

УДК: 524.37

## СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ТРЕХ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

М.А.КАЗАРЯН<sup>1</sup>, ЭЛЬМА С.ПАРСАМЯН<sup>2</sup>, ЛАУРА ПАРРАО<sup>3</sup>

Поступила 5 апреля 2000

Приводятся результаты спектрального исследования трех возможных планетарных туманностей K4-53, K4-55 и K4-57. Показано, что K4-53 и K4-55 являются планетарными туманностями, а K4-57 с большой вероятностью может быть отнесена к таковым. Методом Амбарцумяна определены температуры ядер этих туманностей. В области  $\lambda \leq 912\text{A}$  определены оптические толщины  $L_c$ -квантов. В планетарной туманности K4-55 наблюдается аномально высокое содержание азота.

1. *Введение.* Среди туманностей, обнаруженных Когоутеком [1] с помощью камеры Шмидта и 4-градусной призмы обсерватории Hamburg-Bergedorf, есть и такие, которые были отнесены к возможным планетарным туманностям. Из списка таких туманностей для более детального исследования и выяснения их истинной природы, нами были выбраны три из них: K4-53, K4-55 и K4-57. Данные об этих туманностях приведены в табл.1[1].

*Таблица 1*

Туманности	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	Размеры	H
K4-53	20 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> .6	+37°40'31"	22" x 19"	11 <sup>m</sup> .5
K4-55	20 45 10.0	+44 39 16	33 x 22	11.5
K4-57	22 48 34.9	+58 29 04	5	11

В первом столбце приведены обозначения туманностей, во втором и третьем - экваториальные координаты туманностей для эпохи 2000г., в четвертом - величины угловых размеров, в пятом - интегральная яркость туманностей, оцененная на красных паломарских картах [1].

2. *Наблюдательный материал.* Наблюдения были проведены одним из авторов (Э.С.П.) на 2.12м телескопе обсерватории Guillermo Haro, (Кананеа, Мексика). Был использован The Landessternwarte Faint Object Spectrograf and Camera (LFOS) в фокусе Кассегрена. LFOS был специально сконструирован в Гейдельберге (Германия) для поисков и идентификации в

оптическом диапазоне рентгеновских инсточников, обнаруженных на ROSAT. Приемная аппаратура имеет фокальный редуктор, две гризмы, очувствленные в синем и красном диапазоне длин волн. Синяя гризма покрывает спектральную область от  $\lambda 4500$  до  $\lambda 7000\text{A}$ , с дисперсией  $5.5 \text{ A/pixel}$ , а красная - от  $\lambda 4500\text{A}$  до  $\lambda 9000\text{A}$ , с дисперсией  $7.5 \text{ A/pixel}$ . Был использован детектор - Thomson 376x584 CCD. В настоящих наблюдениях мы использовали синюю гризму и щель ( $3' \times 360''$ ) с ориентацией N-S, дающую разрешение примерно  $15\text{A}$ . Для стандартизации потоков была использована стандартная спектрофотометрическая звезда +BD40<sup>0</sup>4032[2]. В табл.2 приведены данные об условиях наблюдений этих туманностей.

Таблица 2

### НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ОБ УСЛОВИЯХ НАБЛЮДЕНИЙ

Туманности	Дата	Эксп. (мин)	Колич. спектр.
K4-53	5.07.1995	40	1
K4-55	5.07.1995	40	1
K4-57	7.07.1995	40	1

3. *Результаты наблюдений.* В спектрах туманностей наблюдался ряд эмиссионных линий, характерных для планетарных туманностей: [SII]  $\lambda\lambda 6731, 6717$ , [NII]  $\lambda\lambda 6584, 6548$ , [OIII]  $\lambda\lambda 5007, 4959$ ,  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ , HeII  $\lambda 4686$  и др. (рис.1-3). Вследствие малой чувствительности приемной аппаратуры в коротковолновой области, линии короче  $H_{\beta}$  на спектрах не измерялись. Из-за низкого разрешения, линии  $H_{\alpha}$ , [NII]  $\lambda\lambda 6584, 6548$

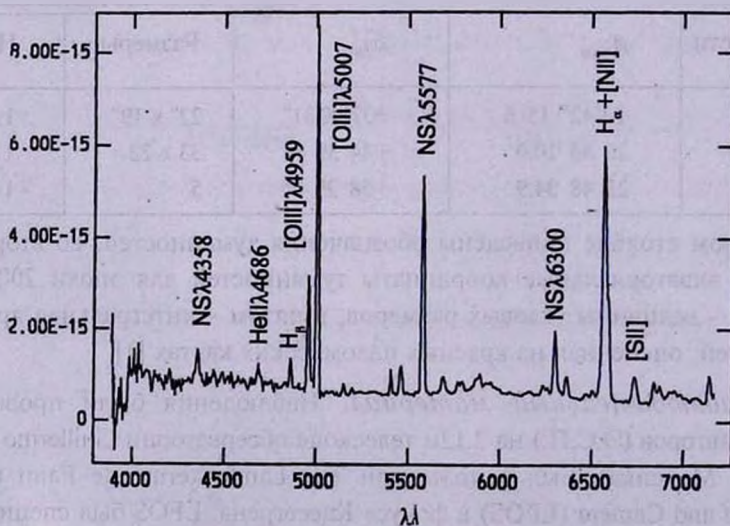


Рис.1. Спектрограмма туманности K4-53.

сливались. По той же причине линия  $H_\gamma$  сливается с линией неба  $\lambda 4358$ . В этих туманностях наблюдаются непрерывные спектры, принадлежащие их ядрам. Во всех трех туманностях линии гелия  $HeII \lambda 4686$  яркие и широкие по сравнению с линиями, принадлежащими только туманностям, как, например,  $N_1$ ,  $N_2$ . В этих туманностях наблюдаются также широкие линии  $NII \lambda \lambda 5688-5680$  и  $[CII] \lambda 5151$ . Такие широкие линии обычно наблюдаются у звезд Вольфа-Райе (WR). В то же время не исключено, что в образовании этих линий свой вклад вносят и туманности. Линия  $SII \lambda 6092$ , которая наблюдалась в туманностях K4-55 и K4-57, с большой вероятностью, принадлежит их ядрам. Судя по интенсивности линий  $NII \lambda \lambda 5688-5680$ , ядро туманности K4-55 можно отнести к азотной последовательности (WRN).

Величины эквивалентных ширин и относительные интенсивности наблюдавшихся линий приведены в табл.3. В случае blends дана их суммарная интенсивность. Для сравнения приведены сводные данные из общего каталога планетарных туманностей Аккер и др. [3]. В каталоге [3] для линий  $[OIII] \lambda \lambda 5007, 4959$ , теоретическое отношение интенсивностей которых равно 3, приводятся значения интенсивностей обеих линий, что позволяет судить о

Таблица 3

### ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ

Ион	$\lambda_0$	K4-53			K4-55			K4-57		
		$W_\lambda$ (A)	$I_\lambda/I_{np}$	$I_\lambda/I_{np}$ [3]	$W_\lambda$ (A)	$I_\lambda/I_{np}$	$I_\lambda/I_{np}$ [3]	$W_\lambda(A)$	$I_\lambda/I_{np}$	$I_\lambda/I_{np}$ [3]
[SII]	6731	36.0	0.48		44.9	1.07	2.88	8.5	0.13	
[SII]	6717						4.25			
[NII]	6584	478.9	7.02	1.08	845.8	21.81	57.0	663.3	10.32	8.34
H $\alpha$	6563			8.4			8.0			
[NII]	6548									
[SII]	6092				+	+		12.8	0.25	
[NII]	5680	13.9	0.52		6.6	0.67		+	+	
[CII]	5151	+	+		+	+		7.3	0.35	
[OIII]	5007	252.4	11.8	8.12	56.5	10.87	14.0	28.7	1.87	0.91
[OIII]	4959	80.6	4.06		18.7	4.01		10.3	0.79	
H $\beta$	4861	27.9	1.00	1.00	3.4	1.00	1.00	9.8	1.00	1.00
HeII	4686	11.8	1.32		2.1	0.96		6.5	0.95	

погрешностях полученных нами данных, т.е. насколько вычисленные значения отличаются от теоретического. Как видно из табл.3, отклонения наших наблюдений для этих линий меняются в пределах 3-13%, что является удовлетворительной точностью.

4. *Температуры ядер и оптические толщины туманностей.* Благодаря тому, что одновременно со спектрами планетарных туманностей были получены и спектры ядер, удалось оценить температуры самих ядер. Во всех изученных спектрах линии  $H_{\beta}$  и  $HeII \lambda 4686$  не являлись блендами, благодаря чему стало возможным определить температуры ядер изучаемых туманностей методами Занстра и Амбарцумяна [4].

В табл.4 приведены результаты вычислений, где  $T(H_{\beta})$  - температура ядра, определенная методом Занстра по линии  $H_{\beta}$ , а  $T(\lambda 4686)$  - методом Амбарцумяна по линии  $HeII$ .

Таблица 4

## ТЕМПЕРАТУРЫ ЯДЕР И ОПТИЧЕСКИЕ ТОЛЩИНЫ ТУМАННОСТЕЙ

Туманность	$T(H_{\beta})$	$T(\lambda 4686)$	$\tau_c$
K4-53	21900°K	60000°K	0.03
K4-55	16600	50000	0.01
K4-57	18600	57500	0.05

Как следует из табл.4, приведенные температуры довольно сильно отличаются друг от друга, в частности, температуры определенные по линии гелия  $\lambda 4686$  значительно выше температур, определенных по линии водорода. Эти различия можно объяснить следующим образом: формулы, приведенные в [4], были получены при предположении, что  $L_c$ -кванты ( $\lambda \leq 912A$ ) полностью поглощаются в оболочках ядер и в их туманностях (метод Занстра), а  $L_c$ -кванты с  $\lambda \leq 228$  полностью поглощаются ионизованным гелием (метод Амбарцумяна). В исследуемых нами туманностях, по всей вероятности, имеет место второе предположение. Первое предположение (метод Занстра) не имеет место, так как  $L_c$ -кванты в области  $\lambda \leq 912A$  свободно уходят из оболочек ядер и туманностей, т.е. оптическая толщина  $L_c$ -квантов в этой области  $\tau_c < 1$ . В табл.4 приведены также значения оптических толщин  $\tau_c$ ,  $L_c$ -квантов для оболочек ядер и туманностей вместе взятых. При вычислении  $\tau_c$ , было принято, что температура  $T(\lambda 4686)$  является наиболее близкой к реальной. При таком предположении формула для определения  $\tau_c$  будет иметь вид:

$$(1 - e^{-\tau_c}) \int_{x_0}^{\infty} \frac{x^2 dx}{e^x - 1} = q(H_\beta) A(H_\beta) \frac{[x(H_\beta)]^3}{e^{x(H_\beta)} - 1},$$

$$\text{где } x = \frac{h\nu}{KT_{4686}}, \quad x_0 = \frac{h\nu_0}{KT_{4686}}, \quad x(H_\beta) = \frac{h\nu_{H_\beta}}{KT_{4686}},$$

$\nu$  и  $\nu_0$  – частоты лаймановского континуума и его предела. Коэффициент  $q(H_\beta)$ , при электронной температуре  $T_e = 10^4 \text{K}$ , равен 10.97, а  $A(H_\beta)$  определяется из наблюдений.

5. *Обсуждение результатов.* Как было отмечено выше, ядра туманностей K4-53, K4-55, K4-57 являются звездами типа WR, из них K4-55 принадлежит к азотной последовательности. Присутствие в этих туманностях линии HeII  $\lambda 4686$  свидетельствует о высокой степени возбужденности в оболочках ядер и в туманностях. Наличие этой линии в туманностях позволяет определить, близкие к истинной, температуры ядер туманностей, что в свою очередь позволило определить оптическую толщину –  $\tau_c$  в области лаймановского континуума ( $\lambda \leq 912 \text{A}$ ). Полученные низкие значения температур ядер, определенные по линии  $H_\beta$  методом Занстра, говорят о том, что подавляющее большинство  $L_c$  - квантов в области  $\lambda \leq 912 \text{A}$  уходит из туманности. Оптические толщины –  $\tau_c$ ,  $L_c$  - квантов в этой области оказались малыми (табл.4).

В туманности K4-55, как видно из рис.2, наблюдается аномально интенсивная линия азота [NII]  $\lambda 6584$ , которая блендировалась с линиями  $H_\alpha$  и [NII]  $\lambda 6548$ . В каталоге [3] приводятся значения интенсивностей отдельных линий [NII]  $\lambda 6584 \text{A}$  и  $H_\alpha$  в туманности K4-55. Отношения

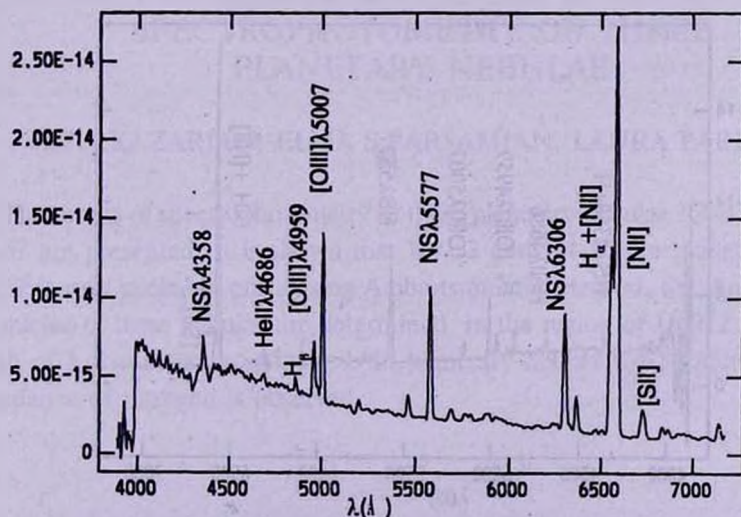


Рис.2 Спектрограмма туманности K4-55.

интенсивностей этих линий дают аномально высокое значение - 7.1. Суммарное значение относительных интенсивностей -  $[\text{NII}] + \text{H}_\alpha$ , согласно нашим наблюдениям (табл.3), примерно в 4 раза превосходит это значение. Такое различие трудно объяснить переменностью туманности, вероятнее всего это результат погрешностей наблюдений. Однако не подлежит сомнению, что содержание азота в туманности аномально высокое. Такое же аномально высокое содержание азота наблюдалось и в планетарной туманности KjPn8 [5]. Туманности KjPn 8 и K4-55 на диаграммах зависимостей  $\log I(\text{H}\alpha) / \log I([\text{NII}])$  от  $\log I(\text{H}\alpha) / \log I([\text{SII}])$  и  $\log I([\text{OIII}]) / \log I(\text{H}\alpha)$  от  $\log I([\text{NII}]) / \log I(\text{H}\alpha)$  (см. рис.4,5 [5]) попадают в область SNRs (остатков сверхновых). Как отмечено в работе [6], это означает, что в ионизации этих туманностей и их волокон доминирующую роль играют частицы высоких энергий. Результаты, полученные относительно KjPn 8 в работе Лопеса и др. [7] подсказывают, что туманность K4-55 также представляет интерес для детального исследования и может относиться к тому же редкому типу планетарных туманностей, к которым относится KjPn8.

Результаты изучения туманностей K4-53 и K4-55 не оставляют сомнения в принадлежности этих объектов к планетарным туманностям. Что касается K4-57, ядро которой типично для планетарных туманностей, а относительные интенсивности  $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$  близки по своим величинам к диффузным туманностям, одновременно является компактным объектом, похожим на звездообразные планетарные туманности. С большой вероятностью, K4-57 можно отнести к планетарным туманностям.

#### 6. Заключение. Спектральные исследования туманностей K4-53, K4-

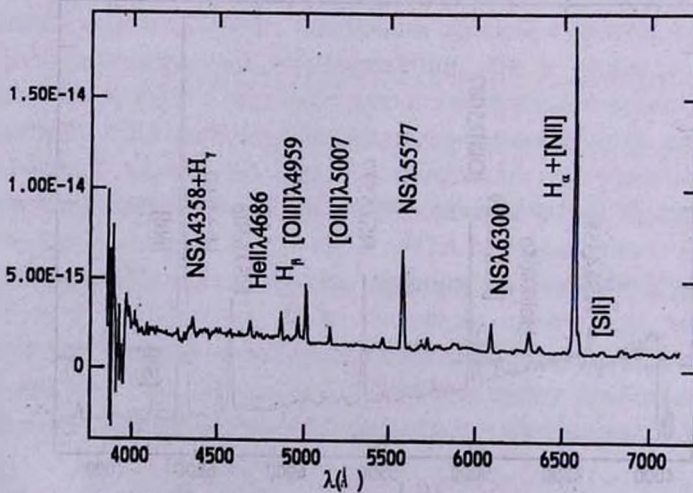


Рис.3. Спектрограмма туманности K4-57.

55 и К4-57 показали, что:

1. К4-53 и К4-55 являются планетарными туманностями. Что касается К4-57, относительные интенсивности  $N_1$ ,  $N_2$  которой характерны для диффузных туманностей, а внешне она имеет звездообразный вид, то ее, с большой вероятностью, можно отнести к планетарным туманностям.

2. Ядра туманностей К4-53, К4-55 и К4-57 являются звездами типа WR, причем ядро К4-55 относится к азотной последовательности.

3. При предположении о том, что  $L_c$  - кванты в области  $\lambda \leq 228 \text{ \AA}$  полностью поглощаются ионизованным гелием, определены близкие к реальным температуры ядер этих туманностей (метод Амбарцумяна [4]).

4. Определены оптические толщины  $L_c$  -квантов в области  $\lambda \leq 912 \text{ \AA}$ , которые свидетельствуют о том, что подавляющее большинство  $L_c$  - квантов уходят из туманности.

5. Наблюдается аномально высокое содержание азота в туманности К4-55, что делает ее уникальным объектом.

Один из авторов (Э.С.П) приносит благодарность ночным ассистентам обсерватории Guillermo Haro (Кананеа, Мексика) за помощь при наблюдениях.

<sup>1</sup>Ереванский государственный университет, Армения

<sup>2</sup>Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения

<sup>3</sup>Институт астрономии национального автономного университета Мексики (IAUNAM).

## SPECTROPHOTOMETRY OF THREE PLANETARY NEBULAE

M.A.KAZARIAN, ELMA S.PARSAMIAN, LAURA PARRAO

The results of spectrophotometry of three planetary nebulae K4-53, K4-55 and K4-57 are presented. It is shown that K4-53 and K4-55 are planetary nebulae, K4-57 is very probable one. Using Ambartsumian's method, the temperatures of the nuclei of these nebulae are determined. In the region of  $\lambda \leq 912 \text{ \AA}$  the optical depth of  $L_c$ -quantum is estimated. In planetary nebula K4-55 abnormally high abundance of nitrogen is observed.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *L.Kohoutek*, *Astron. Astrophys* **16**, 291, 1972.
2. *R.P.S.Stone*, *Astrophys. J.*, **218**, 767, 1977.
3. *A.Acker, F.Ochsenbeim, B.Stenholm et. al.*, *Strasbourg-Eso Catalogue of Galactic Planetary Nebulae, Part II*, 1992.
4. *В.В.Соболев*, *Теоретическая астрофизика*, Наука, М., 1967.
5. *М.А.Казарян, Э.С.Парсамян, Л.Паррао*, *Астрофизика*, **41**, 367, 1998.
6. *F.Sabbadin, S.Minello, A.Bianchini*, *Astron. Astrophys.* **60**, 147, 1977.
7. *J.A.Lopez, R.Vazquez, L.F.Rodriguez*, *Astrophys. J.*, **455**, L63, 1995.