

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ СЛАБЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Н. А. РАЗМАДЗЕ

К настоящему времени хорошо исследованы сравнительно яркие и крупные по размеру планетарные туманности. Большая же группа слабых планетарных туманностей, преимущественно имеющих очень малые угловые размеры, практически не изучена. Эти объекты, в основном, были обнаружены Р. Минковским по спектральным снимкам в $H\alpha$ лучах (фотопластинка Колак 103 а-Е плюс красный или оранжевый светофильтр), полученным с объективной призмой на 10 и 18 дюймовых короткофокусных камерах Шмидта [1]. На снимках планетарные туманности выходили в виде эмиссионной линии, подчас со следами непрерывного спектра. Для того, чтобы удостовериться в том, что обнаруженный объект является именно планетарной туманностью, а не, например, звездой Ve , Минковский получал также прямые снимки на больших длиннофокусных телескопах. По ним определялся вид изображения (точечный—звезды или размытый—туманности) и окончательно устанавливалась принадлежность заподозренного объекта к группе планетарных туманностей. В некоторых случаях, когда изображение было звездным, снимались также спектры в более широком интервале длин волн. По спектру получались дополнительные данные об исследуемом объекте.

На основе своих исследований Минковский установил координаты большого числа слабых планетарных туманностей. На сегодняшний день для этих туманностей в литературе кроме координат почти ничего не опубликовано. Нам представляется, что для этих объектов весьма важно получение дополнительных сведений. На актуальность изучения слабых планетарных туманностей указывал также Г. А. Гурзадян.

Вполне возможно, что наши суждения о планетарных туманностях односторонни в некотором смысле, т. к. основаны на данных лишь о ярких и крупных, т. е. удобных, в смысле получения наблюдательного материала, объектах. Придерживаясь положения о непрерывном расширении планетарной туманности, мы должны заключить, что разрабатываемые в настоящее время теории ее происхождения и развития базируются на физических характеристиках, в основном, определенных для объектов, которые обладают преимущественно следующими свойствами: находятся на последней стадии своего развития (это крупные по размеру туманности) или являются уникально яркими (сравнительно малые по размеру туман-

ности) или близки к нам. В отношении слабых и с малыми видимыми размерами планетарных туманностей можно сказать, что они в подавляющем большинстве случаев или далеки от нас или находятся на начальном этапе своего развития (имеется в виду расширение) или вообще являются абсолютно малыми по светимости и размеру планетарными туманностями.

Итак, с точки зрения всех этих предположений, несомненно очень важно исследование слабых планетарных туманностей. Ибо, изучая их, можно думать, что мы существенно расширяем наши знания о планетарных туманностях вообще, полнее охватывая все многообразие их свойств, находим недостающие звенья для теоретических построений.

В этом смысле целесообразно выполнить спектrophотометрическое исследование слабых планетарных туманностей. В результате такого исследования можно установить ряд важных физических характеристик: электронную температуру, степень возбуждения, температуру ядра, иметь суждение о плотности вещества в туманности и пр.

На 70 см менисковом телескопе Абастуманской астрофизической обсерватории с применением объективной призмы нами была получена серия спектрограмм 18 известных слабых планетарных туманностей, а также спектрограмм обнаруженной нами планетарной туманности $19^h 21^m; +29^\circ$. В таблице 1 приведены координаты наблюдаемых туманностей. В первом столбце даны номера туманностей согласно каталогу планетарных туманностей Б. А. Воронцова-Вельяминова [2].

Таблица 1

№№	1900.0	
	α	δ
2	$0^h 13^m .4$	$+53^\circ 19'$
5	1 31 .2	+49 57
8	1 52 .5	+52 24
129	17 50 .4	+28 01
197	18 32 .4	-3 11
199	18 34 .9	-10 37
200	18 35 .7	-4 27
201	18 37 .4	-11 15
202	18 37 .9	-9 9
210	18 46 .4	+35 8
211	18 48 .7	-6 34
223	19 8 .9	+3 22
230	19 19 .7	+9 42
237	19 34 .7	+15 43
238	19 36 .4	+14 41
240	19 37 .7	+14 54
251	20 7 .2	+46 10
266	21 28 .7	+44 10
	19 21	+29

Линейная дисперсия, даваемая объективной призмой в примарном фокусе ($F=210$ см) упомянутого телескопа, равна $166 \text{ \AA}/\text{мм}$ около H_γ . Фотографирование спектров велось на пластинках Кодак ОаО и Ильффорд-Зенит. При фотографировании большей частью применялись полупочасовые экспозиции. Спектры снимались с расширением в пределах 0.1—

0.2 мм, т. к. предполагалось, что в подавляющем большинстве случаев туманности в масштабе применяемого нами телескопа будут иметь звездобразное изображение.

Стандартными звездами служили ϵ Персея и β Цефея, распределение энергии в непрерывном спектре которых хорошо известно в литературе [3, 4]. Звезды эти снимались при сильно диафрагмированном входном отверстии телескопа с экспозициями 3—10 минут. Зная распределение энергии в спектре ϵ Персея и β Цефея и принимая во внимание атмосферное ослабление по данным работ [5, 6], при обработке спектрограммы учитывали чувствительность аппаратуры, включая фотографическую пластинку.

Для каждой туманности мы получили в среднем по 3 негатива. Из них, для обработки, на основе визуального просмотра отбирались наиболее качественные. Измерение спектрограмм выполнено на регистрирующем микрофотометре МФ—4.

В таблице 2 приведены результаты окончательной обработки спектрограмм. В ней даны интенсивности лишь ярких эмиссионных линий туманностей, в интервале длин волн $3700—5000 \text{ \AA}$. Оценки интенсивности яркой линии $\lambda 5007$ [ОШ] не включены в таблицу, т. к. мы сочли их ненадежными в связи с тем, что указанная линия приходится на спектральный участок, в котором применяемые нами фотопластинки имеют весьма малое и неуверенно определяемое значение чувствительности. Интенсивность непрерывного спектра туманностей не определялась нами из-за его слабости.

Таблица 2

$\lambda(\text{ \AA})$	Элемент	2	5	8	129	197	199	201	202	210
4959	[OIII]	34.0	24.5	10.5	25.0	39.0	40.0	24.0	40.0	14.0
4861	HI	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
4740	[AIV]									
4711	[AIV]									
4686	HeII		6.8		4.6		7.8		9.1	
6411	NIII									
4634	NIII				1.8					
4542	HeII				1.4					
4472	HeI	0.10			1.9					
4388	HeI									
4363	[OIII]	0.46	2.2	5.3	2.4			0.96	5.3	
4340	HI	3.0	3.3	3.4	6.4			3.3	9.6	3.6
4267	CII				0.5					
4143	HeI									
4101	HI	1.4	3.2	1.7	4.1			1.8	7.9	2.4
4076	[SII]							1.6		
4069	[SII]				1.5					
4026	HeI									
4009	HeI									
3970	HI	1.6	3.5	2.5	6.5			1.7	6.4	4.3
3967	[NeIII]									
3926	HeI									
3889	HI	1.3	1.7	0.92	3.0			0.32		1.8
3869	[NeIII]	2.6	2.8	5.0	11.6			4.6	10.0	5.6
3835	HI									
3727	[OII]				10.0					30.0

Таблица 2 (продолжение)

$\lambda(A)$	Элемент	211	223	230	237	238	240	251	266	$19^h 21^m + 29^o$
4959	[OIII]	30.0	25.0	20.0	25.0	18.0	28.0	39.0	66.0	10.6
4861	HI	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
4740	[AIV]				3.4			1.3	0.77	
4711	[AIV]				3.3			1.2		
4686	HeII						3.4	2.6	0.87	
4641	NIII									
4634	NIII							1.0		
4542	HeII						2.6			
4472	HeI				2.6	1.2		1.0	0.20	2.1
4388	HeI				1.4					
4363	[OIII]	3.8		1.4	2.7	0.58	1.7	1.8	1.2	4.4
4340	HI	5.7		3.5	3.5	4.2	5.5	5.1	2.4	6.1
4267	CH									
4143	HeI				0.93					
4101	HI	3.3		5.2	2.0	2.1	4.0	2.6	1.3	3.7
4076	[SII]			4.0						
4069	[SII]	3.0		4.3	1.4		3.2	1.0		
4026	HeI				1.0			1.5		1.1
4009	HeI							1.8		
3970	HI	4.8		3.8	3.9	1.6	5.2	4.4	1.8	4.0
3967	[NeIII]									
3926	HeI							0.43		
3889	HI	2.6		1.5	1.9	1.5	1.6	1.3	1.1	2.2
3869	[NeIII]	7.9		4.2	9.2		4.8	0.67	4.6	6.4
3835	HI						1.2	0.38	1.0	
3727	[OH]									

В таблице 3 приведены электронные температуры T_e туманностей, вычисленные по соотношению интенсивностей линий [OIII] $\lambda\lambda 4363, 4959, 5007$ на основе известной формулы [7]:

$$\frac{J(\lambda_{4959} + \lambda_{5007})}{J(\lambda_{4363})} = 8.74e^{-\frac{33000}{T_e}}$$

При этом, для λ_{5007} нами бралась величина, равная утроенному значению интенсивности λ_{4959} . Это соотношение, как известно [8], весьма точно соблюдается в туманностях. Для туманностей, не вошедших в таблицу 3, исключая туманности 8 и $19^h 21^m$, λ_{4363} не вышла в спектре. О туманностях 8 и $19^h 21^m$ мы скажем ниже.

Просмотр таблицы 3 показывает, что снятые туманности, имеют, в основном, большие электронные температуры.

Из наблюдаемых нами туманностей, кроме трех (129, 210, 251), все оказались весьма маленькими, практически точечными объектами. Исследованные туманности, в основном, являются высоковозбужденными объектами. В спектрах семи из них (5, 129, 202, 240, 251, 266) наблюдается очень интенсивная эмиссия HeII λ_{4686} . Четырнадцать туманностей располагают сильной линией [NeIII] λ_{3869} , также характеризующей высокое возбуждение.

Среди туманностей, пожалуй, самыми интересными оказались 8 и $19^h 21^m$. У них очень интенсивна линия λ_{4363} и очень слабы линии N_1 и N_2 . Других туманностей с таким соотношением интенсивностей N_1, N_2

и λ_{4363} пока не известно. Обычно в туманностях отношение $J(N_1 + N_2)/J(\lambda_{4363})$ примерно более чем на порядок выше, чем у 8 и $19^h 21^m$. Для иллюстрации этого на рис. 1 приводим регистрограммы спектров планетарной туманности 8 и другой „нормальной“ звездообразной туманности, сфотографированной в совершенно аналогичных условиях.

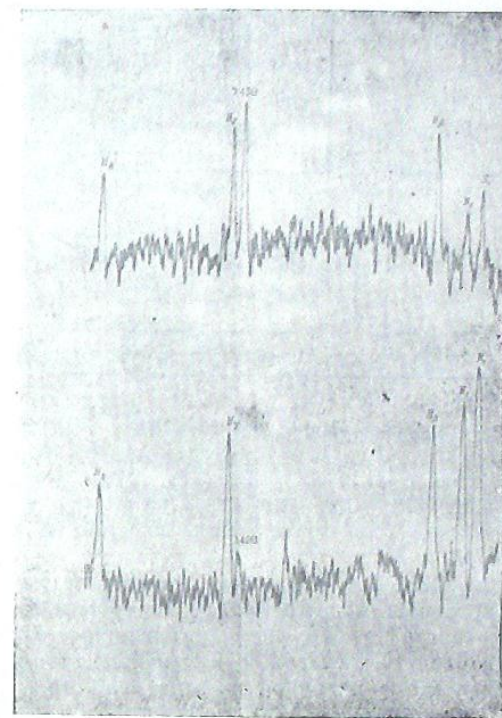


Рис. 1. Регистрограммы спектров планетарной туманности 8 (наверху) и другой „нормальной“, сфотографированной в совершенно аналогичных условиях

Таблица 3

Туманность	T_e
2	9400°
5	20300
129	21200
201	13500
202	26700
211	25700
230	17600
237	22800
238	12400
240	16500
251	14400
266	10200

Естественное объяснение данного явления можно найти в предположении высокой плотности вещества в туманности. При этом, надо полагать, резко возрастает число ударов второго рода между электронами и ионами ОИИ.

Для наглядности обратимся к представленной на рис. 2 схеме уровней ОИИ, соответствующих линиям N_1 , N_2 , $\lambda 4363$.

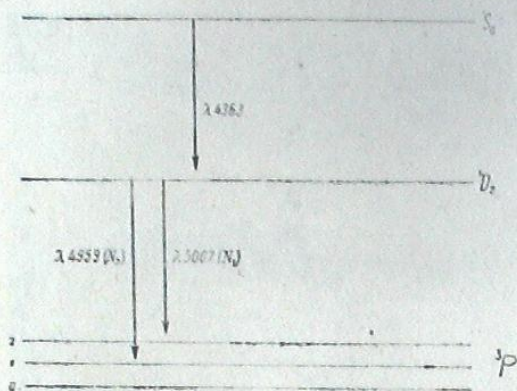


Рис. 2. Схема уровней ОИИ

Время жизни иона ОИИ в состоянии $1S_0$ равно 0.62 сек, в $1D_2$ — для излучения N_1 —48 сек, а N_2 —141 сек. Поэтому, естественно, что ташению ударами второго рода подвержено, по крайней мере в большей степени, излучение N_1 и N_2 .

Любопытно, хотя бы приблизительно оценить плотность в туманностях. Для случая ударов второго рода Аллером выведена формула, которая дает возможность по отношению интенсивностей $J(\lambda 4363)/J(N_1 + N_2)$ определить плотность электронов n_e или электронную температуру T_e при предварительном знании одной из этих величин [7]:

$$\frac{J(\lambda 4363)}{J(N_1 + N_2)} = 13,1 \cdot 10^{-10} \frac{1,01 + 2300 \frac{\sqrt{T_e}}{n_e}}{1,01 + 270000 \frac{\sqrt{T_e}}{n_e}}$$

Современные определения электронных температур планетарных туманностей дают для них значения в пределах от 10000 до 30000 градусов, причем изменение температуры в сторону увеличения считается вероятным [7, 8].

Подсчет по этой формуле электронной концентрации, при допущении крайних значений T_e 10000 и 30000 градусов, дает величины, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Туманность	n_e	
	$T_e = 10000^\circ$	$T_e = 30000^\circ$
8	$3 \cdot 10^7$	10^6
$19^A 21^m$	$7 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^5$

Наибольшее значение концентрации электронов среди уже изученных планетарных туманностей не превышает 10^6 электронов в кубическом сантиметре [7]. Электронная концентрация, как известно, при наличии полной ионизации водорода в туманности равна плотности протонов, т. е. практически—плотности вещества в туманности. Таким образом, можно считать, что названные объекты являются сверхплотными планетарными туманностями.

По-видимому, туманности 8 и $19^A 21^m$ имеют также и не малые T_e . (Эту мысль подсказал нам И. С. Шкловский). Действительно, помимо необычного соотношения интенсивностей $J(N_1 + N_2)/J(\lambda 4363)$, можно видеть, что в этих туманностях очень велико значение $J(\lambda 4363)/J(H\gamma)$ (см. таблицу 2 и рис. 1). Если сделать соответствующие выкладки, согласно опубликованным в [8] выражениям для интенсивностей $\lambda 4363$ и $H\gamma$, получим:

$$\frac{J(\lambda 4363)}{J(H\gamma)} \sim \frac{N_0^{++}}{n_e} \frac{T_e}{c \frac{k}{T_e}}$$

где N_0^{++} и n_e концентрация ионов ОИИ и электронов, а K положительная постоянная.

Как видим из этого соотношения, рост температуры должен обуславливать увеличение значения $J(\lambda 4363)/J(H\gamma)$. Повышение же электронной концентрации n_e в туманности, наоборот, уменьшает эту величину.

Среди исследованных нами туманностей обращают на себя внимание также следующие.

Планетарная туманность 129, которая располагает интенсивными линиями: $\lambda 3727$, принадлежащей иону ОИ с низким потенциалом ионизации и $\lambda 4686$ (HeII), характеризующей очень высокое возбуждение среды. Одновременное присутствие этих двух линий в спектре туманности говорит о сильной стратификации вещества по степени возбуждения.

Туманность 230, в спектре которой наблюдаются сравнительно интенсивные линии $\lambda \lambda 4069$ и 4076 . Их наличие может свидетельствовать об очень низкой степени возбуждения в туманности. Этому несколько противоречит отсутствие в спектре линии $\lambda 3727$ [ОИ], характеризующей также низкое возбуждение и присутствие сильной линии $\lambda 3869$ [NeIII], говорящей, наоборот, о высоком возбуждении.

Примечателен спектр планетарной туманности 237. Только в нем интенсивны линии HeI $\lambda \lambda 4026, 4143, 4388, 4472$.

У планетарной туманности 210 очень интенсивна линия $\lambda 3727$ [ОИ], в три раза превышающая по силе $H\beta$. Туманность эта сравнительно большого размера. Диаметр ее равен $20''$.

Нужно отметить, что объект под номером 200, имеет спектр типичный для звезды Вольф-Рафе (Sp=WN5). В спектре четко видны эмиссионные линии $\lambda 4861$ (HI), $\lambda 4686$ (HeII), $\lambda 4640$ (NIII), $\lambda 4540$ (HeII), $\lambda 4471$ (HeI), $\lambda 4200$ (HeII), NIII, $\lambda 4100$ (HeII, NIII), $\lambda 4057$ (NI), $\lambda 3890$ (HeI). Этот объект, обнаруженный Высотским [8], по-видимому ошибочно отнесен к планетарным туманностям.

Наконец, отметим, что нами предприняты были также попытки сфотографировать спектры планетарных туманностей, имеющих следующие номера по КATALOGУ Б. А. Воронцова-Вельяминова: 11, 13, 18, 21, 175, 180, 198, 222, 231, 239, 243, 248 и 263. При получасовых экспозициях, на применяемых нами фотопластинках, спектры этих туманностей получить не удалось.

Сентябрь, 1960.

მკრთალი პლანეტარული ნისლეულების სპექტროფოტომეტრია

ნ. რაზმაძე

(რეზიუმე)

განსაზღვრულია ემისიური ხაზების ინტენსივობები მკრთალი პლანეტარული ნისლეულებისათვის №№ 2, 5, 8, 129, 197, 199, 201, 202, 210, 211, 223, 230, 237, 238, 240, 251, 266 (ნომრები ბ. ა. ვორონცოვ-ველიამინოვის „პლანეტარული ნისლეულების კატალოგის“ მიხედვით) და აგრეთვე ავტორის მიერ აღმოჩენილი ნისლეულისათვის $19^h 21^m, +29^\circ$. უმეტესი მათგანისათვის გამოთვლილია ელექტრონული ტემპერატურების მნიშვნელობანი. დადგენილია, რომ პლანეტარული ნისლეულები 8 და $19^h 21^m$ ზემოკერძო და მაღალტემპერატურულიანი ობიექტებია. შეფასებულია ნისლეულის ალგუნების მდგომარეობა.

სექტემბერი, 1960.

SPECTROPHOTOMETRY OF FAINT PLANETARY NEBULAE

N. A. RAZMADZE

(Summary)

The emission line intensities have been determined for planetary nebulae №№ 2, 5, 8, 129, 197, 199, 201, 202, 210, 211, 223, 230, 237, 238, 240, 251, 266 (numbers are given according to B. A. Vorontsov-Velyaminov's „Catalogue of Planetary Nebulae“) and for the nebula $19^h 21^m, +29^\circ$ discovered by the author. For most of nebulae electron temperatures are calculated. It is established that planetary nebulae 8 and $19^h 21^m$ are superdense and high temperature objects. Excitations of nebulae are evaluated.

September, 1960.

ЛИТЕРАТУРА

1. Minkowski R. Galactic distribution of planetary nebulae and Be stars. Publ. obs. Univ. Michigan, 1951, 10, 25—32.
2. Воронцов-Вельяминов Б. А. Газовые туманности и новые звезды, 1948.
3. Kienle H., Straßl H., Wempe J. Die relative Energieverteilung im kontinuierlichen Spectrum von 36 Fundamentalsternen. Zeitschr. Astrophys., 1938, 16, 201—275.

4. Stebbins J., Whitford A. E. Six-color photometry of stars. *Aph. J.*, 1945, 102, 318—346.
5. Долидзе М. В. Об атмосферной экстинкции. *Бюлл. Абастуман. астрофиз. obs.*, 1958, 22, 93—103.
6. Каландадзе Н. Б. Каталог спектральных абсолютных величин 425 слабых звезд G и K типов. *Бюлл. Абастуман. астрофиз. obs.*, 1958, 22, 45—66.
7. Соболев В. В. Физика планетарных туманностей. *Вопросы космогонии*, 1958, 6, 112—156.
8. Мензел и др. Физические процессы в газовых туманностях, 1958.