Э С. Парсамян

КОЛОРИМЕТРИЯ КОМЕТАРНОЙ ТУМАННОСТИ NGC 2261

Среди диффузных туманностей кометарные туманности являются наименее изученными объектами. Конусообразная форма, неправильные изменения яркости и структуры у некоторых из них, а также нетепловой характер излучения [1] делают их одним из интересных объектов среди туманностей. То обстоятельство, что кометарные туманности в большинстве случаев ассоциируются со звездами типа Т Тельца и RW Возничего, заставляет думать, что сами туманности, по-видимому, являются молодыми образованиями. а их переменность связана с процессами, происходящими в их ядрах. Особый интерес представляет механизм свечения кометарных гуманностей, по-видимому существенно отличающийся от механизма свечения обычных туманностей [1]. Однако для правильного понимания природы кометарных туманностей и механизма их свечения следует располагать также колориметрическими и поляриметрическими данными в огношении индивидуальных объектов. Нами прелпринята работа по накоплению однородного материала такого рода для ряда кометарных туманностей. В настоящей статье приводятся результаты, относящиеся к колориметрическим измерениям кометарной туманности NGC 2261 - нанболее яркого представителя этого класса объектов.

§ І. МЕТОДИКА РАБОТЫ

Няблюдения были проведены на 21 – 21" телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории. Весь наблюдательный материал был получен в период с октября 1959 по декабрь 1960 гг., что позволило сопоставить снимки туманности за один год в лучах В и сделать некоторые заключения о характере изменений в туманности. Туманность снималась методом двухэтажной кассеты в четырех цветах U, B, V и R. В лучах U, V и R снимки были получены на пластинках Кодак—Оа-О, Оа-G и Оа-Е в сочетании с Шоттовскими фильтрами UG2, GG11 и RG2— соответственно. В лучах В снимки получались без фильтра на пластинках Кодак—Оа-О. С помощью полученных нами уравнений цвета наша система звездных величин приводилась к системе U, B, V [2].

$B - V = 0.855 (B' - V') - 0^{m}008$

В качестве звезд сравнення были использованы внефокальные изображения звезд скопления NGC 2264, для которых известны фотоэлектрические звездные величины, определенные Уокером [3]. Фотокрасные величины (R) внефокальных изображений звезд определялись путем сравнения с фотокрасными величинами звезд NPS.

Эффективная длина волны фотокрасных величин равнялась 6600 А. По измерениям Гринштейна [4], эквивалентная ширина линии Н₄ в спектре туманности NGC 2261 равна 126 А, что составляет примерно 12 ⁰/₀ излучения туманности в красных лучах при допущении постоянства непрерывного спектра в этой области (ширина пропускания фильтра RG2~ ~ 1000А). В лучах В измерялись три пластинки, в остальных — по две. Измерения изображения туманности производились на микрофотометре "Шнелл" сплошным образом с квадратной диафрагмой, вырезавшей на туманности площадь в сто тридцать квадратных секунд.

Снимки в лучах В, V и R были получены в октябре 1959 г. в течение нескольких ночей, тогда как в лучах U — только в марте 1960 г. Это обстоятельство могло повлиять на полученные значения U—B.

Ниже в табл. 1 приводятся данные об измеренных пластинках.

				таолица і
Ne	Дата	Фильтр	Экспозиция в мин.	Сорт пластинки
97	28/1 60 г.	UG2	60	Кодак Оа-О
108	29/111 60 г.		40	
2	2/Х 59 г.	_	5	
6	3/Х 59 г.		15	
8	7/Х 59 г.		10	
3	3/Х 59 г.	GG 11	15	Кодак Оа-С
4	3/X 59 r.		45	-
12	8/X 59 r.	RG 2	45	Кодак Оа-Е
18	10/Х 59 г.		80	

§ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измереный пластинок приведены в табл. 2. В первых двух столбцах приведены прямоугольные координаты X и Y центра измеряемого квадрата в секундах дуги. Начало координатной системы находится в центре ядра туманности R Единорога. Ось Y совпадает с направлением юг – север. В последующих столбцах приведены поверхностные яркости с квадратной секунды туманности, выраженные в звездных величинах. В лучах R учет влияния H₄ не произведен. Среднеквадратичная ошибка измерений равнялась ± 0.106 — в случае В и V, и ± 0.107 — в случае U и R.

1. Показатель цвета. Интегральные звездные величины туманности в четырех цветах были определены путем сложения интенсивностей во всех измеренных квадратах. Результаты приведены в табл. 2.

		Табл	нца 2
U	В	V	R
11,58	12 ^m 29	11 ^{.m} 80	10 ^m 07

Показатель цвета является одной из основных характеристик туманности. Интегральные показатели цвета определялись по 24 наиболее ярким общим точкам в трех цветах. Интегральная яркость R была определена по 19 общим точкам и исправлена за излучение H₂. Средние показатели цвета, как следует из табл. 2, равны:

$$B - V = + 0.^{m}49$$

 $U - B = -0^{m}71$

На рис. 1 приведена зависимость показателя цвета B-V от расстояния до ядра туманности по r координате. Как следует из этого рисунка, показатель цвета непостоянен по туманности; он испытывает колебание со слабой тенденцией посинения туманности с удалением от ядра. Отметим, что нами охвачена наиболее яркая часть туманности — до расстояния 1'.71 от звезды. Для более слабых периферийных частей туманности ход кривой может измениться. Примеча-



тельным является тот факт, что показатель цвета В—V туманности ни в одной измеренной точке не достигает отрицательного значения. Как известно, показатели цвета в случае отражающих диффузных туманностей бывают как положительными, так и отрицательными.

2. Спектральное распределение. Имея интегральные показатели цвета, мы попытались построить спектральное распределение интенсивности в туманности. Интегральные звездные величины туманности определялись по 12 ярким общим точкам, находящимся в средней части туманности. Звездой сравнения была звезда типа А 3 под номером 222 в списке Уокера [3]. Для получения абсолютного распределения в произвольных единицах использовалось распределение в спектре звезды типа А 0 из работы В. Б. Никонова [5]. Кривая b на рис. 2 представляет спектральное распределение туманности NGC 2261. Некоторая неопределенность остается в отношении области спектра около 3500 А, так

КОЛОРИМЕТРИЯ NGC 2261

Таблица З

Монохроматические поверхнестные яркости в различных точках туманности NGC 2261

X*	Y'' = V	U-B	B'-V'	R
-0.38	0.57 191079		0,735	19.068
0.00	0 38 19 04	0	0.87	18.51
	0 19 18 76	-0.50	0.80	18.30
	-0 19 18 84		0 67	18.36
	-0 38 19 23		0.91	18.55
-0.57	0 76 20 42		0.88	
	0 57 19 57		0 74	18.43
	0.38 19 12	-0.75	0.64	18.48
	0.19 18 90	_0.72	0.41	18.26
	-0 19 19 27	0.95	0.50	18 80
	-0.30 19.30	_0.73	0.54	18 75
-0 76	0 76 20 18	-0.70	0.76	19 59
0.70	0 57 19 65	-0.41	0.58	18 98
	0 38 10 38	0.19	0.60	18 06
100	0 10 10 70	0.62	0.00	10.30
	_0 10 10 99	0.02	0,40	10 46
	-0.15 15.02	0.17	0.00	10 91
0.05	0.05.01.11	-0.4/	0.40	19.21
0.50	0.30 21.11	1	0.70	20.26
	0.7020.52	0.49	0.10	20.00
	0.07 20.01	-0.42	0.04	20.10
	0.0020.07	-0.90	0.01	1.00
	0.1920.40	0.20	0.50	90 44
	-0.1920.00	-0.04	0.00	20.44
1 14	-0.30 20.32	-0.32	0.02	
1.14	0.7021.22	0.24	0.00	
	0.3/20./3	-0.34	0.74	
	0.38 21.22	-0.74	0.5/	
	0.1920.78	-0.41	0.00	
	-0.1921.06	-0.75	0.60	
1 00	-0.3820.92	-0.45	0.44	1
1.33	0.76 21.25		0.85	
	0.57 21.38		0.37	
	0.38 20.94	-0.46	0.59	
	0.1920.69	-0.68	1.01	
	-0.1921.58	-0.72	0.24	
	-0.3821.38	0.74	0.49	
-1.52	0.1921.54	-	0.25	1
	0.1921.62		0.42	
	-0.3821.34		0.51	
-1.71	-0.3821.54		0,49	

как снимки туманности в лучах U были получены позднее снимков в остальных лучах. Но, как будет видно из дальнейшего (табл. 4), изменение яркости туманности в выбранной области невелико.

* Звезда.



3. Распределение интенсивности по туманности. На рис. 3 приведены кривые зависимости ln \overline{I} от r для трех цветов. Здесь \overline{I} есть интенсивность, усредненная в данных лучах по сечениям туманности, находящимся на равных



расстояниях от ядра. Такое усреднение возможно, так как границы туманности резко выражены. Полученные кривые свидетельствуют о неоднородной, пятнистой структуре ту-

56

манности. Одинаковый ход кривых свидетельствует о том, что спектральное распределение в этих лучах почти одинаковое.

4. Интересные результаты получаются при сопоставлении цвета туманностей различных типов с их яркостью. Для трех туманностей:

кометарной NGC 2261. пылевой NGC 7023 и газовой IC 432 были построены зависимости показателей цвета от яркостей. Данные о последних **ДВУХ ТУМАННОСТЯХ ВЗЯТЫ** из работы Э. Е. Хачикина [6]. Результаты приведены на рис. 4. Для NGC 2261 получается, что В-V не зависит от В-яркости туманности и постоянно, хотя и обладает некоторой дисперсией вокруг среднего значения. В противоположность этому, для IC 432, природа которой до сих пор не ясна, получается совершенно отличная от



NGC 2261 зависимость между СІ и т_{др}. Следует отметить, что IC 432 повсеместно имеет отрицательный показатель цвета. Кроме того, различне между этими туманностями выступает также в форме зависимости показателя цвета от яркости: в то время как у гуманности NGC 2261 цвет везде одинаков и не зависит от поверхностной яркости, у IC 432, наоборот, наблюдается хорошо выраженное посинение гуманности с возрастанием яркости.

В случае пылевой туманности NGC 7023, у которой показатель цвета принимает как отрицательные, так и положительные значения, четко выраженной зависимости неполучается. Таким образом, для трех разных туманностей мы имеем разное спектральное распределение, что, очевидно, является указанием на различие их природы.

5. Соотношение Хаббла. Известно, что для кометарной туманности В 10 соотношение Хаббла mpg+5 lg a=11 не сохраняется [7]. Интересно проверить, нарушается ли это соотношение и для остальных кометарных туманностей. в частности для NGC 2261? Для этого были измерены две пластинки, снятые с интервалом в один год, с тем, чтобы заметить изменения, происшедшие в туманности за это время. Ядро туманности R Единорога — переменная типа RW Возничего. По общему Каталогу переменных звезд она меняется в пределах 11.3-13.8 звездной величины. Зная пределы изменения блеска звезаы и тот факт, что протяженность туманности не подвергается быстрым изменениям. можно проверить выполнение хаббловского соотношения. По нащим измерениям звездные величины R Единорога в указанные периоды были 12."12 и 12."95 соответственно. Несмотря на изменение блеска освещающей звезды, заметной разности в протяженности туманности на наших снимках не было; по-видимому, изменению подверглись близкие к звезде части туманности. По этим измерениям a = 3'.24. В первом случае для удовлетворення соотношения Хаббла требуется, чтобы R Единорога была на 3.65, а во-втором случае — на 4.60 звездной величины ярче, чем приведенные выше значения. Отсюда следует, что здесь, как и в туманности В 10, хотя и не в той мере, все же резко нарушается соотношение Хаббла. (См. также [10]).

6. Ядро туманности. Относительно ядра туманности NGC 2261 — R Единорога неоднократно высказывалось мнение, что она не является звездой в обычном смысле. Это звездообразный, но несколько несимметричный объект с аномальной, по мнению некоторых исследователей, светимостью и с медленным изменением блеска. Предполагается, что звезда окружена оболочкой, а наблюдаемый спектр ядра является спектром оболочки, где механизм свечения по всей вероятности такой же, как и в самой туманности [8]. Если причиной свечения является звезда, то естественно

КОЛОРИМЕТРИЯ NGC 2261

полагать, что изменения яркости звезды и яркости туманности должны находиться между собой в некоторой зависимости. Однако такой зависимости до сих пор не было обнаружено. Нами сделана попытка проверить этот вывод по нашим наблюдениям. Промежуток времени, охватываюший наблюдательный период в лучах В равнялся одному голу, а в остальных — в пределах месяцев. Был получен ряд снимков туманности и звезлы в одну и ту же ночь или в ближайшие дни, что давало возможность судить о яркости туманности и звезды в одно и то же время. Результаты измерений приведены в табл. 4. Как видно из данных этой таблицы, во всех лучах, и особенно в ультрафиолетовых, туманность всегда оставалась ярче звезды Сравнение пластинок № 6 и № 9 за 1959 год, а также № 134 и № 136 за 1960 год показало, что в туманности происходили изменения. Разница интегральной яркости туманности между пластинками № 134 и № 136, снятыми с промежутком в полтора месяца, равна 0."22. Сильнее всего изменения произошли в близких к звезде частях: по 43 точкам туманность за год изменилась на одну звездную величину, в то время как по 39 точкам (исключая самые яркие точки) на 0."40. Однако установить четко выраженную корреля цию между изменением блеска звезды и яркости туманности не удалось.

Таблица 4

R Единорога					N	GC 2261	нитегр	зальные	велнч	нны)
Nº ILACT.	Дата	mU	m _{Is}	m _V	Ne macr.	Дата	m _U	m _B	m _V	число измерен. точек
107	28.3.60	11 ^m 65	-	_	108	28.3.60	10 ^m 70	-	-	23
20	9.10.59	-	12.95		6	3.10.59	_	11.060		43
88	28.1.60		11.90	_	9	7.10.59	_	11.87	_	39
132	27.10.60		12.22	_	134	27.10.60	-	10.60		43
137	12.12.60	-	12.10	_	136	12.12.60		11.76	-	39
3	3.10.60		_	12 ^m 12	3	3.10.59	-	-	11.718	26

Звездные величины R Единорога и туманности NGC 2261

Ш. О МЕХАНИЗМЕ СЗЕЧЕНИЯ КОМЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Туманность NGC 2261 имеет сильный непрерывный спектр с эмиссионными и абсорбционными линиями водорода, почти в точности повторяющий спектр R Единорога. Этот факт послужил поводом причисления NGC 2261 к отражающим туманностям. Появление работы В. А. Амбарцумяна о явлении непрерывной эмиссии [1] позволило подойти к механизму свечения кометарных туманностей с новой точки зрения. В настоящее время есть две гипотезы относительно свечения кометарных туманностей.

1. Гипотеза отражения света звезды пылевыми частицами, находящимися в туманности.

2. Гипотеза синхротронного излучения релятивистских электронов [9].

Прежде всего следует указать, что если отражение и имеет место, то оно не может играть существенной роли в свечении кометарных туманностей. На это указывают факты, установленные нами в отношении туманности NGC 2261, а именно:

а. В ультрафиолетовых лучах туманность намного ярче звезды (табл. 4).

 б. Показатель цвета туманности повсеместно положительный.

в. Спектральное распределение резко отличается от таковых для отражающих туманностей.

г. Нарушается соотношение Хаббла.

д. Не замечена корреляция между изменением блеска звезды и туманности.

Теория свечения кометарных туманностей, обусловленного релятивистскими электронами, разработана Г. А. Гурзадяном [9]. В работе предполагается, исходя из некоторых особенностей формы туманности, существование несимметричного относительно звезды магнитного поля. Если электрон движется под некоторым углом к магнитным силовым линиям, то он булет испытывать торможение, а его движение — сопровождаться излучением. Спектральное распределение такого излучения непрерывно. В туманности генерируется как видимое, так и ультрафиолетовое излучение в зависимости от энергии релятивистских электронов и напряженности магнитного поля. Ультрафиолетовое излучение синхротронного происхождения, в свою очередь, может нонизовать водород, в результате чего в туманности возникают эмиссионные линии водорода. В работе дается количественная разработка гипотезы, благодаря чему становится возможным определение некоторых физических характеристик туманности. Ряд свойств, как, например, неоднородная структура, дрейф ярких иятен туманности, отсутствие корреляции между изменением блеска звезды и туманности и т. д., находят свое объяснение в свете этой гипотезы.

Рассмотрим полученные нами наблюдательные данные с точки зрения гипотезы синхротронного излучения.

Распределение интенсивностей в туманности при синхротронной природе излучения имеет вид:

$$I_{\lambda}=C^{\prime}\lambda^{\frac{1-3}{2}},$$

где ү — показатель энергетического спектра электронов. Исходя из такого распределения, был определен теоретический показатель цвета при разных ү [9]. [10]. Результаты в интернациональной шкале приведены из работы [9] в табл. 5.

	T	a	б	3	н	Ц	a	5
--	---	---	---	---	---	---	---	---

7	2	3	4	5
CI	+ 0 ^{.m} 29	+0 ^m 38	+0 ^m 52	-; 0 ^m 64

Выше мы нашли для показателя цвета туманности NGC 2261 величину +0,^m49. Сравнивая ее с тем, что приведено в табл. 5, увидим, что, во-первых, наблюдаемый и теоретический показатели цвета имеют положительный знак, во-вторых, при энергетическом спектре релятивистских электронов, соответствующих значению $\gamma \approx 3 \div 4$, синхротронное излучение будет иметь по величине такой же показатель цвета, что и наблюдаемый (это следует также из рис.

2, где приведены теоретические кривые а и с спектрального распределения синхротронного излучения при 7=3 и 7=4). Для сравнения в табл. 6 приводятся также результаты фотоэлектрических измерений для NGC 2261 и В 10, выполненных Джонсоном [11] в 1957 г.

Т	а	б	л	11	Ц	a	6
---	---	---	---	----	---	---	---

Туманность	B-V	U—B	Clint
B 10	+0 ^m 67	0 ^m 90	÷0 [™] 73
NGC 2261	- 0.52	0.30	+0.58

Таким образом, цвет кометарных туманностей близок к тому, что следует ожидать при синхротронном механизме их свечения. Если предположить, что источником релятивистских электронов является звезда, тогда может иметь место некоторое покраснение туманности с удалением от ядра, поскольку напряженность магнитного поля также падает с расстоянием. Этот вывод верен, однако, когда мы имеем дело с монохроматическим потоком релятивистских электронов (см. [10]). Между тем, величина В—V является, как видели выше, почти постоянной по всей туманности. Эго указывает на то, что, по всей вероятности, свечение туманности в период наблюдений обусловлено немонохроматическим потоком релятивистских электронов.

В своей работе Г. А. Гурзадян указывает возможные причины, вызывающие изменение блеска кометарных туманностей:

 Колебание энергетического спектра релятивистских электронов.

2. Вращение звезды.

3. Колебание напряженности магнитного поля туманности.

Учитывая факт неодновременного действия всех трех факторов, можно в свете изложенной гипотезы понять отсутствие корреляции между блеском звезды и туманности.

Другой основной характеристикой туманности, наряду с цветом, является поляризация. Синхротронное излученые должно быть поляризованным [12]. Поляризация туманности. измерялась рядом авторов [13, 14] и вполне соответствует ожидаемой по теории величине. Однако и в случае отражения мы имели бы подобную картину.

Таким образом, принеденные нами колориметрические измерения кометарной гуманности NGC 2261 и анализ полученных при этом результатов указывают на то, что гипотеза, объясняющая ее свечение излучением релятивистских электронов, не противоречит данным наблюдений.

Выражаю глубокую благодарность Г.А. Гурзадяну за руководство настоящей работой.

Է. Ս. ՊԱՐՍԱՍՑԱՆ

NGC 2261 ԳԻՍԱՎՈՐԱՁԵՎ ՄԻԳԱՄԱԾՈՒԹՅԱՆ ԿՈՒՆԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆ

Ամփոփում

Բյուրականի աստղադիտարանի 21-21" Շմիդտի տիպի դիտակի վրա կատարված է NGC 2261 գիսավորաձև միագամածու-Թլան չորս դուլնանի մակերևուլթալին դունտչափություն։ Որոշված են B-V և U-B դուլնի ցույիչները, ինչպես ամրողջ միդամածության համար, այնպես էլ նրա առանձին կետերում։

Երևը գույննրով կառուցվել է միգամածության ճառադալթման սպնկարալ թաշխման կորը (գծ. 2),

հնտևովունվան բաշխումը միդամածունկան մեջ բացահայտում է նրա կտոուցված քալին անհամասեռունկունը, ինչպես նաև վիալում է այն մասին, որ այդ բաշխումը U, B և V ճառագալիններում դրեննե միանման է (դծ. 3)։ NGC 2261 դույնի ցուցչի բաշխումը պայծառունկունից կախված համեմատվել է-NGC 7023 (փոշալին) և IC 432 (դաղալին) միդամածունկունների դույնի ցուցիչների բաշխունների հետ (դծ. 4)։

Երևը տարթնը դնպընրում ունենը տարրնը սպեկտրալ թաշ. խում, որը վկալում է այդ երևը միգամածությունների տարբևը բնույթնի մասինո

Այնուհետև ցույց է տված, որ Հարրդի առնչությունը NGC. 2261 միդամածության համար չի պահպանվում։ Տարբեր գույներում R Միաեղջյուրի և NGC 2261 միգամածունյան պայծառունյունների համեմատումը նրանց միջև ոչ մի կախվածունյուն ցույց չի տալիս։

NGC 2261 միդամածունյան վերաբերյալ ստացված գունաչափական տվյալները դիտարկվել են դիսավորաձև միգամածունյունների ճառագայնման ճնարավոր մեխանիզեների տեսանկյունից։ Արդյունըների ըննարկումը ցույց է տալիս, որ ստացված գունաչափական տվյալները չեն ճակասում ռելակաիվիստական էլեկտրոնների ճառագայնման մեխանիզմին։

E. S. PARSAMIAN

THE COLORIMETRY OF COMETARY NEBULA NGC 2261

Summary

Surface colorimetry of the cometary nebula NGC 2261 has been carried out in four colours with 21-21'' Schmidt type telescope of Byurakan observatory. B-V and U-B colour indices have been determined for the whole nebula as well as for its different points.

The spectral distribution curve of nebular radiation is built up based on three colours (fig. 2). The distribution of intensity in the nebula reveals its structural non-homogeneity and proves that distribution in the U, B and V to be similar (fig. 3). The dependence of the NGC 2261 colour indices from the brightness has been compared with that of NGC 7023 (dusty) and IC 432 (gaseous) nebula (fig. 4). In three different cases there are three different spectral distributions, which prove of all three nebulae being of different nature. Therefore Hubbles relation for NGC 2261 nebula is shown to be violated.

No correlation is found between the brightness of R Mon and NGC 2261 in different colours. The colorimetric data of nebula have been considered from the point of view of possible mecanisms of cometary nebula radiation. The discussion of the results shows that the obtained colorimetric data do not contradict mecanism of the relativistic electrons radiation.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. В. А. Амбарцумян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 13, 1954.
- 2. H. L. Johnson, Ann. d'Ap., 18, 292, 1955.
- 3. M. F. Walker, Ap. J. Suppl., ser. 11, 23, 1956.
- 4. J. L. Greenstein, Ap. J., 107, 375, 1948.
- 5. В. Б. Никонов, Бюллетень Абастуманской астрофизической обсерватории 14, 1953.
- 6. Э. Е. Хачикян, Кандидатская диссертация. Ереван. 1956.
- 7. O. Struce and P. Swings, P.A.S.P, 60, 61, 1948.
- 8. G. H. Herbig, Contrib. Lick Obs., ser. 11, Nº 99, 1960
- 9. Г. А. Гурзадян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 27. 73, 1959.
- 10. М. А. Аракелян, ДАН АрыССР, 29. 35,1959.
- 11. H. M. Johnson, P.A.S.P., 72, 10, 1960.
- 12. Г. М. Гарибян и И. И. Гольд.чан, Изв. АН АриССР, серия ФМЕТ наук, 7. № 2, 31, 1954.
- 13. Э. Е. Хачикян, Сообщения Бюраканской обсерваторин, 25, 67, 1958.
- 14. Н. А. Размадзе, Бюллстень Абастуманской астрофизической обсерватории, 24, 25, 1959.

