

М. А. КАЗАРЯН

КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕР ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Трудности проведения фотометрических и колориметрических исследований ядер планетарных туманностей общеизвестны. Основная трудность связана с тем, что очень часто ядра приходится наблюдать на довольно ярком фоне туманности. Этим и следует объяснить малочисленность подобных исследований, а также невысокую точность большинства из имеющихся оценок яркостей ядер планетарных туманностей [1]. Только недавно появилось сообщение Эйбелла [2] об электрофотометрических наблюдениях ядер некоторых планетарных туманностей, выполненных на 60" и 100" телескопах в U-, В-, V-лучах. Однако наблюдения Эйбелла, результаты которых еще не опубликованы, охватывают в основном ядра им же обнаруженных туманностей. Подавляющее количество туманностей в этом отношении остается по-прежнему не исследованным.

Еще в 1964 году в Бюраканской обсерватории были начаты наблюдения ядер планетарных туманностей в фотографических и фотовизуальных лучах, посредством 8-12" и 21" телескопов системы Шмидта. В настоящей статье приводятся предварительные результаты наблюдений, произведенных в период с августа 1964 г. по декабрь 1965 г.

Исследованы ядра 20 планетарных туманностей, данные о которых приведены в табл. 1. Наблюдательный материал получен на пластинках Astro-platte (Zu-2) Spezia! в фотографических лучах, и на пластинках Kodak OAD, Ко-

Таблица 1

NGC, IC или по В-В	t_{pg} (в мин.)	n_{pg}	Пластина	t_{pc} (в мин.)	n_{pc}	Телескоп
40	2	11	Astro platte panchromat.	10	10	8-12"
246	2	5	Kodak OAD	12	11	"
В-В 13	7	9	Kodak IIa-D, Kodak IIa-E	10	8	21-21"
1501	5	8	Kodak IIa-D	10	5	"
1514	1	13	Kodak IIa-E	3	7	8-12"
В-В 39	10	7	Kodak IIa-D	15	6	21-21"
В-В 40	4	4	Kodak OAD	6	4	8-12"
В-В 41	4	4	" "	6	4	"
В-В 481	2	10	Kodak IIa-E	4	12	"
2371-2	5	4	Kodak IIa-D	10	4	21-21"
6804	4	7	Kodak IIa-E	7	6	8-12"
6857	4	7	" "	7	7	"
В-В 538	7	5	Kodak IIa-E, Kodak IIa-D	30	4	21-21"
7008	3	5	Kodak IIa-E	13	4	8-12"
В-В 551	15	5	" "	30	4	21-21"
В-В 554	2	15	" "	10	11	8-12"
7293	5	5	Kodak IIa-E, Kodak IIa-D	20	6	"
IC 1470	2	11	Kodak IIa-E	3	8	"
7635	0,5	10	" "	3	10	"
В-В 578	12	5	" "	30	5	21-21"

Кодак IIa-D, Kodak IIa-E — в фотовизуальных лучах, в сочетании с шоттовскими фильтрами GG 14 и GG 11. В качестве звезд сравнения использованы звезды NPS. Данные о средних экспозициях (t_{pg} и t_{pc}) и число наблюдений (n_{pg} и n_{pc}) в фотографических и фотовизуальных лучах соответственно приведены в табл. 1. Наши наблюдения в основном охватывают туманности, видимые размеры которых больше 30 — 40".

Оптимальная экспозиция фотографирования ядра была подобрана для каждой туманности в отдельности. Для ярких ядер снималась цепочка, состоящая из двух-трех изображений, а затем выбирались среди них изображения, по возмож-

ности свободные от следов туманности. В противном случае учитывалось влияние слабых следов туманности и, как показывали контрольные измерения, результаты оказались в хорошем согласии с теми случаями, когда измерялось чистое от следов туманности изображение ядра. Только для очень ярких туманностей учет влияния туманности на яркость ядра становится невозможным. Однако в подавляющем большинстве случаев (для приведенных в табл. 1 туманностей) необходимость учета следов туманности на яркость ядра отпала благодаря тому, что использованные нами телескопы не являются светосильными.

Наши системы фотографических звездных величин для обоих телескопов почти не отличаются от интернациональной системы. Поэтому цветовые уравнения обусловлены в основном используемыми фотовизуальными системами. Для системы 21" телескоп + пластинка Kodak-E + фильтр GG 11 цветовое уравнение было получено Б. Е. Маркаряном [3]. Те же телескоп и фильтр в сочетании с пластинкой Kodak-D дают визуальную систему, которая не отличается от международной.

Для 8-12" телескопа, в сочетании с пластинками Kodak OAD и Kodak IIa-E и фильтром GG 14 — цветовые уравнения получают в следующем виде:

$$CI = 0.825 (m_{pg} - m_{pv}) - 0^m057, \quad (\text{Kodak OAD}), \quad (1)$$

$$CI = 0.854 (m_{pg} - m_{pv}) - 0^m080, \quad (\text{Kodak IIa-E}). \quad (2)$$

Эти соотношения выведены в результате решения системы уравнений, составленных на основании расхождений оценок блеска красных и белых звезд NPS.

Так как стандартная область (NPS) и ядра планетарных туманностей обычно снимались на разных зенитных расстояниях, то произведен учет атмосферного поглощения обычным способом.

Весьма трудным является вопрос об учете межзвездного поглощения. Он требует знания расстояний до туманностей, которые недостаточно хорошо известны. Учет поглощения в фотовизуальных (A_{pv}) или в фотографических

(A_{pg}) лучах можно произвести по формуле П. П. Паренаго [4], куда входят расстояние r объекта и поглощение в фотовизуальных лучах a_{11} на один клс. При этом значения a_{11} определены А. С. Шаровым на основании электрофотометрических наблюдений звезд ранних спектральных классов [4], а расстояния туманностей — по [5, 6, 7]. Параметр β , входящий в формулу П. П. Паренаго, принимался равным 100 пс. Связь между A_{pg} и A_{pg} дается в [8], в удобном для наших расчетов виде.

Расстояния для четырех туманностей, входящих в табл. 1, неизвестны. Можно, однако, воспользовавшись формулой Шкловского, произвести грубую оценку расстояний этих туманностей путем сравнения их поверхностных яркостей на картах паломарского атласа с поверхностными яркостями других, хорошо изученных планетарных туманностей, для которых известны потоки энергии в лучах H_{α} и массы. Приняв, что массы туманностей одинаковы, получим расстояния

Таблица 2

Туманность по В—В [1]	r (в пс.)
40	1080
41	460
538	1060
578	480

для упомянутых четырех планетарных туманностей, которые приведены в табл. 2; точность этих оценок можно считать достаточной для внесения интересующей нас поправки за межзвездное поглощение.

Результаты обработки наших наблюдений приведены в табл. 3, где m_{pg} и m_{pg} — звездные величины в интернациональной системе, а m_{pg} и m_{pg} — те же величины, но исправленные за межзвездное поглощение; n_p и n_p — число наблюдений; σ_p и σ_p — среднеквадратические ошибки яркости ядра. CI и CI^c суть наблюдаемый и исправленный за межзвездное поглощение показатель цвета.

Наши измерения в некоторых случаях хорошо совпадают с данными других наблюдений. Так, например, согласно электрофотометрическим наблюдениям Холла [9], яркость ядра туманности NGC 7635 в V-лучах равна 8^m67 , что практически совпадает с полученной нами величиной (8^m68). Показатель цвета ядра туманности В — В 578 на картах Пало-

Таблица 3

NGC, IC или по В-В	m_{pg}	n_n	\bar{z}_p	m_{p0}	n_z	\bar{z}_z	CI	m_{pg}	m_{p0}	CI
40	11 ^m 51	5	+0 ^m 11	11 ^m 39	5	+0 ^m 06	+0 ^m 12	9 ^m 57	9 ^m 90	-0 ^m 33
246	11 0	5	0 09	11 81	5	0 06	-0 81	11 00	11 81	-0 81
В-В 13	15 01	5	0 08	14 48	4	0 04	+0 53	13 40	13 24	+0 16
1501	14 57	5	0 07	14 35	5	0 09	+0 22	12 43	12 68	-0 25
1514	9 88	5	0 06	9 57	7	0 07	+0 31	8 08	8 17	-0 09
В-В 39	15 63	4	0 12	14 89	5	0 11	+0 74	12 73	12 67	+0 06
В-В 40	12 32	4	0 08	12 12	4	0 07	+0 20	10 87	10 99	-0 12
В-В 41	12 42	4	0 04	12 08	4	0 14	+0 34	11 73	11 54	+0 19
В-В 481	11 80	7	0 11	11 08	7	0 12	+0 72	10 01	9 69	+0 32
2371-2	14 26	4	0 10	14 87	4	0 09	-0 61	13 86	14 56	-0 70
6804	13 63	5	0 07	13 68	4	0 05	-0 05	12 09	12 50	-0 41
6857	13 56	4	0 09	13 08	5	0 12	+0 48	11 42	11 41	+0 01
В-В 538	15 65	4	0 08	15 89	3	0 09	-0 24	15 13	15 48	-0 35
7008	13 04	5	0 13	13 12	4	0 05	-0 08	10 48	11 12	-0 64
В-В 551	16 14	3	0 12	15 22	4	0 07	+0 92	10 04	10 46	-0 42
В-В 554	12 42	8	0 08	13 33	7	0 08	-0 91	11 74	12 75	-1 01
7293	12 96	4	0 05	13 79	3	0 11	-0 83	12 96	13 79	-0 83
IC 1470	13 16	6	0 11	13 30			+0 14	11 33	11 83	-0 50
7635	8 66	5	0 12	8 68	5	0 11	-0 02	5 88	6 49	-0 61
В-В 578	15 53	3	0 10	15 87	3	0 10	-0 34	14 84	15 33	-0 49

марского атласа был оценен Миллером [10], он оказался равным $CI = -0^m31$ и хорошо совпадает с нашим результатом (-0^m34).

Яркость ядра IC 1470 в фотовизуальных лучах невозможно было определить из-за сильного влияния фона центральной части туманности в лучах H_α . Но известен спектральный тип ядра этой туманности — O7 [1], которому соответствует нормальный показатель цвета -0^m52 в международной системе. При помощи фотографической величины и нормального показателя цвета определена фотовизуальная звездная величина.

Заметим, что для учета влияния межзвездного поглощения на яркость ядра Эйбелл [2] использует следующее соотношение:

$$C = m_{pg} - m_{pr} = -1^m0 \quad (4)$$

(в интернациональной системе этому соответствует $CI = -0^m62$), где m_{pr} — фотокрасная величина ядер. Наблюдая фотокрасные и фотографические величины ядер и учитывая соотношение (4), он определяет избыток цвета, а затем, обычными методами, поглощение в любых системах звездных величин. Однако мы знаем, что спектры ядер планетарных туманностей часто сильно отличаются друг от друга. Поэтому предположение о равенстве их цветов является слишком грубым и необоснованным. Оно может привести к выводам, отличающимся от действительности. Поэтому более правильно определить цвета из наблюдений, а поправки за межзвездное поглощение найти другими способами. Конечно, применяемый нами способ, основанный на формуле Паренаго, не является идеальным, но следует отметить, что расстояния наших туманностей находятся в пределах, в которых, по Шарову [4], можно применять формулу Паренаго, используя выведенные им значения a_0 . Например, вычисление по способу Эйбелла дает в случае туманности В—В 39 расстояние, равное 15 700 пс, а для туманности В—В 41 — около 3700 пс. Если попытаться по этим расстояниям вычислить массу этих туманностей, принимая даже $\rho_e = 100 \text{ см}^{-3}$, то она оказывается порядка 100 солнечных масс.

ТЕМПЕРАТУРЫ, АБСОЛЮТНЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ,
БОЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И РАДИУСЫ ЯДЕР

Если принять, что ядра планетарных туманностей излучают как абсолютное черное тело, то связь между показателем цвета и температурой в интернациональной системе имеет следующий вид [11]:

$$CI = \frac{8150 - 0.83 T}{T} \quad (5)$$

Найденные из этого соотношения, с помощью наших значений CI , температуры характеризуют распределение энергии в широком спектральном интервале (3400 — 7000 Å) и скорее всего близки к эффективной температуре. Формула (5) дает действительную температуру ядер до значения $CI > -0^m4$, однако, начиная со значения $CI < -0^m4$, формула (5) дает только лишь оценку (меньше своего действительного значения) температуры ядра, так как поправочный член, пренебрегаемый в (5) (см. [11]) уже играет значительную роль для определения температур соответствующих $CI < -0^m4$. Абсолютные звездные величины в фотографических и фотовизуальных лучах вычислены обычным способом.

Представляет интерес также определение болометрических звездных величин ядер. Для этого сперва надо определить болометрическую поправку Δm_b из следующего соотношения:

$$\Delta m_b = -B \cdot C = 2.5 \log \frac{\int_0^\infty I_\lambda S_{\lambda_{pg}} d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda d\lambda} + C, \quad (6)$$

где I_λ — функция Планка, $S_{\lambda_{pg}}$ — кривая пропускания в фотовизуальной системе, C — постоянная для поправки нуля-пункта системы, она определяется из условия $\Delta m_b = 0$ при

$T = 6500^\circ \text{K}$. Формула (6) в [12] приведена к более упрощенному виду:

$$\Delta m_b = -B \cdot C = -42.63 + 10 \log T + \frac{29500}{T} + x_{p\sigma}, \quad (7)$$

где $x_{p\sigma} = 2.5 \log \left(1 - e^{-\frac{2.78 \times 10^4}{T}} \right)$.

По известным абсолютным звездным величинам в фотографических или фотовизуальных лучах можно определить радиусы ядер, если опять принять, что ядра излучают, как абсолютно черное тело. Имеем (см., например, [12]):

$$\log R/R_\odot = \frac{5900}{T} - 0.036 - 0.2 M_{p\sigma} + 0.2 x_{p\sigma}, \quad (8)$$

где R и R_\odot — радиусы ядер и Солнца соответственно.

При вычислении радиусов ядер в формуле (8) вместо T принималась температура, полученная из показателей цвета.

Температуры, абсолютные звездные величины в фотографических и фотовизуальных лучах, болометрические поправки, болометрические величины и радиусы ядер планетарных туманностей, вычисленные соответственно формулами (5), (7), (8), приведены в табл. 4. Там же приведены расстояния туманностей, определенные разными авторами. В табл. 4 приведенные болометрические величины для ядер, у которых $CI < -0^m.4$, являются минимальными, а радиусы — максимальными.

В табл. 4 для сравнения приведены данные О'Делла [6], для абсолютных фотографических величин, болометрических величин и радиусов некоторых из исследуемых нами ядер.

Дисперсия радиусов планетарных туманностей довольно большая — от $9.0 R_\odot$ до $0.01 R_\odot$. Однако большинство из приведенных в табл. 4 ядер имеют радиусы меньше солнечного.

Так как определить температуры ядер В — В 554 и NGC 7293 невозможно, то при оценке их радиусов температура принималась равной 40000°K .

NGC, IC или по В-В	СР	$T \times 10^4$	r (в пс)	M_{pg}	M_{pv}	В·С	M_b	M_{pg} [6]	M_b [6]	$R R_{\odot}$	$R R_{\odot}$ [6]
40	-0 ^m 33	1 ^m 63	11 ^m 90	-0 ^m 81	-0 ^m 48	-1 ^m 18	-1 ^m 66	-1 ^m 3	-4 ^m 1	2 ^m 42	1.58
246	-0.81	40.75	430	+2.83	+3.64	-12.37	-8.73	+2.7	-1.5	0.10	0.21
В-В 13	+0.16	0.82	1650	+3.30	+3.14	-0.09	+3.05	+8.3	+1.9	1.14	0.08
1501	-0.25	1.40	1450	+1.62	+1.87	-0.86	+1.01	+1,0	-2.1	0.95	0.54
1514	-0.09	1.10	1320	-2.53	-2.44	-0.46	-2.90	-	-	9.30	-
В-В 39	+0.06	0.92	3170	+0.22	+0.16	-0.20	-0.06	-	-	4.23	-
В-В 40	-0.12	1.15	1080	+0.70	+0.82	-0.70	+0.12	-	-	2.00	-
В-В 41	+0.19	0.80	460	+3.32	+3.13	-0.08	+3.05	-	-	1.08	-
В-В 481	+0.32	0.71	600	+1.12	+0.80	-0.03	+0.77	-	-	4.27	-
2371-2	-0.70	6.27	1500	+2.98	+3.68	-5.36	-1.68	+1.3	-2.2	0.13	0.44
6804	-0.41	1.94	1850	+0.75	+1.16	-1.64	-0.48	0.0	-3.0	0.94	0.87
6857	+0.01	0.97	910	+1.62	+1.61	-0.26	+1.35	-	-	1.73	-
В-В 538	-0.35	1.70	1060	+5.00	+5.35	-1.31	+4.04	-	-	0.16	-
7008	-0.64	4.30	1040	+0.39	+1.03	-4.08	-3.05	+1.7	-1.6	0.54	0.37
В-В 551	-0.42	1.99	3170	-2.47	-2.05	-1.66	-3.71	-	-	4.08	-
В-В 554	-1.01	-	2780	-0.48	+0.53	-	-	-	-	0.20	-
7293	-0.83	-	120	+7.56	+8.39	-	-	+7.1	-0.2	0.01	0.01
IC 1470	-0.50	2.47	1200	+0.93	+1.43	-2.33	-0.90	+0.4	-2.4	0.68	0.78
7635	-0.61	3.70	140	+0.15	+0.76	-3.57	-2.81	-	-	0.68	-
В-В 578	-0.49	2.40	480	+6.43	+6.92	-2.28	+4.64	-	-	0.06	-

По оценкам Г. А. Гурзадяна [13] радиус ядра NGC 7293 находится в интервале $0.05 \div 0.3 R_{\odot}$. Таким образом, среди ядер планетарных туманностей встречаются такие (NGC 7293, В—В 578), у которых размеры и некоторые физические особенности близки к белым карликам.

Показатели цвета ядер изученных нами туманностей находятся в пределах от -1^m00 до -0^m30 . Наиболее важным и интересным является то, что существуют ядра планетарных туманностей с очень малыми значениями показателя цвета, порядка -1^m0 . Это относится, например, к ядрам туманностей NGC 7293 и В—В 554, показатели цвета которых оказались равными -0^m83 и -1^m01 соответственно. На это обстоятельство следует обратить особое внимание; столь малые значения C_I не могут быть объяснены излучением черного тела даже при бесконечно высокой температуре. По-видимому, здесь мы имеем дело либо с нетепловым излучением, либо же ядра являются звездами типа Вольф-Райе с интенсивными эмиссионными линиями, которые оставляют значительное влияние на показатели цвета. Довольно малый показатель цвета получается для ядра NGC 246, излученного Аллером [14]. В спектре ядра этой туманности присутствуют трудновозбуждаемые эмиссионные линии 3811 OVI и 3838 OVI. Аллер отмечает, что это ядро является самым высоковозбужденным среди встречающихся до сих пор объектов с линиями поглощения. Эти данные также свидетельствуют о наличии высокой температуры во внешних слоях ядра этой туманности. Аномально голубой цвет имеют также другие ядра, приведенные в табл. 4.

Наряду с этим имеется и другая крайность. Это—аномально красные ядра планетарных туманностей. В случае ядра туманности В—В 481 показатель цвета равен $+0^m32$, что соответствует излучению черного тела при температуре $7000^{\circ} K$, то есть звезде типа F7. Для этого ядра в каталоге [1] дается спектральный тип M или WN 7. Показатель цвета, полученный нами, не соответствует ни одному из этих классов.

Свечение туманностей с красными ядрами непонятно, если оставаться в рамках обычных представлений. Объяснение этому факту можно найти при предположениях, что либо эти ядра состоят из красной и голубой компоненты (в этом случае свечение туманности вызывается голубой звездой), либо же свечение этих туманностей имеет другую природу.

Выражаю благодарность Г. А. Гурзадяну за проявленный интерес к работе и полезные советы.

Մ. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՄՈՒՈՐԱԿԱԶԻՎ ՄԻԿՐԱՄԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԻՋՈՒԿՆԵՐԻ ԳՐՈՆԱԶՍՓԱԿԱՆ ՌԻՍՈՒՄԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

20 մոյորակաձև միգամածությունների միջուկների համար իլուրականի աստղադիտարանի 8—12" և 21" դիտակների վրա կատարվել են դիտումներ ֆոտոդրաֆիկ և ֆոտովիզուալ ճառագայթներում:

Հիշյալ օբյեկտների համար ստացվել են միջաստղային կլանումից ազատված ֆոտոդրաֆիկ և ֆոտովիզուալ աստղային մեծություններ, ինչպես նաև գույնի ցուցիչները (աղյուսակ 3):

Ընդունելով, որ միջուկները ճառագայթում են բացարձակ սև մարմնի օրենքով, որոշվել են միջուկների ջերմաստիճանները, բովանդակի մեծությունները և շառավիղները, որոշվել են նաև նրանց բացարձակ մեծությունները (աղյուսակ 4):

Քննարկելով դիտողական արդյունքները արվել են եզրակացություններ՝

Շատ փոքր ($< 0^m 80$) գույնի ցուցիչներով միջուկները ունեն ոչ շերտային բնույթ կամ ներկայացնում են Վոլֆ-Ռայեի տիպի աստղեր ուժեղ էմիսիոն գծերով, որոնց ազդեցությունը գույնի ցուցիչների վրա յզալի է: Կարմիր գույնի ցուցիչ ունեցող միջուկները հավանաբար կրկնակի աստղեր են կարմիր և կապույտ կոմպոնենտներով (միգամածության լուսավորվածությունը պարմանավորված է կապույտ կոմպոնենտով) կամ ալդալիսի միջուկներ

ունեցող միգամածութիւնների լուսավորվածութիւնը ունի ուրիշ ֆիզիկական բնութիւն:

Միջուկների մեջ կան այնպիսիները, որոնք իրենց որոշ ֆիզիկական պարամետրերով հիշեցնում են սպիտակ թզուկներին (NGC 7293, B — B 578):

M. A. KAZARIAN

THE COLORIMETRIC INVESTIGATION OF THE NUCLEI OF PLANETARY NEBULAE

S u m m a r y

Twenty nuclei of the planetary nebulae have been observed with 8—12" and 21" Schmidt cameras at the Byurakan Observatory in photographic and photovisual rays. For these objects the photographic and photovisual magnitudes corrected for interstellar absorption and the color indices were obtained (Table 3).

Assuming that the nuclei radiate as a black body the temperatures, bolometric magnitudes and the radii of the nuclei were calculated. (Table 4).

The absolute magnitudes were also calculated.

It was suggested, that either the radiation of the nuclei with lowest color indices ($< -0^m80$) has nonthermal nature or they are the Wolf-Raye stars with strong emission lines, which have some influence on the color indices.

The nuclei with red color indices are probably double stars with red and blue components (the luminescence of the nebulae is presented by the blue components).

Certain physical features of some of the nuclei (NGC 7293, B — B 578) make them similar to the white dwarfs.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Сообщения ГАИШ, 118, 4, 1962.
2. G. O. Abell, P.A.S.P., 76, 382, 1964.
3. Б. Е. Маркарян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 24, 3, 1958.
4. А. С. Шаров, Астрономический журнал, 40, 900, 1963.
5. С. R. O'Dell, Ap. J., 138, 67, 1963.
6. Л. П. Метик, Р. Е. Гершберг, Известия КрАО, 31, 112, 1964 г.
7. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрономический журнал, 27, 885, 1950.
8. М. А. Казарян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 36, 3, 1964.
9. J. S. Hall, Public. Naval Observatory, 17, 1958.
10. F. O. Miller, Ap. J., 109, 537, 1949.
11. Д. Я. Мартынов, Курс практической астрофизики, М., 1960.
12. Т. А. Агекян и др. Курс астрофизики и звездной астрономии, том II, М., 1962.
13. Г. А. Гурзадян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 34, 59, 1963.
14. L. H. Aller, Ap. J., 106, 452, 1948.