3	12.5	0.95	0.9	350	
[NII]	6584	"	49.2	26.2	5.09	2.54	325	
H _α	6563	"	76.4	56.4	7.38	4.82	460	
[NII]	6548	"	17.4		1.71			
[OI]	6300	"	-	3.3	-	0.16	470	
[OII]	5007	"	5.6	2.4	0.3	0.39	400	900
[OIII]	4959	"	1.8	0.9	0.1	0.12		
H _γ	4861	"	9.0	5.2	1	1	400	
H _γ	4861	абсорбция	3.1	0.6	-	-		1200
H _γ	4340	эмиссия	2.6	1.2	0.35	0.24		
H _γ	4340	абсорбция	2.5	0.7	-	-		1150
H _β	4102	эмиссия	0.8	0.7	0.13	0.23		
H _β	4102	абсорбция	2.5	1.3	-	-		
H _β	3970	эмиссия	-	0.2	-	+		
H _β	3970	абсорбция	2.0	2.2	-	-		1100
CaII	3968	"					-	-
CaII	3934	"	2.0	1.5	-	-		650
H _δ	3835	эмиссия	-	+	-	+		
H _δ	3835	абсорбция	-	1.4	-	-		750
H ₁₀	3798	эмиссия	-	+	-	+		
H ₁₀	3798	абсорбция	-	2.0	-	-		750
[OII]	3727	эмиссия	8.7	11.5	0.42	1.02		

похож на соответствующий контур, приведенный на рис.2. Однако детали на контурах линий, приведенных на этом рисунке, видны более четко. Это результат того, что дисперсия этих спектров примерно в полтора раза больше, чем дисперсия спектров, использованных в [3]. На рис.2 очень хорошо видны эмиссионные компоненты на контурах бальмеровских линий H_γ и H₁₀, которые отсутствуют в [3]. Из рис. 2 видно также, что контуры низковозбужденных эмиссионных линий [OI] λ 6300 и [OII] λ 3727 очень похожи друг на друга.

4. *Электронная плотность и масса газовой составляющей галактик.* Электронная плотность газовой составляющей галактик была определена из отношения интенсивностей запрещенных линий [SII] λλ 6731, 6717, $R = I_{[SII]\lambda 6717} / I_{[SII]\lambda 6731}$. Те же параметры были вычислены и для I сгущения Kаз 26 с использованием данных, приведенных в работе [5].

Используя теоретическую зависимость между R и n_e для $T_e = 10000^\circ \text{K}$ [8], мы определили электронную концентрацию газовой составляющей этих галактик. Значения масс газовой составляющей галактик определены методом, приведенным в [9]. Определен также эффективный радиус объема,

в котором сосредоточена газовая составляющая. Вычислено также количество L_c -квантов (N_{Lc}), из наблюдений. Все эти данные приведены в табл.4.

Таблица 4

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИССЛЕДОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

№ по [1]	R	n_e (см ⁻³)	F _{набл.} (эрг/см ² .с)	$L_{H\beta}$ (эрг/с)	$V_{\text{зв}}$ (см ³)	M (M_{\odot})	$r_{\text{зв}}$ (пк)	N_{Lc}
26	0.89	1100	1.6×10^{-13}	5.8×10^{40}	4.3×10^{50}	3.9×10^5	15.1	1.6×10^{33}
26(1)	0.97	800	4.4×10^{-15}	1.6×10^{39}	2.1×10^{51}	1.5×10^4	5.5	4.4×10^{31}
73	0.94	900	4×10^{-14}	1.6×10^{39}	1.7×10^{50}	1.3×10^4	5.2	4.4×10^{32}

5. *Определение числа звезд, обеспечивающих свечение газовой составляющей ядер галактик.* Для решения этой задачи по методу Занстра определялась средняя температура совокупностей звезд, при помощи линии H_{β} . Используя полученные температуры, мы определили количество звезд, которое обеспечивает свечение газовой составляющей ядер галактик Kaz 26 и Kaz 73, а также 1-го сгущения Kaz 26. Считая, что звезды принадлежат к главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела, оценивался средний спектральный класс и абсолютная звездная величина. Данные приведены в табл.5. В [11] дана таблица, которая устанавливает зависимость между температурой и количеством L_c -квантов, испускаемых при данной температуре с 1 см² поверхности звезды. Используя данные этой таблицы, для каждого значения температуры, приведенной в табл.5, мы определили количество L_c -квантов, испускаемых с 1 см² поверхности звезды данной совокупности. Затем было определено общее количество L_c -квантов, которое должно испускаться звездой данной совокупности.

В табл.5 приведено N_{Lc} (набл.). Количество звезд (N) данного спектрального класса, входящих в данную совокупность, равно $N = N_{Lc(\text{набл.})} / N_{Lc}$. В табл.5 приведены также абсолютные фотографические звездные величины $M_{\text{ф}}$ (выч.) и $M_{\text{ф}}$ (набл.). Значения первых из них вычисляются и являются абсолютными звездными величинами звезд совокупностей. Значения вторых определяются из наблюдений и являются

Таблица 5

ДААННЫЕ ОБРАЗОВАНИЙ И ЗВЕЗД, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ
СВЕЧЕНИЕ ГАЗОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОБРАЗОВАНИЙ

№ по [1]	$T^*(H_{\beta})$	Спектр. класс	$M^*_{\text{ф}}$	$R^*(R_{\odot})$	N_{Lc} $\times 10^{-46}$	N_{Lc} (набл.) $\times 10^{-52}$	N $\times 10^5$	$M_{\text{ф}}$ (выч.)	$M_{\text{ф}}$ (набл.)
26	2×10^4	B0	-3 ^m .7	9.2	22.7	16	7	-18 ^m .31	-19 ^m .7
26(1)	1.9×10^4	B2	-2 ^m .8	6.5	9.8	0.4	0.5	-14 ^m .55	-16 ^m .7
73	1.7×10^4	B3	-2 ^m .0	4.8	3.4	4.4	1.3	-14 ^m .79	-17 ^m .5

абсолютными звездными величинами образований.

6. *Определение степени ионизации газа в галактиках.* Для галактики Kaz 26 имеются радионаблюдения в линии 21 см нейтрального водорода [12]. Используя эти данные, можно вычислить среднее количество атомов нейтрального водорода в 1 см^3 . Для этой цели из [12] взяты $M_H = 2.2 \times 10^9 M_\odot$, $\sigma_H = 2.16 \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$, $D = 16.2 \text{ кпк}$, где M_H - масса нейтрального водорода, σ_H - масса нейтрального водорода в столбце с основанием 1 см^2 и высотой, равной диаметру (D) галактики.

При получении N_1 были использованы следующие простые соотношения: $N_1 = \sigma_H / m_H D$ и $N_1 = M_H / V m_H$, где V - объем галактики, а m_H - масса атома водорода. При вышеприведенных данных: $N_1 = 0.03$ и $N_1 = 0.04$ соответственно. Используя среднее значение этих двух величин: $N_1 = 0.035$, для средней степени ионизации газовой составляющей ядра галактики Kaz 26 получаем: $(N_p / N_1) = 3.1 \times 10^4$. При этом мы предполагали, что полученное среднее значение нейтрального водорода для всей галактики относится и к газовой составляющей ядра.

Для сравнения этой величины с таковой, полученной теоретическим путем, лучше всего использовать формулу, приведенную в [13] для средней степени ионизации. Она имеет вид

$$(N_p / N_1) = 20 U(Sp) N_e^{1/3},$$

где $U(Sp) = s_e N_e^{2/3} = 1.23 \times 10^{-7} (R_e / R_\odot)^{2/3} N_L^{1/3} \text{ нс/см}^2$, s_e - радиус зоны НII вокруг освещающей звезды с радиусом (R_e / R_\odot) , N_e - электронная концентрация газовой составляющей данного объекта, N_L - количество L_e - квантов, излученных 1 см^2 поверхности звезды за 1с.

Такую степень ионизации создает вокруг себя каждая звезда вышеотмеченных совокупностей, что принимается как средняя степень ионизации газовой составляющей данного объекта.

Результаты вычислений (N_p / N_1) приведены в табл.6. В частности, для Kaz 26 эта величина на один порядок меньше по сравнению с данными, полученными из наблюдений.

Такое различие является результатом того, что при определении из наблюдений степени ионизации газовой составляющей ядра галактики

Таблица 6

СТЕПЕНЬ ИОНИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

№ по [1]	$U(Sp)$	(N_p / N_1) (теор.)	(N_p / N_1) (набл.)
26	19.04	3.9×10^3	3.1×10^4
26(1)	14.36	2.7×10^3	-
73	10.1	2×10^3	-

Kaz 26 в качестве плотности нейтрального водорода использовалось значение N_1 . По всей вероятности, плотность нейтрального водорода в этой области на порядок выше.

7. *Обсуждение результатов.* Для ядер изученных галактик в [1] приведены СМ-характеристики, которые у обеих галактик одинаковы, s1. Это означает, что они обладают сильным УФ-избытком. *UBV*-фотометрия галактики Kaz 26 показала, что как ее ядро, так и ее центральная область, т.е. ядро со своим окружением, очень голубые. Для них в [2,14] приведены величины $U-B$, которые равны $-1^m.12$ и $-0^m.86$, соответственно. Как было отмечено выше, ядро Kaz 26 и ее центральная область являются самыми голубыми объектами среди галактик с УФ-избытком, имеющими красные смещения, близкие к красному смещению самой галактики, $z = 0.0137$. На рис.3 приведена зависимость между $U-B$ и z для галактик Маркаряна, красные смещения которых не превосходят 0.03. Данные были взяты из каталога [15]. На этом рисунке нанесены также данные ядра и центральной области Kaz 26, обозначенные кружочком и крестиком соответственно.

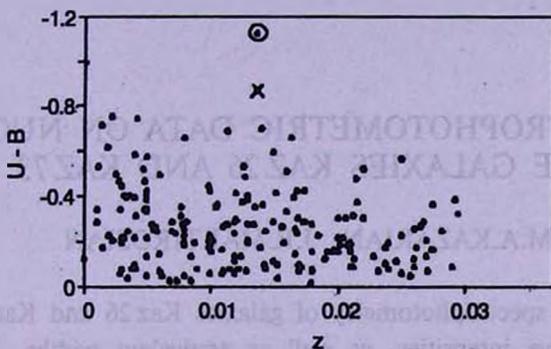


Рис.3. Зависимость между величинами $U-B$ и z для галактики Маркаряна, кружочком и крестиком обозначены соответственно ядро и центральная область галактики Kaz 26.

Из рис.3 видно, что среди этих галактик ядро и центральная область Kaz 26 выделяются своими низкими значениями величины $U-B$.

Полуширины линий и ширины линий на уровне непрерывного спектра ядер Kaz 26 и Kaz 73 приведены впервые в табл.2 и 3. При этом не учтено влияние инструментальных профилей линий. Эти величины определены при помощи линий неба, полученных на соответствующих спектрах Kaz 26 и Kaz 73, которые оказались 150 км/с и 100 км/с. После учета поправки за инструментальный профиль линий, для линий Kaz 26 они будут такими же малыми, как и для "starburst" галактик. В случае Kaz 73 после учета такой поправки полуширины линий останутся довольно широкими, что характерно для галактик типа Сейферта. Как было отмечено выше, Kaz 73 была отнесена к числу галактик типа Sy2. В действительности она является лайнером, так как отношения интенсивностей линий $I_{\text{опр.6300}}/I_{\text{опр.5007}} \geq 1/3$ и $I_{\text{опр.3727}}/I_{\text{опр.5007}}$

≥ 1 удовлетворяют критериям для лайнеров, приведенных в [16].

Таким образом, по своим физическим особенностям ядро галактики Kaz 26 является "Starburst" галактикой, а ядро Kaz 73 - лайнером. Сравнение данных эквивалентных ширин линий и относительных интенсивностей эмиссионных линий, приведенных в табл.3 для разных времен наблюдений, показывает, что они не совпадают. Из табл.2 видно, что значения эквивалентных ширин и относительных интенсивностей линий, полученные в настоящей работе, более высокие. Например, для линии H_{γ} они отличаются примерно на 50%, а их ошибки, приведенные в [2] и в настоящей работе, меняются от 8% до 15%.

Данные ядра Kaz 73, приведенные в табл.3, также довольно сильно отличаются друг от друга. По-видимому, такие различия являются результатом переменности интенсивностей линий и непрерывных спектров ядер этих галактик.

Ереванский государственный университет, Армения

NEW SPECTROPHOTOMETRIC DATA ON NUCLEI OF THE GALAXIES KAZ 26 AND KAZ 73

M.A.KAZARIAN, J.R.MARTIROSIAN

The results of spectrophotometry of galaxies Kaz 26 and Kaz 73 are presented. The relative intensities, as well as equivalent widths, FWHM and HWI_{λ} of emission lines are calculated. The electron density and mass of the gaseous components of the nuclei of these galaxies are obtained. The quantity of stars, which ensure their luminous gaseous component of the nuclei of galaxies as well as degree of ionization were obtained. It is concluded that the galaxy Kaz 26 by physical properties is similar to the "Starburst" galaxies. It is shown that the galaxy Kaz 73 is a LINER (Sy3).

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Казарян, *Астрофизика*, 15, 5, 1979.
2. М.А.Казарян, В.С.Тамазян, *Астрофизика*, 18, 192, 1982.
3. М.А.Казарян, Э.С.Казарян, *Астрофизика*, 22, 431, 1985.

4. В.А.Липовецкий, С.И.Неизвестный, О.М.Неизвестная, Каталог сейфертовских галактик, Сообщ. САО, 55, 5, 1987.
5. М.А.Казарян, В.С.Тамазян, Астрофизика, 36, 363, 1993.
6. J.Shuder, D.Osterbrock, Astrophys. J., 250, 55, 1981.
7. М.А.Казарян, Э.Е.Хачикян, Вопросы теории сверхплотных небесных тел, Изд. Ереванского университета, Ереван, 1984, с.195-214.
8. И.В.Носов, Астрон. циркуляр, 1050, 1979.
9. Э.А.Дибай, В.И.Проник, Астрофизика, 1, 78, 1965.
10. Д.Я.Мартынов, Курс практической астрофизики, Наука, М, 1977.
11. D.C.Morton, Astrophys. J., 158, 629, 1969.
12. V.S.Tamazian, Astron, Astrophys. Suppl. Ser., 139, 537, 1999.
13. С.А.Каплан, С.Б.Пикельнер, Межзвездная среда, ГИЗ физ.-мат. литературы, М., 1963.
14. V.S.Tamazian, G.Theureau, N.Coudreau-Durand, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 126, 471, 1997.
15. J.M.Mazzarella, V.A.Balzano, A Catalog of Markarian Galaxies, Astrophys. J. Suppl. Ser., 62, 751, 1986.
16. Т.М.Некман, Astron. Astrophys., 87, 152, 1980.