

ISSN 0370—8691

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

---

ԲՅՈՒՐԱԿԱՆԻ ԱՍՏՂԱԳԻՏԱՐԱՆԻ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄՆԵՐ  
СООБЩЕНИЯ БЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

ՊՐԱԿ LXI ВЫПУСК

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН, Л. В. МИРЗОЯН, М. А. МНАЦАКАНЯН,  
В. М. ПЕТРОСЯН (ответственный секретарь), Г. М. ТОВМАСЯН  
(гл. редактор), Р. К. ШАХБАЗЯН**

С  $\frac{1705040000}{703(02)-89}$  52-87  
ISBN 5-8080

© Издательство АН Армянской ССР, 1989

Г. М. ТОВМАСЯН, Р. Х. ОГАНЕСЯН

ОБНАРУЖЕНИЕ ЯДЕР У ГАЛАКТИК С ЯРКИМИ  
ЦЕНТРАЛЬНЫМИ СГУЩЕНИЯМИ

По наблюдениям 42 спиральных галактик с оценкой 3 по бюраканской классификации на телескопе ЗТА-2.6 м Бюраканской астрофизической обсерватории с большим по сравнению с 21" телескопом системы Шмидта масштабом у 9 исследованных галактик были обнаружены ядра, классифицируемые оценками 4 и 5. Ядра, как и предполагалось [7], были обнаружены преимущественно у галактик с более высокой поверхностной яркостью, а также у галактик с измеримым радиоизлучением.

В работе [1] было замечено возрастание относительного количества галактик с измеримым радиоизлучением при увеличении их поверхностной яркости в видимых лучах. В работах же [2, 3] была выявлена довольно определенная связь наличия радиоизлучения у спиральных галактик с видом их центральных частей по бюраканской классификации. Было показано, что радиоизлучение преимущественно наблюдается у галактик с оценками 2s и 5. Частота встречаемости радиоизлучения несколько меньше у галактик с оценками 4 и 2 и еще меньше у галактик с оценками 3 и 1. Тем самым подтверждалось предположение, сделанное в работах [4—6], о том, что ядра галактик с оптическими признаками активности с оценками 5 и 4, а также с оценкой 2s, действительно, находятся в активной фазе своего развития. Но тогда наличие измеримого радиоизлучения у небольшого количества других галактик, в частности с оценкой 3, т. е. у галактик, у которых яркость плавно растет к центру, указывает, вероятно, что и в их ядрах протекают активные процессы, хотя и в их случае нет явных оптических признаков присутствия ядер.

В работе [7] было высказано предположение, что на снимках, полученных на 21" телескопе системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории, по которым была произведена бюраканская классификация [8], относительно слабые звездообразные (с оценкой 5) или звездоподобные (с оценкой 4) ядра этих галактик просто не выделяются на достаточно ярком фоне их центральных частей. Активность ядер, однако, может проявиться и в увеличении поверхностной яркости соответствующих галактик. Обнаруженная в [1] зависимость наличия радиоизлучения от поверхностной яркости галактик могла быть именно следствием этого.

С целью проверки сделанного предположения на телескопе ЗТА-2.6 м Бюраканской обсерватории по методике, изложенной в работе [5], нами были выполнены наблюдения 42 спиральных галактик с оценкой 3 из каталога [8], список которых приведен в таблице.

Большим масштаб телескопа ЗТА-2.6 м (20" в 1 мм) по сравнению с масштабом 21" шмидтовского телескопа (114" в 1 мм) позволил бы обнаружить более слабые ядра на ярком фоне центральных частей этих галактик, если таковые у них имеются. По просмотру полученных снимков у девяти галактик, действительно, было обнаружено наличие таких ядер. В соответствии с описанием классификации, изло-

Список наблюдавшихся галактик (даны номера по NGC)

2146	2859	3489	4047	4274	4438	4579	4762	5908
2347	2950	3516	4111	4382	4442	4665	5350	5985
2639	3031	3623	4157	4394	4457	4736	5566	6384
2685	3166	3627	4179	4421	4548	4750	5899	6951
	3169	4026	4256	4435		4754	5905	

женной в работах [5, 6], ядра галактик NGC 2347, 4047, 4750, 4762, 5350, 6384 и 6951 могут быть отнесены к оценке 4, а ядро галактики NGC 3516, являющейся, кстати, галактикой сейфертовского типа, а возможно и NGC 2950, к оценке 5. На рис. 1 а—d представлены изоденсы некоторых из них. Как известно [5], бюраканский класс галактики определяется путем сравнения цепочки изображений центральной части галактики, полученных с различными экспозициями с анало-

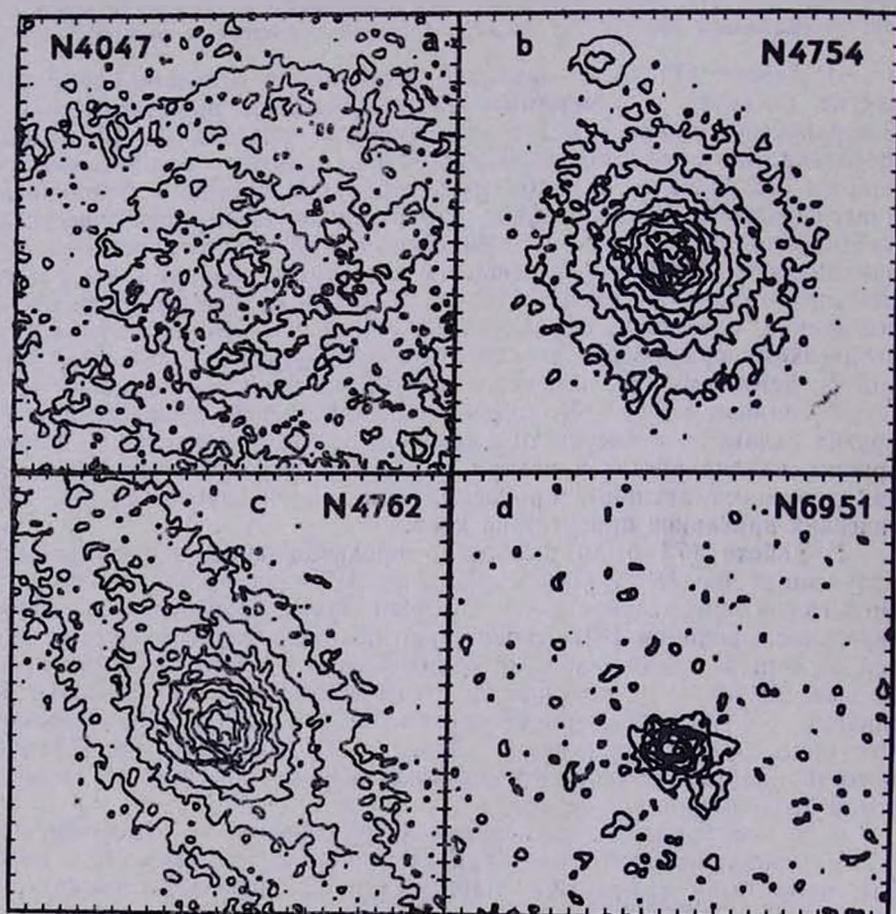


Рис. 1 а—d. Распределение яркости центральных частей галактик с обнаруженными ядрами. Изоденсы построены с постоянным шагом увеличения плотности почернения. Из-за малости экспозиций получены изображения лишь центральных, наиболее ярких областей галактик. Рисунки представляют области с размерами  $25'' \times 25''$ .

гичными цепочками изображений близких по яркости звезд. Тем не менее, увеличение плотности расположения изоденс к центрам галактик на этих рисунках указывает на наличие ядерных компонентов, выделяющихся на фоне центральных областей соответствующих галактик. В случае галактики NGC 6384, как видно из рис. 2, ее ядро ка-

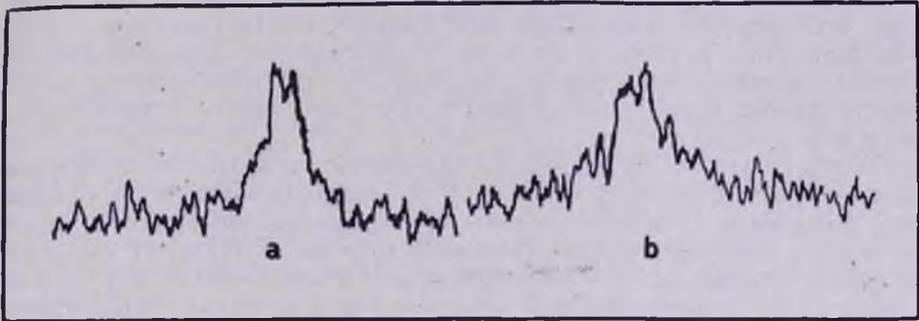


Рис. 2. Кривые распределения плотности почернения центральной области галактики NGC 6384 по ее малой (а) и большой (б) осям

жется к тому же расщепленным и может быть отнесено к типу 2s, введенному в работе [6]. Здесь следует заметить, что галактики типа 2s являются по существу двудерными галактиками, которые в последнее время привлекают к себе большое внимание.

На рис. 3 а—с приведены для сравнения изоденсы трех галактик в которых и новые наблюдения не выявили наличия ядер. У них яркость плавно увеличивается к центру и потому плотность расположения изоденс везде одинакова.

Для 40 из исследованных галактик в литературе имелись соответствующие данные для подсчета поверхностной яркости—аналогично

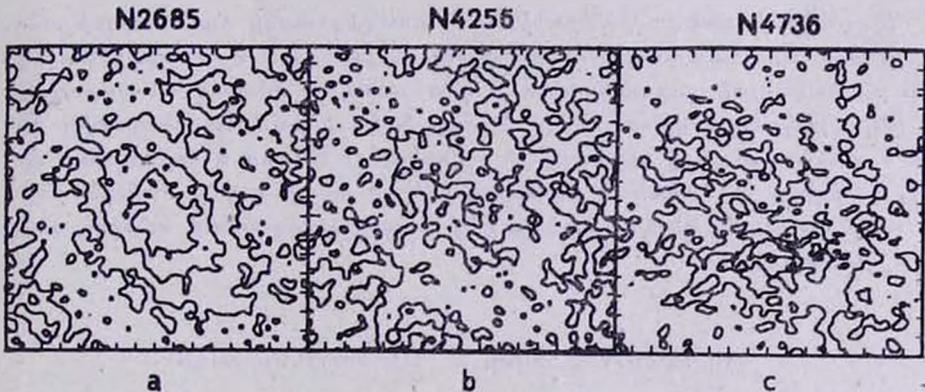


Рис. 3. Распределение яркости центральной части галактик с оценкой 3 (без признаков наличия ядра)

тому, как это было сделано в работе [1]. Среди 17 галактик с поверхностной яркостью  $B < 23^m.5$  с квадратной секунды дуги наличие ядер (с оценками 4 или 5) было обнаружено у 6 галактик, т. е. у 35%, в то время как среди галактик с меньшей поверхностной яркостью ( $B \geq 23^m.5$ )—только у трех галактик из 23, т. е. у 13%.

Итак, как и ожидалось [7], звездообразные или звездоподобные ядра были обнаружены, главным образом, у галактик с более высокой поверхностной яркостью.

Аналогичная ситуация обнаруживается и при сравнении результатов выполненной здесь классификации с данными радионаблюдений тех же галактик по [9]. Среди 20 галактик с радиоизлучением диска и/или ядра наличие ядер было обнаружено у шести галактик, т. е. у 30%. При этом у четырех из этих шести галактик одновременно и высокая поверхностная яркость. А среди 22 галактик без измеримого радиоизлучения наличие ядер было установлено только у трех галактик, т. е. у 13.6%.

Таким образом, на снимках, полученных на телескопе с лучшим угловым разрешением, удается, что естественно, обнаружить слабые ядра у галактик с оценкой 3, классифицированных по снимкам, полученным на мелкомасштабном телескопе системы Шмидта. И что весьма примечательно, ядра обнаруживаются большей частью у галактик с более высокой поверхностной яркостью или у галактик с относительно более мощным, измеримым радиоизлучением. Это лишний раз подтверждает вывод, сделанный в работах [2, 3, 7], о том, что наличие радиоизлучения спиральных галактик непосредственно связано с состоянием активности их ядер, как-то проявляемым и в оптике.

Июль 1987 г.

Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ և Ռ. Խ. ՂՈՎՀԱՆԵՍՅԱՆ

ԿՈՐԻՁՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱՐԵՐՈՒՄԸ ՊԱՅՄԱՌ ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ  
ԽՏԱՑՈՒՄՆԵՐՈՎ ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐՈՒՄ

Բյուրականի աստղադիտարանի 21'' աստղադիտակի համեմատությամբ ավելի մեծ անկյունային լուծունակություն ունեցող 2.6 մ աստղադիտակով ըստ բյուրականյան դասակարգման 3 գնահատական ունեցող 42 պարուրանալ գալակտիկաների դիտումներով 9 գալակտիկաներում հայտնաբերվել են 4 և 5 գնահատականով դասակարգվող կորիզներ: Ինչպես և ենթադրվում էր [7], կորիզներ հիմնականում հայտնաբերվեցին ավելի բարձր մակերևութային պայծառություն, ինչպես նաև շափելի ռադիոճառագայթում ունեցող գալակտիկաներում:

H. M. TOVMASSIAN, R. KH. HOVHANESSIAN

THE DETECTION OF NUCLEI IN GALAXIES WITH BRIGHT  
CENTRAL CONDENSATIONS

By observations of 42 spiral galaxies of type 3 according to Byurakan classification with 2.6 m telescope of the Byurakan Observatory which has larger scale than that of 21'' Schmidt telescope the nuclei of types 4 and 5 have been detected in 9 of the studied galaxies. The nuclei, as it was suggested [7], have mainly been detected in galaxies with

higher surface brightnesses and also in galaxies with measured radio emission.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Аракелян, *Астрофизика*, 13, 245, 1977.
2. Г. М. Товмасын, *Астрофизика*, а) 2, 419, 1966; б) 3, 555, 1967.
3. Н. М. Toumassian, *Astrophys. J.*, 178, L 47, 1972.
4. V. A. Ambursumian, *Transactions of the IAU*, 12b, 578, 1964.
5. А. Т. Каллогян, Г. М. Товмасын, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 36, 31, 1964.
6. Г. М. Товмасын, *Астрофизика*, 2, 317, 1966.
7. Г. М. Товмасын, *Астрофизика*, 18, 25, 1982.
8. Классификация центральных частей 711 галактик, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 47, 43, 1975.
9. E. Hummel, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 41, 151, 1980.

А. Р. ПЕТРОСЯН, А. Б. САРКИСЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

## О ДВУХ ГОЛУБЫХ СОСЕДЯХ ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 581

На основе спектров, полученных на 6 м телескопе САО АН СССР, проведено детальное спектрофотометрическое исследование двух соседей галактики Маркарян 581. Оценены значения  $T_e$  и  $n_e$ , содержание элементов He, O, N, S, Ne, массы выбега ионизованного газа и число возбуждающих звезд типа O9. По своим физическим характеристикам один из них является классической изолированной III об-ластью. Второй же больше похож на пререгулярную галактику. Значение отношения массы к светимости для системы Маркарян 581—соседи около  $65 M_{\odot}/L_{\odot}$ .

**1. Введение.** В описаниях галактик с УФ континуумов Маркарян и сотр. часто обращали внимание на их окружение, отмечая голубые спутники. Например, только во втором списке УФ галактик [1] при существовании голубых спутников отмечено у Маркарян 123, 124, 168.

С целью исследования природы этих голубых спутников УФ галактик на 6 м телескопе САО АН СССР нами проводятся их систематические спектральные наблюдения [2].

В настоящей работе приведены результаты спектроскопического и детального спектрофотометрического исследования двух голубых соседей галактики Маркарян 581.

**2. Наблюдательный материал и обработка.** Крупномасштабный прямой снимок Маркарян 581 и его двух соседей получен 3.09.78 г. в первичном фокусе 2.6 м телескопе БАО АН АрмССР в фотографических лучах без фильтра и воспроизведен на рисунке.

Спектры Маркарян 581 и ее двух соседей получены 6.01.83 г. в первичном фокусе 6 м телескопе САО АН СССР с помощью спектрографа СП-160 и ЭОП УМК-91В, при двух положениях щели спектрографа. При первом положении щель проходила через оба соседа галактики Маркарян 581 (спектры № 1—4 в табл. 1), при втором положении—через Маркарян 581 и первого соседа (спектр № 5 в табл. 1). В табл. 1 приведены данные о спектральных наблюдениях.

Таблица 1

№ спектра	Экспоз., мин.	Спектральный диапазон, А
1	20	5700—7200
2	11	4600—6100
3	17	3600—5100
4	20	5700—7200
5	22	5700—7200

При всех наблюдениях дисперсия на выходе ЭОП равнялась  $\sim 65$  А/мм (разрешение  $\sim 5$  А), а масштаб перпендикулярно дисперсии  $\sim 17''$ /мм. Источником спектра сравнения служила лампа с по-

лым катодом (Fe+Ne). Звездами сравнения служили NZ15, ВД+33° 2642 и 34 Фейджа [3].

Спектры измерялись на «Аскорекорде». Для спектрофотометрического исследования регистрация спектров производилась на микрофотометре PDS-1010 А с высотой щели, равной 5".

3. Результаты. На крупномасштабном снимке 2.6 м телескопа Маркарян 581 выглядит как сфероидальный объект с центральной конденсацией яркости (рис. 1). В сфероидальном теле галактики выписовы-

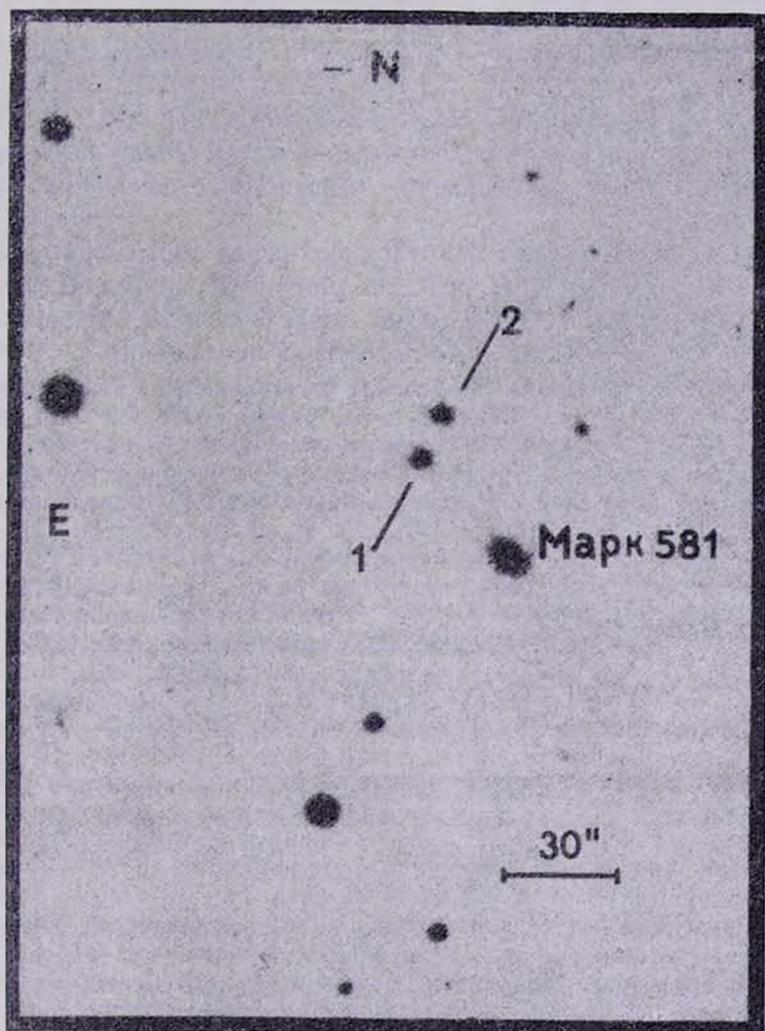


Рисунок. Репродукция прямого снимка Маркарян 581 и двух ее соседей (1 и 2)

баются два плотных спиральных рукава, выходящих из ее центральной области на юг и на север. Северный спиральный рукав галактики, в виде тонких филаментов, продолжается в направлении ее двух ближайших соседей. Маркарян 581 можно классифицировать как галактику типа Sab.

Первый сосед (ПС) компактный и сильно конденсированный объ-

ект со слабой оболочкой. Второй (ВС), являясь компактным, имеет неправильную структуру с выступом на юге.

В спектре Маркарян 581, полученном в области 5700—7200 Å, отождествлены эмиссионные линии [SII]  $\lambda$  6731/17, [NII]  $\lambda$  6584/48,  $H_{\alpha}$  и слабая линия He I  $\lambda$  5876. Отмеченные линии наклонены, указывая на вращение галактики со скоростью порядка 70 км·с<sup>-1</sup> на расстоянии 4" (2.6 кпк, при  $V_{\text{rot}} = 9990$  км·с<sup>-1</sup> и  $H_0 = 75$  км·с<sup>-1</sup>Мпк<sup>-1</sup>) от центра галактики. Это дает возможность оценить ее массу: порядка  $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$ .

В спектре ПС Маркарян 581 отождествлены эмиссионные линии [SII]  $\lambda$  6731/17, [NII]  $\lambda$  6584/48,  $H_{\alpha}$ , HeI  $\lambda$  5876, [OIII]  $\lambda$  5007, 4959, 4363,  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{\delta}$ ,  $H_{\epsilon}$  + [NeIII]  $\lambda$  3968,  $H_{\alpha}$ , [NeIII]  $\lambda$  3869, [OI]  $\lambda$  3727.

Непрерывный спектр по яркости ненамного уступает непрерывному спектру ВС, но он простирается сравнительно дальше в УФ область спектра.

В спектре ВС Маркарян 581 отождествлены эмиссионные линии [NII]  $\lambda$  6584,  $H_{\alpha}$ , [OIII]  $\lambda$  5007, 4959,  $H_{\beta}$ , [OI]  $\lambda$  3727. Видны также следы линий [SII]  $\lambda$  6731/17, [NII]  $\lambda$  6548, HeI  $\lambda$  5876 и  $H_{\gamma}$ . Линия  $H_{\beta}$  как будто имеет малоконтрастную компоненту в поглощении.

Исправленные за вращение Солнца вокруг центра Галактики лучевые скорости Маркарян 581, ПС и ВС равны соответственно  $9990 \pm 30$  км·с<sup>-1</sup>,  $9750 \pm 45$  км·с<sup>-1</sup> и  $9900 \pm 57$  км·с<sup>-1</sup>. Отсюда следует, что они составляют физическую группу. Значение лучевой скорости Маркарян 581 хорошо согласуется с его единственным прежним определением—  $9900$  км·с<sup>-1</sup> [4].

Если учесть, что расстояния между Маркарян 581 и ПС и ВС, и расстояние между соседями в проекции равны соответственно: 43" (27.4 кпк), 51" (32.6 кпк) и 15" (9.6 кпк), то можно оценить динамическую массу этой системы. Она оказалась порядка  $5.6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ .

Фотографические звездные величины исследуемых объектов оценены  $16^m.5$  для Маркарян 581 [5] и  $18^m.7$  соответственно для ее соседей. По этим данным интегральная светимость системы будет порядка  $8.6 \cdot 10^9 L_{\odot}$ , а отношение массы к светимости порядка  $65 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}}$ .

Все отождествленные спектральные линии в исследуемых спектрах были фотометрированы с точностью, не превышающей 40%. Наблюдаемые и исправленные за поглощение, согласно [6], значения относительных интенсивностей эмиссионных линий двух соседей Маркарян 581 приведены в табл. 2.

Для ВС при расчетах относительных к  $H_{\beta}$  интенсивностей эмиссионных линий введена поправка за абсорбционную компоненту линии  $H_{\beta}$ .

Эквивалентные ширины эмиссионной линии  $H_{\beta}$  в спектрах ПС и ВС оценены 110 Å и 10 Å соответственно.

Отметим также, что по спектру Маркарян 581, отношение  $I$  ([NII]  $\lambda$  6584) /  $I(H_{\alpha})$  равно 0.30,  $I$  ([SII]  $\lambda$  6731) /  $I(H_{\alpha}) = 0.15$ , а  $I$  ([SII]  $\lambda$  6717) /  $I(H_{\alpha}) = 0.32$ .

Присутствие в спектре ПС эмиссионных линий [OIII]  $\lambda$  5007, 4959 и 4363 дает возможность вычислить электронную температуру. Используя формулу, приведенную в работе [7], для  $T_e$  получено значение  $\sim 13500^{\circ}\text{K}$ . По этому значению  $T_e$  и по отношению  $I$  ([SII]  $\lambda$

Таблица 2

Спектральные линии	Первый сосед		Второй сосед	
	(I <sub>λ</sub> /I <sub>Hβ</sub> ) <sub>наб</sub>	(I <sub>λ</sub> /I <sub>Hβ</sub> ) <sub>испр</sub>	(I <sub>λ</sub> /I <sub>Hβ</sub> ) <sub>наб</sub>	(I <sub>λ</sub> /I <sub>Hβ</sub> ) <sub>испр</sub>
[SII]λ 6731	0.17	0.11	—	—
[SII]λ 6717	0.20	0.13	—	—
[NII]λ 6584	0.09	0.06	0.45	0.26
H <sub>α</sub>	4.21	2.83	4.73	2.81
[NII]λ 6548	0.03	0.02	0.15	0.09
HeIλ 5876	0.15	0.10	—	—
[OIII]λ 5007	6.43	6.15	4.58	4.31
[OIII]λ 4959	2.30	2.35	1.65	1.58
H <sub>β</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00
[OIII]λ 4363	0.05	0.06	—	—
H <sub>γ</sub>	0.33	0.40	—	—
H <sub>δ</sub>	0.13	0.17	—	—
H <sub>ε</sub> + [NeIII]λ 3968	0.14	0.19	—	—
H <sub>ζ</sub>	0.13	0.19	—	—
[NeIII]λ 3869	0.36	0.53	—	—
[OII]λ 3727	1.09	1.76	2.90	5.34

6717)/ I ([SII] λ 6731) значение электронной плотности в объекте оценено как  $300 \text{ см}^{-3}$  [8].

Значение электронной температуры для ВС оценено по эмпирическим зависимостям между  $T_e$  и отношениями  $I ([\text{OII}] + [\text{OIII}]) / I (\text{H}_\beta)$ ,  $I ([\text{OIII}]) / I ([\text{NII}])$  [9, 10]. Оно оказалось порядка  $9900^\circ\text{K}$ . Для дальнейших расчетов значение  $n_e$  в объекте принято  $\sim 100 \text{ см}^{-3}$ .

На двухмерной классификационной диаграмме [11] оба соседа Маркарян 581 располагаются в области, в которой концентрируются объекты, излучение в эмиссионных линиях которых обусловлено фотонизацией коротковолновым излучением O—B звезд. Оцененные на основе отношения  $\text{O}^{++}/\text{O}^+$  спектральные классы звезд, которые могут обеспечить эмиссионный спектр этих объектов, являются звезды O8—O9 для ПС и O9—B0 для ВС [12, 13].

Принимая это, по значениям  $T_e$  и  $n_e$ , по относительным интенсивностям эмиссионных линий (табл. 2) и при предположении, что в рассмотренных образованиях  $T_e$  заметно не меняется, произведен расчет содержания тяжелых элементов в них [14, 15].

Отметим, что при вычислениях рекомбинационных коэффициентов для гелия использованы данные, приведенные в работе [16], для чисто радиативных процессов.

Полученные значения логарифмов содержания тяжелых элементов относительно к водороду для обоих соседей Маркарян 581 приведены в табл. 3. Отметим, что вычисленное содержание He и S в ПС является нижним пределом, так как не учитывалось присутствие некоторого количества гелия в нейтральном и дважды ионизованном состояниях и серы в состоянии  $\text{S}^{++}$ . В табл. 3 для сравнения приведены содержания тяжелых элементов для других объектов [17—20].

Отметим, что количество атомов водорода принято равным  $10^{12}$ .

По отношению  $I([\text{NII}] \lambda 6584) / I(\text{H}_\alpha)$  содержание азота в Маркарян 581 оценено порядка 7.62 [21].

Фотографические звездные величины центральных—5<sup>m</sup>.7 (3.6 кпк) областей обоих соседей Маркарян 581 оценены порядка 20 З. При приведенных выше значениях  $W_{\text{H}\beta}$  этих объектов получены наблюда-

Таблица 3

Объект	He	O	N	S	Ne	lg N/O
Первый сосед Марк. 581	>10.89	8.03	6.40	>6.45	7.39	0.023
Второй сосед Марк. 581	—	8.54	6.88	—	—	0.022
Изолированные H II области	10.91	8.02	6.59	7.28	7.39	0.038
H II области	11.07	8.60	7.59	7.26	8.10	0.098

емые потоки в линии  $H_{\beta}$  и на основе их вычислены: исправленные за поглощение абсолютные светимости в линии  $H_{\beta}$ , эффективные объемы и массы излучаемого газа, а также факторы скважности в них, количество лаймановских квантов, излучаемых ими [22], и количество звезд типа O9, способных излучать такое количество лаймановских квантов [13].

Значения всех отмеченных физических характеристик объектов собраны в табл. 4.

Таблица 4

Объект	$F_{H\beta} \cdot 10^{15}$ (эрг. см. <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	$L_{H\beta} \cdot 10^{-39}$ (эрг.с <sup>-1</sup> )	$I_{H\beta} \cdot 10^{21}$ (эрг. см. <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> )	$V_{эфф.}$ $10^{60}$ (см <sup>3</sup> )	$\mathcal{N}_{HII}$ $10^{-5}$ ( $\mathcal{N}_{\odot}$ )	$\alpha \cdot 10^5$	$N_{Lyc}$ $10^{-52}$ (квант. с <sup>-1</sup> )	$N_{O9}$ $10^{-4}$
Первый сосед	3.1	23.9	8.2	2.9	7.3	1.3	4.6	2.2
Второй сосед	0.28	3.3	1.3	2.5	2.1	1.1	0.65	0.31

4. **Выводы.** Оба соседа Маркарян 581 имеют одинаковую абсолютную яркость ( $-16^m9$ ) и линейные размеры (порядка 4.5 кпк). По морфологической структуре они также сильно не отличаются. Но по физическим характеристикам их можно классифицировать как два разного класса объекта.

Первый сосед Маркарян 581 по своим характеристикам является объектом типа внегалактических изолированных HII областей [17, 18, 23] с высоким темпом звездообразования ( $5.8 \cdot 10^{-8} \mathcal{N}_{\odot}$  год<sup>-1</sup>пк<sup>-2</sup>).

У второго соседа темп звездообразования почти на порядок ниже ( $8.4 \cdot 10^{-9} \mathcal{N}_{\odot}$  год<sup>-1</sup>пк<sup>-2</sup>), чем у первого, и немного выше, чем в спиральных и иррегулярных галактиках [24, 25].

По содержанию кислорода и азота и по другим физическим характеристикам данный объект также отличается от первого и напоминает иррегулярные галактики с гигантскими HII областями [26, 27]. По всей вероятности он является аналогом NGC 4449 или NGC 6822 на больших расстояниях.

8 февраля 1987 г.

Бюраканская астрофизическая обсерватория  
АН АрмССР  
Ереванский Государственный университет

Ա. Ր. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա. Բ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Է. Ե. ԽԱՉԻԿՅԱՆ

ՄԱՐԿՅԱՐՅԱՆ 581-Ի ԵՐԿՈՒԻ ԿԱՊՈՒՅՑ ՆԱՐԵՎԱՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Հատուկ աստղաֆիզիկական դիտարանի 6 մ դիտակով ստացված սպեկտրների հիման վրա կատարված է Մարկարյան 581 գալակտիկայի 2 հարի-

վանների մանրակրկիտ սպեկտրալուսաչափական հետազոտություն: Գնահատված են  $T_e$  և  $N_e$  հատկանիշները, He, O, N, S, Ne տարրերի պարունակությունը, իոնացված գազի զանգվածները և՛ ծավալները և՛ գրգռող O9 տիպի աստղերի քանակը: Հստ իր ֆիզիկական բնութագրերի հարևաններից մեկը դասական, մեկուսացված HII տիրույթ է: Երկրորդն ավելի նման է անկանոն գալակտիկաներին: Մարգարյան 581—հարևանների համակարգի զանգված-լուսատվությունը հարաբերությունը զնահատված է  $65 M_{\odot}/L_{\odot}$ :

A. R. PETROSIAN, A. B. SARKISSIAN, E. YE. KHACHIKIAN

## ON THE TWO NEIGHBOURS OF GALAXY MARKARIAN 581

The results of detailed spectrophotometrical investigation of the two neighbours of Markarian 581 are presented. The spectra were obtained with the 6 m telescope of the SAO AS USSR.

The electron temperatures and densities, the abundances of He, O, N, S, Ne, the masses and volumes of the emitting gas and the numbers of the O9 type stars involved in these objects are calculated.

One of the neighbour of Markarian 581 by its physical characteristics resembles isolated giant HII regions. The second one is more like irregular galaxies. Mass to luminosity ratio for the system Markarian 581—neighbours are about  $65 M_{\odot}/L_{\odot}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 5, 443, 1969.
2. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *А. Ա.*, № 1132, 7, 1980.
3. R. P. S. Stone, *Astrophys. J.*, 218, 767, 1977.
4. И. М. Копылов, В. А. Липовецкий, В. И. Проник, К. К. Чулаев, *Астрофизика*, 12, 189, 1976.
5. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 9, 487, 1973.
6. J. S. Mathis, *Astrophys. J.*, 159, 263, 1970.
7. M. J. Seaton, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 170, 475, 1975.
8. Н. В. Носов, *А. Ա.*, № 1050, 1, 1979.
9. P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. C. Danks, S. R. Pottasch, *Monthly No'. Roy. Astron. Soc.*, 204, 53, 1983.
10. D. Alloin, S. Collin—Souffrir, M. Joly, L. Vigroux, *Astron. Astrophys.*, 78, 200 1979.
11. J. A. Bildwin, M. M. Phillips, R. Terlevich, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 93, 5, 1981.
12. J. B. Kaler, *Astrophys. J.*, 210, 843, 1976.
13. P. G. Mezger, L. F. Smith, E. Churchwell, *Astron. and Astrophys.*, 32, 269, 1974.
14. M. Peimbert R. Costero, *Bol. Obs. Tonantzintla*, 5, 3, 1969.
15. M. Peimbert, S. Torres—Peimbert, *Astrophys. J.*, 168, 413, 1971.
16. M. J. Seaton, *Advances in Atomic and Molecular Physics*, 4, 331, 1968.
17. D. Kunth, W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.*, 273, 81, 1983.
18. H. B. French, *Astrophys. J.*, 240, 41, 1980.
19. J. B. Kaler, *Astrophys. J.*, 244, 54, 1981.
20. S. A. Hawley, *Astrophys. J.*, 224, 417, 1978.

21. А. Р. Петросян, А. Ц. № 1355, 6, 1984.
22. S. R. Pottasch, *Vistas in Astronomy*, 6, 149, 1965.
23. L. Searle, W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.*, 173, 25, 1971.
24. R. Kennicutt, *Astrophys. J.*, 272, 54, 1983.
25. D. A. Hunter, J. S. Gallagher III, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 98, 417, 1986.
26. B. E. Pagel, M. G. Elmuns, G. Smith, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 219, 1980.
27. G. Stasinska, G. Comte, L. Vigroux, *Astron. and Astrophys.*, 154, 352, 1986.

А. Р. ПЕТРОСЯН

## ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА И АЗОТА В ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКАХ

Выборка HII областей (~500 объектов) разделена на 8 классов. Каждый класс содержит HII области соответственно из: Галактики; галактик Sa—Sbc и Sc—Sim; карликовых иррегулярных и гигантских иррегулярных галактик; голубых компактных карликовых и гигантских галактик, а также ядерных образований.

Для HII областей этих классов по значениям  $\lg([\text{OIII}] + [\text{OII}])/\text{H}\beta$  и  $\lg[\text{NII}]/\text{H}\beta$  получены эмпирические зависимости для определения содержания кислорода и азота в них.

Получены следующие результаты:

- карликовые иррегулярные и карликовые голубые компактные галактики, по всей вероятности, являются аналогичными объектами;
- химический состав карликовых ( $M_p \geq -18^m$ ), голубых компактных галактик отличается от состава гигантских голубых компактных галактик, а карликовых иррегулярных ( $M_p \geq -18^m$ ) — от гигантских иррегулярных;
- отношение N/O приблизительно постоянно в каждом классе и значимо не меняется от класса к классу.

**Введение.** В последние два десятилетия ведутся интенсивные исследования с целью определения содержания тяжелых элементов (в основном, кислорода и азота) в излучающем межзвездном газе галактик (см., например, обзоры [1, 2]).

Непосредственное определение содержания этих элементов возможно лишь в HII областях с высокой электронной температурой, а значит низким содержанием тяжелых элементов.

Для определения содержания тяжелых элементов в низкотемпературных HII областях применяются как модельные расчеты [3, 4], так и эмпирические зависимости между наблюдаемыми отношениями интенсивностей сильных эмиссионных линий и электронной температурой или непосредственного содержания соответствующих элементов (в основном, для кислорода) [5—10].

Известно, что эмиссионные линии в HII областях вызываются фотоионизацией со стороны коротковолнового излучения ранних O—V звезд. Их относительные интенсивности зависят от: электронной плотности и ионизационной структуры HII областей; температуры ионизующих звезд; электронной температуры в среде, которая сама, в основном, зависит от обилия кислорода (как охлаждающего агента); обилия элементов, создающих эти линии. В свою очередь, обилие элементов в данный момент времени и в данной области галактики зависит от: начальной функции масс (НФМ) звезд, ее наклона и верхнего предела; темпа звездообразования (ТЗО) и изменения ТЗО в течение времени; химического состава теряемой звездами массы и существования крупномасштабных потоков масс, как, например, выбросы из ядер галактик.

Указанные параметры, в зависимости от типа галактик и локализации III областей в галактиках меняются в широких пределах. Так, III области в нашей Галактике по своим размерам, массе и количеству ранних звезд на один-два порядка уступают исследуемым III областям в других спиральных галактиках. Последние, в свою очередь, отличаются от гигантских и сверхгигантских III областей в irregулярных галактиках, а также от межгалактических изолированных и ядерных III областей [11—13]. Можно сказать, что последовательность нормальные → гигантские → сверхгигантские → ядерные III области не только количественная, но и качественная [13, 14—16].

Созданная нами в настоящей работе общая выборка III областей разделена на восемь классов. По объектам каждого класса построены эмпирические зависимости между: а) содержанием кислорода и наблюдаемым и исправленным за покраснение отношением  $I([\text{OIII}] \lambda\lambda 4959, 5007 + [\text{OII}] \lambda\lambda 3726, 3729) / I(\text{H}_\alpha)$  (далее  $[\text{OIII}] + [\text{OII}] / \text{H}_\alpha$ ) [6—9]; б) содержанием азота и отношением  $I([\text{NII}] \lambda 6584) / I(\text{H}_\alpha)$  (далее  $[\text{NII}] / \text{H}_\alpha$ ) [17, 18].

Приводится обсуждение некоторых полученных результатов.

Классы и соответствующие выборки III областей. Собраны по возможности все данные по определению содержания кислорода и азота в III областях. Создана общая выборка таких объектов, насчитывающая почти 500 определений. Причем, для более 70% из них с одновременным определением обилия O и N.

Общая выборка III областей разделена на восемь соответствующих классов с указанием их объемов:

- галактические III области—III MW (N=52);
- III области в спиральных галактиках ранних морфологических типов (Sa—Sbc)—III Sa/bc (N=50);
- III области в спиральных галактиках поздних морфологических типов (Sc—Sm)—III Sc/m (N=83);
- III области в гигантских irregулярных галактиках ( $\mu < -18^m$ )—III G Irr (N=73);
- III области в карликовых irregулярных галактиках ( $\mu \geq -18^m$ )—III D Irr (N=82);
- гигантские голубые компактные III области ( $M_p < -18^m$ )—III BCGG (N=26);
- карликовые голубые компактные III области ( $M_p \geq -18^m$ )—III BCDG (N=95);
- ядерные III области—III Nuc. (N=37).

Такое разделение фактически является отражением спектральной классификации III областей, что хорошо видно из двумерной диаграммы  $\lg([\text{OIII}] + [\text{OII}]) / \text{H}_\alpha \div \lg[\text{NII}] / \text{H}_\alpha$ , представленной на рис. 1. Это также отражает тонкую структуру областей из диаграммы работ [19, 20], содержащих объекты с тепловым механизмом фотоионизации. На диаграмме рис. 1 для каждого класса III областей точки обозначают положения средних значений величин  $\lg([\text{OIII}] + [\text{OII}]) / \text{H}_\alpha$  и  $\lg[\text{NII}] / \text{H}_\alpha$ , а границы соответствующих прямоугольников—их 3 $\sigma$  уровня.

Данные для объектов выборки получены по наблюдениям на разных телескопах, с разной аппаратурой, обработаны иногда разными методами.

От части III областей наблюдаются авроральные, трансавроральные или радиорекомбинационные линии излучения, с помощью которых непосредственно определяется  $T_e$  и вычисляется содержание тя-

желых элементов. Процент таких объектов в различных классах НII областей неодинаков: среди НII MW—100%; НII BCG—78% (большинство из которых НII BCDG); НII Irr—52% (большинство из которых это НII области из БМО и ММО); НII области спиральных галактик—22% и то, в основном, НII Sc/m, в ядерных НII областях таких нет.

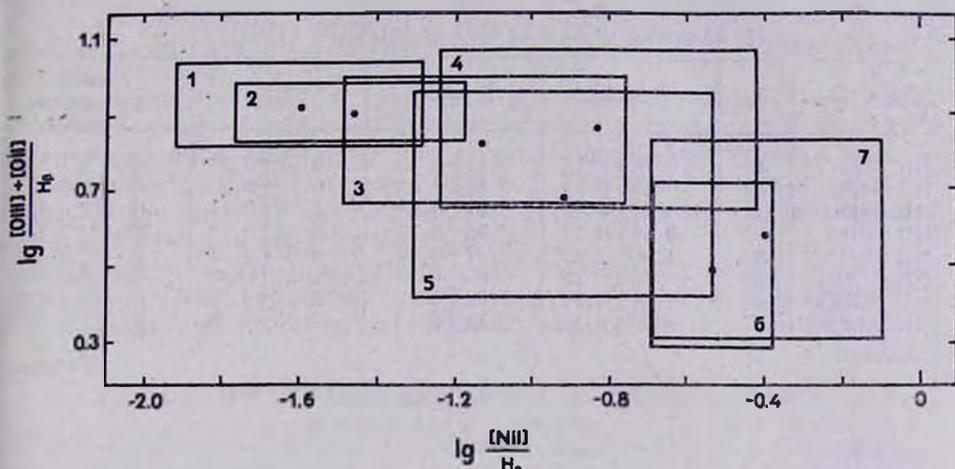


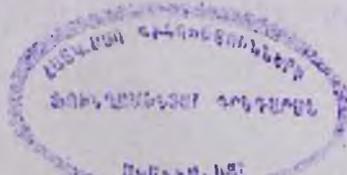
Рис. 1. Двумерная классификационная диаграмма НII областей. Точки—положения средних значений величин  $\lg\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right)$  и  $\lg\left(\frac{[\text{NII}]}{H\alpha}\right)$ , а соответствующие прямоугольники их  $3\sigma$  уровни для следующих классов НII областей: 1—НII BCDG; 2—НII DIrr; 3—НII GIrr; 4—НII BCGG; 5—НII Sc/m; 6—НII Sa/bc; 7—НII Nuc

Очень часто один и тот же объект (например, туманность Орiona, 30 Dor NGC 604 или II Zw 40) исследован разными авторами. Этим мы воспользовались для оценки внутренних ошибок используемых далее величин. Получены следующие оценки средних ошибок: для отношения  $\lg\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right) \sim 0,05$  dex и  $\lg\left(\frac{[\text{NII}]}{H\alpha}\right) \sim 0,08$  dex, для  $12+\lg\text{O}/H \sim 0,08$  dex,  $12+\lg\text{N}/H \sim 0,18$  dex и  $\lg\text{N}/\text{O} \sim 0,10$  dex. Средняя точность отношений  $\lg\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right)$  и  $\lg\left(\frac{[\text{NII}]}{H\alpha}\right)$  для НII областей без точного значения  $T_e$ , те же самые. Содержание кислорода для них определяется эмпирическим путем, с точностью  $0,20 \div 0,25$  dex, а отношение  $\lg\text{N}/\text{O} \sim 0,10$  dex [7, 9, 10]. Для объектов с большим обилием тяжелых элементов ( $12+\lg\text{O}/H > 9,0$ ) ошибки определения содержания кислорода и отношения  $\lg\text{N}/\text{O}$  могут достичь 0.4 dex и 0.2 dex соответственно [10, 21].

Эмпирические зависимости  $12+\lg\text{O}/H - \lg\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right)$  для всех классов НII областей. В настоящее время считают, что наилучшим индикатором для вычисления содержания кислорода эмпирическим способом является отношение  $\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right)$  [6, 9, 22]. На основе собранных для каждого класса НII областей наблюдаемых отношений  $\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right)$  и значений обилия кислорода получены регрессионные уравнения первой степени в виде:

$$12+\lg\frac{\text{O}}{\text{H}} = (B \pm \Delta B) + (A \pm \Delta A) \lg\left(\frac{[\text{OIII}]+[\text{OII}]}{H\beta}\right). \quad (1)$$

В табл. 1 для каждого класса НII областей в отдельности приведены следующие данные: название класса, объем используемой выборки—818



ки III областей,  $A \pm \Delta A$  и  $B \pm \Delta B$  — коэффициенты уравнения (1); коэффициент корреляции для данной зависимости с интервалом его достоверности на уровне 95% ( $\rho \pm \sigma_\rho$ ). Ошибка определения значения  $12 + \lg O/H$  по зависимости (1). Последняя вычисляется следующим

Таблица 1

Зависимости  $12 + \lg O/H$  от  $\lg([OIII] + [OII])/N_2$

Класс	N	$A \pm \Delta A$	$B \pm \Delta B$	$\rho \pm \sigma_\rho$	Точность определения
III MW	49	$-0.78 \pm 0.18$	$9.11 \pm 0.13$	$-0.53 \pm 0.28$	$(0.17 \pm 0.14) \text{dex}$
III Sa bc	49	$-1.15 \pm 0.05$	$9.40 \pm 0.03$	$-0.96 \pm 0.28$	$(0.05 \pm 0.05)$
III Sc m	68	$-1.2 \pm 0.08$	$9.44 \pm 0.06$	$-0.88 \pm 0.24$	$(0.12 \pm 0.12)$
III G rr	69	$-0.54 \pm 0.14$	$8.95 \pm 0.12$	$-0.43 \pm 0.24$	$(0.13 \pm 0.13)$
III D rr	80	$-1.36 \pm 0.23$	$9.47 \pm 0.20$	$-0.56 \pm 0.22$	$(0.18 \pm 0.13)$
III BCGG	28	$-0.49 \pm 0.15$	$8.85 \pm 0.13$	$-0.54 \pm 0.38$	$(0.15 \pm 0.13)$
III BCDG	94	$1.09 \pm 0.24$	$7.02 \pm 0.22$	$0.42 \pm 0.20$	$(0.21 \pm 0.18)$
III Nuc	37	$-0.40 \pm 0.19$	$9.11 \pm 0.13$	$-0.35 \pm 0.34$	$(0.27 \pm 0.19)$

Таблица 2

Сравнение точности определения значений  $12 + \lg O/H$  по разным эмпирическим зависимостям

Класс	Эмп. зависимость	Настоящая работа	Эмпирическая зависимость из работы [8]	Эмпирическая зависимость из работы [9]	Эмпирическая зависимость из работ [7, 10]
III MW		$(0.17 \pm 0.14) \text{dex}$	$(0.24 \pm 0.18) \text{dex}$	$(0.19 \pm 0.14) \text{dex}$	$(0.21 \pm 0.15) \text{dex}$
III Sa bc		$(0.05 \pm 0.05)$	$(0.13 \pm 0.09)$	$(0.06 \pm 0.05)$	$(0.08 \pm 0.08)$
III Sc m		$(0.12 \pm 0.12)$	$(0.22 \pm 0.17)$	$(0.14 \pm 0.12)$	$(0.13 \pm 0.13)$
III G rr		$(0.13 \pm 0.13)$	$(0.21 \pm 0.14)$	$(0.16 \pm 0.14)$	$(0.14 \pm 0.15)$
III D rr		$(0.18 \pm 0.13)$	$(0.30 \pm 0.12)$	$(0.20 \pm 0.17)$	$(0.17 \pm 0.16)$
III BCGG		$(0.15 \pm 0.13)$	$(0.26 \pm 0.16)$	$(0.20 \pm 0.16)$	$(0.23 \pm 0.21)$
III BCDG		$(0.21 \pm 0.18)$	$(0.45 \pm 0.52)$	$(0.39 \pm 0.35)$	$(0.35 \pm 0.37)$
III Nuc		$(0.27 \pm 0.19)$	$(0.26 \pm 0.24)$	$(0.28 \pm 0.32)$	$(0.22 \pm 0.23)^*$ $(0.31 \pm 0.36)$

\* Точность вычислена по нижней ветке эмпирической зависимости [7, 10] (см. также [6]).

образом. Для всех объектов данного класса по наблюдаемым величинам  $\lg([OIII] + [OII])/N_2$  и соответствующим данному классу уравнением (1) вычисляются значения  $12 + \lg O/H$ . Полученные величины сравниваются с имеющимися.

Для выяснения эффективности использования уравнения типа (1) для каждого класса в отдельности вычислена точность определения значения  $12 + \lg O/H$  для этих классов по общим эмпирическим зависимостям работ [7—10]. Полученные данные вместе с результатами нашей работы приведены в табл. 2.

Согласно табл. 2, индивидуальные эмпирические зависимости для каждого класса III областей в отдельности дают более высокие точности при определении содержания кислорода, чем кривые, построенные по общей выборке III областей [6, 7—10].

Эмпирические зависимости  $12 + \lg N/H - \lg[NIII]/N_2$  для всех классов III областей. Эмпирические зависимости для прямого определения содержания азота по интенсивностям сильных эмиссионных линий [NIII] мало используются (см. только [17, 18]).

Для каждого класса III областей на основе собранных наблю-

даемых отношений  $[NII]/H_{\alpha}$  и значений обилия азота нами получены регрессионные уравнения первой степени в виде

$$12 + \lg N/H = (D \pm \Delta D) + (C \pm \Delta C) \cdot \lg [NII]/H_{\alpha} \quad (2)$$

В табл. 3 для каждого класса III областей в отдельности приведены следующие данные: название класса и объем используемой выборки, коэффициенты уравнения (2) с ошибками; коэффициент корреляции с интервалом достоверности на уровне 95%. Точность определения значения  $12 + \lg N/H$ .

Как видно из табл. 3, для всех классов III областей величины  $12 + \lg N/H$  и  $\lg [NII]/H_{\alpha}$  значительно коррелированы. Точность определения значения  $12 + \lg N/H$  для подавляющего большинства классов III областей меньше или равна 0,20 dex. Это дает основание рекомендовать полученные эмпирические зависимости для вычисления обилия азота, особенно для статистических целей.

Малые точности определения содержания кислорода и азота для ядер спиральных галактик (см. табл. 1 и 3), по всей вероятности, обусловлены присутствием в спектрах этих объектов балмеровских

Таблица 3

Зависимости  $12 + \lg N/H$  от  $\lg [NII]/H_{\alpha}$

Класс	N	$C \pm \Delta C$	$D \pm \Delta D$	$\rho \pm \sigma_{\rho}$	Точность определения
III MW	52	$0.58 \pm 0.15$	$7.94 \pm 0.11$	$0.49 \pm 0.27$	$(0.18 \pm 0.15) \text{ dex}$
III Sa bc	44	$1.28 \pm 0.26$	$8.41 \pm 0.14$	$0.61 \pm 0.30$	$(0.18 \pm 0.18)$
III Sc m	62	$1.00 \pm 0.07$	$8.21 \pm 0.07$	$0.88 \pm 0.25$	$(0.17 \pm 0.11)$
III OIrr	64	$0.62 \pm 0.10$	$7.72 \pm 0.12$	$0.62 \pm 0.25$	$(0.20 \pm 0.21)$
III DIrr	55	$0.64 \pm 0.08$	$7.58 \pm 0.12$	$0.72 \pm 0.26$	$(0.14 \pm 0.12)$
III BCGG	27	$0.93 \pm 0.11$	$7.92 \pm 0.10$	$0.85 \pm 0.39$	$(0.21 \pm 0.13)$
III BCDG	78	$0.89 \pm 0.10$	$8.05 \pm 0.17$	$0.70 \pm 0.22$	$(0.20 \pm 0.20)$
III Nuc	29	$1.13 \pm 0.13$	$8.39 \pm 0.07$	$0.85 \pm 0.37$	$(0.47 \pm 0.30)$

Таблица 4

Средние значения  $12 + \lg O/H$ ,  $12 + \lg N/H$  и  $\lg N/O$  для классов III областей

Класс	$12 + \lg O/H$	$12 + \lg N/H$	$\lg N/O$
III MW	$8.57 \pm 0.14$	$7.53 \pm 0.13$	$-1.04 \pm 0.19$
III Sa bc	$8.80 \pm 0.25$	$7.72 \pm 0.20$	$-1.08 \pm 0.32$
III Sc m	$8.59 \pm 0.33$	$7.25 \pm 0.37$	$-1.34 \pm 0.50$
III OIrr	$8.51 \pm 0.09$	$7.02 \pm 0.23$	$-1.49 \pm 0.25$
III DIrr	$8.29 \pm 0.15$	$6.65 \pm 0.19$	$-1.64 \pm 0.24$
III BCGG	$8.45 \pm 0.13$	$7.17 \pm 0.40$	$-1.28 \pm 0.42$
III BCDG	$8.02 \pm 0.13$	$6.63 \pm 0.28$	$-1.39 \pm 0.31$
III Nuc	$8.86 \pm 0.12$	$7.84 \pm 0.41$	$-1.02 \pm 0.43$

Таблица 5

Зависимости  $\lg N/O$  от  $12 + \lg O/H$

Класс	N	$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$	$\rho \pm \sigma_{\rho}$
III MW	52	$-0.26 \pm 0.08$	$1.19 \pm 0.71$	$-0.41 \pm 0.27$
III Sa bc	44	$0.19 \pm 0.10$	$-2.80 \pm 0.86$	$0.30 \pm 0.31$
III Sc m	62	$0.21 \pm 0.08$	$-3.03 \pm 0.65$	$0.35 \pm 0.26$
III OIrr	64	$0.19 \pm 0.17$	$3.11 \pm 1.43$	$0.14 \pm 0.25$
III DIrr	55	$-0.21 \pm 0.13$	$0.16 \pm 1.10$	$-0.21 \pm 0.27$
III BCGG	27	$0.56 \pm 0.24$	$-5.99 \pm 2.01$	$0.42 \pm 0.39$
III BCDG	77	$-0.10 \pm 0.09$	$-0.61 \pm 0.76$	$-0.12 \pm 0.22$
III Nuc	28	$0.08 \pm 0.23$	$-1.71 \pm 2.04$	$0.07 \pm 0.38$

линий поглощения звездной природы, которые искажают истинные значения отношения  $([OII] + [OIII])/H\beta$  и  $[NII]/H\alpha$  [13, 23].

Обилие кислорода и азота в разных классах III областей. Для всех объектов выборки, используя наблюдаемые отношения  $([OIII] + [OII])/H\beta$  и  $[NII]/H\alpha$ , по эмпирическим зависимостям (1) — (2) заново вычислены содержания кислорода и азота. Вычислены также средние значения обилия кислорода и азота по классам III областей, а также значения N/O для них. Эти средние значения приведены в табл. 4.

Сравнительно большие разбросы величин  $12 + \lg O/H$ ,  $12 + \lg N/H$  для класса III областей из Sc/m галактик, по всей вероятности, обусловлены тем, что эти величины не только сильно меняются от галактики к галактике, но и вдоль диска одной галактики их изменения значимы (см., например, [2, 9]).

По наблюдательным данным, для каждого класса III областей в отдельности, рассмотрены зависимости величины  $\lg N/O$  от  $12 + \lg O/H$ . Построены соответствующие регрессионные уравнения в виде

$$\lg N/O = (b \pm \Delta b) + (a \pm \Delta a) (12 + \lg O/H) \quad (3)$$

и вычислены соответствующие коэффициенты корреляции. В табл. 5 для каждого класса приведены объекты используемых выборок, коэффициенты уравнения (3) и коэффициенты корреляции с интервалами достоверности на уровне 95%.

На основе данных табл. 4 аналогичная зависимость построена (см. рис. 2) и по всем классам III областей. Соответствующее регрессионное уравнение имеет вид  $\lg N/O = (-5,96 \pm 1,97) + (0,55 \pm 0,23) (12 + \lg O/H)$ , а коэффициент корреляции равен  $0,72 \pm 0,75$ . По тем же данным табл. 4 на рис. 3 построена зависимость  $12 + \lg O/H$  от  $12 + \lg N/H$ .

**Обсуждение некоторых результатов.** Существует мнение, что внегалактические изолированные III области (BCDG) [24, 25] генетически связаны или аналогичны с иррегулярными галактиками [26—28].

Из данных табл. 1 настоящей работы (см. также рис. 1 и 3) видно, что по обилию азота и кислорода классы BCDG и D1rg более близки друг к другу. Можно предположить, что упомянутая генетическая связь более четко выражена между этими объектами.

Почти одинаковое обилие кислорода и азота в BCGG, G1rg и Sc/m классах можно считать указанием на то, что история звездообразования в них одинакова, или подтверждением того, что звездообразование это локальный процесс, не зависящий от глобальных характеристик галактик [29] (см. также [30]).

Между тем, заметное отличие химического состава классов III областей BCDG от BCGG и D1rg от G1rg указывает на то, что морфологическая структура не играет единственной роли для классификации галактик по эволюционной последовательности [31]. Их светимость, предположительно и масса, имеют важное значение [28, 32]).

Подобие химической структуры III областей, наблюдаемых в спиральных рукавах Sa/bc галактик и ядерных областях галактик поздних морфологических типов, показывает, что объекты с одинаковой историей звездообразования в зависимости от морфологического типа галактик могут быть локализованы как в ядерных, так и во внешних областях галактик.

Споры о первичной или вторичной природе азота ведутся до сих пор. Данные, приведенные, например, в последних работах [33—35],

показывают, что больше половины, если не весь азот, является первичным. В противоположность этому, например, в работах [36, 37] приводятся доводы в пользу основной-вторичной природы азота.

Наблюдаемое в III областях обилие элементов и связи типа уравнения (3) (см., например, [36, 38]) позволяют анализировать

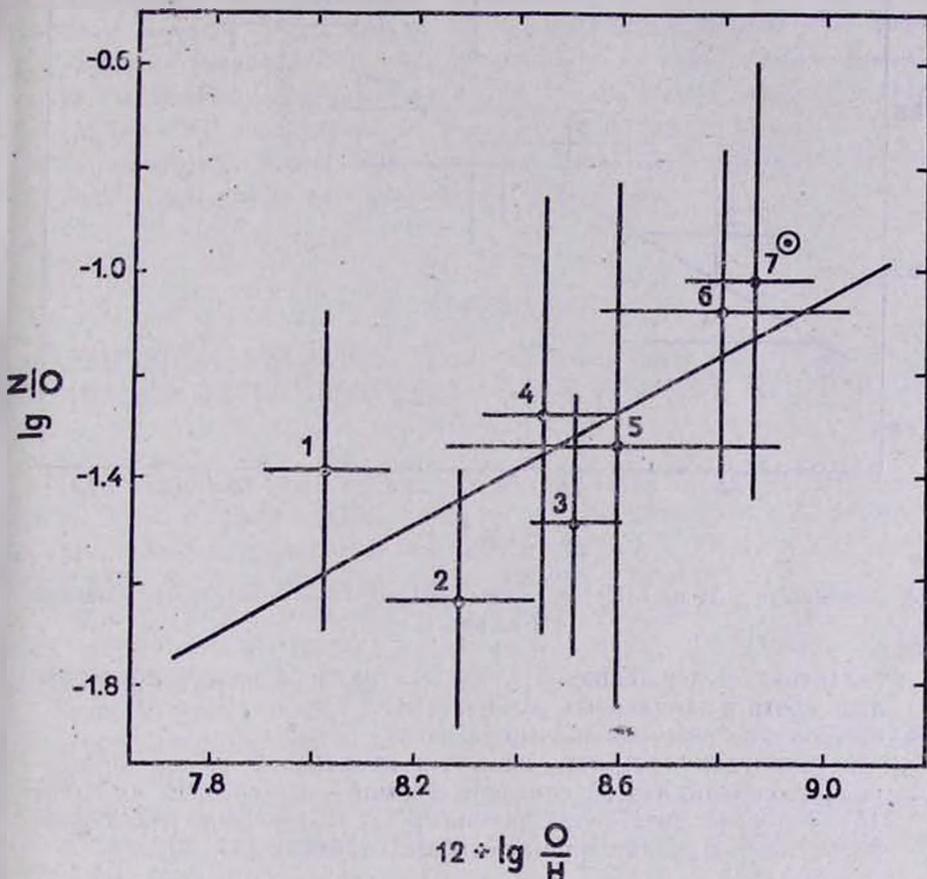


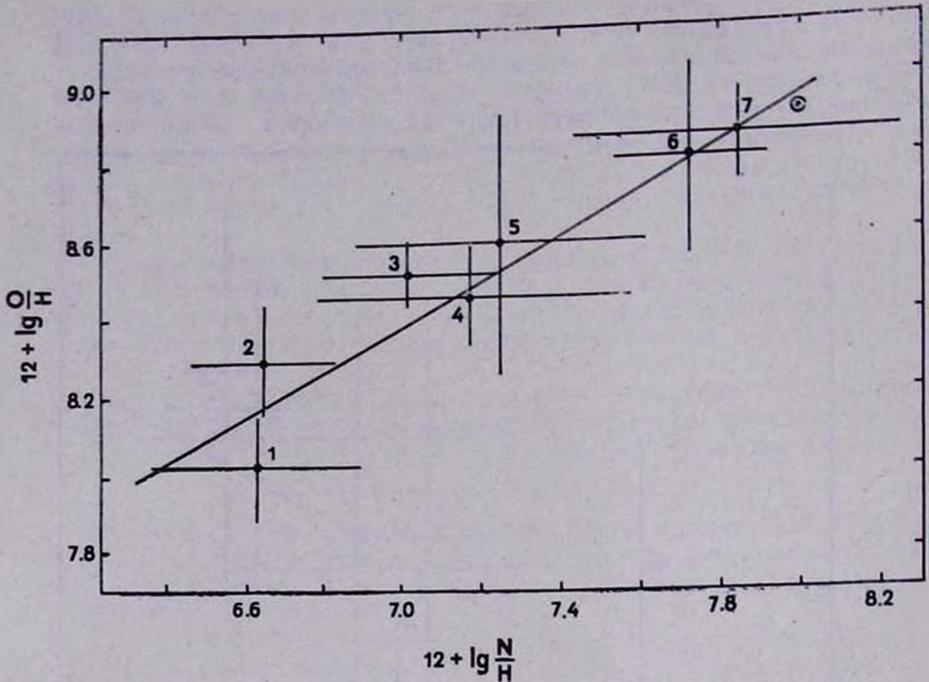
Рис. 2. Зависимость N/O от O/H для классов III областей; номера классов те же, что и на рис. 1

теории химической эволюции галактик, в частности, отмеченный выше вопрос.

Согласно нашим данным (см. табл. 5), на уровне 95% корреляции между параметрами  $\lg N/O$  и  $12 + \lg O/H$  для D Irr, G Irr, BCDG Sa/bc и ядерных классов III областей не обнаружено. Наблюдается слабая положительная корреляция для Sc/m и BCGG классов III областей и слабая отрицательная корреляция по III областям Галактики. Последняя, в основном, обусловлена значением этих параметров для периферических галактических III областей S38 и S48 [9]. На уровне значимости 95% корреляция не наблюдается и по всем классам III областей (см. выше).

Можно сделать вывод, что отношение  $\lg N/O$  приблизительно постоянно в каждом классе III областей и заметно не меняется от класса к классу.

Это может быть следствием того, что:



Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ

- գալաճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ
- ռաճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ
- ռաճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ

8 փաճաճաճաճ 1987 ճաճաճաճ

Ա. Ք. ՊԵՏՐՕՍՅԱՆ

ԷՄՊԻՐԻԿ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ԱՍՏՂԱՌԱԶԱՑՄԱՆ ԿՆՆՏՐՈՆՆԵՐՈՒԹՅԱՆ ԲՔՎԱԾՆԻ ԵՎ ԱԶՈՏԻ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ

Այս ճաճաճաճաճ Քս. 3. Զաճաճաճաճ Օ/Ն ռաճաճաճ Ն/Ն ճաճաճաճ

- ևը որոշելու համար  $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$  և  $\lg[NII]/H\alpha$  մեծությունների արժեքների հիման վրա դուրս են բերվել էմպիրիկ կապակցություններ: Ստացվել են հետևյալ արդյունքները՝
- Քզուկ անկանոն և սեղմ կապուլյտ թզուկ գալակտիկաները ամենայն հավանականությամբ համանման օբյեկտներ են
  - Սեղմ կապուլյտ թզուկ ( $M_p \geq -18^m$ ) գալակտիկաների քիմիական կազմությունը տարրերվում է սեղմ կապուլյտ, բայց հսկա, գալակտիկաների քիմիական կազմությունից: Նմանապես, թզուկ անկանոններից ( $M_p \geq -18_m$ ) տարրերվում է հսկա անկանոններից:
  - Յուրաքանչյուր դասում N/O հարաբերությունը մոտավորապես հաստատուն է այն դասից դաս էականորեն չի փոխվում:

A. R. PETROSIAN

EMPIRICAL RELATIONS FOR OXYGEN AND NITROGEN  
ABUNDANCE DETERMINATION IN STAR FORMING REGIONS OF  
GALAXIES

Total sample of HII regions (~500 objects) is divided on eight classes. Each of these classes contains HII regions from: the Galaxy; Sa—Sbc, Sc—Sm galaxies; dwarf; giant irregular galaxies; blue compact dwarf, giant galaxies and also nuclear formation.

For each class using  $\lg([OIII] + [OII])/H\beta$  and  $\lg[NII]/H\alpha$  ratios, empirical relations for oxygen and nitrogen abundance determination are constructed.

Several results were obtained:

- Dwarf irregular and dwarf blue compact galaxies are probably similar objects.
- Chemical structure of all of dwarfs ( $M_p \geq -18^m$ ) and giant blue compact galaxies, dwarf ( $M_p \geq -18^m$ ) and giant irregular galaxies differ from each other.
- N/O ratios approximately are constant in each class of HII regions and there is no any significant difference between classes.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Peimbert, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 13, 113, 1975.
2. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 19, 77, 1981.
3. H. E. Smith, Asrtophys. J., 199, 591, 1975
4. K. B. Kwitter, L. H. Aller, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 196, 939, 1981.
5. D. Alloin, S. Collin—Souffrin, M. Joly, L. Vigroux, Astron. Astrophys., 78, 200, 1979.
6. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chun, G. Smith, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 189, 95, 1979
7. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds G. Smith, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 193, 219, 1980.

8. *M. L. McCall*, "The Chemistry of Galaxies", Ph. Dissertation, Austin, 1982.
9. *P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. C. Danks, S. R. Pottasch*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **204**, 53, 1983.
10. *M. G. Edmunds, B. E. J. Pagel*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **211**, 507, 1984.
11. *R. Terlevich, J. Melnick*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **195**, 39, 1981.
12. *P. W. Hodge*, *Astron. J.*, **88**, 1323, 1983.
13. *Y. Taniguchi*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **33**, 571, 1986.
14. *V. A. Ambartsumian*, IAU—URSI Symp. No. 20 (ed. F. J. Kerr, A. W. Rodgers), Canberra, p. 122, 1964.
15. *J. S. Gallagher III, D. A. Hunter*, *Astrophys. J.*, **274**, 141, 1983.
16. *R. C. Kennicutt, Jr*, *Astrophys. J.*, **287**, 116, 1984.
17. *A. Р. Петросян*, *А. Ц.*, № 1355, с. 6, 1984.
18. *F. Sabbadin, S. Ortolani, A. Bianchini*, *Astron. Astrophys.*, **131**, 1, 1984.
19. *J. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevich*, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **93**, 5, 1981.
20. *S. Velleux, D. E. Osterbrock*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **63**, 295, 1987.
21. *A. Serrano, M. Peimbert*, *Rev. Mexicana Astron. Astrophys.*, **8**, 117, 1983.
22. *G. Stasinska, D. Alton, S. Collin—Souffrin, M. Joly*, *Astron. Astrophys.*, **93**, 362, 1981.
23. *V. C. Rubin, W. K. Ford Jr.*, *Astrophys. J.*, **305**, L 35, 1986.
24. *W. L. W. Sargent, L. Searle*, *Astrophys. J.*, **162**, L 155, 1970.
25. *L. Searle, W. L. W. Sargent*, *Astrophys. J.*, **173**, 25, 1972.
26. *J. S. Gallagher, III, D. A. Hunter*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 37, 1984.
27. *J. Melnick, R. Terlevich, P. P. Eggleton*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **216**, 255, 1985.
28. *L. Vigroux, G. Stasinska, G. Comte*, in "Star—Forming Dwarf Galaxies and Related Objects" (ed. D. Kunth, T. X. Thuan, J. T. T. Van), Editions Frontieres, p. 425, 1985.
29. *D. A. Hunter, J. S. Gallagher III*, *Astron. J.*, **90**, 80, 1985.
30. *F. Viallefond*, in "Star—Forming Dwarf Galaxies and Related Objects" (ed. D. Kunth, T. X. Thuan, J. T. T. Van), Editions Frontieres, p. 207, 1985.
31. *A. Sandage*, *Astron. Astrophys.*, **161**, 89, 1986.
32. *R. F. G. Wyse, J. Silk*, *Astrophys. J.*, **296**, L1, 1985.
33. *A. I. Diaz, M. Tosi*, *Astron. Astrophys.*, **158**, 60, 1986.
34. *J. B. Laird*, *Astrophys. J.*, **289**, 556, 1985.
35. *J. Tomkin, D. J. Lambert*, *Astrophys. J.* **279**, 220, 1984.
36. *A. Serrano, M. Peimbert*, *Rev. Mex. Astron. Astrophys.*, **8**, 117, 1983.
37. *M. Peimbert, A. M. Sarmiento*, *Astron. Express*, **1**, 97, 1984.
38. *R. J. Talbot, W. D. Arnett*, *Astrophys. J.*, **186**, 51, 1973.
39. *M. G. Edmunds, B. E. J. Pagel*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **185**, 77p, 1978.

А. С. АМИРХАНИЯН

ДИСПЕРСИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ И ОТНОШЕНИЕ  
МАССА—СВЕТИМОСТЬ В КОМПАКТНЫХ ГРУППАХ  
ШАХБАЗЯН 16 И 30

Для галактик—членов компактных групп Шахбазян 16 и 30 определены лучевые скорости. Дисперсия лучевых скоростей оказалась равной 85 и 300 км/с. Определены также видимые и абсолютные звездные величины галактик в V-цвете и отношение масса—светимость, равное примерно 30 и 260  $M_{\odot}/L_{\odot}$ , соответственно.

В июне—августе 1978 г. в рамках совместной программы Тартуской и Бюраканской астрофизических обсерваторий были выполнены спектральные наблюдения галактик, входящих в компактные группы Шахбазян 16 и 30 [1] на предмет определения лучевых скоростей. Наблюдения производились со спектрографом УАГС, установленном в фокусе Нэсмита телескопа ЗТА-2,6 и 500-канальным анализатором ОМА [2] Тартуской астрофизической обсерватории, в котором светоприемником является телевизионная передающая трубка типа SIT-видикон. За одну экспозицию перекрывался диапазон длин волн 4000—6200 Å с дисперсией около 200 Å/мм. Ширина щели спектрографа была 0,4 мм (2"), что соответствовало спектральному разрешению порядка 8 Å. В группе Шахбазян 16 были определены скорости 4 галактик из 7, а в группе Шахбазян 30—4 галактик из 6 (скорость галактики КГ 30(5), равная  $11100 \pm 200$  км/с была определена по спектрограмме с дисперсией 100 Å/мм, полученной на телескопе ЗТА-2,6 в сентябре 1979 г. при помощи ЭОП типа УМ-92 [3]). Обработка результатов наблюдений с ОМА производилась в Тыравере по методике, описанной в [2]. Оценка точности определения лучевых скоростей (около 80 км/с) произведена в работе [4]. В табл. 1 приведены лучевые скорости  $V_0$  галактик—членов групп 16 и 30, исправленные за движение Солнца по формуле:

$$\Delta V(\text{км/с}) = 300 \sin l^{\text{II}} \cdot \cos b^{\text{II}}.$$

Таблица 1

Номер галактики	Исправленная лучевая скорость $V_0$ (км/с)
КГ 16(1)	9023
(2)	9107
(4)	9280
(5)	9014
КГ 30(1)	6957
(2)	6708
(3)	6218
(5)	11100

Ввиду того, то скорость галактики № 5 значительно отличается от скоростей галактик № 1—3, есть основания сомневаться в ее принадлежности к компактной группе Шахбазян 30.

На основании данных табл. 1 средние скорости групп составляют около 9100 и 6630 км/с, что соответствует расстояниям до групп 122 и 88 Мпс (при  $H=75$  км/с · Мпс). Средние гармонические расстояния  $\langle R^{-1} \rangle^{-1}$  равны 58 и 54 кпк, а дисперсии лучевых скоростей  $\langle \Delta V^2 \rangle^{1/2}$ , исправленные за ошибки наблюдений, оказались равны 85 и 300 км/с (для групп 16 и 30, соответственно).

На рисунке приведены карты распределения лучевых скоростей в группах. Пунктиром обозначены внешние границы, а сплошной линией — передержанные области изображений галактик на Е-картах Паломарского атласа. Поскольку распределение на небе галактик с

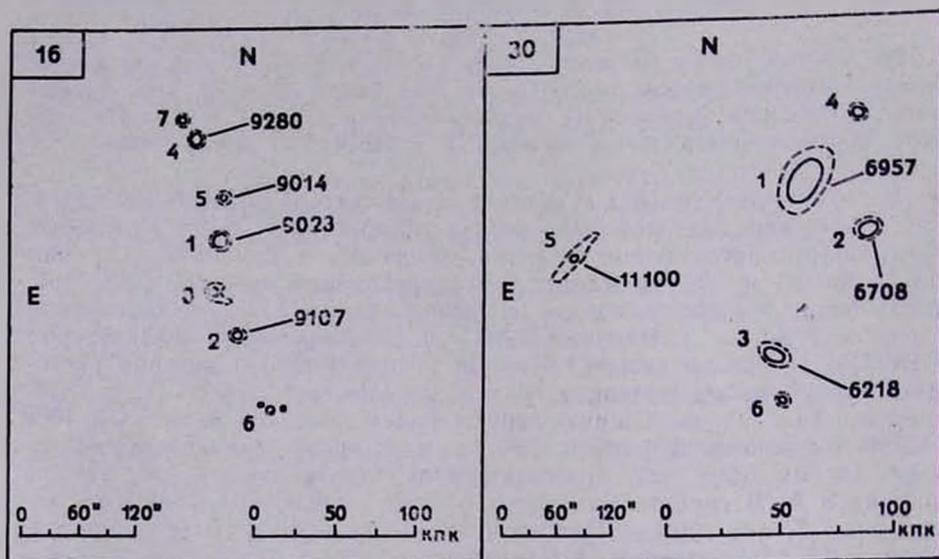


Рис. 1

известными лучевыми скоростями в общем схоже с распределением остальных возможных членов групп, то полученные величины должны в какой-то мере характеризовать группы в целом.

Принимая для определения виртуальной массы выражение согласно [5]:

$$M = 3\pi G^{-1} \frac{n}{n-1} \langle \Delta V^2 \rangle \langle R^{-1} \rangle^{-1},$$

где  $n$  — число галактик в группе, получаем:

$$M(\text{К.Г.16}) = 1,1 \cdot 10^{13} M_{\odot},$$

$$M(\text{К.Г.30}) = 1,3 \cdot 10^{13} M_{\odot}.$$

Видимые звездные величины галактик в V-цвете определялись методом детальной фотометрии негативов, полученных в прямом фокусе телескопа ЗТА-2,6 с использованием внефокальных изображений звезд для калибровки. Масштаб снимков около 21"/мм, размер диафрагмы при измерениях на микрофотометре МФ-2 соответствовал 100 × 100 мкм. В табл. 2 приведены интегральные видимые и соответствующие им абсолютные (исправленные также за поглощение в Галактике) величины, при  $H=75$  км/с · Мпс.

Таблица 2

Номер галактики	Видимая зв. величина $m_V$	Абсолютная зв. величина $M_V$
КГ 16(1)	15 <sup>m</sup> ,34	-20 <sup>m</sup> ,42
(2)	16,03	-19,73
(3)	16,6	-19,16
(4)	16,2	-19,56
(5)	16,26	-19,5
(6)*	16,79	-19,0
(7)	17,0	-18,75
КГ 30(1)	14,0	-21,0
(2)	14,84	-20,14
(3)	14,44	-20,54
(4)	16,04	-18,94
(6)	17,1	-17,9

\* Состоит из 3 компонент с  $m_V=16^m.99$

19,32

19,78, причем

центральная (наиболее яркая) компонента в свою очередь, обнаруживает признаки двойственности.

Суммарная светимость групп Шахбазян 16 и 30 оказалась равной  $4 \cdot 10^{10}$  и  $5 \cdot 10^{10} L_{\odot}$ , а отношение масса—светимость около 30 и 260  $M_{\odot}/L_{\odot}$ , соответственно.

Возможен также другой подход к определению массы КГ 30. Учитывая то, что наиболее яркие галактики № 1—3, лучевые скорости которых определены, вносят основной (около 91%) вклад в суммарную светимость группы, их можно рассматривать как триплет с  $\langle R^{-1} \rangle^{-1} = 52$  кпк и  $L = 4,5 \cdot 10^{10} L_{\odot}$ . Подставляя новое значение среднего гармонического расстояния в формулу определения виртуальной массы, которая применительно к триплетам принимает вид:

$$M = 3\pi G^{-1} \frac{3}{2} \left| \langle \Delta V^2 \rangle - \frac{2}{3} \langle \sigma^2 \Delta V \rangle \right| \langle R^{-1} \rangle^{-1},$$

где  $\langle \sigma^2 \Delta V \rangle^{1/2}$ —средняя квадратическая ошибка измерения лучевых скоростей, получаем  $M = 1,5 \cdot 10^{13} M_{\odot}$  и  $M/L \approx 330 M_{\odot}/L_{\odot}$ .

9 мая 1987 г.

Ա. Ս. ԱՄԻՐՅԱՆՅԱՆ

ՏՆՍԱԿԾԱՅԻՆ ԱՐԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԻՍՊԵՐՍԻԱՆ ԵՎ ԶԱՆԳՎԱՍՏ-ԼՈՒՍԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆ ՀԱՐԱՐԵՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՇԱՀԲԱԶՅԱՆ 16 ԵՎ 30 ՍԵՂՄ ԽՄԲԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Որոշված են Շահբազյան 16 և 30 սեղմ խմբերի անդամ գալակտիկաների տեսագծային արագությունները, Տեսագծային արագությունների դիսպերսիան ստացվել է հավասար 85 և 300 կմ/վրկ, Որոշված են նաև գալակտիկաների տեսանելի և բացարձակ աստղային մեծությունները  $V$  գույնում և զանգված-լուսատվությունի հարաբերությունը, որը հավասար է մոտավորա-

պես 30 և 260  $M_{\odot}/L_{\odot}$ , համապատասխանաբար, Շահբազյան 16 և 30 խումբերի համար:

A. S. AMIRKHANIAN

THE DISPERSIONS OF THE RADIAL VELOCITIES AND MASS TO LUMINOSITY RATIOS FOR THE COMPACT GROUPS OF GALAXIES SHAHBAZIAN 16 AND 30

The radial velocities of the members of the compact groups of galaxies Shahbazian 16 and 30 are determined. The dispersions of the radial velocities of these two compact groups are equal to 85 and 300 km/s, respectively. Moreover the apparent and absolute magnitudes of galaxies in colour V as well as the mass to luminosity ratios are obtained. The latters are approximately equal to 30 and 260  $M_{\odot}/L_{\odot}$  for the groups 16 and 30 respectively.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. К. Шахбазян, *Астрофизика*, 9, 495, 1973.
2. А. Каазик, *Публ. Тартуской обс.*, 50, 296, 1984.
3. А. С. Амирханян, В. А. Гаген-Торн, В. П. Решетников, *Астрофизика*, 18, 32, 1982.
4. Я. Венник, А. Каазик, А. Амирханян, *Астрофизика*, 18, 533, 1982.
5. И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева, *Письма в Астрон. ж.*, 1, 5, 1975.

Г. А. ОГАНЯН

## НАБЛЮДЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК NGC 7714—NGC 7715 И КВАЗАРА 2333+019 НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

Приводятся результаты наблюдений взаимодействующих галактик NGC 7714—NGC 7715 и квазара 2333+019 на 3.95 ГГц. Обнаружена переменность радионизлучения от галактики со вспышкой звездообразования NGC 7714. Среди галактики со вспышкой звездообразования переменность радионизлучения NGC 7714 не является исключением.

Результаты радионаблюдений области взаимодействующих галактик NGC 7714 (Маркарян 538)—NGC 7715 (VV 51, Арп 284, К 587) и квазара 2333+019, полученные разными авторами на разных радиотелескопах и на различных частотах, собраны в работе [1]. Обезуждая эти данные, авторы заключают, что радионизлучение от галактики NGC 7715 является переменным. Ранее отмеченные в литературе данные о переменности радионизлучения от Марк 538 не были уверенными, так как наблюдения проводились на радиотелескопах с большими диаграммами направленности [2, 3]. В период с 1977 по 1978 гг. галактика Марк 538 наблюдалась на радиотелескопе РАТАН-600 на 3.66 ГГц [4]. Недостаточная точность измерений плотности потока за 1978 г. авторам не позволила судить о поведении радионисточника Марк 538 за этот период. Для исследования ядерной области NGC 7714 на VLA были проведены наблюдения на частотах 1.4 и 4.885 ГГц [5—7]. В работе [7] приведены результаты наблюдений галактики NGC 7714 в рентгеновском, ультрафиолетовом, радио- и оптическом диапазонах. Все данные, объясняются как результат интенсивного звездообразования в активном ядре. В частности, для объяснения излучения в рентгеновском и радиодиапазонах требуется наличие  $\sim 10^4$  остатков сверхновых в ядерной области с радиусом 280 пк. Ее размер был определен по радионаблюдениям, которые проводились на VLA на 4.885 ГГц с разрешением  $1'' \times 0.7''$ . В центре же этой области авторы отмечают наличие двух неразрешенных компонентов с суммарной плотностью потока 4 мЯн. От NGC 7714 обнаружено также инфракрасное излучение [8].

Радионисточник 2333+019, отождествленный с  $18^m 0$  QSO [9], входит в список слабых радионисточников, которые составлены по наблюдениям методом лунного покрытия на 0.327 ГГц [10].

Наши наблюдения области взаимодействующих галактик NGC 7714—NGC 7715 и квазара 2333+019 проводились с 19 по 23 ноября 1984 г. и с 8 по 12 сентября 1986 г. на Северном секторе радиотелескопа РАТАН-600 на 3.95 ГГц. Наблюдения проводились в режиме прохождения источников через неподвижную диаграмму направленности антенны. Диаграмма направленности по точкам половинной интенсивности составляла  $1' \times 10'$ . Чувствительность системы антенна—радиометр на 3.95 ГГц при постоянной времени низкочастотного филь-

тра 1 с составляла  $3.5^\circ$  мК. В качестве опорных источников для калибровки антенны по плотности потока наблюдались 3С 161 и PKS 212-04, значения плотности потоков которых на 3.95 ГГц определены по шкале Баарса и др. [11].

Результаты наблюдений приведены в таблице, в последовательных столбцах которой даны: названия исследуемых объектов, средние значения плотности потоков на 3.95 ГГц за ноябрь 1984 г. и сентябрь 1986 г. соответственно. Как видно из таблицы, изменение значений плотности потока радионизлучения от 2333+019 в период с 1984 по 1986 гг. порядка ошибок измерения плотности потоков. Плотность потока радионизлучения от NGC 7715 определена неуверенно. Значение же плотности потока радионизлучения от NGC 7714=Марк 538 в период от ноября 1984 г. по сентябрь 1986 г. увеличилось с  $50 \pm 8$  до  $102 \pm 16$  мЯн. Таким образом, с уверенностью можно сказать, что радионизлучение от NGC 7714 является переменным. Известно, что переменными являются компактные радионисточники (радионизлучение квазаров, объектов типа BL Lac, ядер радиогалактик и сейфертовских

Таблица

Названия	3,95 ГГц (МЯн)	
	ноябрь 1984 г.	сентябрь 1986 г.
NGC 7714	$50 \pm 8$	$102 \pm 16$
NGC 7715	$15 \pm 8$	$< 36$
2333 + 019	$81 \pm 10$	$62 \pm 15$

галактик). По данным настоящей работы переменное радионизлучение обнаружено также от галактики NGC 7714=Марк 538—галактики с узкими эмиссионными линиями, ядро которой является очагом звездообразования (так называемые галактики со вспышкой звездообразования [7, 12]).

Переменность радионизлучения от Марк 538—галактики со вспышкой звездообразования—не является исключением. Галактики Марк 201, 545, 617, 759, 799 и NGC 3504 также относятся к галактикам со вспышкой звездообразования [12]. Из них у Марк 617 и, вероятно, у Марк 759 по данным работы [13] обнаружено переменное радионизлучение. Остальные либо имеют неразрешенные компоненты по наблюдениям на VLA на 4.885 ГГц с разрешением  $1''$  (Марк 201, 799, NGC 3504 [6, 14]), либо имеют плоский спектр радионизлучения (Марк 201, 545 [3, 15, 16]). С большой вероятностью можно допустить, что эти галактики обладают переменным радионизлучением.

20 января 1987 г.

Գ. Ա. ՕԳԱՆՅԱՆ

NGC 7714—NGC 7715 ՓՈՆԱԶԳԻՈՂ ԳԱՆԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ԵՎ 2333+019  
ՔՎԱԶԱՐԻ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԸ ՌԱՏԱՆ-600 ՌԱԴԻՈԴԻՏԱԿԱՆՈՎ

Բնրված են NGC 7714/7715 փոխազդող զալակտիկաների և 2333+019 քվազարի 3.95 ԳՀՑ հաճախությամբ կատարված դիտումների արդյունքների Հայտնաբերվել է փոփոխական ռադիոճառագայթում NGC 7714=Մար-

գարյան 538 աստղաճայթում ունեցող գալակտիկայից: Աստղաճայթում ունեցող գալակտիկաների մեջ NGC 7714 գալակտիկայի ռադիոճառագայթման փոփոխականությունը բացառություն չի կազմում:

G. A. OHANIAN

OBSERVATIONS OF INTERACTING GALAXIES  
NGC 7714—NGC 7715 AND QUASAR 2333+019 ON RATAN-600  
RADIOTELESCOPE

The results of observations of interacting galaxies NGC 7714—NGC 7715 and quasar 2333+019 with the RATAN-600 at 3.95 GHz are presented. The variability of the radio emission from star burst nucleus of NGC 7714 is discovered. It is not an exception among star burst galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Коджоян, Г. М. Товмасын, *Астрофизика*, 18, 343, 1982.
2. A. E. Wright, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 167, 251, 1974.
3. J. W. Sulentic, *A. J.*, 81, 582, 1976.
4. В. А. Самиян, Р. А. Кандалян, *Астрофизика*, 15, 701, 1979.
5. J. J. Condon, *Ap. J.*, 242, 894, 1980.
6. J. M. van der Hulst, P. C. Crane, W. C. Keel, *A. J.*, 86, 1175, 1981.
7. D. W. Weedman, F. R. Feldman, V. A. Balzano, L. W. Ramsey, R. A. Sramek, *Chi—Chao Wu*, *Astrophys. J.*, 248, 166, 1981.
8. G. H. Rieke, F. L. Low, *Astrophys. J.*, 176, L 95, 1972.
9. J. Stocke, H. Arp, *Astrophys. J.*, 219, 367, 1978.
10. M. N. Joshi, A. K. Singal, *Mem. Astr. Soc. India*, 1, 49, 1980.
11. J. N. M. Baars, R. Genzel, I. I. K. Pauliny-Toth, A. Witzel, *Astron. Astrophys.*, 61, 99, 1977.
12. V. A. Balzano, *Astrophys J.*, 268, 602, 1983.
13. H. M. Tovmassian, W. A. Sherwood, V. E. Sherwood, G. V. Schultz, C. J. Salter, H. E. Matthews, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 58, 317, 1984.
14. J. S. Ulvestad, A. S. Wilson, R. A. Sramek, *Astrophys J.*, 247, 419, 1981.
15. J. J. Condon, L. L. Dressel, *Astrophys. J.*, 221, 456, 1978.
16. L. L. Dressel, J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 36, 53, 1978.

Г. М. ТОВМАСЯН, С. А. АКОПЯН

РАДИОНЗЛУЧЕНИЕ И АКТИВНОСТЬ ЯДЕР  
СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

На основе результатов радионаблюдений спиральных галактик одного морфологического подтипа (Sbc) [11] подтверждено, что частота встречаемости радионизлучения в них, а также их радиосветимость, коррелируют с оптическими признаками активности ядер галактик, определяемых в соответствии с бюраканской классификацией центральных частей галактик [2, 5]. При этом активность ядер проявляется и в радионизлучении дисков галактик, имеющих достаточно большие размеры.

Бюраканская классификация галактик (см. [1] и ссылки в ней), основные принципы которой были даны В. А. Амбарцумяном [2], выявила определенные различия в структуре ядерных областей спиральных галактик. Сопоставление бюраканских классов с результатами исследования радионизлучения соответствующих галактик показало [3, 4], что, как и предполагалось [5], галактики с оптическими признаками активности их ядер, то есть галактики со звездообразными и звездоподобными ядрами, обозначаемые баллами 5 и 4, а также галактики с расщепленными ядрами (2s) и, в какой-то мере, галактики с оценками 2, наиболее часто обладают измеримым радионизлучением и, следовательно, действительно, находятся в активной фазе своего развития. Частота встречаемости радионизлучения оказалась значительно меньше у галактик с оценками 3 и 1, то есть у галактик без каких-либо оптических признаков активности их ядер.

Обнаруженное различие радионизлучательных свойств спиральных галактик, в зависимости от структуры центральных областей, оказалось намного более сильным, чем обнаруженная ранее [6] зависимость от морфологического типа. Были замечены также некоторые различия спектральных индексов спиральных галактик различных морфологических подтипов [7]. Как было, однако, показано в работах [3, 4], радионизлучательные особенности спиральных галактик непосредственно связаны с активными процессами в их ядрах, независимо от морфологического типа. А некоторая замеченная зависимость от морфологического типа была, по всей видимости, обусловлена различным представительством галактик отдельных бюраканских классов в группах галактик различных морфологических подтипов. О протекании активных процессов в галактиках с оценками 5 и 4 свидетельствует и обнаружение истечения газа из их ядер со скоростями в несколько км.с<sup>-1</sup> [8].

Как выяснилось [9], и по своим U—B, B—V цветам центральные области галактик различных бюраканских классов оказались различными: центральные области галактик с признаками активности их ядер (с баллами 2s, 5, 2 и 4) оказались заметно голубее, чем цвета тех же областей галактик с оценкой 3. При этом было также показано, что это различие не обусловлено морфологическими типами галактик, т. е. не обусловлено воздействием на измеряемые цвета звездного населения спиральных рукавов рассматриваемых галактик.

В последние годы обзоры радиоизлучения спиральных галактик проводятся с радиотелескопами со все более низкой предельной чувствительностью, что позволяет обнаруживать слабое радиоизлучение от большинства из них. При этом одна лишь частота встречаемости радиоизлучения у галактик тех или иных типов перестает уже быть параметром, определяющим радиоизлучательные свойства соответствующих групп галактик. В таких условиях, если количество наблюдаемых галактик в различных группах достаточно, то, конечно, целесообразно исследовать функцию радиосветимости, если нет, то можно хотя бы посмотреть, имеются ли различия в средней мощности радиоизлучения различных групп галактик. В работе [10] уже было показано, что радиоиндекс, т. е. отношение радиосветимости к интегральной оптической светимости галактик регулярно уменьшается при переходе от галактик с наиболее активными ядрами, принадлежащими бюраканским классам 5 и 2s, через галактики с менее ярко выраженной активностью (с оценками 4 и 2) к галактиками без явных признаков активности ядер (с оценками 3 и 1). Зависимость мощности радиоизлучения спиральных галактик от их бюраканского класса была замечена и в работе [4].

Недавно на VLA на частоте 1465 МГц было выполнено наблюдение 88 галактик только одного морфологического подтипа, а именно Sbc, с достаточно низкой предельной чувствительностью:  $\sim 1$  мЯн при регистрации точечных источников и 5—10 мЯн при регистрации протяженных источников [11]. Для 59 из этих галактик имеются бюраканские классы [1], что предоставляет возможность проверить сделанные ранее выводы.

Из-за большей чувствительности радиотелескопа, процент галактик с обнаруженным радиоизлучением здесь заметно выше, чем в случае других радиообзоров, однако и здесь, как это видно из табл. 1, очевидна та же зависимость, замеченная и раньше—относительное количество галактик с радиоизлучением, как исходящим из самого ядра, так и из диска, выше среди галактик бюраканских классов 5 и 2s, несколько меньше среди галактик классов 4 и 2 и еще меньше среди галактик классов 3 и 1. В табл. 1 из-за небольшого количества исследованных галактик данные по галактикам типов 5 и 2s, 4 и 2, 3 и 1 сведены вместе.

Таблица 1

Относительное количество галактик с радиоизлучением среди галактик различных бюраканских классов

Число галактик	Бюраканские классы			
	2s и 5	4 и 2	3 и 1	все
N—число рассмотренных галактик	10	32	17	59
$N_d$ —число галактик с радиоизлучением диска	10	23	10	43
$N_d/N$ (%)	100	72	59	73
$N_n$ —число галактик с радиоизлучением ядра	6	12	5	23
$N_n/N$ (%)	60	37	29	39

Оценим вероятности случайного наличия у галактик различных групп, образующих рассмотренную выборку из 59 галактик, приведенного в таблице процента радиоизлучения того или иного типа.

У 43 из 59, т. е. у 73% присутствует дисковый радиоисточник. Если из выборки с таким составом отобрать 10 случайных галактик, то вероятность того, что у всех 10 будет дисковое радиоизлучение (га-

лактики типов 5 и 2s) равна 0.03. Вероятность отбора 17 галактик, среди которых у 10 имеются радиоизлучающие диски (галактики типов 3 и 1), равна 0.08. А подвыборку, состоящую из 32 галактик (типов 4 и 2), 23 из которых обнаруживают дисковый радиосточник можно получить значительно легче, с вероятностью 0.23. Вероятность, что основная выборка разобьется на три именно такие, вышеуказанные подвыборки, т. е. что больший процент радиоизлучения дисков окажется у галактик с активными ядрами и меньший—у галактик без признаков активности существенно меньше. Она равна всего 0.005.

Ядерные радиосточники имеются у 23 из 59 галактик. Вероятности случайного отбора из выборки с таким составом подвыборок, соответствующих трем рассмотренным группам равны: 0.09—для галактик типов 2s и 5 (6 из 10), 0.15—для галактик типов 3 и 1 (5 из 17) и 0.20—для галактик типов 4 и 2 (12 из 32). С вероятностью 0.008 эти события могут произойти одновременно.

И уже совсем маловероятно,  $P=4 \cdot 10^{-5}$ , что и в первом случае, когда рассматриваются дисковые радиосточники, и во втором случае, при рассмотрении радиоизлучения ядер, количества галактик с радиоизлучениями у галактик с активными ядрами типов 2s и 5 будет больше ожидаемого и, наоборот, будет меньше в случае галактик типов 1 и 3 без видимых признаков активности. При этом мы предполагаем, что наличие дискового радиоизлучения никак не связано с наличием ядерного радиосточника.

Таким образом, можно с достаточной уверенностью сказать, что наблюдаемые относительные количества радиоизлучающих ядер и дисков у групп различных бюраканских классов не являются случайными.

Итак, результаты радионаблюдений только одного морфологического подтипа показывают, что наличие как ядерных радиосточников в них, так и, что очень существенно, наличие радиоизлучения диска непосредственно коррелируется с оптическим видом ядра галактик.

Из рассмотрения табл. 2, в которой приведены средние расстояния различных групп галактик, может создаться впечатление, что больший процент обнаруживаемости радиоизлучения от галактик классов 2s и 5 обусловлен их близостью к нам.

Таблица 2  
Средние расстояния в Мик различных групп галактик

Группы галактик	Бюраканские классы		
	2s и 5	4 и 2	3 и 1
Д (+)	19.0±12.7	27.9±13.7	23.8±15.0
Д (-)	—	18.6±2.9	20.6±12.5
Я (+)	14.0±6.2	23.5±8.4	18.5±8.2
Я (-)	26.5±15.9	26.8±14.9	24.2±12.0

+—обозначает наличие соответствующего радиоизлучения,

—отсутствие такового

То, что это может быть не так, видно из того, что группы галактик 4, 3, 2 и 1 без обнаруженного радиоизлучения диска находятся даже ближе, чем галактики тех же группы с обнаруженным радиоизлучением. В этом убеждает и рассмотрение радиосветимостей исследованных групп галактик (см. рис. 1 и 2). Из рисунков видно, что об-

наруженные различия в частоте встречаемости радиоизлучения различных групп галактик обусловлены именно различиями оптического вида их центральных частей.

На рис. 1 и 2 соответственно представлены диаграммы: радиосветимость ядерного источника—бюраканский класс и полная радиосветимость—бюраканский класс.

На этих рисунках черными кружками обозначены логарифмы измеренных значений радиосветимостей галактик, светлыми кружками

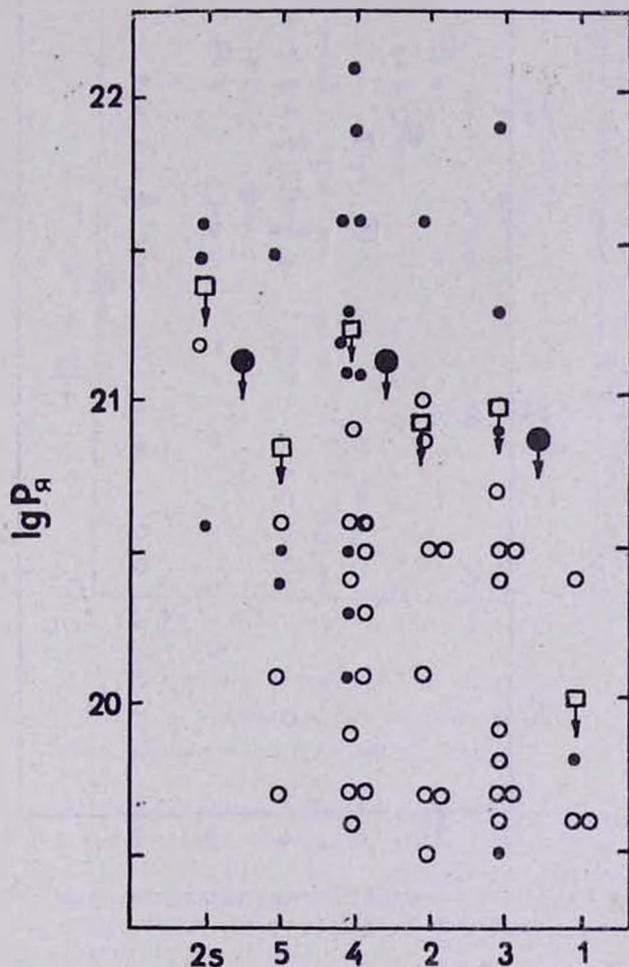


Рис. 1. Зависимость радиосветимостей ядерных радионисточников от бюраканского класса галактик

обозначены верхние пределы радиосветимостей соответствующих галактик без измеренного радиоизлучения. Квадратиками обозначены логарифмы средних значений радиосветимостей соответствующих групп галактик. Наличие направленной вниз стрелки указывает, что при расчете средних значений радиосветимостей учтены и верхние пределы радиосветимостей галактик без измеренного радиоизлучения. Черными большими кружками указаны логарифмы средних значений

радиосветимостей галактик рассмотренных пар бюраканских классов: 2s и 5, 4 и 2, 3 и 1.

Рассмотрение этих рисунков четко указывает на уменьшение логарифмов средних значений радиосветимостей как дисковых, так и центральных радиосточников при переходе от галактик с наиболее

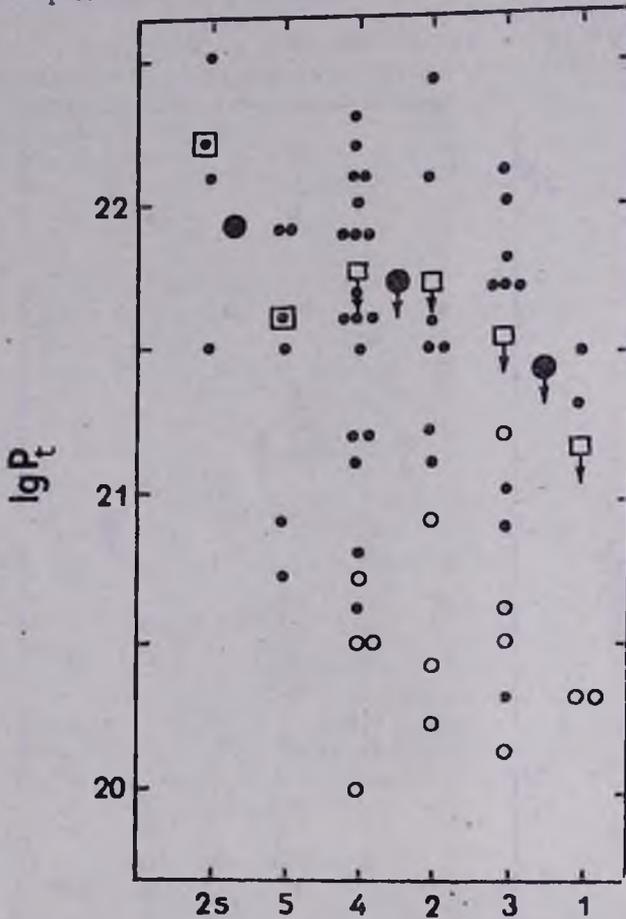


Рис. 2. Зависимость полных радиосветимостей галактик от их бюраканского класса

яркими оптическими признаками активности 2s и 5 к наименее активным галактикам с оценками 3 и 1.

На рис. 3 представлены логарифмы отношений радиосветимостей дисков галактик к их интегральной оптической светимости для галактик различных классов. Обозначения такие же, как и на рис. 1 и 2. Из рисунка видно, что при переходе от галактик с активными ядрами к менее активным галактикам указанное отношение уменьшается.

Таким образом, рассмотрение результатов радионаблюдений спиральных галактик одного морфологического подтипа, Sbc, определенно указывает как на большую частоту встречаемости радиоизлучения среди галактик с более явными оптическими признаками активности

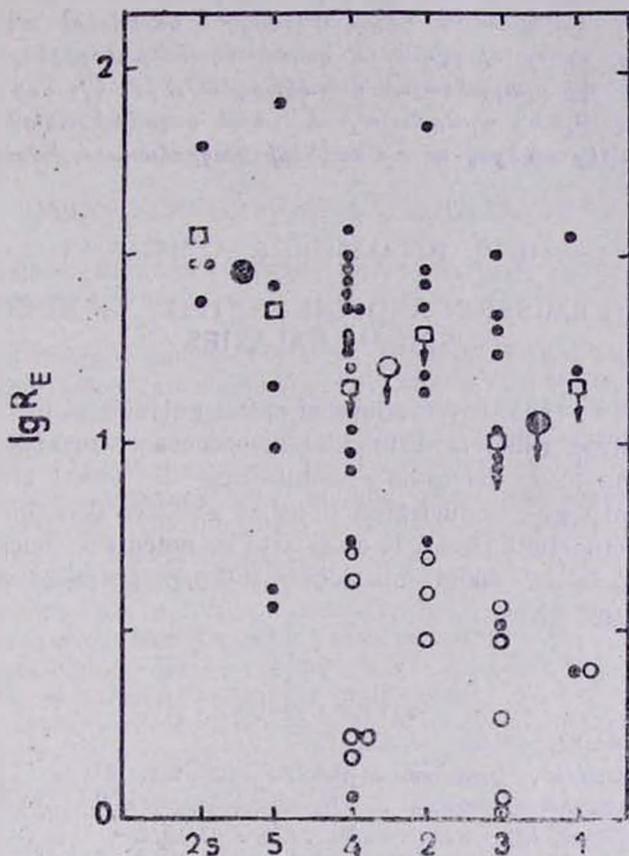


Рис. 3. Зависимость отношения радиосветимостей дисков к интегральной оптической светимости галактик от их бюраканского класса

— в соответствии с бюраканской классификацией центральных частей галактик, так и на определенную зависимость средней радиосветимости галактик от оптических признаков активности. Важно при этом, что активность ядер сказывается не только на радиоизлучательных свойствах самих ядер, но и на мощности радиоизлучения дисков галактик, имеющих большие размеры.

10 мая 1987 г.

Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ, Ս. Ա. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ՊԱՐՈՒՐԱԶԵԿ ԳԱՂԱԿՏՐԿԱՆՆԵՐԻ ԿՈՐԻՉՆԵՐԻ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՌԱԴԻՈՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄԸ

Մի ձևարանական ենթադրաբի՝ She պարուրաձև վալակտիկաների ազդեցիկությունների [1] հիման վրա հաստատվում է, որ դրանցում ազդեցողա-

գայթաման առկայության հաճախականությունը, ինչպես նաև դրանց ռադիոլուսատվությունը կախված են գալակտիկաների կորիզների ակտիվության նշաններից, որոնք որոշվում են գալակտիկաների կորիզների կենտրոնական տիրույթների բյուրականյան դասակարգմամբ [2, 5]: Հնդ որում, կորիզների ակտիվությունը արտահայտվում է նաև գալակտիկաների բավականաչափ մեծ չափեր ունեցող սկավառակների ռադիոճառագայթման մեջ:

H. M. TOVMASSIAN, S. A. HAKOPIAN

## THE RADIO EMISSION AND THE ACTIVITY OF NUCLEI OF SPIRAL GALAXIES

The results of radio observations of spiral galaxies of the same morphological subtype (Sbc) confirm, that the occurrence of radio emission from them and also the radio luminosities of them are correlated with optical signs of nuclear activity of galaxies determined by the Byurakan classification [2, 5]. It must also be noted that nuclear activity is displayed by the radio emission of disks of galaxies, which have sufficiently large sizes.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сообщения Бюраканской обс., 47, 43, 1975.
2. V. A. *Ambartsumian*, Transactions of the IAU, 12B, 578, 1964.
3. Գ. Մ. Կովմասյան, Աստրոֆիզիկա, а) 2, 419, 1966; б) 3, 555, 1967; в) 18, 25, 1982.
4. H. M. *Tovmassian*, Astrophys. J. Letters, 178, L 47, 1972.
5. A. T. *Կալոգլյան* Գ. Մ. Կովմասյան, Сообщ. Бюраканской обс., 36, 31, 1964.
6. D. S. *Heeschen*, C. M. *Wade*, Astron. J. 69, 277, 1964.
7. K. D. *Ekers*, in "Structure & Properties of Nearby Galaxies", eds. E. M. *Bertkij* s n & R. *Wielebinski*, p. 221, 1978.
8. B. M. *Lewis*, Observatory. 95, 168, 1975.
9. Գ. Մ. Կովմասյան, Շ. Ա. Ակոպյան, Աստրոֆիզիկա, 26, 45, 1987.
10. H. M. *Tovmassian*, Y. *Terzian*, Astrophys. Letters, 15, 97, 1973.
11. E. *Hummel*, A. *Peddler*, J. M. *van der Hulst*, R. D. *Davies*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 60, 293, 1985.

С. Г. ИСКУДАРЯН

## МЕНЕЕ ВЕРОЯТНЫЕ КАНДИДАТЫ В Iгг II

Дается список 89 менее вероятных кандидатов в Iгг II, в которых подозревается присутствие пыли.

Работа поисков кандидатов в Iгг II началась с того, что по Паломарским снимкам были выделены те галактики, которые по своим изображениям на картах похожи на галактики из списка [1]—типа M82. Так как последние составляют отдельный подкласс среди галактик типа Iгг II, а галактики типа Iгг II имеют три очевидные внешние характеристики—красный цвет, обилие пыли и неправильная форма, то были введены обозначения этих характеристик соответственно буквами г, d, p. Выделенные нами на картах объекты были внесены в разные списки в зависимости от того, каким из этих характеристик они удовлетворяют, причем красный цвет считался обязательной внешней характеристикой для объектов всех списков.

В первый список [2]—в группу первоочередных кандидатов в Iгг II включались галактики, которым приписаны все три обозначения. В список вероятных кандидатов включались те галактики, которые удовлетворяли двум характеристикам, а третья подозревалась или отсутствовала [3]. В настоящий, третий, список менее вероятных кандидатов, который приводится в табл. 1, входят те кандидаты в Iгг II, в изображениях которых подозревается присутствие пыли и пекулярность, т. е. они имеют обозначения г, d?, p? Для семи из них обозначение г тоже стоит с вопросительным знаком. Это значит, что изображения этих семи объектов более ярки на голубых картах, чем на красных. Проверка чувствительности пары карт определялась путем подсчетов звезд на пробных площадках обеих карт. Оказалось, что голубая карта некоторых из этих пар чувствительнее, чем обычно, относительно красной карты, поэтому и наблюдается такая картина. Наши глазомерные оценки цвета этих семи объектов дали значения от  $+0^m.4$  до  $+0^m.6$ , что не должно казаться удивительным, так как значения В—V цвета для некоторых известных Iгг II галактик тоже находятся в этом интервале.

Заметим, что при дополнительной ревизии и более строгом подходе, шесть объектов из прежнего списка вероятных кандидатов были перенесены нами в настоящий список менее вероятных кандидатов. Кроме того, NGC 839 по Паломарским снимкам приписаны обозначения г, p? т. е. этот объект не должен быть в настоящем списке, но согласно изображению в атласе Арпа [4] он получил обозначения г, d, p и в порядке исключения оставлен в настоящем списке. Еще 12 объектов настоящего списка (больше 13%) по снимкам Арповского атласа имеют обозначения, согласно которым они должны были находиться в списках первоочередных и вероятных кандидатов в Iгг II, т. е. они определению пекулярны и содержат пыль.

В первом столбце таблицы приводятся порядковые номера галактик, во втором—NGC, UGC МКГ и IC [5—7] номера галактик, смо-

т<sub>р</sub>» в какой из этих каталогов входит галактика по порядку нумерации литературы. В третьем столбце даются Хаббловские типы, взятые из каталога Нильсона [6]. Хаббловские типы, стоящие в скобках, определены нами по снимкам Паломарских карт. Для некоторых галактик эти типы взяты из списков [8, 9]. В следующем столбце приводятся видимые интегральные фотографические звездные величины галактик, взятые в основном из каталога Нильсона. Для некоторых галактик, которые не входят в этот каталог, значения m<sub>pg</sub> приводятся

Таблица

Менее вероятные кандидаты в Iгг II

№	NGC	HT	m <sub>pg</sub>	1 2 3 4			
				1	2	3	4
1	70	Sb	14 <sup>m.5</sup>	46	3884	Sa	14.0
2	МКГ-1-2-31	(SB...?)	(14.5*)	47	4091	S...	15.1
3	279	(SO Sa?)	14.0	48	4151	Sa/SBb	11.2
4	МКГ-2-3-52	(Sa Sb <sub>r</sub> ?)	(13.0*)	49	4260	SBa	13.1
5	356	(Sc?)	13.5	50	4300	Sa	13.9
6	403	SO-a	13.3	51	4383	...peculiar	12.3
7	523	...peculiar	13.5	52	4389	SB...peculiar	12.8
8	718	SBa	12.5	53	4405	SO-a	12.6
9	UGC 01451	SBb?	14.3	54	4419	Sa	11.8
10	839	(E...?)	13.0	55	4421	SBO SBa	11.2
11	842	(SO Sa?)	14.0	56	4492	S...	13.1
12	856	(SO Sa?)	14.4	57	4580	Sa-b	13.6
13	МКГ-1-7-16	(S...?)	14.5	58	4676a	doub. syst. w. c 6	14.1
14	1024	Sb	13.8	59	4698	Sa	11.6
15	1035	Sc <sub>r</sub>	13.0	60	4763	Sa <sub>r</sub>	14.0
16	1222	(Ep?)	14.0	61	4772	Sa <sub>r</sub>	12.9
17	1297	E2 <sub>r</sub>	13.0	62	4795	SBO SBa	13.5
18	1385	(Sb ?), Sc <sub>r</sub>	11.5	63	4818	(SB...)	12.0
19	1421	(Sb?)	12.5	64	4941	Sbp <sub>r</sub>	12.0
20	МКГ-3-10-45	(Sp?)	(14*)	65	МКГ-3-34-4	(Sbp?)	(14*)
21	1461	(SO)	13.0	66	4995	Sb <sub>r</sub>	11.9
22	1614	(Sp?)	14.0	67	5030	(SBO <sub>n</sub> ?)	14.0
23	2444	(Ep)	14.9	68	5076	(SBO?)	13.0
24	UGC 04551	SO?	13.1	69	5077	E3 <sub>r</sub>	12.6
25	UGC 04650	Sa-b	14.6	70	МКГ-3-34-71	(Sp?)	(15*)
26	2708	(Sb?)	13.5	71	5548	Sa	12.8
27	2709	(SOp?)	15.0	72	5653	S... peculiar	12.7
28	2718	Sa/SBb	13.3	73	UGC 09340	SBc	15.3
29	2781	Sb <sub>r</sub>	12.5	74	5677	S...	14.8
30	2785	Irr or peculiar	14.9	75	UGC 09799	E	14.8
31	2789	SO-a	13.8	76	6307	SO-a	14.0
32	2798	SBa	12.9	77	7428	SBa	13.8
33	2799	S...	14.4	78	МКГ-1-58-11	(Sp?)	(14*)
34	2855	SO <sub>v</sub>	12.6	79	7435	SBa	15.5
35	2881	(Sp + r Aro)	14.0	80	7742	Sb <sub>v</sub>	12.2
36	2920	(Sb)	14.0	81	МКГ-2-60-16	(SBp?)	(14*)
37	МКГ-2-25-06	(SOp?)	(14*)	82	UGC 12914	S...	13.9
38	2979	(SO Sa?)	14.0	83	IC 210	(Sb?)	14.0
39	3169	Sa	11.9	84	IC 750	S...	12.7
40	3187	S... distorted	13.8	85	IC 1623a	(r Aro?)	16.5*
41	МКГ-3-27-10	(SOp?)	(14 <sub>a</sub> )	86	IC 2375	(Sbp?)	(14*)
42	3626	SO Sa	11.0	87	IC 2377	(Sp?)	(14*)
43	3691	Peculiar	13.1	88	IC 4553	strongly peculiar	(14*)
44	UGC 06608	S...	14.5	89	IC 4554		14.4
45	UGC 06719	S...	14.6				

r - [8]

v - [9]

\* - [7]

из каталога [7]. Приводится также приближенная глазомерная оценка видимого блеска для единственного объекта—IC 210, определенного нами по снимкам Паломарских карт.

Хотя нам пока не удалось наблюдать объекты настоящего списка, но существуют некоторые наблюдательные факты, относящиеся к отдельным объектам и говорящие в пользу того, что эти объекты, имеющие на картах внешнее сходство с объектами типа M82 [1], имеют с ними и некоторое сходство по существу, на чем мы остановимся в другой работе.

С другой стороны, в наши списки вошли яркие и хорошо изученные другими авторами галактики, которые никак нельзя связать с галактиками типа M82 [1], кроме их внешнего сходства на Паломарских снимках. Наш интерес к этим объектам заключается в том, что при исследовании кандидатов в Iгг II появились основания предположить, что тип Iгг II не отдельный морфологический тип галактик, а скорее совокупность определенных физических свойств галактик или их отдельных подсистем и деталей [10—12]. И если это так, то найдутся объекты которые приобретают это свойство в настоящий момент, а также объекты, которые их теряют, и вообще, объекты, которые находятся на разных ступенях такого эволюционного трека. Одним словом, у объектов наших списков могут наблюдаться разные физические характеристики объектов типа M82 в разных сочетаниях с другими, на первый взгляд ничего не имеющими общего с объектами типа M82 физическими характеристиками. И все это наблюдается на фоне общегалактического или занимающего какой-то объем в галактике пылевого состояния, на чем намного подробнее остановимся в следующей статье.

В примечаниях настоящего списка в большинстве случаев дается описание внешней формы галактик и их расположение среди соседних и близких им галактик фона, если это представляет особый интерес.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

1. Находится в очень тесной группе галактик. Показывает двойность в изображении ядерной области.
2. Одиночный барообразный объект. Резко срезанный на своих концах бар несколько необычен. Объект, по-видимому, входит в широкую ассоциацию таких же слабых галактик.
3. Одиночная галактика на отдаленном краю широкой ассоциации. Возможно, промежуточная между типами SO и Sa.
4. Промежуточная между типами Sa и Sb галактика. Короткие рукава мало раскрыты и резко выделяются от центрального крупного балджа. Одиночная, по-видимому, член широкой ассоциации.
5. По-видимому, Sc галактика в области широкой группы галактик. Одиночная, никаких спутников нет.
6. Одинокий член отдаленной широкой ассоциации, расположен к северо-востоку от интересной цепочки эллиптических галактик.
7. Объект типа NGC 520, расположен несколько южнее от интересной группы галактик.
8. Очень интересная спираль, в рукавах которой шеренгой стоят слабые сгущения желтого цвета. Возможно, является членом широкой группы.
9. По-видимому, одиночный член широкой ассоциации таких же слабых объектов. Рукавов не видно. Бар состоит из трех тел—центрального балджа и с

двух сторон очень похожих друг на друга кольцеобразных объектов с определенными центрами.

10. Крайний член цепочки с юго-востока, Арп 318. По изображению на Паломарской карте представляет обыкновенную E галактику, но по снимку атласа Арпа, как указывалось в тексте, имеет обозначения г. d. p.

11. Возможно, промежуточная между типами SO и Sa галактика. Член триплета, который, по-видимому, входит в широкую ассоциацию.

12. Возможно, промежуточная между типами SO и Sa галактика. Член широкой пары.

13. Центральное тело как будто показывает двойкость в своем изображении. Объект расположен, по-видимому, в отдаленной периферии широкой ассоциации.

14. Одинокая галактика без спутников. В состоянии Iгг II [3] находится, ее центральная часть—кольцо и балдж.

15. Член широкого триплета. Все три члена имеют разную морфологию.

16. По-видимому, двойная SO, компоненты которой расположены под некоторым углом друг к другу. Расположена  $\sim 75'$  западнее от яркой Sc спирали NGC 1253.

17. Возможно, является отдаленным спутником яркой спирали с перемычкой NGC 1300. Входит в каталог [13].

18. Возможно, является ярким членом широкой ассоциации таких же ярких галактик. Галактика как будто делилась на две равные и очень похожие друг на друга части.

19. Одинокая галактика, очень напоминает NGC 1385 тем, что она тоже как будто делилась на две равные и очень похожие друг на друга части.

20. Возможный член широкой пары, которая, по-видимому, находится на периферии широкой ассоциации с определенным центром. Очень напоминает M82 в отдаленности.

21. Составляет широкую пару вместе с МКГ-3-10-45. Яркий пример состояния M82 в нашей интерпретации [3] по Паломарским снимкам.

22. Возможная Sp галактика. Очень напоминает NGC 4038 в отдаленности. По-видимому входит в широкую ассоциацию.

23. В нашей интерпретации это—галактика, которая освободилась от своих внешних частей—от комплекса NGC 2445 [3].

24. Яркий пример состояния M82 в нашей интерпретации по Паломарским снимкам [3].

25. Одинокий объект, показывает двойкость в изображении балджа.

26. Член широкой интересной группы, по яркости не уступающий остальным членам, по морфологии отличающийся от остальных членов группы.

27. По-видимому, слабый член этой же группы и спутник NGC 2708.

28. Одинокая S, пекулярность в изображении которой чувствуется в динамике системы.

29. Одинокая галактика, находится в состоянии M82 в нашей интерпретации [3].

30. Слабый член слабой пары, в соседстве которой расположены триплет с севера таких же слабых систем и слабые бедные группировки в основном с юга. Все они как будто окружают NGC 2782, которая входит в список вероятных кандидатов в Iгг II [3] и в циркуляры IRAS [14].

31. Чувствуется асимметрия в балдже.

32, 33. Тесная пара в триплете, который сам в целом находится в состоянии Iгг II [3]. 32—главный член группы № 24 [15], входит в циркуляры IRAS [14].

34. Известная яркая галактика. В изображении на красной карте чувствуется пекулярность по очертанию краев как балджа, так и линзы.

35. Очень тесная пара пекулярной S и гАго. По-видимому, входит в группу (квартет галактик, члены которого имеют совершенно разную морфологию).

36. Возможная Sb галактика, которая, по-видимому, входит в широкую ассоциацию галактик. Имеет центральное кольцо, южная половина которого по цвету очень красная.

37. Возможная пекулярная SO, имеет два слабых спутника. Находится на периферии широкой ассоциации.

38. Одинокая, промежуточная, по-видимому, между типами SO и Sa галактика. Находится на периферии широкой ассоциации.

39. Известная яркая Sa спираль, составляет пару вместе с NGC 3166. Возглавляет группу № 30 [15].

40. Член тесной группы № 31 [15].

41. Возможная некуляриная SO галактика. Имеет слабый спутник.

42. Яркая, по-видимому, SBO/SBa галактика. Входит в интересную группу NGC 3607 № 47 [15].

43. Член группы NGC 3686 № 52 [15]. Напоминает объект типа галактик Aro, но красного цвета.

44. Слабый объект, по-видимому, типа галактик Aro, но красного цвета.

45. По-видимому, пекулярная Sa, ядерная область которой несколько необычна тем, что с северной стороны имеет веерообразный выступ. Находится в интересной группировке таких же слабых галактик.

46. Типичный пример состояния M82 [3]. По-видимому, входит в широкую ассоциацию галактик.

47. Типичный пример состояния M82 [3], член тесной пары, которая находится в тесном соседстве с интересной цепочкой галактик [16].

48. Известная Сейфертовская галактика. Возглавляет группу № 65 [15].

49. Член скопления в Virgo. Находится на периферии интересной и богатой цепочки. Входит в группу № 57 [17].

50. Типичный пример состояния M82 [3]. Промежуточный член той же цепочки, куда входит и NGC 4260. Входит в ту же группу № 57 [17].

51. Показывает двойность в изображении. Входит в цепочку (в полукольцо галактик) вокруг NGC 4321.

52. Одинокая SBO/SBa галактика. Возможно входит в ассоциацию вокруг NGC 4346.

53. Входит в состав полукольца галактик вокруг NGC 4321. Типичный пример состояния M82 [3].

54. Типичное состояние M82 [3]. Находится в соседстве с полукольцом вокруг NGC 4321.

55. Расположена в соседстве с полукольцом вокруг NGC 4321. Входит в группу № 57 [17].

56. По-видимому, является спутником NGC 4472. Вокруг и в линзе имеются очень красные компактные объекты.

57. Одинокий член скопления в соседстве с NGC 4303. Входит в группу № 57 [17].

58. Северо-западный член очень тесной пары, которая, по-видимому, входит в широкую ассоциацию галактик.

59, 62. Яркие одинокие члены в скоплении Virgo. Типичные примеры состояния M82 [3], особенно NGC 4698. Входят в группу № 57 [17].

60. Одинокая галактика, похожа на обыкновенную Sa. Показывает асимметрию в балдже.

61. По-видимому, член очень широкого триплета, который входит в широкую ассоциацию в том смысле, в каком этот термин использован в работе [3]. Входит в группу № 57 [17].

63. Одинокая галактика, по-видимому, входит в широкую ассоциацию. Типичный пример состояния M82 [3].

64. Одинокий член той же ассоциации. Типичный пример состояния M82.

65. Член пары слабых галактик, типичный пример состояния M82. По внешнему виду тоже напоминает M82.

66. По-видимому, член очень широкой пары, типичный пример состояния M82 [3].

67. Типичный пример состояния M82, находится на периферии очень интересной группы слабых галактик, имеющей определенный центр.

68, 69. Члены интересного квартета, который как будто является центром широкой ассоциации слабых галактик, чем он напоминает группу Арп 318. Типичные примеры состояния M82.

70. Чувствуется двойкость в изображении балджа, которого обвиняет полукольцо несколько неправильной формы. Очень напоминает галактику NGC 5134 в отдаленности, которая, между тем, являясь первоочередным кандидатом в Iгг II [2], находится на том же поле карт и южнее настоящего объекта на  $1^{\circ}.5$ .

71. Известная Сейфертовская галактика. В линзе имеет пару слабых компактных красных сгущений.

72. Одинокая галактика, входит в широкую ассоциацию галактик.

73. Член слабой широкой пары. Показывает двойкость в изображении.

74. Очень напоминает объект типа галактик Арп, но красного цвета. Вместе с NGC 5653 входят в широкую ассоциацию слабых галактик

75. Самый яркий член тесного триплета.

76. Составляет тесную пару вместе с NGC 6306, которая входит в список вероятных кандидатов в Iгг II [3].

77. Одинокая галактика, внутреннее кольцо которой представляет типичный пример состояния M82 [3], внешнее кольцо же имеет неправильную форму.

78. По-видимому, пекулярная S галактика, составляет тесную пару с объектом типа галактик Арп, но красного цвета. Показывает двойкость в изображении балджа.

79. Второй по яркости член тесной группы.

80. По-видимому, объект типа галактик Арп, но красного цвета и член широкой пары.

81. По-видимому, одинокая SBp галактика.

82. Случай деления галактики на две очень похожие друг на друга части.

83. Входит в ассоциацию вокруг Арп 318. Типичный пример состояния M82 [3].

84. Член тесной пары. На этом же поле карт разбросаны очаги группировок слабых галактик.

85. Член тесной пары объектов типа галактик Арп, но красного цвета.

86, 87. Члены тесного триплета галактик, имеющих совершенно разную морфологию.

88, 89. Тесная пара, изображения компонент которой перекрещены. Входит в каталог [13]. Один из самых мощных инфракрасных источников [18, 19].

Как видно из примечаний, среди мало вероятных кандидатов в Iгг II, в которых подозревается присутствие пыли, преимущественно встречаются как одиночные объекты (число их 12), так и одиночные объекты, входящие в широкие ассоциации галактик (число их 20, 4 из которых расположены на периферии таких ассоциаций), в широкие группы (число их 9) и в широкие пары (число их 9). Общее число таких объектов 50. Остальные 39 входят в тесные пары (11), в тесные группы и цепочки (7), в тесные очаги, которые сами входят в широкие ассоциации (11), 4 находятся в близком соседстве цепочек или групп, 3 входят в такие группы (это скорее триплеты и квартеты), члены которых по морфологии разные, две составляют пары, входящие в другие комплексы.

Эти 39 кандидатов по своему расположению среди соседних им

Галактик схожи с первоочередными и вероятными кандидатами, т. е. по природе могут быть близки к ним.

18 июня 1986 г.

Ս. Գ. ԻՍԿՈՒԴԱՐՅԱՆ

Irr II ՏԻՊԻ ՍԱԿԱՎ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԹԵԿՆԱՄՈՒՆԵՐ

Տրվում է 89 Irr II տիպի սակավ հավանական թեկնածուների ցուցակը, որոնցում փոշու առկայությունը կասկածվում է:

S. G. ISKUDARIAN

THE LESS PROBABLE CANDIDATES TO Irr II TYPE

The list of 89 less probable candidates to Irr II type is given, in which the presence of dust is suspected.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюраканской обс., 34, 19, 1963.
2. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 67, 2, 93, 1978.
3. С. Г. Искударян, Сообщ. Бюраканской обс., 57, 39, 1985.
4. H. Arp, Atlas of Peculiar Galaxies, Pasadena, 1966.
5. J. W. Sulentic, W. G. Tifft, The Revised New General Catalogue of Nonstellar Astronomical Objects, Tucson, Arizona, 1973.
6. P. Nilson, Uppsala General Catalogue of Galaxies, Uppsala, 1973.
7. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красногорская, В. П. Архипова, Морфологический каталог галактик, т. 1—4, МГУ, 1962—1968.
8. А. Бенвар, Каталог 1950. 0, Прага, 1964.
9. M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage, A. J., 61, 97, 1955.
10. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 68, 3, 171, 1979.
11. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 69, 1, 57, 1979.
12. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 74, 5, 217, 1982.
13. K. Ebneter, V. Balick, A. J., 90, 183, 1985.
14. P. Seal, Ap. and Space Sci., 113, No. 2, 391, 1985.
15. J. Vennik, A List of Nearby Groups of Galaxies, Tallin, 1984.
16. С. Г. Искударян, А. С. Ходжаев, Сообщ. Бюраканской обс., 57, 55, 1985.
17. E. L. Turner, J. Richard Gott, III, Ap. J., Suppl. Ser., 32, No. 3, 409, 1976.
18. B. T. Solfer et al., Ap. J., 283, No. 1, L 1—L 4., 1984.
19. R. P. Norrlis, M. N. RAS, 216, No. 3, 701, 1985.

С. Г. ИСКУДАРЯН

ГАЛАКТИКИ С ВОЗМОЖНЫМИ ПРИЗНАКАМИ  
ГАЛАКТИК ТИПА M82

Дается список 298 галактик, которые, возможно, имеют признаки галактик типа M82.

В настоящий список входят те кандидаты в Iгг II, в изображениях которых на Паломарских снимках нет следа пыли и присутствие ее нельзя подозревать, хотя они красные по цвету и некулярность у них подозревается. Так как изображения более 1/3 известных Iгг II галактик на Паломарских снимках такие, что по их внешнему виду трудно принять их за галактики этого типа, о чем уже говорилось в работе [1], то мы считали целесообразным все же обратить внимание на объекты настоящего списка, так как они могут оказаться галактиками типа M82 или объектами, имеющими некоторые, общие с ней физические характеристики. Ведь они выделены по принципу внешнего сходства с объектами типа M82 [2] на Паломарских снимках. Действительно, 9 галактик из настоящего списка и 7 галактик из прежних списков [1, 3—5] отождествлены с инфракрасными источниками по природе похожими на источник у M82 [6, 7].

В первую очередь мы нуждались в хотя бы минимальных доказательствах того, что в объектах настоящего списка есть пыль и они пекулярны или пререгулярны. В этом нам помогли крупномасштабные снимки атласа Арпа [8]. 24 объекта (больше 8%) настоящего списка входят в этот атлас. В некоторых из них пыль наблюдается, в остальных подозревается, кроме того они пекулярны. Иррегулярность восьми наших объектов и IO тип трех из них (NGC 838, 3952, 4248) указывается во втором каталоге де Вокулера [9], в то время как в других источниках, которыми мы пользовались, Хаббловские типы одних из них определенные, других же—неопределенные.

Рассмотрим некоторые наблюдательные факты, относящиеся к отдельным объектам как настоящего, так и прежних списков. Факты эти указывают на правдоподобность соображений, приводящихся в заключении предыдущей статьи.

В работе [10] указывается, что в NGC 4648 наблюдается яркое чдро и ультрафиолетовый континуум и вместе с тем в спектре ее присутствуют линии поглощения бальмеровской серии водорода, что характерно и для M82. Сильное поглощение в этих же линиях показывают NGC 4382 и 5493 [11]. Последняя—известная сейфертовская галактика. NGC 6306, которая входит в список вероятных кандидатов в Iгг II [1], хорошо изученный объект с ультрафиолетовым континуумом [12]. Сгущения в центральной части галактики показывают сильный эмиссионный спектр, однако, высшие члены водородной серии находятся в поглощении. NGC 1569 из списка [1], по внешней форме на Паломарских снимках очень напоминает M82, хотя она классифицирована как Iгг I. Недавние исследования центральной части этой галактики показали, что два голубых компактных объекта в ее центре

[13] по своим физическим характеристикам очень похожи на объекты, найденные ван ден Бергом в центральной части М82 [14]. А последние в [15] принимаются нами за сверхассоциации в начальных стадиях своего развития. NGC 1569 отождествлена с инфракрасным источником, по природе похожим на источник у М82 [6]. NGC 3690 из списка [1], как и М82, считается галактикой со вспышкой звездообразования. В центре этой галактики наблюдается СО Мегамазер. Она причисляется также к определенной физической группе галактик Маркаряна. По радиоспектру несколько отличается от М82 [16]. Самым сильным инфракрасным источником считается IC 4553. Линия  $H\alpha$  широкая и интенсивная, наблюдается в поглощении, что указывает на присутствие горячих звезд. С другой стороны имеются и сейфертовские характеристики, как например [OIII] 5007 Å в эмиссии [17]. В сильной эмиссии наблюдается OH Мегамазер [18]. Бэрбиджи отмечает, что NGC 4038—39 [19] один из уникальных пекулярных внегалактических объектов, напоминающий М82 своим богатством пылевыми облаками, что является видной характерной чертой пары. Она входит в список первоочередных кандидатов в Igg II [3]. В работе Вильнера и других [20] даются результаты инфракрасных наблюдений 45 галактик-лайнеров. В этот список входит известная Igg II галактика NGC 5195 [2]. В список наблюдаемых лайнеров входят также 12 галактик из наших списков—NGC 4438 [3], NGC 2681, 2685, 3718, 4125 [1], NGC 3169, 4419 из списка менее вероятных кандидатов и NGC 1052, 2787, 3898, 4589, 4826 из настоящего списка. В работе Дрессела и Вильсона [21] 13 E и SO галактик с компактными радиосточниками в своих ядрах исследованы в рентгеновском диапазоне. В пяти из них зарегистрировано такое излучение и из пяти две входят в наши списки—NGC 5077 в список менее вероятных кандидатов и NGC 4589 в настоящий список. Из остальных же восьми, три входят в настоящий список (NGC 984, 3894, 5322). В работе Сандерса и других [22] по данным IRAS наблюдаены 25 ярких спиральных радиогалактик, среди которых три известные Igg II галактики NGC 520, 5363, 6240 и 11 кандидатов из наших списков—NGC 660, 2992, 4038, 5506 [3], NGC 2782, 3690 [1], NGC 4151, IC 4553 из списка менее вероятных кандидатов и NGC 4102, 5635, 7714 из настоящего списка. В список галактик, приведенный в работе Баана и других [23], в которых наблюдался гидроксил в поглощении, вместе с известными Igg II галактиками М82, NGC 520, 5363, 6240 входят также NGC 660 [3] и NGC 3227 из настоящего списка. Обильный СО наблюдался в NGC 3738 [28] из списка [1]. В работе Формана и других [25] приводится список галактик ранних типов, вокруг которых наблюдается горячая корона, состоящая из газа. На основании отношений массы к светимости для этих галактик, в этой же короне предполагается существование массивной темной материи. В список [25], который содержит 55 галактик, входят 15 галактик из наших списков, причем 12—из настоящего списка. Присутствие 15 наших галактик в этом списке, по-видимому, говорит в пользу точки зрения «проявления галактик», выдвинутой нами в работе [26] при исследовании вопроса о связи диаметр—яркость как для кандидатов в Igg II, так и для известных Igg II галактик. Из последних в список [25] входит только NGC 4753.

С другой стороны, спектральные исследования ряда известных Igg II галактик в Бюракане [27—29] показали, что у некоторых из них в центральных частях наблюдаются яркие ассоциации и сверхассоциации, т. е. население I типа, подобно М82. Случаи же NGC 2968 и 4753

## Галактики с возможными признаками галактик типа M82

№	NGC UGC*	HT	m <sub>pg</sub>				
				1	2	3	4
1	2	3	4	1	2	3	4
				60	1289	E—SO	14.0
				61	1305	SO?	15.0
				62	1329	(SO)p	14.0
				63	1332	SO <sub>r</sub>	11.0
				64	1353	S <sub>0</sub> (Беч.)	12.5
				65	1395	E2 <sub>r</sub>	11.0
				66	1401	(Sp?)	13.0
				67	MKГ—4—9—52	(Sap?)	13.5
				68	1426	E4 <sub>r</sub>	12.0
				69	1588	...comp. disturb	14.0
				70	1600	E5	12.0
				71	1636	(S <sub>0</sub> ?) (r Aro?)	14.0
				72	1700	E3 <sub>r</sub>	12.0
				73	1721	(Sap?)	13.0
				74	1723	(Sbp?)	12.0
				75	1725	(S <sub>0</sub> p?)	13.0
				76	1779	(Sp?)	14.0
				77	03431*	E	13.0
				78	2612	(Sp?)	13.0
				79	2654	S <sub>1</sub> —b	12.8
				80	2693	E	13.0
				81	04714*	Sb	13.0
				82	2732	SO	12.0
				83	2764	S?	14.0
				84	04869*	SO?	14.0
				85	04873*	S?	14.0
				86	2787	SBO	11.0
				87	2795	E	14.0
				88	2802	doub. system br.	14.0
				89	2918	E	13.0
				90	2937	E + strongly distorted syst.	15.0
				91	2950	SBO	12.0
				92	2964	Sb Sc	12.0
				93	2974	S4 <sub>r</sub>	11.9
				94	3032	SO	12.8
				95	3065	SO	12.9
				96	3066	S...	13.5
				97	3156	SO	13.0
				98	3166	SO Sa	11.0
				99	3177	Sb	13.5
				100	3185	S3a	13.0
				101	3193	E	12.0
				102	3212	SB...	14.0
				103	3215	S...	14.0
				104	3226	E	12.0
				105	3227	Sb	11.0
				106	3266	SBO	13.0
				107	05745*	SBO—a	13.0
				108	3349	E	12.0
				109	3462	E	13.0
				110	3471	Sa	13.0
				111	3562	E	13.0
				112	3611	Sa distorted	12.0
				113	06309*	SB... pec.	13.0
				114	3613	E—SO	11.0
				115	3655	S...	13.0
				116	3658	E—SO	13.0
				117	3659	Sc—Irr	13.0
				118	06597*	SBa—b	15.0
				119	3769	Sb:	12.0
				120	3772	SBa	14.0
1	16	SO	13.0 <sup>m2</sup>				
2	23	SBa	13.0				
3	125	SO	14.0				
4	163	(Sp?), (r Aro?)	13.0				
5	00439*	Sa	14.4				
6	227	E	13.5				
7	244	(r Aro?)	13.0				
8	252	SO	13.5				
9	274 275	E1—S (Беч.)	13.0				
10	315	E	12.5				
11	357	SBa <sub>r</sub>	13.0				
12	374	SO—a	14.5				
13	420	SO:	13.5				
14	455	...pec	14.0				
15	MKГ—4—4—6	(Sbp?)	14.5				
16	470	Sb Sc	12.5				
17	474	SO	13.0				
18	494	Sa—b	14.0				
19	495	SBO SBa	14.2				
20	496	Sb—c	14.5				
21	499	SO	13.2				
22	507	E	12.8				
23	515	SO	14.5				
24	517	SO	13.5				
25	528	SO	13.5				
26	529	E—So	13.0				
27	533	E	13.0				
28	01012*	SBO:—a	14.9				
29	536	SBb	13.0				
30	550	S..	13.5				
31	599	(SOp?)	13.0				
32	632	SO	13.5				
33	661	E	13.0				
34	676	SO—a	10.5				
35	693	S...	13.5				
36	701	S (Беч.)	13.0				
37	706	Sc:	11.0				
38	736	E	13.6				
39	740	S...	15.0				
40	741	E	13.0				
41	750	E+	13.7				
42	751	+E	14.1				
43	780	...	14.5				
44	01507*	S3a	13.9				
45	01510*	...	14.4				
46	848	(Sp?)	13.0				
47	853	(Sp?)	13.0				
48	855	E	13.0				
49	863	Sa	14.0				
50	873	(Sp?) (r Aro?)	13.0				
51	936	SBO or SBO SBa	11.1				
52	949	S...	13.0				
53	984	S <sub>0</sub>	14.5				
54	1008	E	15.0				
55	1052	E3 <sub>r</sub>	11.6				
56	1201	SO <sub>r</sub>	11.7				
57	1208	(Sp?)	14.0				
58	1248	(SO)p?	13.5				
59	MKГ—4—8—56	(Sap?)	14.5				

Продолжение таблицы

1	2	3	4	1	2	3	4
21	MKG-4-28-8	(SOp?)	17.0	183	4386	SO	13.0
22	MKG-4-28-9	(SOp?)	17.0	184	4391	[SO], compact	14.0
23	3786	Sa	13.5	185	4429	SO	10.9
24	3788	S... disturbed	13.0	186	4441	...pec.	13.5
25	3796	S...	13.5	187	4448	Sa	11.7
26	3798	SBO	14.0	188	4461	SO	12.0
27	3808	double system distorted	14.0	189	4477	SBO	11.4
				190	4489	E	13.0
28	3816	SO, disturbed?	13.5	191	4491	...	13.5
29	06706*	S-irr, pec.	14.2	192	4497	SO	14.0
30	3837	E	14.0	193	4503	SO	12.5
31	3894	SO	13.0	194	4530	SB? O-a	13.5
32	3895	Sba	14.0	195	4540	..	13.0
33	3898	Sa	11.7	196	4589	E	12.0
34	3900	Sa	12.4	197	4605	S... pec.	11.5
35	3910	E-SO	14.5	198	4606	S...	12.5
36	3937	E-SO	14.0	199	4638	SO	12.2
37	3945	SBO	11.7	200	4648	E	12.5
38	3952	Pec. (Беч.)	13.0	201	4659	SO-a	13.5
39	06876*	SBa-b	14.9	202	4665	SBO	11.5
40	3993	S...	15.0	203	4670	... pec.	13.5
41	3997	SB... distorted?	14.5	204	4686	Sa	13.5
42	4002	(SOp?)	14.5	205	4697	E4 (Беч.)	10.4
43	4003	SBO	15.0	206	4699	Sa (Беч.)	10.2
44	4005	S...	14.0	207	4750	Sb	12.5
		double system contact		208	4754	SBO	11.6
45	4015		14.0	209	4800	S...	12.2
46	4022	SO	14.5	210	4826	Sb	9.2
47	4023	...	14.5	211	4843	(S?)	14.0
48	4061	[E] compact	14.5	212	4856	E (Беч.)	11.4
49	4064	SBa	12.5	213	4933	Ep (Беч.)	13.0
50	4065	E, very compact	14.0		A, B		15.0
51	4066	E	14.5	214	08228*	Sa	15.3
52	4070	E	14.5	215	4989	(SO-ap)?	14.0
53	4073	E	13.0	216	5018	E4r	12.2
54	4076	S...	14.5	217	5079	(Sp?)	12.0
55	4086	SO	15.0	218	5084	E8 (Беч.)	12.5
56	4089	(SOp?)	15.0	219	5087	SOv	12.1
57	4090	Sa-b	15.0	220	5201	S... pec.	14.5
58	4092	S..	14.5	221	08521*	SBa-b	14.5
59	4093	(SOp?)	15.5	222	5216	...	14.0
60	4095	(SOp?)	14.5	223	5218	S...	13.0
61	4102	Sb	12.3	224	5232	(Sap?)	13.0
62	4133	Sb SBb:	13.0	225	5267	SBb	14.5
63	4159	S...	14.5	226	5273	SO	12.5
64	4194	...	13.0	227	5289	Sa-B	13.5
65	4220	Sa	12.2	228	5290	SB-c	13.0
66	4221	SBO	13.5	229	5308	SO-a	12.2
67	4245	SBO SBa	12.3	230	5311	SO-a	13.5
68	4248	S...	14.0	231	5313	S...	13.0
69	4251	SO	11.6	232	5322	E	11.0
70	4256	SO	12.5	233	5337	...	13.5
71	4262	Sb	12.5	234	5376	Sa-b	13.0
72	4274	SBa	10.8	235	5379	SO	14.0
73	4292	SO	14.1	236	5389	SO	13.0
74	4324	SO	12.5	237	5430	SBb	13.0
75	4331	irr or pec.	15.0	238	5440	Sa	13.5
76	4332	SBa	13.0	239	5144	E	13.0
77	4340	SBO	12.5	240	5445	SO?	14.0
78	4350	SO	11.9	241	5493	Sar	12.5
79	4369	SO/Sa	13.0	242	5513	SO	14.0
80	4371	SBO	12.0	243	5534	S (Беч.)	13.5
81	4382	SO	10.5	244	5600	S... pec.	13.0
82	4384	Sa	13.5	245	09274*	SB... pec.	14.7

Продолжение таблицы

1	2	3	4	1	2	3	4
246	5629	SO	14 <sup>m</sup> 0	272	7386	E—SO	14 <sup>m</sup> 6
247	5630	Sc Irr	13.5	273	МКГ-1-58-10	(Sp?)	14.0
248	5631	SO Sa	12.6	274	7443	(Sa <sub>p</sub> ?)	14.0
249	5635	S...	14.0	275	7444	(Sa <sub>p</sub> ,?)	13.8
250	5689	SBa	12.9	276	7576	Sa <sub>r</sub>	12.7
251	09401 <sup>*</sup>	S...	14.6	277	7585	SO <sub>rr</sub>	15.7
252	5708	S—Irr	14.0	278	12503 <sup>*</sup>	S...	15.6
253	5757	SBb (Беч.)	13.0	279	12628 <sup>*</sup>	SBc	13.0
254	5832	SBc?	13.3	280	7714	S...	12.5
255	5913	SB...	14.5	281	7743	SBO SBa	14.0
256	5990	Sa?	13.0	282	7767	SO—a	14.5
257	6051	E, Ep?	15.0	283	7770	...	13.1
258	11500 <sup>*</sup>	SO Sa	14.1	284	7771	SBa	14.0
259	6211	SO	14.0	285	7783	E	14.0
260	6285	Sb	14.5	286	7794	...pec.	13.8
261	6290	SBa	14.5	287	IC 171	...	13.2
262	6310	S...	14.0	288	396	S... pec.	13.0
263	6332	Sa	14.5	289	630	(SO <sub>p</sub> ?)	14.9
264	6340	Sa	12.0	290	893	Sa—b	14.5
265	7025	Sa	14.0	291	1125	S—Irr	14.7
266	7252	SO <sub>r</sub>	13.1	292	1254	S?...	14.5
267	7280	SO Sa	13.5	293	1420	SB... pec.	15.5
268	7364	Sa	14.0	294	1623b	(r Arc?)	(14 <sup>m</sup> )
269	7371	Sb (Беч.)	13.0	295	2379	(Sa <sub>p</sub> ?)	14.4
270	7378	(Sp?)	13.0	296	2454	Sa?	14.8
271	7385	E	14.1	297	2474	SO	14.6
				298	3742	SB...	

[30, 31] качественно другие. Эти классические Irr II галактики из списка Холмберга [32] не показывают ни одной эмиссионной линии. Они состоят из второго типа населения и в них наблюдается пыль. В работе [28] предполагается, что NGC 2814—активная SBb галактика, видимая с ребра. В [33] указывается на возможное автономное вращение гигантской HII области в этой галактике, что говорит о важном ядерном свойстве вторичных центров активности [15].

Факты эти, связанные с галактиками типа Irr II, одновременно не указывают на их существование как таковые. Скорее всего эти факты говорят в пользу предположения, высказанного нами в работах [4, 26, 34], что тип Irr II это определенное физическое состояние галактик, а не отдельный морфологический тип. И это состояние, по всей вероятности, связывается с возникновением и развитием вторичных центров активности—ярких ассоциаций и сверхассоциаций, о роли которых подробно говорится в работе [15]. Причем, складывается впечатление, что подкласс M82 среди всех Irr II, это уже состоящие появления и развития этих вторичных центров, а в классических Irr II эти очаги, по-видимому, находятся еще в зачаточном состоянии в пыли, в недрах населения II типа.

В таблице очередность столбцов аналогична той, что и в списке предыдущей работы и при составлении списка использованы те же источники литературы, что и в предыдущей работе [5].

Ս. Գ. ԻՍԿՈՒԴԱՐՅԱՆ

ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐ, ՈՐՈՆՔ ՀՆԱՐԱՎՈՐ Է, ՈՐ ՈՒՆԵՆ M 82 ՏԻՊԻ  
ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Տրվում է 298 գալակտիկաների ցուցակ, որոնք հնարավոր է, որ ունեն  
M 82 տիպի գալակտիկաների հատկություններ:

S. G. ISKUDARIAN

THE GALAXIES WITH THE POSSIBLE SIGNS OF M 82  
TYPE GALAXIES

The list of 298 galaxies with the possible signs of M 82 type galaxies is given.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Искударян, Сообщ. Бюраканской обс., 57, 39, 1985.
2. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюраканской обс., 34, 19, 1963.
3. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 67, 2, 93, 1978.
4. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 69, 1, 57, 1979.
5. С. Г. Искударян, Менее вероятные кандидаты в Irr II (в печати).
6. K. V. K. Juengar, R. P. Verma, Ap. and Space Sci., 103, 61, 1984.
7. P. Seal, Ap. and Sci., 113, No. 2, 391, 1985.
8. H. Arp, Atlas of Peculiar Galaxies, Pasadena, 1966.
9. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, N. G. Corwin Jr. Second Reference Catalogue of Bright Galaxies., Austin, London, 1976.
10. М. А. Казарян, Астрофизика, 15, 5, 1979.
11. P. Veron, M. P. Veron—Cetty, ESO Sci. preprint No. 340, 1984.
12. М. А. Казарян, Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 13, 415, 1977.
13. H. Arp, A. Sandage, MPA 173, Februar, 1985.
14. S. van den Bergh, Astron. and Astrophys., 12, 474, 1971.
15. С. Г. Искударян, Сообщ. Бюраканской обс., 46, 73, 1975.
16. R. R. Antonucci, E. W. Olszewski, A. J., 90, 2203, 1985.
17. B. T. Solfer et al., Ap. J., 282, No. 1, L1—L4, 1984.
18. R. P. Norris, M. N. RAS, 216, No. 3, 701, 1985.
19. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Ap. J., 145, 661, 1966.
20. S. P. Willner, M. Elvis, G. Fabbiano, A. Lawrence, M. J. Ward, Ap. J., 299, 413, 1985.
21. L. L. Dressel, A. S. Wilson, Ap. J., 291, 668, 1985.
22. D. B. Sanders, L. F. Mirabel, Ap. J., 298, L31, 1985.
23. W. A. Buan, A. D. Haschick, D. Buckley, Joan T. Schmelz, Ap. J., 293, 394, 1985.
24. Linda J., Tacconi and Judith S. Young, Ap. J., 290, 602, 1985.
25. W. Forman, C. Jones, W. Tucker, Ap. J., 283, 102, 1985.
26. С. Г. Искударян, ДАН АрмССР, 74, 5, 217, 1982.
27. Н. К. Андреесян, Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 15, 577, 1979.

28. *Н. К. Андреасян*, *Астрофизика*, 19, 45, 1983.
29. *Н. К. Андреасян*, *Астрофизика*, 21, 73, 1984.
30. *Э. Е. Хачикян, Н. К. Андреасян*, *Астрофизика*, 19, 575, 1983.
31. *Э. Е. Хачикян, Н. К. Андреасян*, *Астрофизика* (в печати).
32. *E. Holmberg*, *Med. Lund. Astron. obs.*, 11, No. 136, 1958.
33. *Н. К. Андреасян, Э. Е. Хачикян*, *Астрофизика*, 18, 337, 1982.
34. *С. Г. Искударян*, *ДАН АрмССР*, 68, № 3, 171, 1979.

А. А. ЕГИАЗАРЯН, С. В. ЗАРАЦЯН, А. П. МАГТЕСЯН

О ВОЗМОЖНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ  
БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫМИ ГАЛАКТИКАМИ С  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗБЫТКОМ

Для всех галактик списка Казаряна рассматривается распределение угловых расстояний на небесной сфере первых трех ближайших соседей. Показано, что большинство близкорасположенных галактик с ультрафиолетовым избытком из списка Казаряна составляют физически связанные системы.

Наблюдательные данные свидетельствуют о существовании корреляции между характеристиками данной галактики (морфологический тип, цвет, размер, поверхностная яркость, радионизлучение) и характеристиками членов той системы, в состав которой она входит. Иными словами, характеристики данной галактики во многом зависят от характеристик окружающих ее галактик [1—4].

Например, в группах сравнительно повышенной плотности спиральные галактики краснее в системах с большим относительным количеством эллиптических галактик, а эллиптические галактики голубее в системах, где замечается повышенное содержание спиральных галактик.

Наблюдательные данные указывают также на некоторые различия между изолированными галактиками и галактиками, являющимися членами кратных систем. В парах и группах больше эмиссионных галактик [5, 6]. Среди изолированных галактик доминируют нормальные, тогда как большинство галактик, входящих в пары, являются пекулярными [7—9]. Наблюдается избыток галактик с ультрафиолетовым избытком среди компонентных пар [10]. При взаимно независимых сочетаниях наблюдаемое число пар с маркарянскими компонентами больше ожидаемого [11].

Все вышесказанное наводит на мысль о возможной корреляции между характерными параметрами физически связанных галактик с УФ избытком.

Поэтому был рассмотрен вопрос о возможной физической связи между близкорасположенными галактиками с ультрафиолетовым избытком из списка Казаряна [12—16].

С этой целью было рассмотрено распределение угловых расстояний на небесной сфере первых трех ближайших соседей для всех галактик Казаряна. Причем, принимались во внимание только те соседи, которые одновременно являются галактиками из списков Казаряна.

На рис. 1—3 приведены гистограммы распределений угловых расстояний первых, вторых и третьих ближайших соседей. На них нанесены также кривые теоретического распределения угловых расстояний этих галактик при их Пуассоновском распределении.

При равномерном и случайном распределении галактик в пространстве функция распределения  $k$ -го соседа будет [17, 18]:

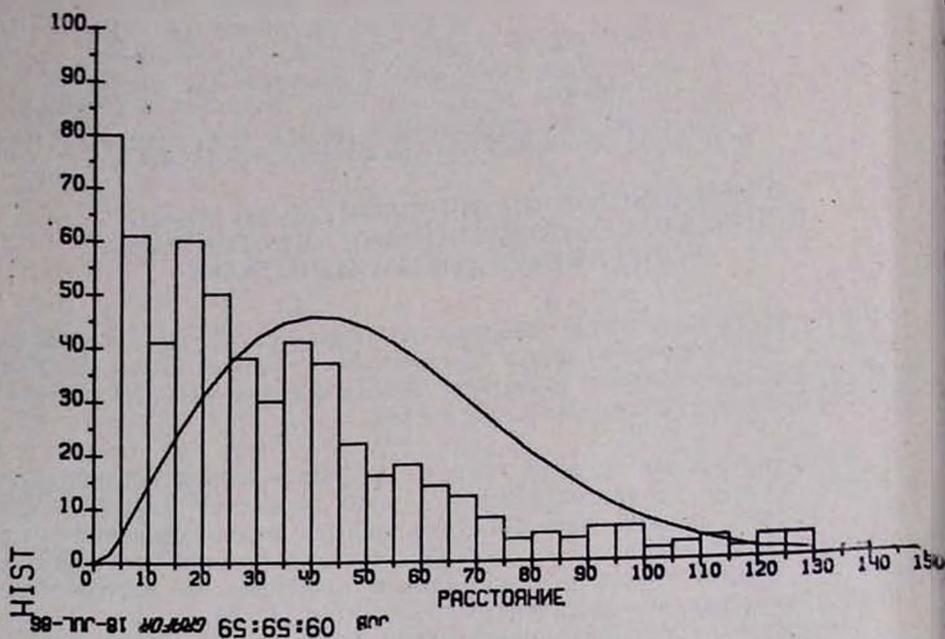


Рис. 1. Гистограмма распределений угловых расстояний первых ближайших соседей для всех галактик Казаряна

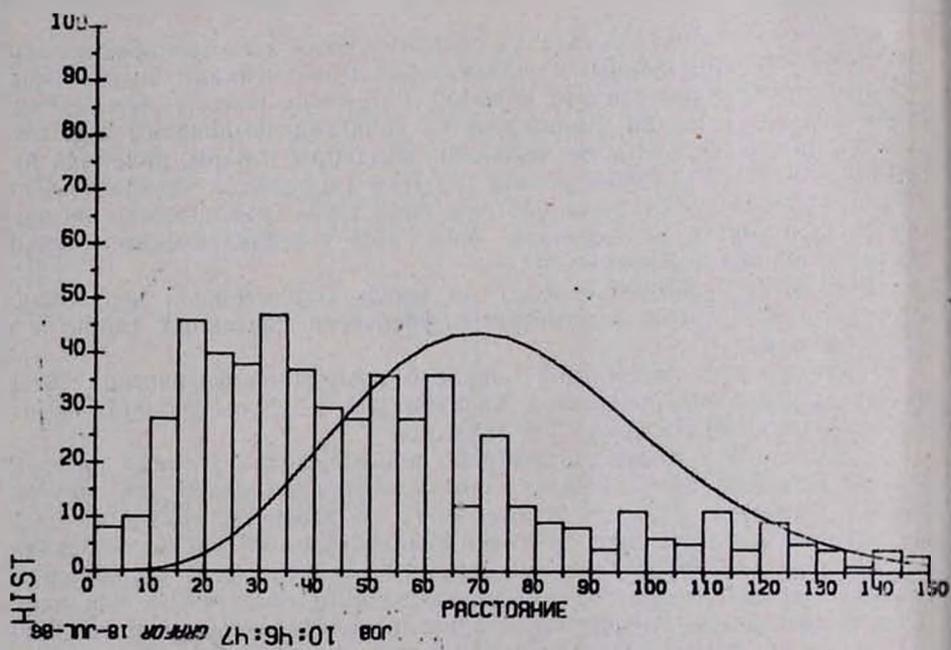


Рис. 2. Гистограмма распределений угловых расстояний вторых ближайших соседей для всех галактик Казаряна

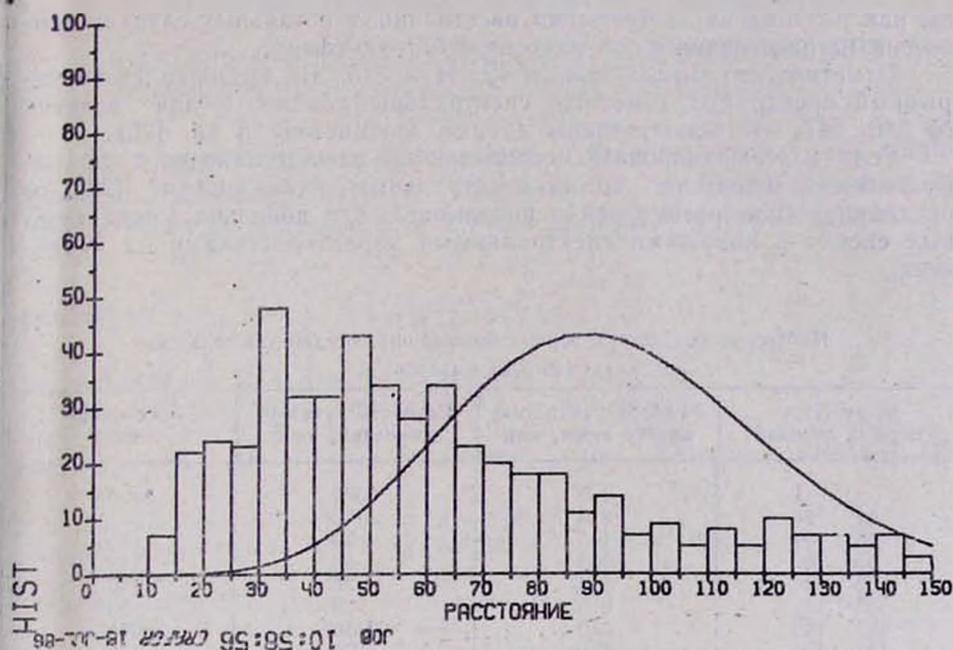


Рис. 3. Гистограмма распределения угловых расстояний третьих ближайших соседей для всех галактик Казаряна

$$f_k(r)dr = \left[ \frac{(\pi r^2 \sigma)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\pi r^2 \sigma} \right] \cdot 2\pi r \sigma dr,$$

где  $r$ —угловое расстояние  $k$ -го соседа, а  $\sigma$ —средняя поверхностная плотность галактик и равна  $\sigma = N/\Omega$ , ( $N$ —число галактик в некотором телесном угле  $\Omega$ ). В случае галактик Казаряна  $N=580$ , а  $\Omega=1500$  кв. гр.

Наблюдаемое и пуассоновское распределение угловых расстояний первых, вторых и третьих ближайших соседей не совпадает. По критерию  $\chi^2$  статистическая значимость различия этих распределений много меньше, чем  $10^{-3}$ . Из распределения видно, что у 25% галактик угловые расстояния первых соседей меньше чем  $10'$ .

Таким образом, можно считать, что большинство близкорасположенных галактик ( $r < 10'$ ) с ультрафиолетовым избытком из списка Казаряна составляют физически связанные системы.

Данные спектроскопического исследования первых ближайших соседей для 27 галактик показывают, что 12 из 14 двойных систем [19—24], у которых угловые расстояния между компонентами меньше чем  $10'$ , являются физически связанными, что согласуется с ожидаемым числом.

В таблице приведены некоторые результаты спектроскопических исследований первых ближайших соседей для галактик из списка Казаряна. В первом столбце приведены номера галактик, во втором—примерные угловые расстояния в минутах, в третьем разность их лучевых скоростей в км/с и в четвертом—оценки расстояний между ними в кпк. В случаях галактик № 3, 4 и 148, 149 расстояния оцене-

ны как разница их хаббловских расстояний, в остальных случаях приведены их расстояния в проекции на небесную сферу.

Отметим, что у галактик № 42, 44 и 315, 316 наблюдался непрерывный спектр без заметных спектральных линий, а для галактик № 346, 347, 348 использованы данные Хьюмассона и др. [25].

Если классифицировать исследованные нами галактики с ультрафиолетовым избытком по их спектральным особенностям [26], то предварительное рассмотрение показывает, что довольно много двойных систем с похожими спектральными характеристиками их компонент.

Таблицы

Некоторые результаты первых ближайших соседей для галактик из списка Казаряна

№ по Кэз. первых соседей	Угловое расстояние между ними, мин	Разность лучевых скоростей, км/с	Расстояние, кпк
3 4	8.0	6500	8600
42 44	8.0	—	—
49 50	4.0	30	140
65 66	3.5	90	110
92 96	6.0	30	140
135 136	0.5	30	20
148 149	2.0	1350	18000
151 153	5.0	270	150
198 199	0.5	210	10
207 208	1.0	50	10
209 207	1.5	570	40
234 235	3.0	210	110
234а 234б	0.1	30	5
315 316	2.0	—	—
346 348	5.0	70	100
347 348	1.0	60	20

Таким образом, будет интересным последующее разностороннее исследование близкорасположенных на небесной сфере галактик с ультрафиолетовым избытком с целью выяснения корреляции между отдельными физическими характеристиками и морфологическими особенностями.

Авторы выражают благодарность Э. Е. Хачикяну за поставленную задачу и ценные замечания при обсуждении.

20 марта 1987 г.

Ա. Ա. ԵԴԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ս. Վ. ԶԱՐԱՑՅԱՆ, Ա. Պ. ՄԱԿՏԵՍՅԱՆ

ՄՈՏ ԳՏԵՎՈՂ ԳԵՐՄԱՆՈՒՇԱԿ ԳԱՎԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ  
ՅԻՋԻԿԱԿԱՆ ԿԱՊԻ ՄԱՍԻՆ

Քննարկվում է Ղազարյանի ցուցակի գալակտիկաների ամենամոտ 3 հարևանների անկյունային հեռավորությունների բաշխման հարցը: Ցույց է տրվում, որ նշված ուղտրամանուշակագույն ավելցուկով երկնակամարի վրա մոտ տեղաբաշխված գալակտիկաների մեծամասնությունը կազմում են ֆիզիկապես կապված համակարգեր:

A. A. YEGHIAZARIAN, S. V. ZARATSIAN, A. P. MAHTESSIAN

POSSIBLE PHYSICAL CONNECTION BETWEEN NEARBY  
KAZARIAN GALAXIES WITH UV EXCESS

The angular distances distributions of the first three nearby neighbours of Kazarian galaxies are considered. It is shown, that most of nearby Kazarian galaxies with UV-excess form a physical system.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Смирнов, Б. В. Комберг, *Астрофизика*, 16, 431, 1980.
2. А. П. Магтесян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 53, 102, 1982.
3. А. П. Магтесян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 57, 13, 1985.
4. G. Giuricin, F. Mardirossian, M. Mezzetti, *Astron. Astrophys., Suppl.*, 62, 157, 1985.
5. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 8, 165, 1972.
6. S. M. Shuder, D. E. Osterbrock, *Astrophys. J.*, 250, 55, 1981.
7. Дж. Айдман, А. Т. Каллоглян, *Астрофизика*, 11, 229, 1975.
8. К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 11, 207, 1975.
9. J. T. Stoke, *Astron. J.*, 83, 348, 1978.
10. И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева, *А. Ж.*, 51, 724, 1974.
11. И. Д. Караченцев, *Письма в АЖ*, 7, 3, 1981.
12. М. А. Казарян, *Астрофизика*, 15, 5, 1979.
13. М. А. Казарян, *Астрофизика*, 15, 193, 1979.
14. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, *Астрофизика*, 16, 17, 1980.
15. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, *Астрофизика*, 18, 512, 1982.
16. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, *Астрофизика*, 19, 213, 1983.
17. М. А. Аракелян, Докт. дис., ГЛИШ, 26, 1977.
18. J.-L. Nieto, *Astron. Astrophys.*, 70, 219, 1978.
19. М. А. Казарян, Е. Ye. Khachikian, A. A. Yeghazarian, *Astrophys. Space Sci.* 82, 105, 1982.
20. А. А. Егиазарян, Э. Е. Хачикян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 60, 1986.
21. А. А. Егиазарян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 58, 68, 1986.
22. А. А. Егиазарян, Э. Е. Хачикян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 60, 1988.
23. А. А. Егиазарян, *Астрофизика*, 25, 425, 1986.
24. А. А. Егиазарян, Канд. дис., Ереван, 1987.
25. M. L. Humason, N. V. Mayall, A. R. Sandage, *Astron. J.*, 61, 97, 1956.
26. М. А. Казарян, Э. Е. Хачикян, *Фвзика*, Изд. ЕГУ, Ереван, 49, 1985.

Р. А. ЕПРЕМЯН

## АБСОЛЮТНОЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППЫ ЗВЕЗД КЛАССОВ F, G и K В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ И ВИДИМОЙ ОБЛАСТЯХ. I

В работе приведены результаты абсолютной спектрофотометрии 21 звезды классов F, G и K по данным внеатмосферных и наземных наблюдений. Получено абсолютное распределение энергии исследуемых звезд в диапазоне длин волн 2300—6600 Å, в абсолютных энергетических единицах (эрг/см<sup>2</sup> сек. Å), которые потом сопоставлены с теоретическими моделями Куруча.

1. Введение. В настоящей работе приводятся результаты спектрофотометрического исследования 21 звезды спектральных классов F, G и K в окрестности α Aul. В итоге были определены абсолютные распределения энергии (эрг. см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>Å<sup>-1</sup>) в непрерывных спектрах этих звезд в интервале длин волн от 2300 до 6600 Å. При этом данные о распределении энергии в ультрафиолетовой области спектра (2300—3800 Å) были взяты из УФ Каталога [1], а наблюдательный материал (спектрограммы) для длинноволновой части спектра (3500—6600 Å) был получен на 70 см менисковом телескопе Абастуманской астрофизической обсерватории в сочетании с 8-градусной объективной призмой. Для получения длинноволнового спектра были использованы фотопластинки Kodak—11a—O и Kodak—103a—F. Номера по HD, спектральные классы и фотовизуальные величины исследуемых звезд [1, 2] приведены в табл. 1. В последнем столбце приведены также

Таблица 1

Список исследованных звезд

Звезда, HD	Спектр	V	B—V	г. пк
33602	F0 IV	8. <sup>m</sup> 6	—	180
32751	F2 IV	8.3	—	140
34331	F2 IV+F2 IV	8.4	—	150
34533	F2 IV+A	6.54*	+0.60*	50
34601	F2 IV	8.3	—	140
33878	F3 IV	8.2	—	140
33167	F5 V	5.68*	+0.42*	29*
33381	F5 V	8.2	—	80
32416	F8 IV	6.80*	+0.50*	36*
34248	F8 I; G5 IV*	8.00*	+0.90*	1900;91*
35830	F8 V	8.4	—	80
33520	G0 IV	8.1	—	100
33686	G2 V	8.8	—	60
33732	G4 IV	8.2	—	100
33798	G5 III	7.10*	+0.80*	59*
34887	G5 IV	8.1	—	100
35312	K0 V	8.1	—	30
35585	K0 III	7.7*	+1.10*	300*
34498	K2 III	6.7*	+1.10*	190*
35496	K2 III	8.0*	+1.10*	380*
34936	K5 III	7.7	—	300

\* Взято из каталога [2].

расстояния этих звезд, определенные нами по их визуальной величине и средней абсолютной светимости для данного спектрального подкласса, исправленные за влияние межзвездного поглощения. Здесь надо отметить, что для этих звезд в работе [3] было определено относительное распределение энергии в интервале длин волн от 2400 до 4800 А.

Обработка спектрограмм и получение абсолютного распределения энергии в спектрах исследуемых звезд выполнены по методике [4, 5]. Для построения редуциционной кривой 70 см телескопа с объективной призмой и с фотопластинками Kodak—11a—O и Kodak—103a—F были использованы четыре звезды спектрального класса A0 V (HD 34788  $V=7^m40$ ; HD 34680  $V=8^m73$ ; HD 34135  $V=8^m94$ ; HD 34131  $V=9^m26$ ), которые были использованы и ранее в работе [1] при построении аналогичной редуциционной кривой для ультрафиолетовой области. Коэффициенты абсолютизации ( $\lg K_1$ ) для каждой фотопластинки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные данные об использованных фотопластинках

Номер фотопластинки	Тип фотопластинки	Экспозиции, мин	Коэффициент абсолютизации	Диапазон спектра, А
13061	Kodak—11a—O	30	—13.22	3500—4800
13062	Kodak—11a—O	3	—12.70	3500—4800
13065	Kodak—103a—F	5	—12.85	3500—6600
13072	Kodak—103a—F	30	—13.08	3500—6600
13073	Kodak—103a—F	15	—13.20	3500—6600
13075	Kodak—11a—O	30	—13.04	3500—4800
13076	Kodak—11a—O	20	—12.96	3500—4800
13077	Kodak—11a—O	10	—12.88	3500—4800

Для 21 исследуемой звезды было обработано всего 168 спектрограмм. Измерения проводились с интервалами  $\Delta\lambda=25$  А, а иногда 10 А. По результатам измерений 5—7 спектрограмм для каждой звезды были найдены среднеквадратические ошибки, которые не превышали 10%.

2. Абсолютное распределение энергии в области 2300—6600 А. С помощью внеатмосферных и наземных наблюдений были найдены абсолютные распределения энергии в непрерывном спектре для каждой исследуемой звезды в интервале длин волн 2300—6600 А. Они представлены в графической форме в абсолютных энергетических единицах (рис. 1—4).

Полученные распределения энергии в непрерывных спектрах исследуемых звезд затем сопоставлялись с теоретическими моделями Куруча [6]. Такое сопоставление показывает, что для некоторых звезд наблюдаемые распределения энергии хорошо согласуются с теоретическими моделями, а для других звезд излучение в длинноволновой части спектра превышает теоретическое.

Остановимся на анализе полученных результатов для звезд каждого спектрального класса в отдельности.

Класс F. Исследовалось 11 звезд этого спектрального класса, из них четыре являются двойными звездами (HD 34331, 34533, 32416 и 35830). Абсолютные распределения энергии в непрерывных спектрах семи одиночных звезд класса F в исследуемом нами диапазоне (2300—6600 А) представлены на рис. 1 (точки). На этом и, на всех последующих рисунках стрелка на длине волны 3500 А указывает коротковолновую границу наземных наблюдений. На этом рисунке на-

несены также теоретические кривые для соответствующих спектральных подклассов (сплошные линии). Как видно из рис. 1, наблюдаемые распределения энергии находятся в хорошем согласии с теоретическими моделями. Здесь надо отметить, что поскольку все исследуемые

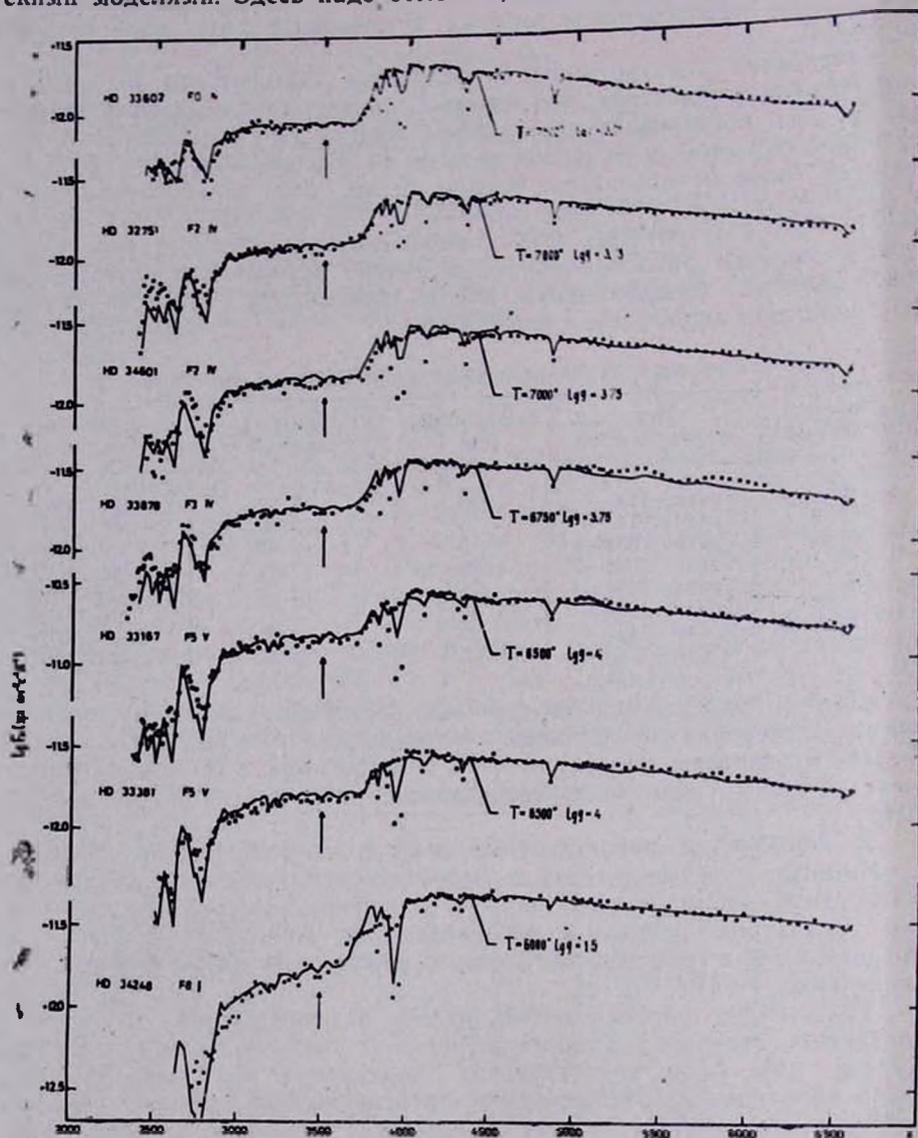


Рис. 1. Наблюдаемые абсолютные распределения энергии в спектрах семи звезд класса F в области 2300—6600 А (точки); сплошные линии соответствуют теоретическим моделям

звезды, за исключением звезды HD 34248, находятся от нас не далее 300 пк (табл. 1), то для них исправление за влияние межзвездного покраснения не проводилось. Спектральная классификация по спектрам, полученным в Абастуманской астрофизической обсерватории с объективной призмой показала, что HD 34248 является звездой спек-

спирального класса F8 I, а не G5 IV, как указано в каталоге [2]. Исходя из этого, ее расстояние оценено нами в 1900 пк. Для такого расстояния избыток цвета  $E(B-V)$ , определенный по соседним В-звездам [17], равен  $0^m25$ . На рис. 1 приведено распределение энергии в спектре этой звезды, исправленное за влияние межзвездного поглощения. Полученное распределение находится в полном согласии с теоретической моделью при  $T_{\text{эфф}}=6000^{\circ}\text{K}$  и  $\lg g=1.5$ , как в ультрафиолетовой, так и в длинноволновой областях спектра, что также подтверждает ее принадлежность к спектральному классу F8 I.

Как отмечено выше, имеются отдельные случаи, когда распределение энергии в непрерывном спектре звезд в исследованном диапазоне 2300—6600 Å не согласуется с теоретическими моделями звезд соответствующих спектральных подклассов. В этих случаях мы имеем дело с известными двойными звездами. Методом подбора спектрального типа и класса светимости второго компонента, как в работе [5], было достигнуто хорошее согласие между наблюдаемыми и теоретическими распределениями энергии во всем изученном диапазоне длин волн. На рис. 2 приведены наблюдаемые абсолютные распределения энергии четырех таких звезд (точки) вместе с теоретиче-

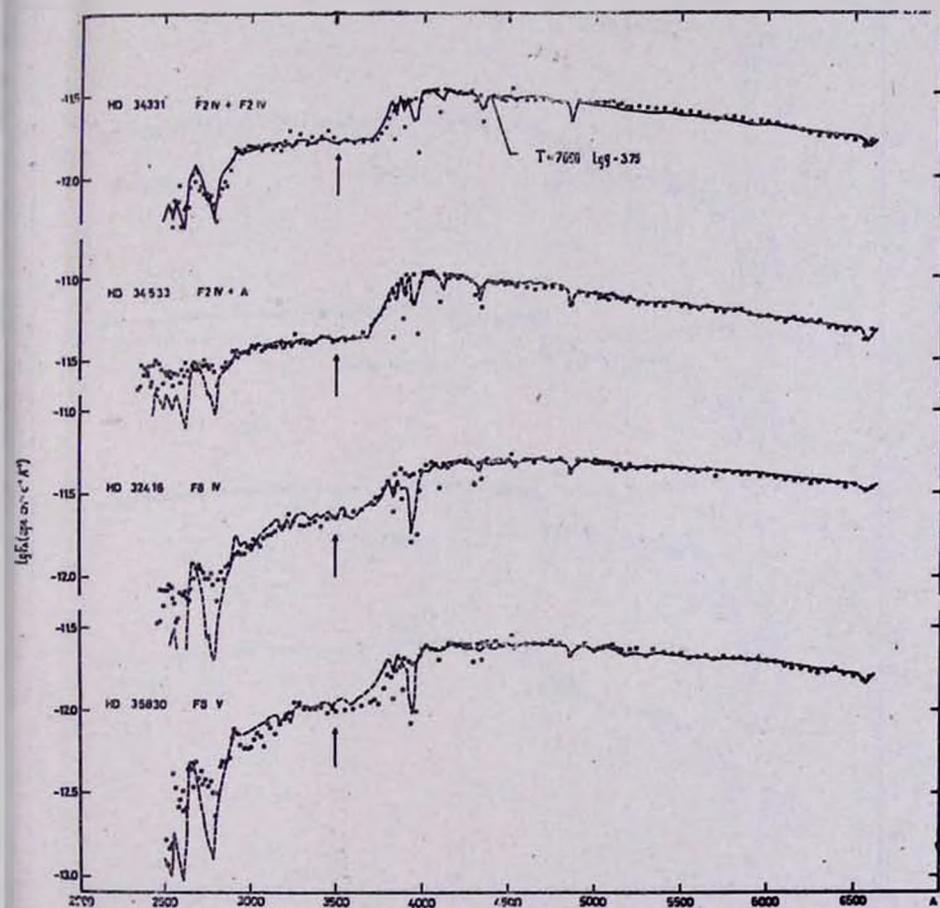


Рис. 2. Наблюдаемые распределения энергии в спектрах 4 двойных звезд; пунктирные линии соответствуют теоретическим моделям для обоих компонентов

ским суммарным распределением энергии обоих компонентов этих систем (пунктирные линии).

Звезда HD 34331, согласно каталогу AGK<sub>2</sub>, является двойной ( $V_1 = 9^m 0$  и  $V_2 = 8^m 7$ ). На наших пластинках спектрограммы обоих компонентов оказались разделенными и указывают на их принадлежность к классу F2 IV. Когда оба компонента принадлежат одному и тому же классу светимости (F2 IV), то согласно наблюдениям с моделью соответствующих спектральных классов также получается вполне хорошим во всем диапазоне спектра (рис. 2).

Звезда HD 34533=ADS 3903 AB представляет собой двойную систему и имеет компоненты спектральных классов F2+A2 [8] или A2 V+~GIII согласно работе [9]. В каталоге [2] указано, что в спектре этой системы имеются сильные металлические линии. При сопостав-

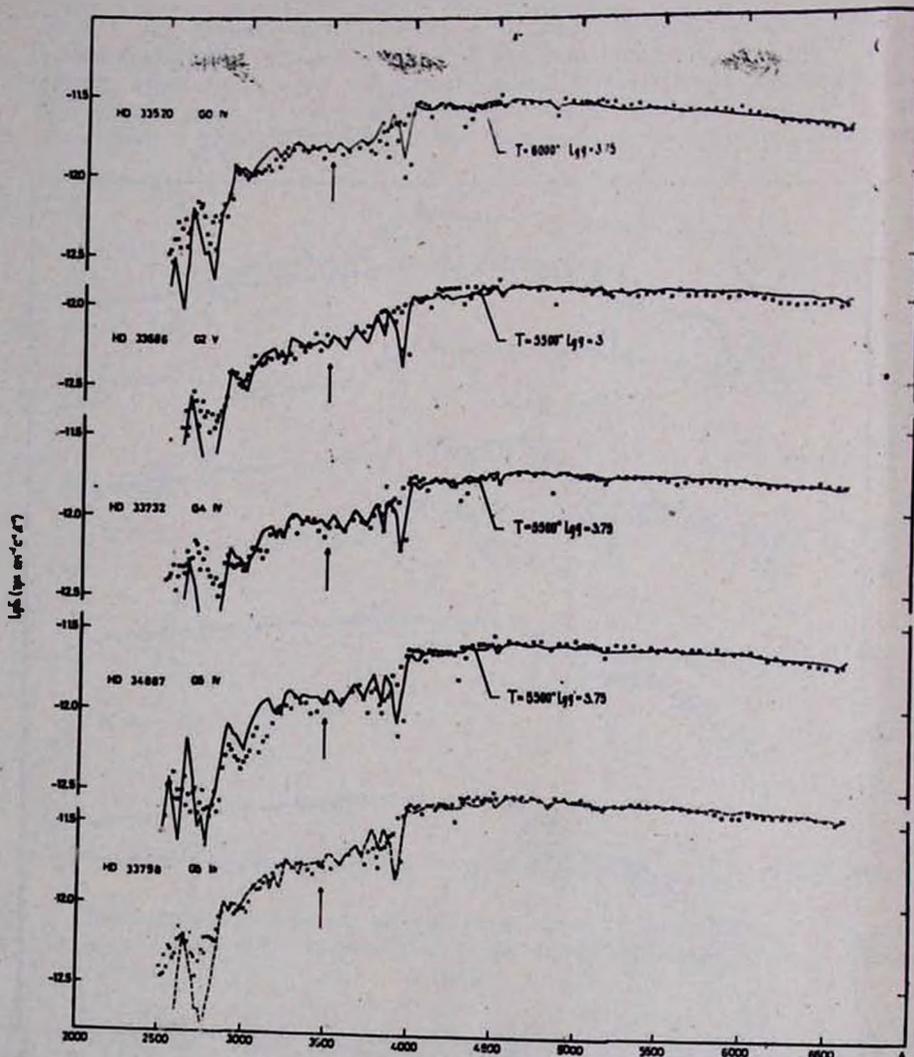


Рис. 3. Наблюдаемые распределения энергии в спектрах 5 звезд класса G в области 2500—6600 Å

сравнении наших результатов с теоретической моделью при  $T_{\text{эфф}}=7000^{\circ}\text{K}$  и  $\lg g=3.75$  для класса F2 IV получается заметное расхождение. Хорошее согласие (см. рис. 2) достигается при суммарной модели для звездной пары спектральных классов F2 IV+G0 III (пунктирная линия).

Расхождение между найденными нами распределениями энергии в непрерывных спектрах звезд HD 32416 (F8 IV) и HD 35830 (F8 V) и теоретическими моделями соответствующих спектральных классов устраняется, если предположить, что компоненты указанных звезд являются сверхгигантами спектрального класса F8 (рис. 2, пунктирные линии).

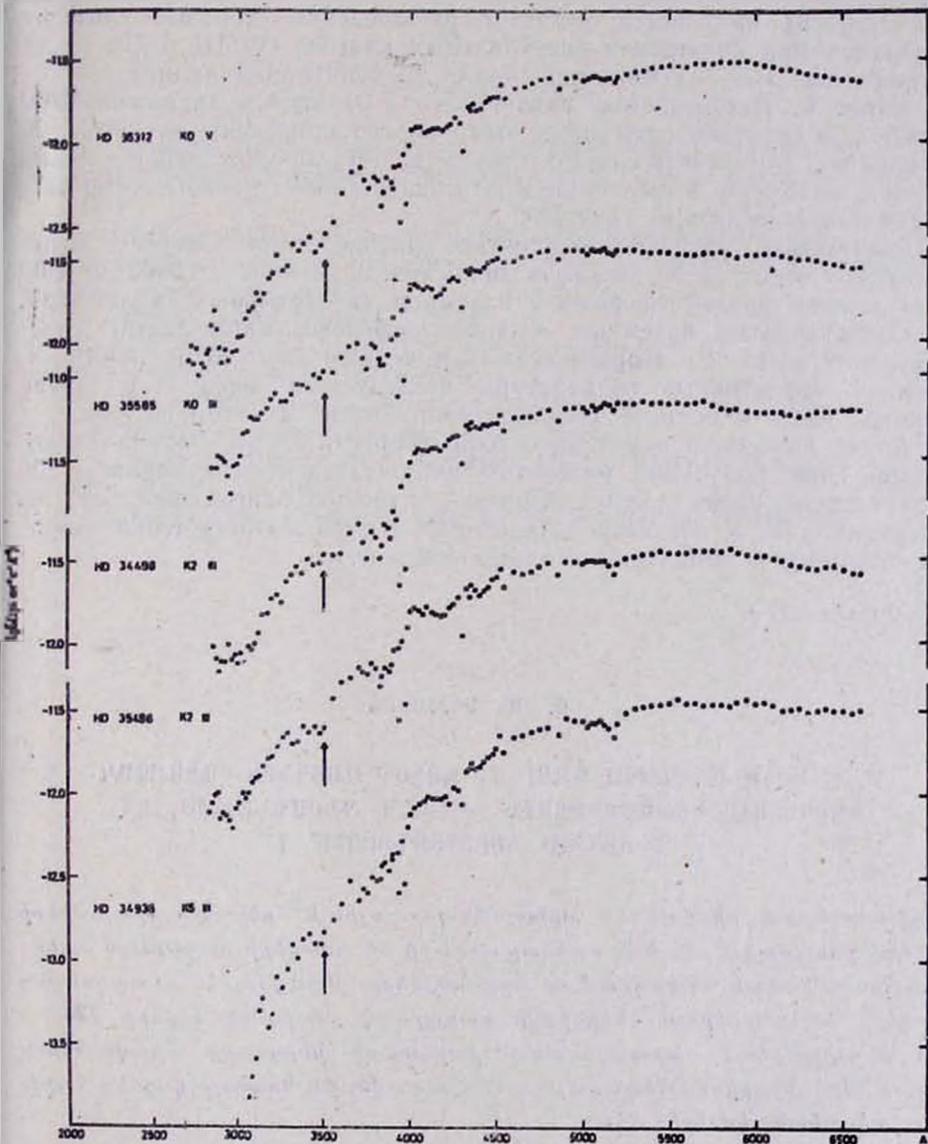


Рис. 4. Наблюдаемые абсолютные распределения энергии в спектрах звезд класса K

**Класс G.** Результаты наших измерений для пяти звезд этого спектрального класса представлены на рис. 3 наряду с теоретическими моделями для соответствующих спектральных подклассов (сплошные линии). Надо указать, что в УФ Каталоге [1] для звезды HD 33686 указан спектральный класс G2 V, а в каталоге SAO—G5. Полное же нами распределение энергии в непрерывном спектре в интервале длин волн 2600—6600 Å находится в хорошем согласии с теоретической моделью при  $T_{\text{эф}} = 5500^\circ\text{K}$  и  $\lg g = 3$ , т. е. спектральный класс этой звезды скорее всего соответствует—G2 III—IV.

Звезда HD 33798 = ADS 3812 AB двойная, имеет сильные металлические линии. При сравнении распределения энергии с теоретической моделью соответствующего спектрального класса—G5 III ( $T_{\text{эф}} = 5500^\circ\text{K}$  и  $\lg g = 3$ ) получается заметное расхождение. Хорошее согласие получается при допущении спектральных классов G5 III и G5 I для компонентов этой звездной пары (рис. 3, пунктирная линия).

**Класс K.** Наблюдаемые распределения энергии в диапазоне 2700—6600 Å в спектрах пяти звезд этого класса приведены на рис. 4. К сожалению, для спектрального класса K нет хороших теоретических моделей, поэтому в этом случае представлены лишь наблюдаемые распределения энергии в их спектрах.

**Заключение.** Найдено абсолютное распределение энергии в непрерывных спектрах 21 звезды в диапазоне длин волн от 2300 до 6600 Å по данным внеатмосферных и наземных спектральных наблюдений.

Сопоставление наземных и внеатмосферных наблюдаемых распределений энергии с теоретическими моделями дало возможность определить эффективные температуры исследуемых звезд, а в случае двойных звезд и оценить спектральные классы их компонентов.

Автор выражает искреннюю благодарность Р. А. Бартая за содействие при получении наземного наблюдательного материала. Он считает также своим долгом выразить глубокую благодарность Г. М. Товмасыану и Р. Х. Оганесяну за ценные советы и обсуждение вопросов, связанных с выполнением настоящей работы.

9 июля 1987 г.

Ռ. Ա. ԵՓՐԵՄՅԱՆ

F, G եւ K սպեկտրալ դասի տի եռուսթ ԱՍՏՂԵՐԻ ԲԱՅԱՐՁԱԿ  
ՍՊԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ ՍՊԵԿՏՐԻ ԳԵՐՄԱՆՈՒՇԱԿ ԵՎ  
ՏԵՍԱՆՆԻ ՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐՈՒՄ 1

Աշխատանքում բերված են արտամթնոլորտային և երկրային դիտումների շնորհիվ ստացված F, G և K սպեկտրալ դասի 21 աստղերի բացարձակ սպեկտրալուսաշափական հետազոտման արդյունքները, Ստացվել են հետազոտվող աստղերի սպեկտրներում կենդիայի բացարձակ բաշխման կորերը 2300—6600 Å տիրույթում, արտահայտված բացարձակ էներգետիկ միավորներով (էրգ/սմ<sup>2</sup>·վրկ·Å), որոնք հետագայում համեմատվել են կուրուլի կողմից հաշվված տեսական կորերի հետ:

R. A. EPREMIAN

THE ABSOLUTE SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION  
OF A GROUP OF F, G, AND K STARS IN ULTRAVIOLET AND  
VISIBLE REGIONS. I.

The results of absolute spectrophotometry of 21, F, G and K type stars are given using the data of space and ground based observations. The absolute energy distribution for studied stars in the wavelength region 2300—6600 Å in absolute energetic units ( $\text{erg}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{Å}$ ) is obtained, which was then compared with Kurucz's theoretical models.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Гурздян, Дж. Б. Оганесян, С. С. Рустамбекова, Р. А. Епремян, Каталог ультрафиолетовых спектров 900 слабых звезд, Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1985.
2. Sky Catalogue 2000.0, Vol. 1: Stars to Magnitude 8.0/Eds. Alan Hirshfeld, Roger W. Sinnott.—Cambridge Univ. Press, Sky Publ. Corporation: Cambridge, London, Sydney, 1982.—604 p.
3. Р. А. Епремян, *Астрофизика*, 17, 495, 1981.
4. С. С. Рустамбекова, Р. А. Епремян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 58, 9, 1986.
5. Р. А. Епремян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 60, 89, 1987.
6. R. L. Kurucz, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 40, 1, 1979.
7. W. A. Hiltner, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 2, 389, 1956.
8. V. M. Blanco, S. Demers, G. G. Donglass, M. P. Fitzgerald, *Publ. U. S. Naval Obs. Ser.*, 21, 772, 1968.
9. A. P. Cowley, D. I. Crawford, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 83, 296, 1971.

А. С. МЕЛКОНЯН

## ПОИСК ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ У ЗВЕЗД, НАХОДЯЩИХСЯ В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Приведены результаты поиска фотометрической переменности среднегодовой яркости 17 программных и 34 звезд сравнения.

Электрофотометрические наблюдения проведены в 1978—1984 гг. на телескопе АСТ-14А Бюраканской обсерватории. Используются три светофильтра: джонсоновский U, интерференционный H $\alpha$  фильтр с полушириной 12 Å и красный r-фильтр с полушириной 1300 Å и эффективной длиной волны 7000 Å.

У 23.5% программных и у 6% звезд сравнения наблюдается переменная среднегодовая яркость.

**Введение.** В течение последних двух десятилетий проведены обширные исследования по поиску солнечноподобной активности среди звезд. Первые систематические исследования по поиску циклов активности на звездах были начаты Вильсоном [1] в 1966 г. Он показал, что у некоторых из наблюдавшейся 91 звезды главной последовательности H+K потоки, измеренные в спектральных полосах шириной в 1 Å, изменяются с периодами от 7 до 14 лет. Он также заподозрил вращательную модуляцию H+K потока у тех звезд, на кривой блеска которых наблюдается большой разброс точек. Это предположение подтвердилось наблюдениями Вогана [2]. Исследования Вильсона были продолжены Воганом [3], который доказал существование у звезд главной последовательности циклов активности с периодами от 6 до 14 лет.

К настоящему времени наблюдениями по поиску солнечноподобной активности охвачены звезды разных классов светимости и спектра, звезды поля и в системах, звезды типа Ву Dra и RS CVn, одиночные звезды и компоненты двойных систем. Наблюдения проведены как в отдельных спектральных линиях, так и в непрерывном спектре, включая рентгеновский диапазон. Проведены измерения магнитных полей и скорости вращения звезд. В результате всех этих исследований было доказано существование у звезд циклов активности длительностью от 5 до 60 лет [4].

Согласно работе Патерно [4], важнейшие факты, полученные из наблюдений и касающиеся звездной активности солнечного типа таковы:

1. Область на диаграмме Г—Р, где наблюдаются циклы активности, ограничена в спектральном диапазоне F5—M5 и охватывает как карлики, так и гиганты.
2. Наблюденные периоды циклов не зависят от спектрального класса звезд и лежат в пределах от 5 до 60 лет.
3. Зависимость периода цикла от периода вращения звезды показывает двоякое поведение. Для небольших периодов вращения ( $P < 7^d$ ) есть очень сильная обратная зависимость между этими двумя периодами, но начиная с  $P = 7^d$  никакой зависимости нет.

4. Величина любого индикатора активности звезды (величина  $H+K$  потока, напряженность магнитного поля, интенсивность рентгеновского излучения) увеличивается с увеличением скорости вращения звезды.

Вопрос о солнечноподобной активности звезд обсуждался многими исследователями. Интересные работы по этому вопросу выполнены, например, Патерно [4], Гершберг [5], Годолн [6], Галл [7], Родоно [8, 9], Вогт [10], Лински [11], Балиунас и Воган [12].

Целью настоящей работы был поиск фотометрической переменности у звезд главной последовательности с использованием трех фильтров,  $u$ ,  $g$  и  $H_\alpha$  (см. ниже).

**Выбор программных звезд.** Звезды выбирались из каталога Глизе [13]. Так как присутствие кальциевой или водородной эмиссии в спектре звезды свидетельствует о ее активности, то при отборе звезд было желательно, но не обязательно, чтобы спектральные классы выбираемых звезд были с индексом «Е» и лежали в пределах от G до M. Было выбрано 17 программных звезд.

Для каждой программной звезды на паломарских картах были выбраны по две звезды сравнения, которые отождествлялись по каталогу SAO. В табл. 1 приведены номера (для программных звезд по каталогу Глизе, а для звезд сравнения по каталогу BD), спектральные классы и  $V$ —величины программных звезд и звезд сравнения.

Таблица 1

Данные программных звезд и звезд сравнения

Программная звезда			I зв. сравнения			II зв. сравнения		
Gl №	V	Sp	BD №	V	Sp	BD №	V	Sp
5	6.14	K0VE	+27 4676	6.80	K0	+27 4674	6.90	K2
688	6.40	dK3	+2 3373	6.40	K0	+0 3785	6.50	K0
692.1	7.50	K0V	+22 3205	8.70	G5	+22 3208	8.40	M0
700.2	7.01	K0V	+25 3453	6.80	K0	+24 3327	6.90	K0
722.1	8.34	dK0E	+42 3121	8.50	M0	—	9.82	K6
727	7.98	dK4	+10 1663	8.5	G5	+10 3675	8.30	K2
743	8.51	G9	+22 3575	8.50	G0	+22 3592	8.50	K0
756.2	8.10	K5V	+7 4035	8.60	K0	+7 4071	8.60	K0
773.2	7.92	K0VE	+28 3529	8.90	K0	+28 3547	9.00	K0
775	7.46	dK4E	+3 4211	7.80	K0	+3 4244	7.90	K2
808.2	8.41	K5V	+28 3898	8.00	K0	+28 3907	8.00	K2
818	8.28	K6V	+6 4758	8.10	K0	+7 4622	8.70	K2
835	9.85	dM0E	—	—	—	—	—	—
836.7	6.14	dG0E	+15 4491	7.80	G5	+14 4637	6.70	G5
841.1	6.80	K5V	+20 5047	7.20	K0	+18 4899	6.60	K0
857.1	8.87	dK7E	+21 4745	7.90	K2	+21 4749	8.2	K2
908	8.98	M2VE	+1 4764	8.60	K0	+1 4760	8.90	K0

**Аппаратура.** Наблюдения проводились на телескопе АЗТ-14А Бюкананской обсерватории ( $D=48$  см), на котором установлен одноканальный электрофотометр с ФЭУ-79, работающий без охлаждения, в режиме счета фотонов. Электроника аппаратуры подробно описана в работе Кюриняна и др. [14]. Использовались три фильтра: джонсоновский инструментальный U фильтр ( $u$ ), интерференционный  $H_\alpha$  фильтр с полушириной 12 Å ( $H$ ) и красный фильтр с эффективной длиной волны 7000 Å и полушириной 1300 Å ( $g$ ). В  $u$  и  $H$  фильтрах время интегрирования сигнала обычно выбиралось равным 99 с, а в фильтре  $g$ —от 10 до 50 с, в зависимости от яркости наблюдаемой звезды. Характерная ошибка одного наблюдения в  $g$  фильтре состав-

ляла  $0^m003-0^m010$ . В и и H фильтрах ошибка одного наблюдения была больше из-за слабости сигнала ( $0^m01-0^m08$  для разных звезд). Вопрос об ошибке наблюдений с нашей аппаратурой подробно обсужден в [15].

**Наблюдения и полученный материал.** Наблюдения проводились в 1978—1984 гг. Для каждой звезды за ночь делалось одно-два сравнения. После первого года наблюдений оказалось, что исходя из статистической полноты наблюдательного материала, касающегося одной звезды, оптимальное число программных звезд должно быть 15—20. В таком случае за сезон для одной программной звезды получалось в среднем 10—15 оценок яркости. За семь лет наблюдений сделано 1031 сравнение (свыше 18000 измерений звезд и фона).

**Методика обработки.** Очевидно, что для обнаружения переменности у звезд главной последовательности, которые в известном смысле считаются постоянными, требуется высокая точность наблюдений [16]. Для того, чтобы на 48 см телескопе решить подобную задачу, необходим очень строгий подход к процессам получения и обработки наблюдательного материала. Из-за меняющихся условий наблюдений за сезон, наблюдательный материал для одной звезды является неравноточным [15] и требует соответствующих методов статистической обработки (см., например, [17—19]).

Для определения весов наблюдений ошибка одного наблюдения вычислялась по формуле

$$\sigma = 1.03 \sqrt{\frac{1 + \frac{\bar{n}_0^\Phi}{n_0} \left(1 + \frac{\tau^*}{\tau^\Phi}\right)}{\bar{n}_0^2}} + 0^m006,$$

где  $\sigma$ —среднеквадратичная ошибка одного наблюдения, выраженная в звездных величинах;  $\bar{n}_0$  и  $\bar{n}_0^\Phi$ —числа импульсов, зарегистрированных за одну секунду от звезды и фона соответственно;  $\tau^*$  и  $\tau^\Phi$ —времена интегрирования сигнала от звезды и фона соответственно.

Чтобы сравнить средние значения и дисперсии сезонных рядов наблюдений (сезонных выборок) и сделать вывод о постоянстве или переменности звезд, необходимо сначала проверить однородность этих рядов. Эта проверка сделана согласно  $\tau$ -критерию (см., например, [20]). После проверки однородности и исключения из сезонных рядов крайних элементов было сделано сравнение сезонных дисперсий и средних значений по методу Бартлета и по методу сравнения средних (см., например, [20]) соответственно.

Сравнение дисперсий сезонных выборок выявило их постоянство при доверительной вероятности 0.999. Когда доверительная вероятность бралась равной 0.99 в 13% случаев оказались переменные дисперсии. Сравнение средних величин выборок проводилось в предположении, что дисперсии соответствующих выборок постоянны, поэтому здесь также доверительная вероятность принималась равной 0.999.

Вся обработка наблюдательного материала была сделана на ЭВМ «Электроника ДЗ-28».

**Результаты.** В табл. 2 приведены значения отношения  $\bar{S}^2/S^2$  (см. [20] с. 145), которое имеет распределение Фишера. Те значения  $\bar{S}^2/S^2$ , которые больше соответствующих значений квантилей распределения Фишера (даны в скобках), подчеркнуты и указывают на переменность. В первом столбце этой таблицы приведены номера программных звезд по каталогу Глизе [13]. В остальных столбцах (P—1),

(P—II) и (I—II) означают разности звездных величин программной звезды и звезд сравнения между собой. Индексы r, H и u указывают на примененные фильтры.

Благодаря анализу табл. 2 и рис. 1—5, где приведены усредненные за год кривые блеска, можно утверждать, по-видимому, что переменными среднегодовыми яркостями обладают следующие звезды: G1 5, BD+22 3208 (вторая звезда сравнения для G1 692.1), G1 836.7, BD+14 4637 (вторая звезда сравнения для G1 836.7), G1 841.1 и G1 908.

Несколько подробнее остановимся на трех из них.

G1 5—в [29] эта звезда отмечена как переменная с амплитудой  $0^m$  025. Переменность обнаружил Голе [21], но этот факт нам не был известен.

G1 836.7—Бланко и др. [22] получили веские доводы в пользу того, что эта звезда является пока единственной одиночной звездой с горячими пятнами. Амплитуда изменений в V полосе равна  $0^m$  02, период—24<sup>d</sup> 9.

G1 908—в [29], со ссылкой на работу Гершберга и Шаховской [23], эта звезда отмечается как вспыхивающая и фотометрически переменная. Но в вышеупомянутой работе таких фактов нет. Переменность этой звезды не обнаружили также Дойл и др. [24], наблюдавшие эту звезду фотометрически и спектрально.

О переменности остальных трех звезд нам ничего не известно.

**Заключение.** Анализ полученного наблюдательного материала не позволил сделать каких-либо выводов о характере сезонной кривой блеска звезд (из-за малочисленности наблюдений одной звезды за сезон и недостаточной точности одного измерения). По этой причине нам оставалось предпринять поиск годовых изменений яркости звезд.

Таблица 2

Значения параметра  $S^2/S^2$

G1 №	(P—I)	(P—II) <sub>r</sub>	(I—II) <sub>r</sub>	(P—I) <sub>H</sub>	(P—II) <sub>H</sub>	(I—II) <sub>H</sub>	(P—I) <sub>u</sub>	(P—II) <sub>u</sub>	(I—II) <sub>u</sub>
5	3.1(4.7)	6.2(4.7)	1.4(4.8)	5.7(4.7)	3.7(4.7)	0.6(4.8)	9.3(4.7)	5.7(4.7)	0.7(4.8)
688	0.6(7.1)	0.5(5.5)	2.0(7.4)	2.0(7.0)	0.7(5.5)	0.5(7.6)	3.5(5.4)	6.4(7.0)	0.6(7.4)
692.1	0.3(5.3)	2.2(5.3)	1.2(5.3)	2.6(5.3)	5.8(5.3)	2.6(5.5)	1.0(5.3)	4.5(5.3)	2.0(5.4)
700.2	0.7(5.6)	3.0(5.6)	1.9(5.9)	0.8(5.6)	1.1(5.6)	1.8(5.9)	2.1(5.6)	0.7(5.6)	2.1(5.9)
722.1	5.6(6.5)	0.8(6.5)	1.8(6.6)	5.4(6.6)	0.2(6.5)	0.9(6.6)	2.5(6.5)	1.2(6.5)	1.6(6.6)
727	1.6(6.6)	1.8(6.6)	2.9(6.9)	1.0(6.9)	0.7(6.9)	1.4(7.1)	2.5(6.6)	0.6(6.6)	2.2(6.9)
743	3.2(5.3)	4.2(5.3)	3.2(5.5)	5.0(5.5)	3.4(5.4)	1.5(5.7)	4.5(5.4)	5.4(5.5)	1.1(5.5)
756.2	4.6(5.3)	3.5(5.3)	1.2(5.5)	2.8(5.4)	1.5(5.6)	1.1(5.6)	1.3(5.3)	1.3(5.3)	0.5(5.5)
713.2	2.5(5.5)	0.5(5.4)	2.0(5.6)	0.5(5.4)	1.2(5.4)	0.5(5.7)	1.5(5.5)	4.7(5.4)	2.4(5.6)
775	0.5(4.8)	0.7(4.8)	1.1(4.9)	1.7(4.8)	1.1(4.8)	0.2(4.8)	4.5(4.8)	2.1(4.8)	0.7(4.8)
808.2	2.1(5.3)	0.3(5.3)	2.6(5.6)	1.8(5.3)	4.1(5.3)	2.8(5.6)	3.7(5.3)	2.8(5.3)	1.0(5.7)
818	5.9(7.0)	6.4(7.0)	4.8(7.1)	1.5(7.0)	0.3(7.1)	1.0(7.1)	1.8(7.0)	0.3(7.1)	1.2(7.1)
835	2.2(6.9)	0.5(7.0)	1.1(7.0)	1.0(6.9)	1.0(6.9)	0.8(7.0)	0.5(6.9)	0.6(7.0)	0.9(7.0)
836.7	3.0(4.8)	2.1(4.8)	2.4(5.0)	12.5(4.8)	5.7(4.8)	4.1(5.0)	1.4(4.8)	4.8(4.8)	6.2(5.0)
841.1	2.2(4.7)	6.7(4.7)	3.8(4.8)	4.4(4.7)	1.6(4.6)	0.6(4.8)	3.9(4.7)	4.8(4.6)	2.8(4.8)
857.1A	1.1(5.5)	0.3(5.5)	2.0(6.0)	2.1(5.5)	2.0(5.5)	1.5(5.8)	3.7(5.5)	3.3(5.5)	1.1(5.7)
908	14.4(5.0)	9.9(5.0)	0.9(5.0)	1.3(5.0)	1.3(5.0)	0.6(5.0)	1.6(5.0)	1.2(5.0)	2.2(5.1)

)

Как видно из табл. 2, обнаруженная переменность равным образом проявляется как в коротковолновой, так и в длинноволновой части спектра. В связи с этим уместно отметить результат Доррена и Джинана [26], подтвержденный Рейдиком и др. [25], согласно которому переменность в непрерывном спектре у звезд главной последо-

вательности проявляется преимущественно в коротковолновой части спектра.

Из табл. 2 следует, как и следовало ожидать, что процент обнаруженных переменных среди программных звезд намного выше (23.5%), чем среди звезд сравнения (6%). Это, по-видимому, связано с тем, что при отборе программных звезд большое внимание было уделено присутствию эмиссии в их спектрах. Хотя, нужно отметить, что нам ничего не известно о спектрах вторых звезд сравнения для G 836.7 G1 692.1. Последний результат полностью согласуется с выводами о том, что хромосферно активные звезды главной последовательности показывают также переменность в непрерывном спектре [16, 26—28].

Причиной изменений среднегодовой яркости звезд главной последовательности является, вероятно, вековое изменение активности этих звезд.

Автор выражает искреннюю признательность Л. В. Мирзояну и Б. С. Осканяну за детальное обсуждение настоящей работы и сделанные ими замечания.

31 января 1987 г.

Ա. Ս. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ

ԳԼԽԱՎՈՐ ՀԱՋՈՐԿԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՆԵՐՔԵՎԻ ՄԱՍՈՒՄ ԳՏԵՎՈՂ ԱՍՏԻՆԻԻ  
ԼՈՒՍԱԶՄԱԿԱՆ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՆՈՒՄ

Բերված են 17 ծրագրային և 34 համեմատման աստղերի միջին տարեկան պայծառության փոփոխության որոնման արդյունքները.

էլեկտրալուսաչափական դիտումները արված են 1978—1984 թթ. Բյուրականի աստղադիտարանի 48 սմ տրամագծով АЗТ-14 А դիտակով: Օգտագործվել են երեք լուսազտիչներ՝ ջոնսոնյան U, ինտերֆերենցիոն H<sub>α</sub> 12 А կիսալայնությամբ և կարմիր Դ լուսազտիչ 1300 А կիսալայնությամբ:

Ծրագրային աստղերի 23,5%-ի և համեմատման աստղերի 6%-ի մասին դիտված են միջին տարեկան պայծառության փոփոխություններ:

A. S. MELKONIAN

A SEARCH FOR PHOTOMETRIC VARIABILITY AMONG LOWER  
MAIN-SEQUENCE STARS

The results of search for annual light variations among 17 main sequence program and 34 comparison stars are presented.

Photoelectric observations are made by 48 cm telescope at the Byurakan observatory from 1978 to 1984. The three following filters are used: johnsons U, interference H<sub>α</sub> with FWHM=12Å and a red filter with FWHM=1300 Å and with effective wavelength at 7000Å.

We find evidence that 23.5% of program stars and 6% of comparison stars are variable.

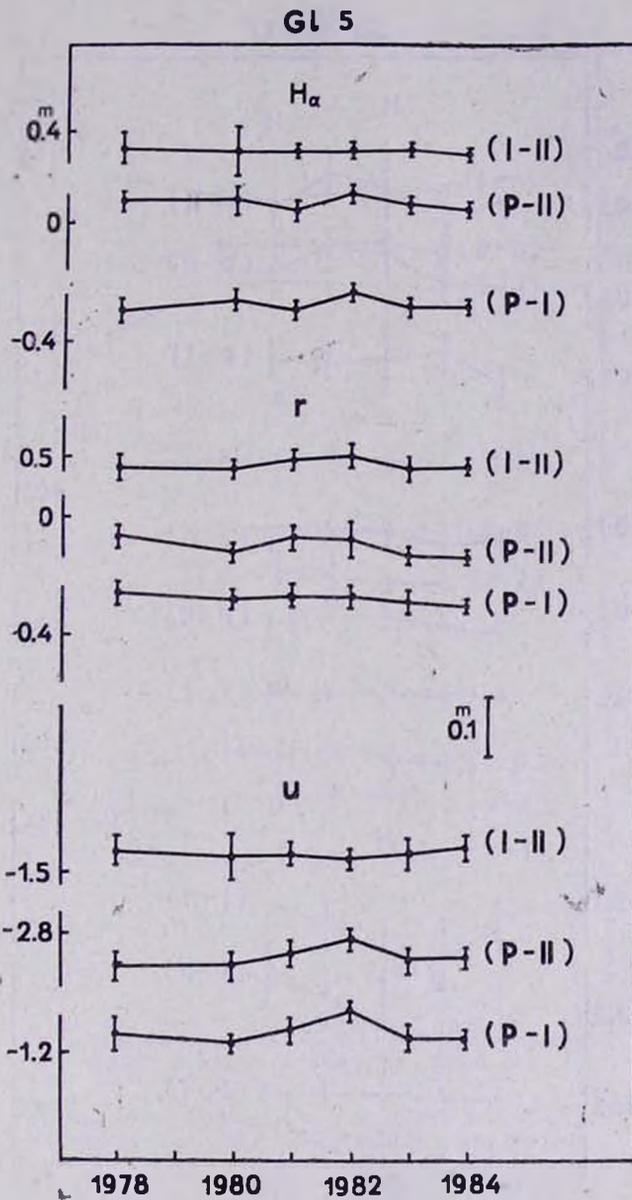


Рис. 1. Усредненная за год кривая блеска звезды Gl 5. Вертикальными отрезками отмечены доверительные интервалы при доверительной вероятности равной 0.997

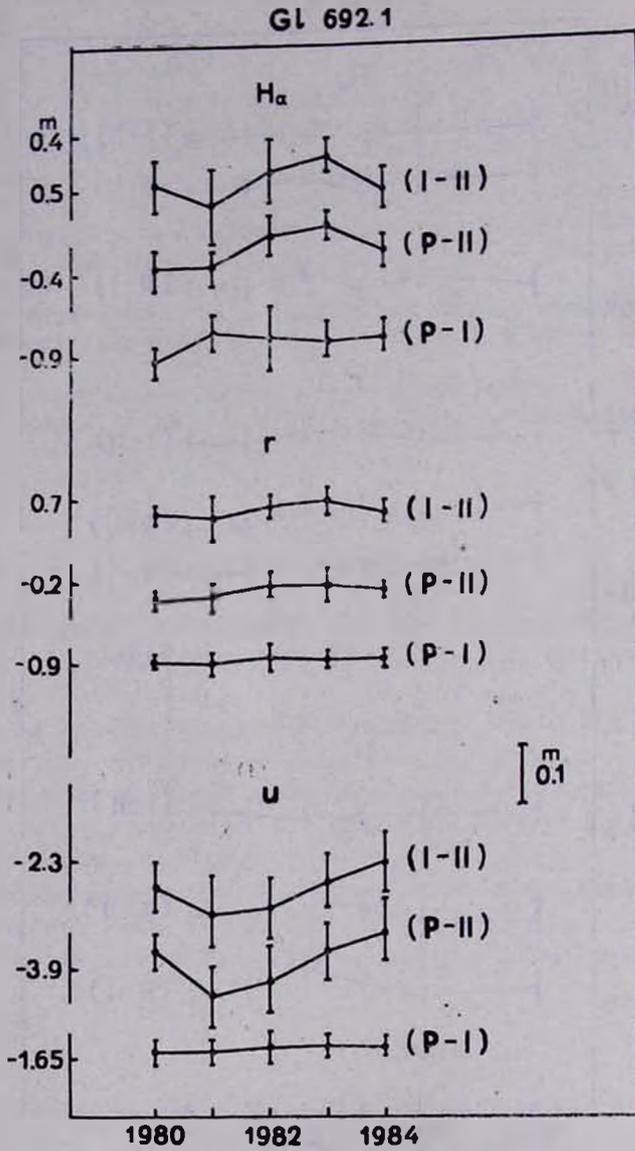


Рис. 2. Усредненная за год кривая блеска звезды Gl 692.1. Обозначения, как на рис. 1

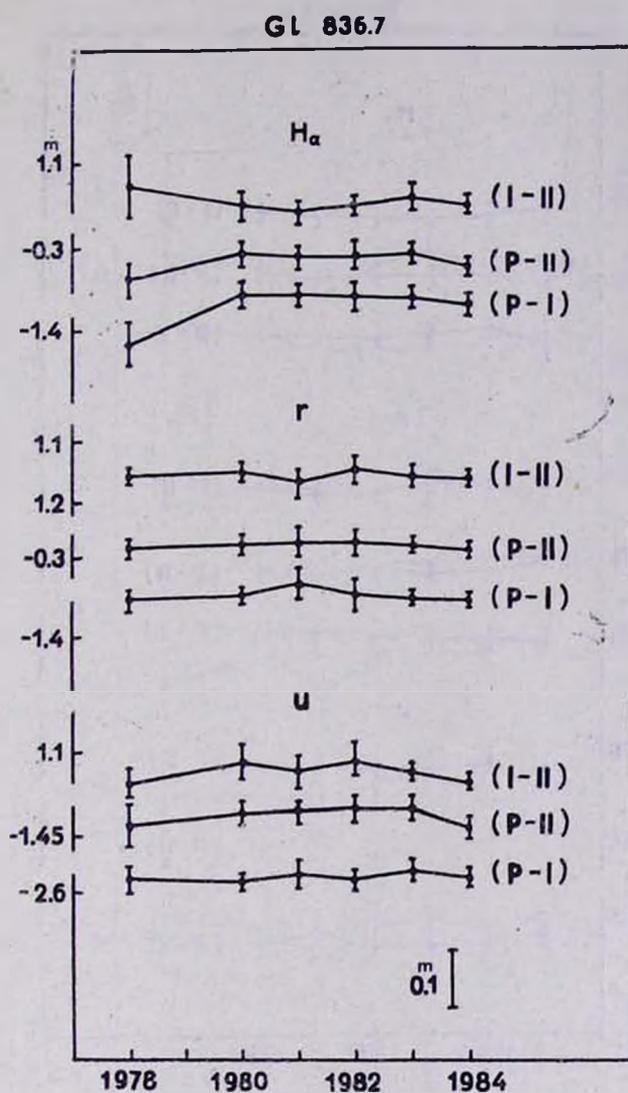


Рис. 3. Усредненная за год кривая блеска звезды Gl 836.7. Обозначения, как на рис. 1

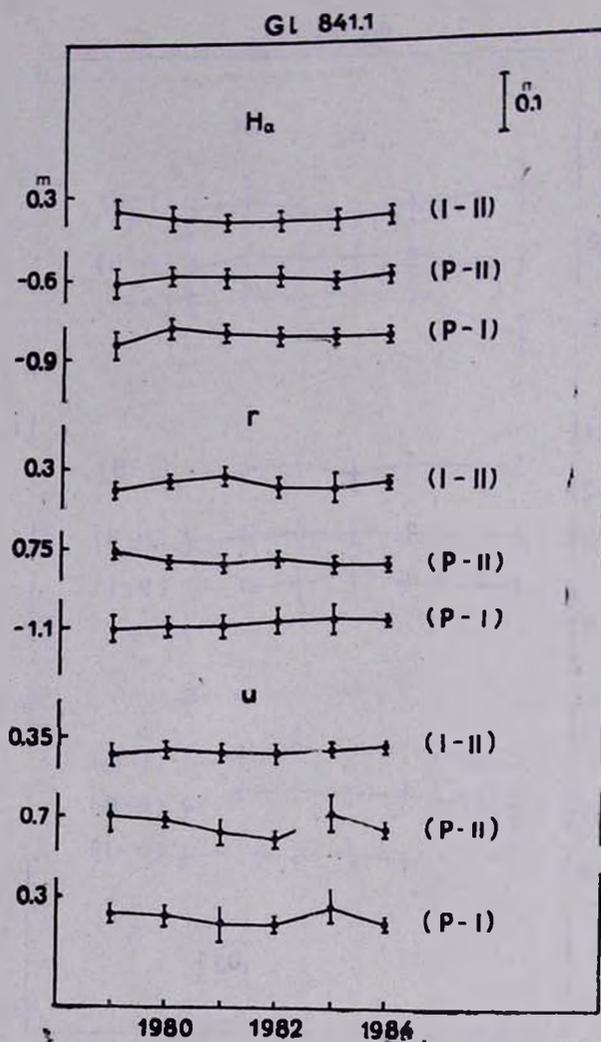


Рис. 4. Усредненная за год кривая блеска звезды Gl 841.1. Обозначения, как на рис. 1

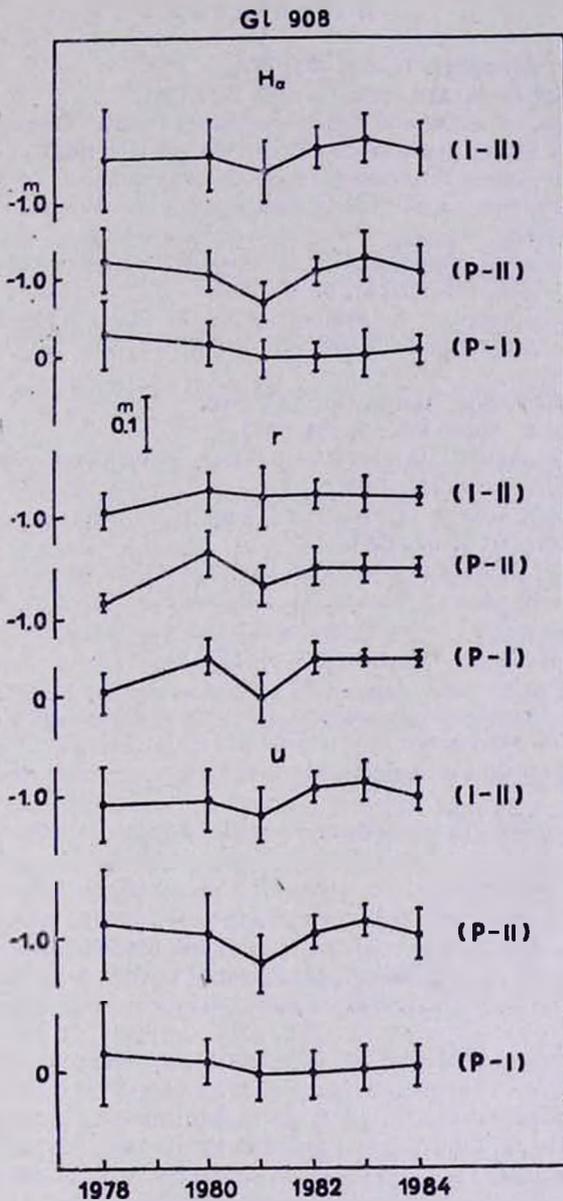


Рис. 5. Усредненная за год кривая блеска звезды Gl 908. Обозначения, как на рис. 1

## ЛИТЕРАТУРА

1. O. C. Wilson, *Astrophys. J.*, 226, 379, 1978.
2. A. H. Vaughan et al, *Astrophys. J.*, 250, 276, 1981.
3. A. H. Vaughan, in „Solar and Stellar Magnetic Fields: Origins and Coronal Effects“, J. O. Stenflo (ed), Reidel, Dordrecht, p. 113, 1983.
4. L. Paterno, in „Active Phenomena in the Outer Atmosphere of the Sun and Stars“, Proceedings of the Lapan—France Seminar, J.—C. Pecker, Y. Uchida (eds), p. 343, Paris, 1983.
5. R. E. Gershberg, in „Variable Stars and Stellar Evolution“, V. Sherwood and L. Plaut (eds), Reidel, Dordrecht, p. 47, 1975.
6. G. Godoll, Proceedings of the Symposium No. 71 IAU, Reidel Dordrecht, 1975.
7. O. S. Hal., in „Highlight in Astronomy“, P. A. Wayman (ed), Reidel, Dordrecht, p. 841, 1980.
8. M. Rodono, *Mem. Soc. Astron.*, 51, 623, 1980.
9. M. Rodono, *Adv. Space Res.*, 2, 225, 1983.
10. S. S. Vogt, in „Activity in Red Dwarf Stars“, P. B. Byrne and M. Rodono (eds) Reidel, Dordrecht, p. 137, 1983.
11. J. L. Linsky, in „Activity in Red Dwarf Stars“, P. B. Byrne and M. Rodono (eds) Reidel, Dordrecht, p. 39, 1983.
12. S. L. Balunas, A. H. Vaughan, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 23, 379, 1985.
13. W. Gliese, *Veroff. Astron. Rechen. Inst. Heidelberg*, No. 22, 1969.
14. Э. Н. Кюриан и др., *Сообщ. Бюраканской обс.*, 54, 65, 1983.
15. А. С. Мелкоян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 56, 69, 1985.
16. R. R. Radlka et al. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 94, 934, 1982.
17. Т. А. Агекян, *Основы теории ошибок для астрономов и физиков*, М., 1972.
18. А. С. Щиголов, *Математическая обработка наблюдений*, М., 1969.
19. А. С. Чеботарев, *Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей*, М., 1958.
20. Е. И. Пустыльник, *Статистические методы анализа и обработки наблюдений*, М., 1968.
21. M. Golay, in „Problems of Calibration of Absolute Magnitudes and Temperatures of Stars“, B. Huak, and B. E. Westerlund (eds), p. 275, 1973.
22. C. Blanco, S. Catalano, E. Marille, *Nature*, 230, 661—662, 1979.
23. R. E. Gershberg, N. I. Shalovskaya, *Bamberg Veroff*, 9, No. 100, 126, 1971.
24. J. G. Doyle, P. B. Byrne, J. W. Menzies, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 220, 223, 1986.
25. R. R. Radlk et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 95, 300, 1983.
26. J. D. Dorren, E. F. Gulnar, in „Second Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun“, SAO Spec. Rep. No. 392, eds M. S. Giampapa, L. Golub, p. 11—49, Cambridge, Mass, Smithsonian Astrophys. Obs., 1982.
27. G. W. Lockwood, D. T. Thompson, R. R. Radlk, W. H. Osborn, W. E. Bagget et al. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 96, 714, 1984.
28. D. K. Duncan, S. L. Balunas et al. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 96, 707, 1984.
29. П. Н. Холопов (ред.), *Новый каталог звезд, заподозренных в переменности блеска*, М.: Наука, 1982.

А. С. МЕЛКОНЯН

## U и H<sub>3</sub> ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ВСПЫШЕК ЗВЕЗДЫ EV Lac. ПОИСК ПЕРЕМЕННОСТИ МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ

Представлены результаты квазисовременной U и H<sub>3</sub> электрофотометрии вспышек EV Lac.

Обнаружены колебания блеска с периодом 3<sup>d</sup> 33 и амплитудой 0<sup>m</sup> 015.

**Введение.** Как известно, во время вспышек красных карликовых звезд, помимо непрерывного излучения, усиливается также излучение в линиях бальмеровской серии водорода, пониженного кальция и в некоторых других линиях [1—7]. Согласно Боппу и Моффетту [8, 9], в течение пик-фазы свет вспышки относится к непрерывному спектру, в то время как в медленной фазе наблюдается линейчатая эмиссия. Относительный вклад этих двух составляющих вспышки в каждой отдельной вспышке может быть различным. Вблизи максимума вспышки линейчатая эмиссия дает лишь 5—10% общего излучения вспышки в полосе В, но к фазе медленного угасания эта доля возрастает до 16—28%.

Согласно Моффетту и Боппу [9], в семи вспышках на четырех звездах типа UV Cet максимум эквивалентной ширины линии H<sub>3</sub> наступал через 1—9 мин, а максимум эквивалентной ширины линии K CaII—через 4—52 мин после максимума непрерывного излучения, причем, с переходом от слабых к абсолютно более ярким звездам это время запаздывания систематически возрастало.

Эти факты дают основание для проведения узкополосной электрофотометрии с интерференционными фильтрами в определенных спектральных линиях. Из опубликованных работ такого рода, можно, например, упомянуть работы [10—13]. Особенно следует отметить работу Моффетта и Эванса [10], где приводятся результаты одновременных U и H<sub>3</sub> наблюдений вспышек звезды UV Cet. В одном случае H<sub>3</sub> вспышка длилась примерно в 30 раз дольше, чем U вспышка и имела намного большую амплитуду.

Существующие наблюдательные данные кажутся пока недостаточными для построения теории звездных вспышек.

Целью настоящей работы было получение и сравнительный анализ наблюдательных данных о вспышках EV Lac в U и H<sub>3</sub> полосах. Кроме того, нас интересовал вопрос о медленных колебаниях блеска EV Lac, у которой Петерсен [18], Петерсен и др. [19] обнаружили периодические колебания блеска с периодом 4<sup>d</sup> 375 и амплитудой 0<sup>m</sup> 08.

**Возможности рабочего фильтра H<sub>3</sub>.** Если профиль спектральной линии и кривую пропускания фильтра H<sub>3</sub> аппроксимировать равнобедренным треугольником, то, аналогично работе [13], для амплитуды H<sub>3</sub> вспышки, которая наблюдалась бы нашей аппаратурой, получим [13]:

$$\Delta H_{\beta} = 2.5 \lg \frac{18 + k \cdot \Delta \lambda (3 - 0.167 \Delta \lambda)}{18 + k_0 \Delta \lambda_0 (3 - 0.167 \cdot \Delta \lambda_0)},$$

где  $\Delta \lambda$  — ширина спектральной линии,  $k$  — ее центральная относительная интенсивность, а полуширина полосы пропускания фильтра  $H_{\beta}$  и его максимальная прозрачность равны 6 Å и 0.38, соответственно. Индексом «0» обозначены параметры спокойного состояния звезды. Знаменения  $\Delta \lambda$  и « $k$ » можно взять из работы Гершберга и Чугайнова [1]. Например, при  $\Delta \lambda = 6$  Å и  $k = 3$ , получим  $\Delta H_{\beta} = 0.08$  ( $\Delta \lambda_0 = 3$  Å,  $k_0 = 1$ ).

**Наблюдения.** Наблюдения проводились на телескопе АЗТ-14А Бюраканской обсерватории, на котором установлен одноканальный электрофотометр с фотоумножителем типа ФЭУ-79. Постоянная времени аналоговой аппаратуры примерно 0.5 с. Фильтры менялись вручную.

Велась непрерывная запись сигнала от EV Lac в фильтре U, раз в десять минут измерялся фон и сигнал в  $H_{\beta}$ , затем — фон в U. В случае вспышки после максимума блеска несколько раз измерялся  $H_{\beta}$  сигнал.

Когда звезда находилась близко от меридиана, в режиме счета фотонов проводились три поочередных сравнения блеска EV Lac в В и V джонсоновских полосах относительно двух звезд сравнения. Время интегрирования для звезд было равно 60 с, а для фона — 20 с.

**Полученные данные.** За 40 ч патрулирования у звезды EV Lac было зарегистрировано 7 вспышек (если вспышку № 1 считать одной вспышкой). Параметры этих вспышек приведены в табл. 1, где в последовательных столбцах даны: 1 — номер вспышки; 2 — дата наблюдения вспышки; 3 — момент максимума UT; 4 — амплитуда вспышки; 5 — среднеквадратическое отклонение одного измерения (время интегрирования 10 с); 6 — интегральное время излучения вспышки в минутах [16]; 7 — продолжительность вспышки в минутах; 8 — скорость возгорания вспышки в звездных величинах за секунду; 9 — скорость затухания блеска вспышки.

Таблица 1

Параметры вспышек

№	Дата	UT <sub>max</sub>	$\Delta m_u$	$\sigma_u$	P	$\Delta t$	$V_a$	$V_b$
1	12.08.85	18 7.5	0.66	0.07	2.85	3.00	0.3800	0.0095
2	27.08.85	00 35.0	0.50	0.08	1.82	5.00	0.0080	0.0020
3	27.08.85	17 58.3	1.51	0.08	25.30	31.00	0.0034	0.0013
4	2.09.85	21 35.2	0.58	0.07	0.58	1.00	0.1450	0.0100
5	19.09.85	21 5.0	0.84	0.08	3.30	4.67	0.2100	0.0040
6	19.09.85	21 58.3	0.71	0.09	1.70	4.00	0.0290	0.0036
7	7.10.85	00 33.3	1.63	0.09	2.40	3.25	0.4100	0.0080

В случае трех вспышек (№ 4, 5, 6)  $H_{\beta}$  сигнал не измерялся. В трех других случаях (№ 1, 2, 7) увеличение  $H_{\beta}$  сигнала зарегистрировано не было. Лишь в одном случае (вспышка № 3) с трудом удалось обнаружить увеличение  $H_{\beta}$  сигнала. Амплитуду этого увеличения невозможно было оценить из-за того, что до вспышки уровни сигнала и фона в фильтре  $H_{\beta}$  были равны. Усиленный  $H_{\beta}$  сигнал продолжался более 45 мин.

С 10.08.85 по 14.10.85 EV Lac наблюдалась по программе поиска переменности малой амплитуды. За 24 ночи было сделано 64 сравнения. В подавляющем большинстве случаев за ночь проводились три

сравнения. На кривых блеска рис. 1 каждая точка представляет усредненную за ночь разностную звездную величину.

Анализ полученных данных. Из анализа данных табл. 1 и рис. 2 и 3 видно, что зарегистрированные вспышки сильно отличаются друг от друга. Например, максимальная (вспышка № 7) и минимальная (вспышка № 3) скорость возгорания отличаются более чем в 100 раз. Очень важно отметить, что повышение II сигнала наблюдалось именно при самой медленной вспышке. Следуя Амбарцумяну [14, 15], это явление можно объяснить тем, что при медленных вспышках энергия высвобождается в более глубоких слоях атмосферы звезды и, следовательно, переработанного излучения бывает больше, чем при быстрых вспышках, которые, по-видимому, происходят в более высоких слоях атмосферы звезды.

Чрезвычайно интересна вспышка № 1. Между двумя, почти одинаковыми, всплесками с амплитудами  $0^m.6$  и  $0^m.7$  наблюдалось понижение яркости по отношению к нормальному блеску звезды на  $0^m.2$  продолжительностью 4 мин. Известно много примеров так называемых отрицательных предвспышек, зарегистрированных в разных областях спектра, но такое явление встречается, насколько нам известно, впервые. Мы затрудняемся дать этому явлению какое-нибудь объяснение.

Таблица 2

Усредненные данные сравнений

Параметр	(E-I) <sub>v</sub>	(E-II) <sub>v</sub>	(I-II) <sub>v</sub>	(E-I) <sub>в</sub>	(E-II) <sub>в</sub>	(I-II) <sub>в</sub>
$\Delta m$	0.4030	-0.4400	-0.8430	0.5720	0.9140	0.3430
$\Delta m$	0.0240	0.0260	0.0190	0.0350	0.0310	0.0200
$\Delta m$	0.0031	0.0036	0.0024	0.0045	0.0040	0.0025
N	63	61	63	60	59	63

В табл. 2 приведены данные, полученные по программе поиска переменности малой амплитуды. В первой строке этой таблицы приведены средние значения разности звездных величин, во второй—среднеквадратическое отклонение одного измерения, в третьей—среднеквадратическая ошибка средних разностных звездных величин (приведенных в первой строке), в четвертой—число измерений. Столбцы соответствуют разностям между EV Lac, первой и второй звездами сравнения.

Сравнение среднеквадратических ошибок по критерию Фишера (см., например, [17] с. 131) выявило переменность EV Lac в В полосе. Действительно, пользуясь данными табл. 2, получим:

$$\frac{\sigma^2(E-I)_B}{\sigma^2(I-II)_B} = 3.1 \quad (1.6, 1.9) \quad \frac{\sigma^2(E-II)_B}{\sigma^2(I-II)_B} = 2.4,$$

$$\frac{\sigma^2(E-I)_V}{\sigma^2(I-II)_V} = 1.6 \quad (1.6, 1.9) \quad \frac{\sigma^2(E-II)_V}{\sigma^2(I-II)_V} = 2.2.$$

В скобках приведены значения квантилей распределения Фишера для соответствующих значений степеней свободы и доверительной вероятности, равной 0.99 и 0.999 соответственно.

Анализ (B-V) цвета EV Lac показал;

$$\frac{\sigma^2[(B-V)_E - (B-V)_I]}{\sigma^2[(B-V)_I - (B-V)_II]} = 2.4 \quad (1.6, 1.9) \quad \frac{\sigma^2[(B-V)_E(B-V)_II]}{\sigma^2[(B-V)_I - (B-V)_II]} = 2.3,$$

то есть, с доверительной вероятностью 0.999 яркость и цвет EV Lac меняются.

На рис. 4 приведены спектральное окно и спектр мощности для (I-II)<sub>B</sub>. На рис. 5 приведены спектры мощности для (E-I)<sub>B</sub> и (E-II)<sub>B</sub>. Как видно, максимальной амплитудой обладает частота  $\nu = 0.3$  день<sup>-1</sup> в спектре мощности (E-I)<sub>B</sub>. Таким образом, у EV Lac обнаружена переменность в В полосе с периодом 3<sup>d</sup> 33 и амплитудой 0<sup>m</sup> 015. Значение амплитуды определялось из рис. 1.

**Выводы.** Из-за малой чувствительности нашей аппаратуры, данные, полученные с помощью H<sub>β</sub> фильтра, так скудны, что почти ничего нельзя сказать относительно H<sub>β</sub> вспышек. Единственно возможное утверждение, основанное на факте увеличения H<sub>β</sub> сигнала во время вспышки № 3, состоит в том, что во время медленных U вспышек можно наблюдать более длительные H<sub>β</sub> вспышки.

По всей вероятности, явление понижения яркости между двумя максимумами вспышки № 1 отличается от явления отрицательных вспышек. При относительно малой амплитуде максимумов понижение яркости имеет сравнительно большую амплитуду и длительность. Это понижение яркости наблюдается в полосе U, что трудно объяснить в рамках существующих теорий отрицательных вспышек.

Таким образом, можно предположить, что наблюдается новое явление.

У EV Lac наблюдается переменность малой амплитуды. Период этой переменности, полученный с помощью Фурье-анализа, равен 3<sup>d</sup> 33 и отличается от значения, найденного Петерсеном и др. в работе [19]. Как было отмечено выше, они для периода нашли значение 4<sup>d</sup> 375.

Автор выражает свою признательность Л. В. Мирзояну и В. С. Осканяну за детальное обсуждение настоящей работы и сделанные замечания.

9 июля 1987 г.

Ա. Ս. ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ

EV Lac ԱՍՏՂԻ ԲՈՒԿՈՒՄՆԵՐԻ Ս ԵՎ H<sub>β</sub> ԷԼԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱԶՍՓՈՒԹՅՈՒՆ:  
ՊԱՅՑԱՌՈՒԹՅԱՆ ԴԱՆԴԱԿ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՆՈՒՄ

Ներկայացված են EV Lac աստղի բոկոմաների U և H<sub>β</sub> էլեկտրալուսաչափության արդյունքները: Դիտումները վկայում են, որ այս աստղի պայծառությունը ենթակա է պարբերական սատանումների 3<sup>d</sup> 3 պարբերությամբ և շուրջ 0<sup>m</sup> 015 ամպլիտուդայով:

A. S. MELKONIAN

U AND H<sub>β</sub> ELECTROPHOTOMETRY OF FLARES OF EV Lac.  
THE SEARCH OF MINOR AMPLITUDE VARIABILITY

The results of quasisimultaneous U and H<sub>β</sub> electrophotometry of flares of EV Lac are presented. The periodic light variations with the period of 3<sup>d</sup> 33 and the amplitude of 0<sup>m</sup> 015 are found.

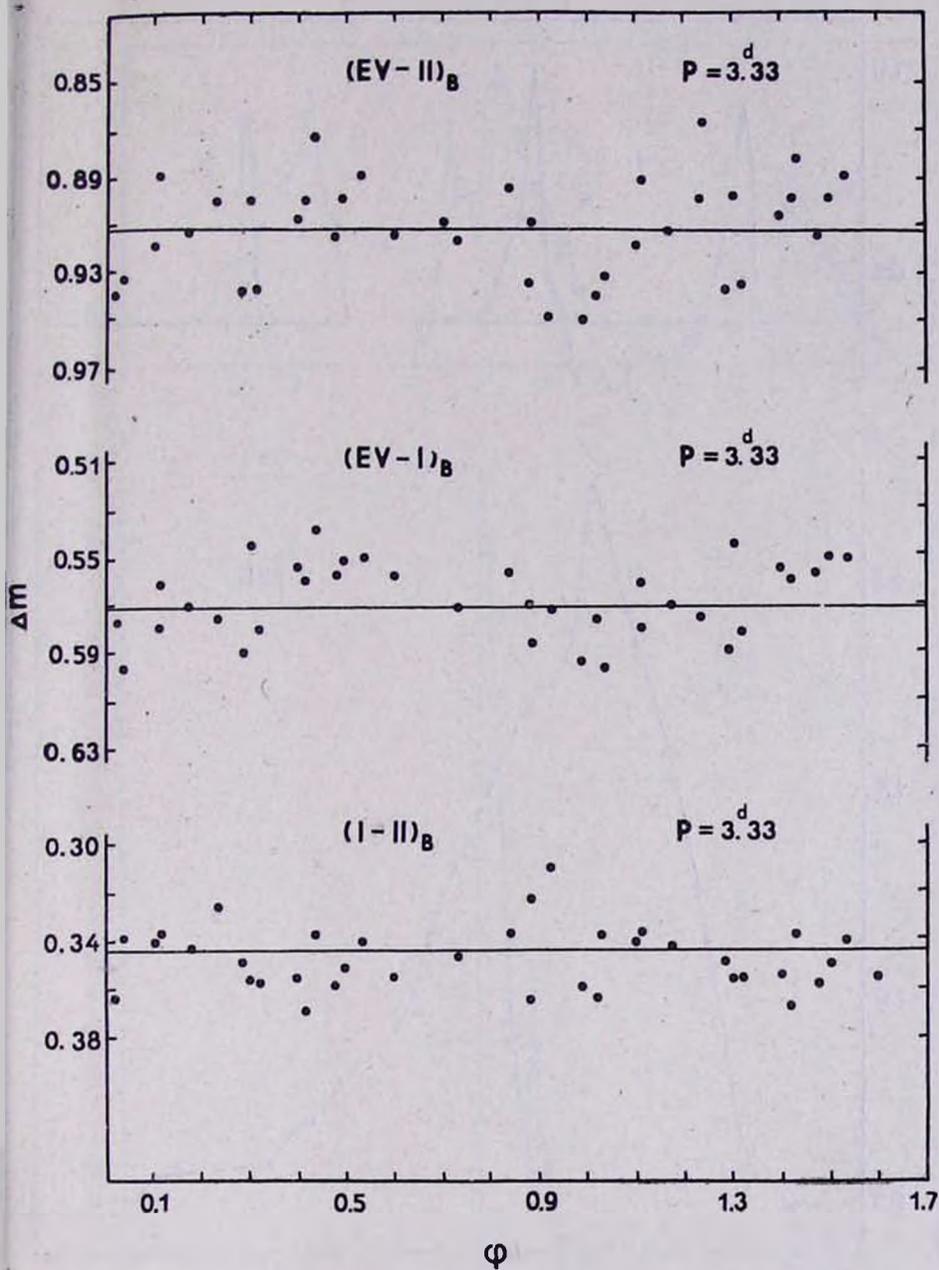


Рис. 1

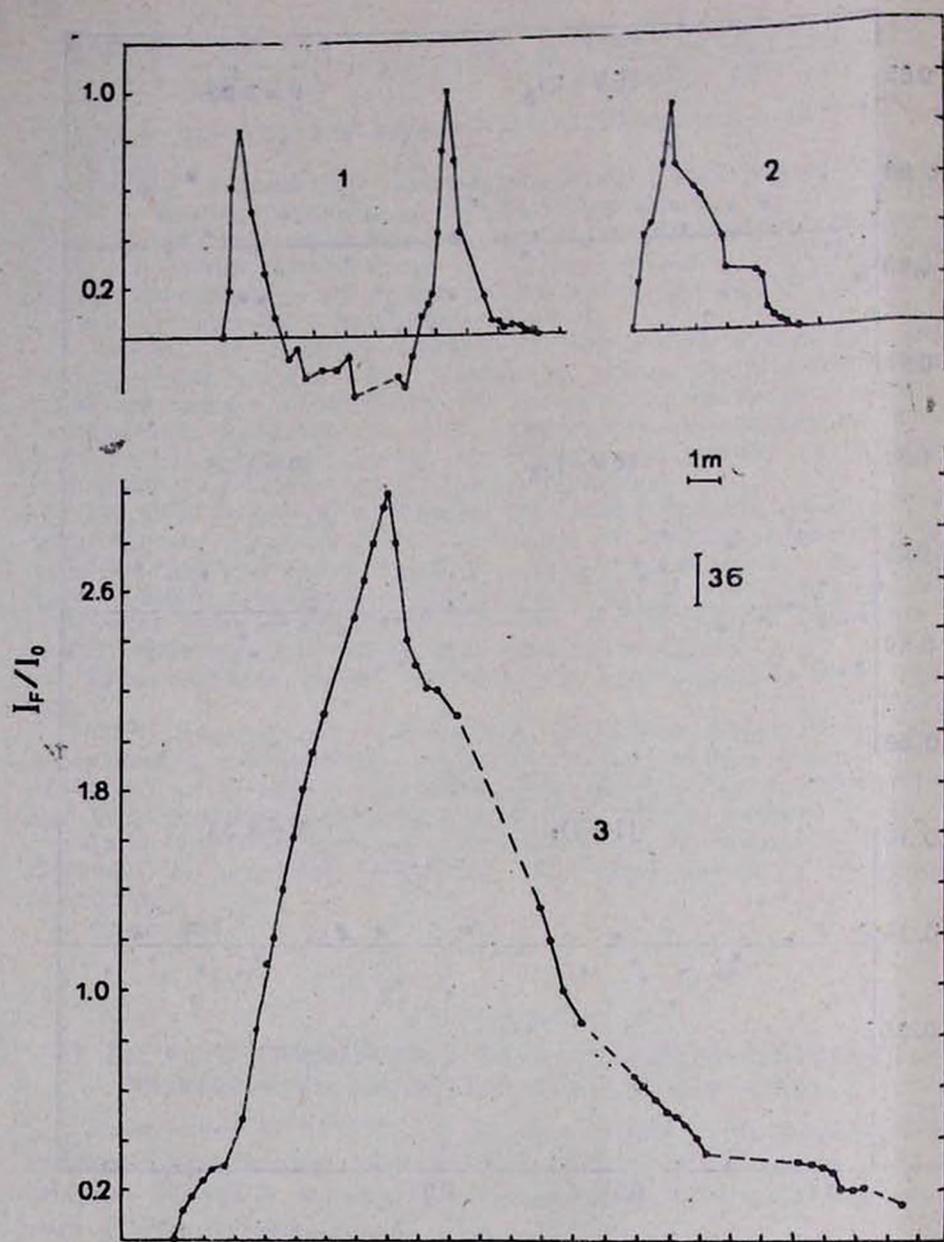


Рис. 2

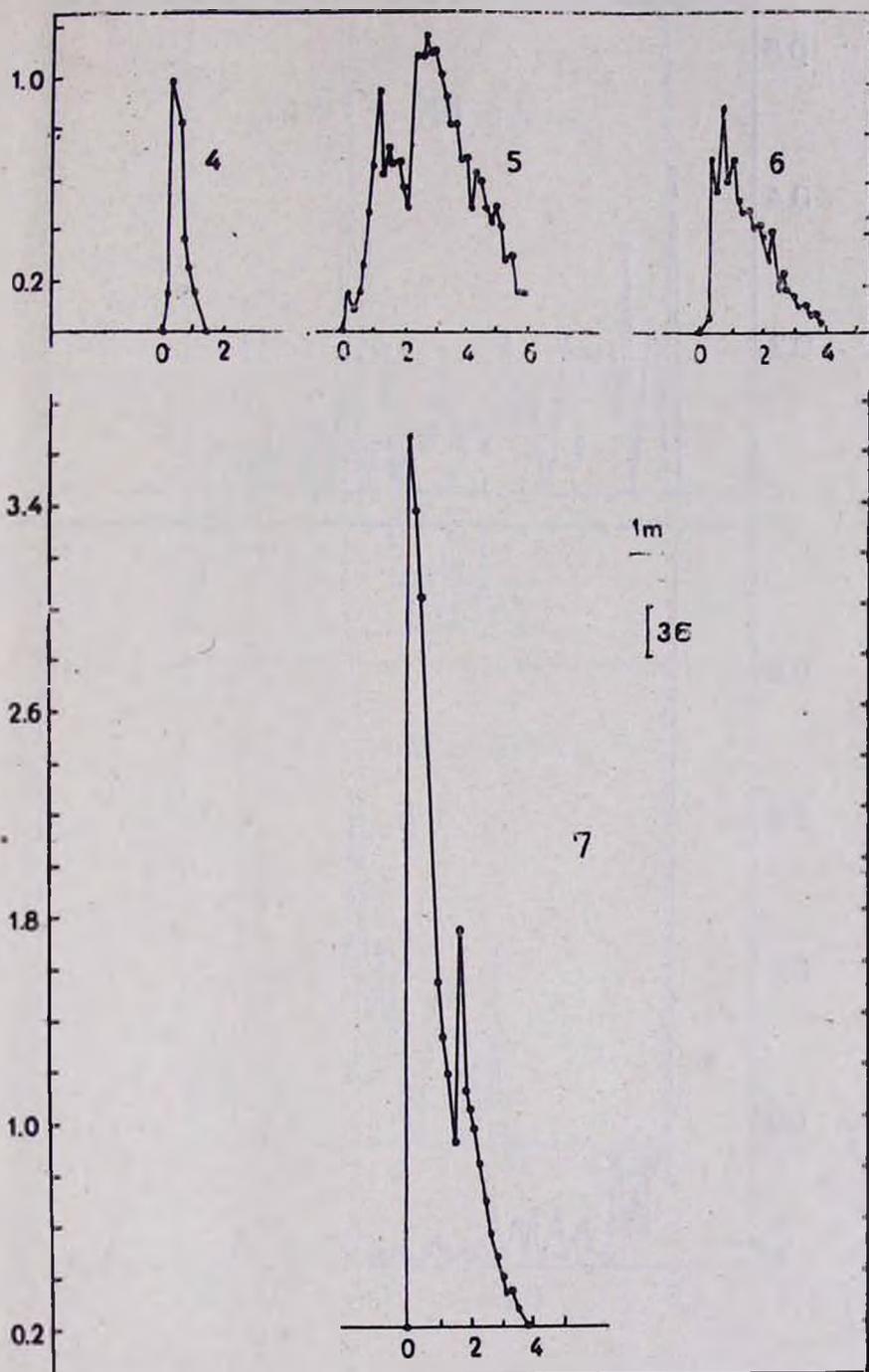


Рис. 3

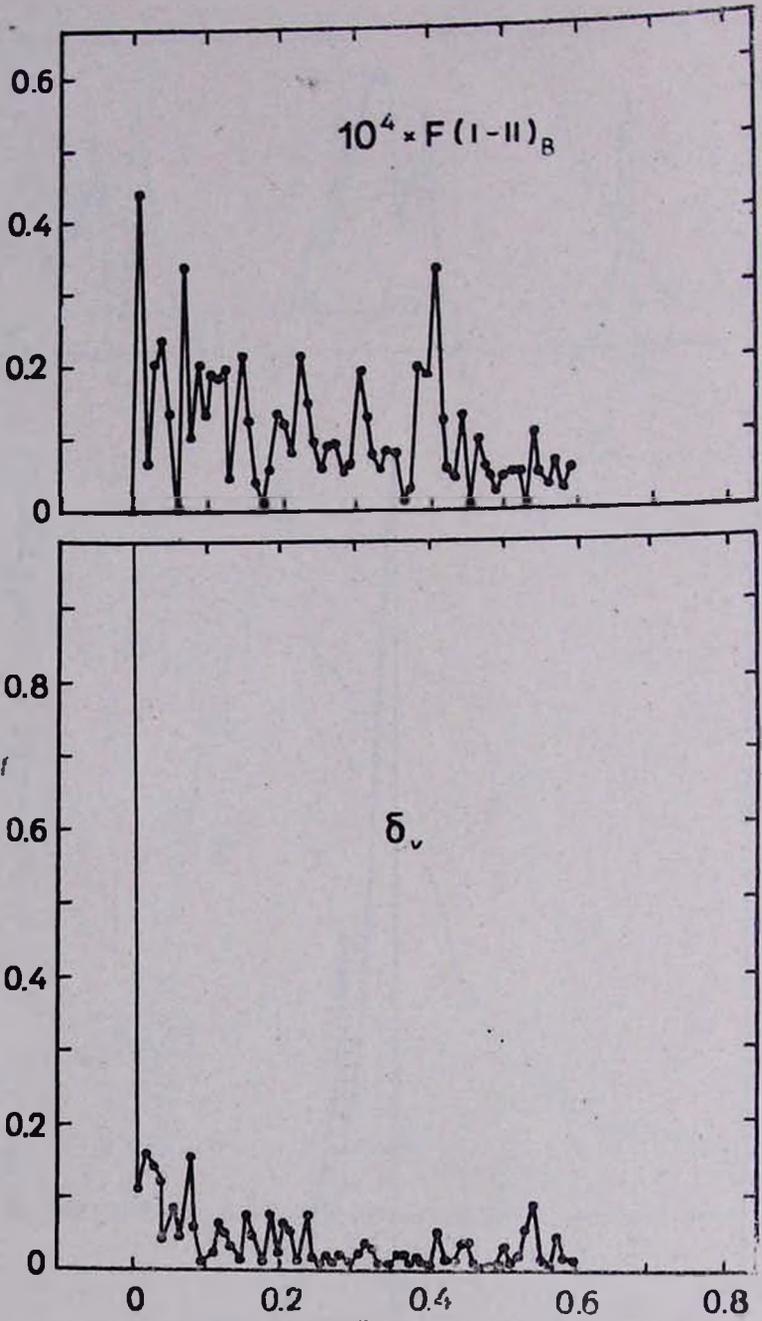


Рис. 4

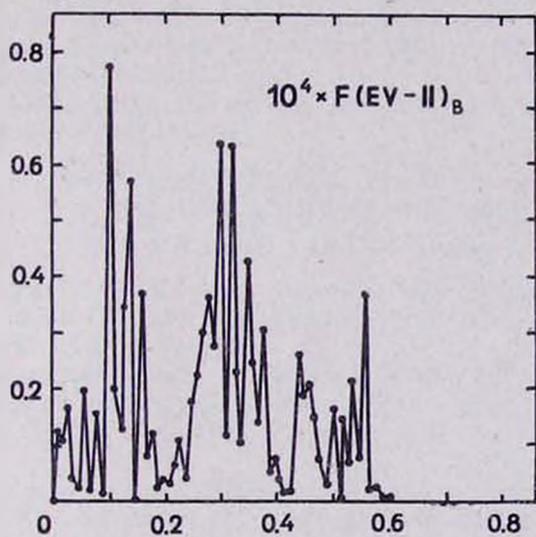
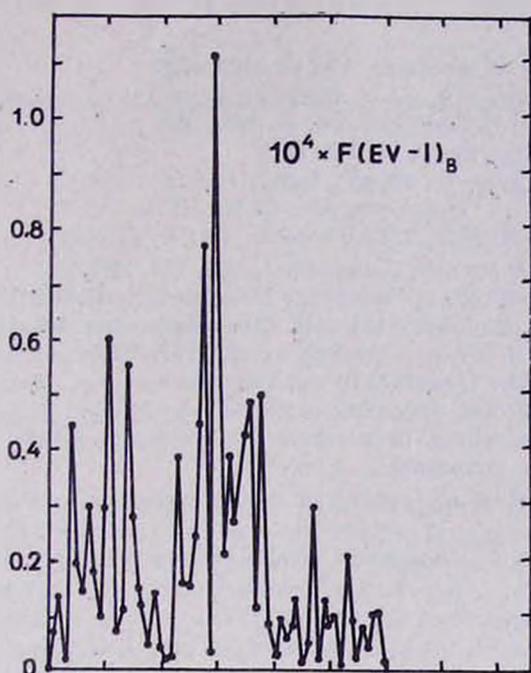


Рис. 5

## ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Е. Гершберг, П. Ф. Чугайнов, АЖ. 43, 1168, 1966.
2. W. Kunkel, An Optical Study of Stellar Flares, Texas University, Austin, 1967.
3. П. Ф. Чугайнов, Р. Е. Гершберг, АЖ. 44, 260, 1967.
4. П. Ф. Чугайнов, Изв. КрАО, 38, 200, 1967.
5. W. Kunkel, Astrophys. J., 161, 503, 1970.
6. Р. Е. Гершберг, Н. И. Шаховская, АЖ. 48, 934, 1971.
7. Н. И. Шаховская, Канд. дис., КрАО, 1973.
8. B. W. Vopp, T. J. Moffett, Astrophys. J., 185, 239, 1973.
9. T. J. Moffett, B. W. Vopp, Astrophys. J. Suppl. Ser., 31, 61, 1976.
10. T. J. Moffett, D. S. Evans, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 178, 149, 1977.
11. S. W. Mochacki, H. Zirin, Astrophys. J., 239, L27, 1980.
12. B. R. Pettersen, The Observatory, 100, 198, 1980.
13. А. С. Мелконян, Сообщ. Бюраканской обс., 54, 15, 1983.
14. П. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканской обс., 13, 3, 1954.
15. В. А. Амбарцумян, Астрофизика, 7, 557, 1971.
16. A. D. Andrews, P. F. Chugainov, R. E. Gershberg, V. S. Oskanian, IBVS, No. 326, 1969.
17. Е. И. Пустильник, Статистические методы анализа и обработки наблюдений, М., 1968.
18. B. R. Pettersen, Astron. J. 85, 871, 1980.
19. B. R. Pettersen, Kern G. A., D. S. Evans, Astron. Astrophys., 125, 184, 1983.

Р. А. ВАРДАНЯН, М. А. ЕРИЦЯН

## ПОИСК ЗВЕЗД С СОБСТВЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В настоящем сообщении приводятся результаты поляриметрических наблюдений 55 звезд поздних спектральных классов. У 20 из этих звезд обнаружена поляризация. Результаты этих наблюдений приведены в табл. 1, 2.

Приведена также зависимость поляризации от длины волны. Как видно из рисунка, наблюдаемая поляризация у звезды SAO 141881, 141898 и 160413 с большой вероятностью является собственной.

Результаты поляриметрических наблюдений разных авторов (см., например, [1, 2]) показали, что излучение ряда красных переменных звезд обладает заметной собственной поляризацией, параметры которой в течение времени подвергаются изменениям.

С целью поиска новых звезд с собственной поляризацией в сентябре-октябре 1985 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории проведены поляриметрические наблюдения звезд поздних спектральных классов (M0—M5, R). Наблюдения проводились на 40 см телескопе системы Кассегрена с одноканальным электрополяриметром в режиме усиления постоянного тока.

Во время наблюдений для получения системы b, v, г были использованы следующие светофильтры:

b—CC5 (3мм) + C3C 21 (5мм),  
v—ЖС 18 (1,5) + C3C 21 (1,5мм),  
г—ПС 8 (4мм) + ОС 17 (1мм),

Такой подбор светофильтров вместе с использованным нами светоприемником ФЭУ-79, согласно работе [3], дает систему, близкую к международной системе В, V, R.

Наблюдения проводились в основном в областях созвездий Дельфина и Змееносца. Всего было наблюдено 55 звезд, из них лишь 6—U Del, CT Del, CZ Del, TW Peg, U Oph, V 450 Aql исследовались ранее [1, 4, 5].

Результаты наших наблюдений показали, что из 55 звезд 20 обладают заметной поляризацией. Список этих звезд, а также звезд фона (см. примечания) приведен в табл. 1. В табл. 2 приведены те звезды, у которых степень поляризации была в пределах ошибок измерений— $\sigma_p \leq 0,3\%$ .

По данным табл. 1 были построены кривые зависимости степени поляризации от длины волны для тех звезд, которые были наблюдаемы как минимум в двух цветах (рис.). Как видно из рисунка, у звезд T Sge, U Oph, V 450 Aql, SAO 122285, 141898, 160413, 122460, 122578 указанная зависимость едва прослеживается. Звезды U Del, V Cyg, SAO 106275, 141939 и 141881 показывает заметную зависимость поляризации от длины волны, а именно: степень поляризации увеличивается в сторону коротких длин волн, что и является общим свойством для звезд, обладающих собственной поляризацией.

Среди звезд, приведенных в табл. 1, сравнительно большая поляризация ( $P \geq 2.5\%$ ) наблюдается у SAO 141898, 141881 и 160413. Для подтверждения существования у этих звезд собственной поляризации нами наблюдались также окружающие звезды фона этих трех объектов. Значения поляризации звезд фона (SAO 141882, 141886 и SAO

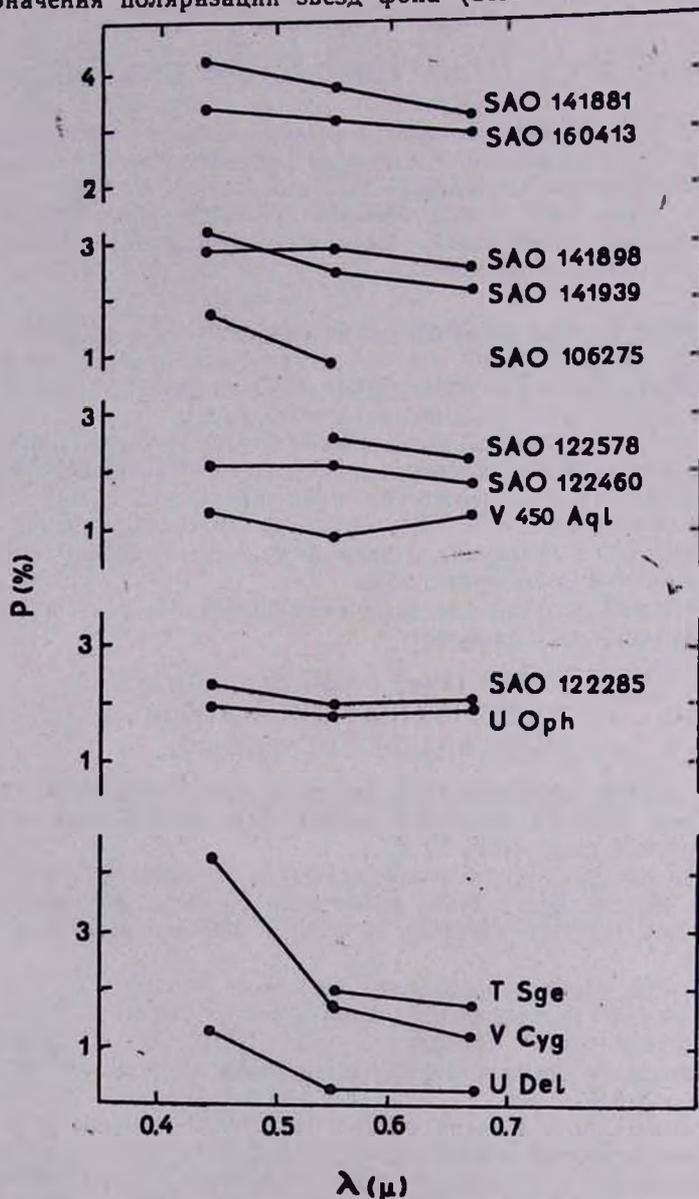


Рисунок. Зависимость поляризации от длины волны

160380, 160402), окружающих звезды SAO 141898 и 160413, как видно из табл. 1, не превышали ошибок измерений, а значения поляризации звезд фона (SAO 141853, 141827) вокруг звезды SAO 141881 были около 1%, что значительно меньше степени поляризации звезды

Таблица 1

№	Звезда SAO	P <sub>v</sub> %	θ <sub>v</sub> °	P <sub>v</sub> %	θ <sub>v</sub> °	P <sub>R</sub> %	θ <sub>R</sub> °	Примеч.
1	U Del	1.15	30	—	—	—	—	
2	V Cyg	4.3	83	1.78	110	1.2	100	
3	T Sge	—	—	1.97	179	1.8	177	
4	U Oph	1.96	90	1.8	104	1.94	85	
5	122385	2.25	97	1.89	109	1.91	117	
6	574 Oph	—	—	—	—	1.25	90	
7	122578	—	—	2.57	81	2.2	90	
8	122460	2.05	125	2.19	114	1.81	114	
9	141898	2.8	92	2.88	116	2.6	114	
10	141882	0.3	—	—	—	—	—	зв. фона
11	141886	0.3	—	—	—	—	—	"
12	141939	3.2	90	2.5	95	2.2	100	
13	566 Oph	1.1	53	—	—	—	—	
14	141881	4.2	66	3.8	103	3.3	106	
15	141853	1.2	99	—	—	—	—	зв. фона
16	141827	1.2	104	—	—	—	—	"
17	141830	0.3	—	—	—	—	—	"
18	141821	2.2	93	2.37	92	1.78	85	
19	106275	1.78	26	0.96	34	—	—	
20	160413	3.26	74	3.15	77	2.93	79	
21	160380	—	—	—	—	0.3	—	зв. фона
22	160402	—	—	—	—	0.3	—	"
23	CT Del	—	—	—	—	1.2	151	
24	SV Cas	—	—	—	—	1.7	67	
25	CZ Del	—	—	—	—	1.2	67	
26	450 Aql	1.28	107	0.92	105	1.18	109	
27	TW Peg	2.3	85	—	—	—	—	

Таблица 2

№	1985 г.	Звезда, SAO	№	1985 г.	Звезда, SAO
1	7.IX	RR Cyg	19	14.IX	106167
2	"	γ Cyg	20	17.IX	Z Del
3	"	W Cyg	21	"	AG Del
4	"	Fl Lyr	22	"	106213
5	"	W Sge	23	18.IX	105771
6	11.IX	123308	24	"	105733
7	"	123876	25	"	105607
8	"	142553	26	"	106008
9	"	839	27	"	106263
10	"	141966	28	"	141865
11	13.IX	141798	29	"	141863
12	"	106490	30	"	141855
13	"	T Del	31	4.X	141882
14	"	106501	32	"	141886
15	"	S Del	33	5.X	104771
16	"	106416	34	6.X	160380
17	"	106433	35	"	160402
18	14.IX	106429			

SAO 141881. Отсюда можно предположить, что наблюдаемая нами поляризация звезд SAO 141881, 141898 и 160413 с большой вероятностью является собственной.

Результаты более ранних наблюдений [5] показали, что значение поляризации у звезд CT Del, CZ Del, SV Cas было меньше 0,5%. Во время наших наблюдений у этих звезд в R цвете зарегистрировано повышение поляризации до 1%. Возможно, что поляризация

света у этих звезд переменная. Для подтверждения этого требуются дополнительные наблюдения.

Звезда U Orh является затменной переменной. Поляризация ее излучения в U и R лучах в зависимости от фазы затмения меняется в пределах 0,6%. Это изменение в основном обнаруживается во время затмений [4]. Значения параметров поляризации звезды U Orh, полученные из наших наблюдений,  $P_V = 1,9\%$  и  $\theta_V = 90^\circ$ , в пределах ошибок измерений хорошо совпадают с результатами, приведенными в работе [4].

Поляриметрические наблюдения звезд, приведенных в табл. 1, с целью исследования переменности поляризации их света в зависимости от длины волны и блеска звезды весьма желательны.

9 июля 1987 г.

Ռ. Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Մ. Հ. ԵՐԻՑՅԱՆ

### ՍԵՖԱԿԱՆ ԲԵՎԵՌԱՑՈՒՄ ՈՒՆԵՅՈՂ ԱՍՏՂԵՐԻ ՈՐՈՆՈՒՄՆԵՐ

Բերված են ուշ սպեկտրալ դասի 55 աստղերի բևեռաչափական դիտումների արդյունքները: Զափվել է այդ աստղերից 20-ի բևեռացումը:

Դիտումների արդյունքները բերված են աղ. 1, 2-ում: Ցույց է տրված բևեռացման կապը ալիքի երկարությունից:

Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, SAO 141881, 141898 և 160413 աստղերի լույսի բևեռացումը մեծ հավանականությամբ ունի սեփական բնույթ:

R. A. VARDANIAN, M. H. ERITSIAN

### A SEARCH FOR INTRINSIC POLARIZATION OF STARS

The results of polarimetric observations of 55 late type stars are given. 20 of them have appreciable polarization. The results of observations are presented in Tables 1, 2. The dependence of degree of polarization on the colours is given in Figure 1. It is very probable that the polarizations of stars SAO 141831, 141898 and 160413 are intrinsic.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Варданян, Сообщ. Бюраканской обс., 46, 31, 1975.
2. J. Shawl. A. J., 80, 8, 602, 1975.
3. М. А. Ерицян, С. Е. Нерсисян, Астрофизика, 20, 355, 1984.
4. G. V. Goyni, Specola Vaticana, Ric. Astr., 8, 105, 1970.
5. Р. А. Варданян, Поляризация света звезд поздних типов, докт. дис., Ереван, 1985.

А. А. АКОПЯН, Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН

РАСЧЕТЫ ДИССОЦИАТИВНОГО РАВНОВЕСИЯ  
В АТМОСФЕРАХ ХОЛОДНЫХ ГИГАНТОВ

Приводятся расчеты содержания молекул  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$  в атмосферах холодных гигантов.

О наличии молекул в атмосферах холодных звезд известно еще со времени первых спектральных астрономических наблюдений. Однако роль молекул в формировании спектра холодных звезд выявилась достаточно полно лишь в 60-е гг. в результате инфракрасных наблюдений. Так, в [1] было показано, что в ближнем ИК диапазоне распределение энергии излучения холодных звезд определяется, в основном, колебательно-вращательным спектром таких молекул, как  $CO$  и  $H_2O$ . Эти и последующие инфракрасные наблюдения стимулировали многочисленные работы по теоретическим расчетам содержания молекул в атмосферах холодных звезд. В результате этих расчетов, выяснилось, что молекулы вносят весьма значительный вклад в непрозрачность звездного вещества и учет молекул необходим для построения моделей атмосфер холодных звезд. В связи с этим возникает необходимость расчета содержания молекул в звездных атмосферах, т. е. при различных температурах, электронных и газовых давлениях, химических составах. Довольно подробные таблицы такого рода содержатся в [2]. На основе этих данных были получены оценки содержания молекул в атмосферах холодных звезд, выявлены зависимости содержания молекул от оптической глубины, эффективной температуры, ускорения силы тяжести, химического состава. Однако теорию строения атмосфер холодных звезд в настоящее время никак нельзя считать завершенной. Продолжается пересмотр физических основ теории, в частности, уточняется роль конвективного переноса, рассчитываются новые модели. Для сравнения результатов этих расчетов с наблюдениями, необходимы данные о содержании молекул в звездных атмосферах. Однако использование для расчета содержания молекул таблиц [2] не всегда приводит к удовлетворительному результату. Дело в том, что интерполяция приведенных в [2] данных сразу по нескольким параметрам: температуре, давлению и химическому составу, весьма затруднительна, так как содержания некоторых молекул крайне чувствительны к этим параметрам. Поэтому в настоящее время разработаны программы расчета содержания молекул в атмосферах звезд, учитывающие большое количество молекул [3]. Эти расчеты основываются на предположении о диссоциативном равновесии, которое в стационарных звездах действительно имеет место [2]. Задача расчета содержания молекул сводится при этом к решению системы уравнений для относительных содержаний атомов наиболее распространенных элементов  $H$ ,  $C$ ,  $O$ ,  $N$ . Как показали расчеты, в большинстве практически важных случаев нет необходимости включать в систему уравнений большое количество молекул: достаточно 10 наиболее распространенных. Исходя из этого, в данной

работе для исследования распределения молекул в атмосферах холодных гигантов составлена сравнительно несложная программа, реализуемая на микроЭВМ, и дающая достаточно точные результаты. В этой программе для расчета диссоциативного равновесия используется следующая система уравнений:

$$P(C) + P(C^+) + P(CO) + P(CN) + P(HCN) + 2P(C_2H_2) + P(CH_4) = A[P(H) + P(H^+) + 2P(H_2)]$$

$$P(N) + P(N^+) + 2P(N_2) + P(CN) + P(HCN) = B[P(H) + P(H^+) + 2P(H_2)]$$

$$P(O) + P(O^+) + P(CO) + P(OH) + P(H_2O) = C[P(H) + P(H^+) + 2P(H_2)] \quad (1)$$

$$P_g - P_e = P(H) + P(H^+) + P(C) + P(C^+) + P(O) + P(O^+) + P(N) + P(N^+) + P(H_2) + P(OH) + P(H_2O) + P(CO) + P(N_2) + P(CN) + P(HCN) + P(C_2H_2) + P(CH_4),$$

где  $P_g$ ,  $P_e$  — соответственно полное газовое и электронное давление, А, В, С — содержания атомов С, N и О соответственно, рассчитанных на 1 атом водорода, P — парциальные давления соответствующих атомов, ионов и молекул. Предполагая наличие термодинамического равновесия, можно преобразовать систему (1) к следующему виду:

$$P(C)[1 + F(C)] + \frac{P(C)P(O)}{K(CO)} + \frac{P(C)P(N)}{K(CN)} + \frac{P(H)P(C)P(N)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{2P(C)^2P(H)^2}{K(C_2H_2)K(C_2H)K(C_2)} + \frac{P(C)P(H)^4}{K(CH_4)K(CH_3)K(CH_2)K(CH)} = A \left\{ P(H)[1 + F(H)] + \frac{2P(H)^2}{K(H_2)} \right\}$$

$$P(N)[1 + F(N)] + \frac{2P(N)^2}{K(N_2)} + \frac{P(C)P(N)}{K(CN)} + \frac{P(H)P(C)P(N)}{K(HCN)K(CN)} = B \left\{ P(H)[1 + F(H)] + \frac{2P(H)^2}{K(H_2)} \right\} \quad (2)$$

$$P(O)[1 + F(O)] + \frac{P(C)P(O)}{K(CO)} + \frac{P(O)P(H)}{K(OH)} + \frac{P(H)^2P(O)}{K(H_2O)K(OH)} = C \left\{ P(H)[1 + F(H)] + \frac{2P(H)^2}{K(H_2)} \right\}$$

$$P_g - P_e = P(H)[1 + F(H)] + P(C)[1 + F(C)] + P(N)[1 + F(N)] + P(O)[1 + F(O)] + \frac{P(H)^2}{K(H_2)} + \frac{P(O)P(H)}{K(OH)} + \frac{P(H)^2P(O)}{K(H_2O)K(OH)} + \frac{P(C)P(O)}{K(CO)} + \frac{P(N)^2}{K(N_2)} + \frac{P(C)P(N)}{K(CN)} + \frac{P(H)P(C)P(N)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{P(C)^2P(H)^2}{K(C_2H_2)K(C_2H)K(C_2)} + \frac{P(C)P(H)^4}{K(CH_4)K(CH_3)K(CH_2)K(CH)},$$

где  $F$ —степень ионизации соответствующих элементов т. е. отношение числа ионов данного элемента к полному числу его атомов,  $K$ —константа диссоциации соответствующих молекул. Степень ионизации определяется по формуле [4]

$$\frac{N^+}{N} = \frac{U^+}{U} \frac{(2\pi m)^{3/2} (kT)^{5/2}}{h^3} \exp\left(-\frac{\chi}{kT}\right), \quad (3)$$

где  $U^+$ ,  $U$ —функции распределения,  $\chi$ —потенциал ионизации. Для расчета констант диссоциации  $K$  двухатомных молекул мы использовали следующую приближенную полуэмпирическую формулу:

$$\lg K = -\frac{5040\Delta E}{T} + 1,5\lg T + \lg\left(1 - e^{-\frac{h\nu c}{kT}}\right) + C, \quad (4)$$

где  $\Delta E$ —энергия диссоциации,  $\omega$ —фундаментальная частота. Значения  $\Delta E$ ,  $\omega$  и  $C$  для учитываемых в (1) молекул приводятся в табл. 1. Постоянные диссоциации многоатомных молекул определялись с помощью следующих полуэмпирических приближенных формул:

Таблица 1

Мол.	$\Delta E$	$\omega$	$C$
$H_2$	4.476	4277.3	6.785
OH	4.400	3652.4	6.445
CO	11.09	2156.75	7.986
CN	8.200	2055.56	7.286
CH	3.47	2797.3	6.320
$C_2$	6.120	1841.37	7.589
$N_2$	9.758	2345.15	7.614

$$\lg K(H_2O) = -\frac{5040}{T} \Delta E + 2\lg T - \lg\left(1 - e^{-\frac{h\nu' c}{kT}}\right)^{d'} + \lg \prod_{i=1}^3 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + C, \quad (5)$$

$$\lg K(HCN) = -\frac{5040}{T} \Delta E + 2,5\lg T - \lg\left(1 - e^{-\frac{h\nu' c}{kT}}\right)^{d'} + \lg \prod_{i=1}^3 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + C, \quad (6)$$

$$\lg K(CN_2) = -\frac{5040}{T} \Delta E + 2,5\lg T - \lg\left(1 - e^{-\frac{h\nu' c}{kT}}\right)^{d'} + \lg \prod_{i=1}^3 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + C, \quad (7)$$

$$\lg K(CH_3) = -\frac{5040}{T} \Delta E + 2\lg T - \lg \prod_{i=1}^3 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + \lg \prod_{i=1}^4 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + C, \quad (8)$$

$$\lg K(CH_4) = -\frac{5040}{T} \Delta E + 2,5\lg T - \lg \prod_{i=1}^4 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + \lg \prod_{i=1}^4 \left(1 - e^{-\frac{hc\omega_i}{kT}}\right)^{d_i} + C. \quad (9)$$

Принятые значения констант, входящих в формулы (5—9), приводятся в табл. 2.

Для тех многоатомных молекул, физические константы которых неизвестны, мы использовали формулы, полученные интерполяцией экспериментальных данных [2]:

Молекулы	$\omega^1$	$d^1$	$\omega$	$d$	$C_0$	$\Delta E$
H <sub>2</sub> O	5255.07	1	5314.78	1	4.28	5.1
			2322.94	1		
			5470.03	1		
HCN	2055.56	1	2041.2	1	4.95	4.94
			711.7	2		
			3368.6	1		
CH <sub>2</sub>	2797.3	1	3100	1	2.82	4.35
			3060	1		
			1200	2		
CH <sub>3</sub>	3100 3060 1200	1	1225	2	5.24	4.8
		1	3130	2		
		2	2940			
CH <sub>4</sub>	1225 3130 2940	2	2914.2	1	5.04	4.38
		2	3020	3		
		1	1526	2		
			1306.2	3		

$$\lg K(C_2H_2) = 3.549 - 1.07375x - 5.4779 \cdot 10^{-4}(x^2 - 10) + 1.0398 \cdot 10^{-3}(x^2 - 17.8x) - 2.654 \cdot 10^{-4}(x^4 - 25x^2 + 72), \quad (10)$$

$$\lg K(C_2H) = 0.55073 - 1.20113x + 5.25 \cdot 10^{-3}(x^2 - 10) - 1.3733 \cdot 10^{-3} \times (x^2 - 17.8x) + 3.01 \cdot 10^{-4}(x^4 - 25x + 72). \quad (11)$$

В формулах (10) и (11) обозначено  $x = 5 \cdot \left( \frac{5040}{T} - 1 \right) - 5$ . Для ре-

шения системы нелинейных алгебраических уравнений (2) воспользуемся методом Ньютона [5]. Представим систему уравнений (2) в виде:

$$f_i(P(H), P(C), P(N), P(O)) = 0 \quad i=1, 2, 3, 4, \quad (12)$$

Предположим, что  $P^0(H)$ ,  $P^0(C)$ ,  $P^0(N)$ ,  $P^0(O)$  — некоторое приближенное решение системы (12). В качестве такого приближенного решения для достаточно глубоких слоев атмосферы можно взять:

$$P^0(H) = \frac{1}{(1+A+B+C)(1+F(H))} \cdot P_g, \quad (13)$$

$$P^0(C) = \frac{A}{(1+A+B+C)(1+F(C))} \cdot P_g, \quad (14)$$

$$P^0(N) = \frac{B}{(1+A+B+C)(1+F(N))} \cdot P_g, \quad (15)$$

$$P^0(O) = \frac{C}{(1+A+B+C)(1+F(O))} \cdot P_g. \quad (16)$$

Точное решение системы (12) можно представить в виде

$$P(H) = P^0(H) + \Delta P(H), \quad P(C) = P^0(C) + \Delta P(C), \quad P(N) = P^0(N) + \Delta P(N), \\ P(O) = P^0(O) + \Delta P(O).$$

Разлагая  $f_i$  в ряд Тейлора и ограничиваясь первым членом разложения, получим вместо (2) систему линейных алгебраических уравнений:

$$f_i(P^0(H), P^0(C), P^0(N), P^0(O)) + \frac{\partial f_i}{\partial P(H)} \Delta P(H) + \frac{\partial f_i}{\partial P(C)} \Delta P(C) + \frac{\partial f_i}{\partial P(N)} \Delta P(N) + \frac{\partial f_i}{\partial P(O)} \Delta P(O) = 0, \quad (17)$$

где производные  $\frac{\partial f_i}{\partial P(H)}$ ,  $\frac{\partial f_i}{\partial P(C)}$ ,  $\frac{\partial f_i}{\partial P(N)}$  и  $\frac{\partial f_i}{\partial P(O)}$  имеют следующий вид:

$$\frac{\partial f_1}{\partial P(H)} = 4A \frac{P^0(H)}{K(H_2)} + A(1+F(H)) - \frac{P^0(C)P^0(N)}{K(HCN)K(CN)} - \frac{4P^0(C)P^0(H)}{K(C_2H_2)K(C_2H)K(C_2)} - \frac{4P^0(C)P^0(H)^2}{K(CH_4)K(CH_3)K(CH_2)K(CH)}, \quad (18)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial P(C)} = -\frac{P^0(O)}{K(CO)} - (1+F(C)) - \frac{P^0(H)P^0(N)}{K(HCN)K(CN)} - \frac{P^0(N)}{K(CN)} - \frac{4P^0(C)P^0(H)^2}{K(C_2H_2)K(C_2H)K(C_2)} - \frac{P^0(H)^4}{K(CH_4)K(CH_3)K(CH_2)K(CH)}, \quad (19)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial P(N)} = -\frac{P^0(C)}{K(CN)} - \frac{P^0(H)P^0(C)}{K(HCN)K(CN)}, \quad (20)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial P(O)} = -\frac{P^0(C)}{K(CO)}, \quad (21)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial P(H)} = \frac{P^0(C)P^0(N)}{K(HCN)K(CN)} - B(1+F(H)) - \frac{4BP^0(H)}{K(H_2)} \quad (22)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial P(C)} = \frac{P^0(H)P^0(N)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{P^0(N)}{K(CN)}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial P(N)} = (1+F(N)) + \frac{4P^0(N)}{K(N_2)} + \frac{P^0(H)P^0(C)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{P^0(C)}{K(CN)}, \quad (24)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial P(O)} = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial P(H)} = \frac{P^0(O)}{K(OH)} + \frac{2P^0(O)P^0(H)}{K(H_2O)K(OH)} - C(1+F(H)) - 4C \frac{P^0(H)}{K(H_2)} \quad (26)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial P(C)} = \frac{P(O)}{K(CO)}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial P(N)} = 0, \quad (28)$$

$$\frac{\partial i_3}{\partial P(O)} = (1 + F(O)) + \frac{P^0(C)}{K(CO)} + \frac{P^0(H)}{K(OH)} + \frac{P^0(H)^2}{K(OH)K(H_2O)}, \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial i_4}{\partial P(H)} = & \frac{2P^0(H)P^0(O)}{K(OH)K(H_2O)} + \frac{2P^0(H)}{K(H_2)} + \frac{P^0(O)}{K(OH)} + 1 + F(H) + \\ & \frac{P^0(C)P^0(N)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{2P^0(C)^2P^0(H)}{K(C_2H_2)K(C_2H)K(C_2)} + \\ & \frac{4P^0(C)P^0(H)^2}{K(CH_4)K(CH_3)K(CH_2)K(CH)}, \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial i_4}{\partial P(C)} = & \frac{P^0(O)}{K(CO)} + 1 + F(C) + \frac{P^0(H)P^0(N)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{P^0(N)}{K(CN)} + \\ & \frac{2P^0(C)P^0(H)^2}{K(C_2H_2)K(C_2H)K(C_2)} + \frac{P^0(H)^4}{K(CH_4)K(CH_3)K(CH_2)K(CH)}, \end{aligned} \quad (31)$$

$$\frac{\partial i_4}{\partial P(N)} = 1 + F(N) + \frac{2P^0(N)}{K(N_2)} + \frac{P^0(H)P^0(C)}{K(HCN)K(CN)} + \frac{P^0(C)}{K(CN)}, \quad (32)$$

$$\frac{\partial i_4}{\partial P(O)} = \frac{P^0(H)^2}{K(OH)K(H_2O)} + \frac{P^0(H)}{K(OH)} + \frac{P^0(C)}{K(CO)} + 1 + F(O). \quad (33)$$

Система уравнений (17) решается методом последовательного приближения, начиная с самого глубокого слоя рассматриваемой модели: начальные значения  $P^0(H)$ ,  $P^0(C)$ ,  $P^0(N)$ ,  $P^0(O)$  принимаются согласно (13—16) и вычисляются коэффициенты уравнений системы (7) по формулам (18—33). Система (17) решается относительно  $\Delta P(H)$ ,  $\Delta P(C)$ ,  $\Delta P(N)$ ,  $\Delta P(O)$ . После чего вычисляется следующее приближение  $P'(H) = P^0(H) + \Delta P(H)$ ,  $P'(C) = P^0(C) + \Delta P(C)$ ,  $P'(N) = P^0(N) + \Delta P(N)$ ,  $P'(O) = P^0(O) + \Delta P(O)$  и расчеты повторяются для этого нового приближения. Для достижения точности порядка  $10^{-5}$  достаточно нескольких приближений. Начиная с третьего слоя для оценки первого приближения используется экстраполяция второго порядка или экспоненциальная экстраполяция.

С помощью вышеизложенного алгоритма нами составлена программа для расчета содержаний молекул на ЭВМ «Электроника-60». Используя эту программу, мы рассчитали химический состав атмосфер звезд, различных спектральных типов и классов светимости. Для расчетов были использованы модели атмосфер [6—9]. Эти модели описывают атмосферы звезд, отличающихся эффективными температурами, ускорениями силы тяжести, отношениями содержания углерода к содержанию кислорода, относительными содержаниями тяжелых элементов получены распределения в атмосферах звезд содержания различных молекул. Мы не будем приводить здесь эти распределения, так как такого рода данные неоднократно публиковались (см. напр. [10]). Имея в виду, что конечной целью расчетов химического состава звездных атмосфер является их сопоставление с наблюдательными данными, мы решили использовать полученные распределения молекул для оценки наблюдаемых величин: содержания различных молекул в обрабатываемом слое звезд. Такие оценки делались неоднократно различными авторами (см. напр. [3]). Однако наши резуль-

Таблица 3

$T_{эфф}$	$lg g$	$lg N(H)$	$lg N(H_2)$	$lg N(H_2O)$	$lg N(CO)$
1	2	3	4	5	6
2750	0.5	23.748 26.176	23.322 24.946	20.041 20.915	20.544 22.781
2750	1.0	23.255 25.948	23.301 24.697	20.041 21.033	20.322 22.569
2750	1.5	22.903 25.702	23.342 24.857	20.041 21.155	20.255 22.262
2750	2.0	22.556 25.441	23.380 24.828	20.041 21.262	20.255 22.164
3000	0.0	25.690 26.412	24.255 24.778	20.000 20.286	22.279 22.982
3000	0.5	25.176 26.188	23.973 24.739	20.000 20.420	21.778 22.769
3000	1.0	24.756 25.960	23.813 24.697	20.079 20.561	21.398 22.555
3000	1.5	23.987 25.726	23.431 24.648	20.041 20.688	20.716 22.342
3000	2.0	23.431 25.483	23.332 24.609	20.041 20.823	20.380 22.137
3200	0.0	26.699 26.405	24.663 24.543	19.756 19.724	23.301 22.968
3200	0.5	26.255 26.185	24.568 24.538	19.949 19.937	22.833 22.755
3200	1.0	25.623 25.961	24.255 24.505	19.982 20.107	22.204 22.540
3200	1.5	25.041 24.732	23.954 24.468	19.991 20.274	21.653 22.328
3200	2.0	24.477 25.498	23.681 24.442	19.996 20.441	21.146 22.117
3400	0.0	>26.716 26.380	24.301 24.201	19.041 19.000	23.230 22.938
3400	0.5	26.491 26.170	24.332 24.236	19.332 19.281	23.041 22.730
3400	1.0	26.255 25.954	24.362 24.250	19.568 19.526	22.813 22.519
3400	1.5	26.041 25.731	24.380 24.260	19.806 19.772	22.613 22.310
3400	2.0	25.462 25.504	24.204 24.248	19.954 19.972	22.041 22.100
3600	0.0	26.663 26.336	23.898 23.816	18.255 18.243	23.114 22.889
3600	0.5	26.447 26.135	23.968 23.879	18.591 18.561	22.940 22.689

1	2	3	4	5	6
3600	1.0	26.230	24.041	18.898	22.756
		25.929	23.932	18.869	22.487
3600	1.5	25.060	24.079	19.204	22.556
		25.715	23.473	19.161	22.281
3600	2.0	25.785	24.114	19.462	22.342
		25.498	24.000	19.429	22.076
3800	0.0	26.623	23.415	17.362	22.991
		26.270	23.347	17.352	22.816
3800	0.5	26.398	23.519	17.748	22.826
		26.076	23.449	17.732	22.625
3800	1.0	26.176	23.623	18.114	22.653
		25.879	23.542	18.105	22.433
3800	1.5	25.973	23.708	18.491	22.462
		25.679	23.621	18.459	22.236
3800	2.0	25.771	23.778	18.820	22.279
		25.473	23.689	18.792	22.037
4000	0.0	>26.557	22.964	16.519	22.839
		26.212	22.883	16.501	22.730
4000	2.0	25.708	23.398	18.079	22.204
		25.427	23.318	18.072	21.982
2500	0.0	23.398	23.279	20.079	20.342
		26.404	25.193	21.259	23.004
2500	0.5	22.643	23.398	20.114	20.301
		26.168	25.146	21.378	22.794
2500	1.0	22.255	23.431	20.114	20.301
		25.920	25.114	21.484	22.588

таты не повторяют эти оценки. Дело в том, что количество молекул в обрабатываемом слое зависит от его протяженности, а последняя, в свою очередь, зависит от длины волны, на которой этот слой наблюдается. Предполагая в дальнейшем исследовать полосы поглощения молекулы CO в ближнем инфракрасном диапазоне, мы рассчитали содержания молекул CO, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> в обрабатываемом слое различных звезд, причем за нижнюю границу этого слоя принята глубина, на которой оптическая толщина, отсчитываемая от поверхности на  $\lambda=2.4$  мкм, становится равной 0.6. Для сравнения рассчитаны также содержания молекул на стандартной частоте до глубины  $\tau \approx 0.6$ . Результаты этих расчетов приводятся в табл. 3 для моделей [6], в табл. 4, 5 и 6—для моделей [8], [7] и [9], соответственно\*. Эти данные дают представление об интенсивности полос поглощения CO в звездах различных классов, а также о зависимости интенсивности этих полос от содержания тяжелых элементов и от отношения содержания углерода к содержанию кислорода.

Используя шкалу Цудзи [11] для красных гигантов и интерполируя данные табл. 3, мы оценили также содержания молекул H<sub>2</sub>, CO,

\* Во всех таблицах первым приводится значение  $\lg N$  на длине волны  $\lambda=2.4$  мкм.

О в разных спектральных классах. Эти данные приводятся в табл. Результаты расчетов содержания других молекул в атмосферах звезд будут приведены в следующих работах.

Таблица 4

$T_{\text{эфф}}$	$\lg g$	$\lg N (H)$	$\lg N (H_2)$	$\lg N (H_2O)$	$\lg N (CO)$
2000	-2.0	21.307	23.398	20.279	20.431
		23.670	24.656	21.556	21.703
2000	-1.0	20.477	23.431	20.322	20.462
		22.883	24.686	21.569	21.714
2500	-1.0	22.633	23.204	20.114	20.301
		25.967	24.918	21.407	22.762
2500	0.0	21.875	23.279	20.146	20.301
		24.667	24.570	21.451	21.806
3000	0.0	23.987	23.279	20.041	20.886
		26.235	24.907	20.968	22.998
3000	1.0	22.987	23.114	19.996	20.255
		25.642	24.722	21.140	22.459
3000	1.0	22.954	23.176	20.079	20.301
		25.831	24.690	20.934	22.614
3500	0.5	26.301	24.477	19.929	23.041
		26.247	24.461	19.924	22.985
3500	1.5	25.041	23.826	19.987	21.806
		25.775	24.510	20.490	22.544
4000	1.0	26.230	23.380	17.774	22.845
		25.949	23.303	17.754	22.671

Ա. Ա. ՀԱԿՈՐՅԱՆ, ԳՈՒ Կ. ՄԵԼԻԿ-ԱԼԱՎԵՐԴԻԱՆ

ԱՄՈՒՂ ԱՍՏՂԵՐՈՒՄ ԴԻՍՈՑԻԱՏԻՎ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՒՄՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐԸ

Բերվում են սառը աստղերի մոդելներում միավոր մակերեսով մթնոլորտային սլան մեջ  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$  մոլեկուլների հաշվարկված քանակները:

A. A. HAKOPIAN, YU. K. MELIK-ALAVERDIAN

DISSOCIATION EQUILIBRUM CALCULATIONS IN COOL GIANT STARS

Molecular column densities of  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$  in a variety of cool stellar model atmospheres are presented.

$T_{эф}$	$lg \rho$	C O	$lg N (H)$	$lg N (H_2)$	$lg N (H_2O)$	$lg N (CO)$
2500	0.0	0.6	<23.800 26.398	<23.500 25.185	<20.250 21.224	<20.700 22.999
2500	0.0	0.95	>23.000 26.066	>24.300 26.364	>20.100 22.159	>20.400 23.511
2500	0.0	1.0	25.580 25.802	26.813 26.890	20.061 20.173	23.892 23.978
2500	0.0	1.05	26.851 25.750	27.079 26.915	18.279 17.901	24.255 24.000
2500	0.0	2.0	26.851 25.690	27.000 26.868	17.176 16.996	23.204 23.954
2750	0.0	1.02	26.785 25.878	26.769 26.674	18.255 17.716	24.000 23.779
3000	0.0	0.6	25.697 26.407	24.255 24.778	20.000 20.286	22.279 22.977
3000	0.0	0.95	24.079 26.349	24.230 25.579	20.079 21.167	20.398 23.224
3000	0.0	1.0	26.806 26.191	26.140 26.063	19.161 19.013	23.724 23.357
3000	0.0	1.02	26.756 26.129	26.160 26.129	17.628 16.978	23.690 23.376
3000	0.0	1.02	26.763 26.134	26.158 26.123	17.614 16.818	23.699 23.374
3000	0.0	1.05	26.732 26.120	26.114 26.092	17.286 16.501	23.663 23.349
3000	0.0	2.0	26.531 26.004	26.241 26.240	16.188 15.923	23.593 23.422
3000	2.0	1.02	25.929 25.129	25.663 25.493	18.362 17.390	23.000 22.649
3250	0.0	1.0	26.763 26.361	25.413 25.378	18.250 18.163	23.531 23.212
3500	0.0	0.6	26.690 25.832	24.097 23.496	18.652 18.167	23.176 22.386
3500	0.0	0.95	<26.700 26.372	24.255 24.203	18.155 18.137	23.342 23.125
3500	0.0	1.0	<26.700 26.353	24.719 24.704	17.377 17.325	23.362 23.139
3500	0.0	1.05	26.623 26.305	23.926 23.876	16.398 16.146	23.379 23.079
3500	0.0	2.0	26.580 26.220	23.204 23.107	15.398 14.896	23.204 22.984

Таблица 6

$T_{э(ф)}$	lgg	[A/H]	lg N (H)	lg N (H <sub>2</sub> )	lg N (H <sub>2</sub> O)	lg N (CO)
1	2	3	4	5	6	7
3750	0.75	0.0	26.176 26.094	23.924 23.915	19.792 19.791	22.708 22.646
3750	0.75	-0.5	26.362 26.288	24.230 24.224	19.833 19.830	22.903 22.842
3750	0.75	-2.0	25.255 26.855	24.869 25.177	20.000 20.555	21.845 23.422
3750	0.75	-1.0	26.398 26.479	24.531 24.550	19.949 19.951	22.954 23.038
3750	1.50	0.0	25.881 25.801	24.000 23.995	19.806 19.805	22.431 22.363
3750	1.50	-0.5	25.602 25.995	24.146 24.347	19.991 20.032	22.204 22.563
3750	1.50	-1.0	— 26.173	— 24.697	— 20.465	— 22.751
3750	1.50	-1.0	24.845 26.183	23.778 24.703	20.000 20.354	21.462 22.760
3750	1.50	-2.0	— 26.539	— 25.346	— 21.129	— 23.142
3750	2.25	0.0	25.415 25.493	24.041 24.084	19.940 19.944	22.000 22.076
3750	2.25	-0.5	24.716 25.685	23.748 24.456	19.996 20.323	21.362 22.283
3750	2.25	-1.0	24.000 25.866	23.477 24.813	20.000 20.762	20.778 22.487
3750	2.25	-2.0	— 26.193	— 25.332	— 21.383	— 22.848
3750	2.25	-0.30	— 26.487	— 25.762	— 21.896	— 23.176
4000	0.75	0.0	26.230 25.999	23.204 23.186	18.208 18.207	22.568 22.510
4000	0.75	-0.5	26.431 26.200	23.544 23.508	18.342 18.336	22.813 22.726
4000	0.75	-1.0	26.633 26.402	23.903 23.855	18.592 18.591	23.041 22.938
4000	0.75	-2.0	26.940 26.793	24.591 24.552	19.204 19.190	23.447 23.341
4000	1.50	0.0	25.903 25.704	23.342 23.311	18.505 18.502	22.322 22.243
4000	1.50	-0.5	26.114 25.902	23.690 23.656	18.690 18.683	22.568 22.448
4000	1.50	-1.0	26.301 26.094	24.041 24.006	19.146 19.146	22.778 22.644

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
4000	1.50	-1.0	26.301 26.010	24.041 24.016	19.041 19.027	22.792 22.651
4000	1.50	-2.0	26.531 26.487	24.070 24.725	19.844 19.845	23.079 23.049
4000	1.50	-3.0	25.903 26.791	24.431 25.360	19.964 20.794	22.462 23.371
4000	2.25	0.0	25.591 25.411	23.477 23.443	18.771 18.768	22.079 21.965
4000	2.25	0.5	25.792 25.607	23.845 23.814	19.114 19.099	22.301 22.168
4000	2.25	1.0	25.899 25.758	24.230 24.203	19.740 19.739	22.447 22.368
4000	2.25	-2.0	25.556 26.170	24.301 24.877	19.949 20.459	22.146 22.762
4000	2.25	-3.0	25.079 26.454	23.969 25.381	19.982 21.175	21.690 23.072
4000	3.00	0.0	25.240 25.110	23.602 23.575	19.119 19.118	21.795 21.684
4000	3.00	0.5	25.415 25.303	23.987 23.958	19.591 19.597	21.991 21.810
4000	3.00	-1.0	25.176 25.486	24.114 24.318	19.959 20.066	21.806 22.091
4000	3.00	-2.0	24.954 25.825	24.000 24.863	19.671 20.755	21.602 22.461
4000	3.00	-3.0	24.663 26.111	23.792 25.309	19.982 21.320	21.322 22.780
4500	0.75	-3.0	26.740 26.685	23.690 23.681	17.505 17.503	23.146 23.139

Таблица 7

Спектр	$T_{\text{вс}}$	$\mu_{\text{ж}}$	$\lg N (\text{H})$	$\lg N (\text{H}_2)$	$\lg N (\text{H}_2\text{O})$	$\lg N (\text{CO})$
M0 III	3900	0.88	25.891	23.398 23.317	17.691 17.681	22.594 22.402
M1 III	3800	0.87	26.234 25.930	23.596 23.518	18.019 18.008	22.698 22.483
M2 III	3700	0.69	26.339 26.029	23.777 23.692	18.297 18.276	22.815 22.582
M3 III	3600	0.44	26.473 26.159	23.960 23.871	18.551 18.523	22.961 22.713
M4 III	3500	0.24	26.300	21.115 21.022	18.748 18.705	23.121 22.856
M5 III	3400	0.21	26.483	21.493 21.366	19.299 19.258	23.403 23.041
M6 III	3200	0.5	27.143 26.625	21.758 21.550	19.563 19.511	23.769 23.181

Август 1987 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. N. J. Woolf, M. Schwarzschild, W. K. Rose, *Astrophys. J.*, **140**, 833, 1964
2. T. Tsuji, *Ann. Tokyo Astron. Obs.*, **9**, 1, 1964.
3. H. F. Johnson, R. F. Beebe, C. Sweden C., *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **29**, 123, 1975.
4. К. У. Ахтен. Астрофизические величины, М. Мир, 1977.
5. Г. Корн, Г. Корн. Справочник по математике, М. Наука, 1984.
6. H. R. Johnson, A. P. Bernat, B. Krupp, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **42**, 507, 1980
7. H. R. Johnson, *Astrophys. J.*, **200**, 251, 1982
8. J. Auman, *Astrophys. J.*, **137**, 790, 1969.
9. R. A. Bell, K. Eriksson, B. Gustafsson, A. Nordlund, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **23**, 371, 1976
10. F. Querci, M. Querci, T. Tsuji, *Astron. Astrophys.*, **31**, 265, 1974.
11. T. Tsuji, *Astr. Astrophys.*, **62**, 29, 1978.

Э. С. ПАРСАМЯН, В. М. ПЕТРОСЯН

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗД,  
СВЯЗАННЫХ С ТУМАННОСТЯМИ

Приведены результаты наблюдений ядер некоторых туманностей из каталога кометарных туманностей и родственных объектов на 6 м телескопе САО АН СССР.

Объекты № 6, 95, 100 показывают некоторые характеристики, присущие кометарным туманностям.

В спектрах объектов № 56—58 в длинноволновой области видно сильное влияние комплекса эмиссионных туманностей, в который они погружены.

Кометарные туманности и родственные объекты (КТРО) выделяются среди других туманностей, прежде всего, своим своеобразным внешним видом. Наиболее типичные из них связаны со звездами типа Т Тельца, Ае/Ве звездами Хербига, находящимися в широком интервале спектральных классов Ве-Ке. Характерной особенностью является переменность как звезды, так и туманности. Важность исследования этих пекулярных звезд очевидна для понимания как эволюции самих звезд, так и механизма свечения туманностей, которые являются продуктом выброса из звезды [1]. Нет сомнений, что чистое отражение не всегда объясняет наблюдаемые явления в кометарных туманностях [1—5]. Об этом же свидетельствуют кинематические исследования биполярных туманностей, НН объектов, а также больших молекулярных областей [2, 3].

Нами проведены спектральные наблюдения ряда объектов из каталога КТРО [6] на 6 м телескопе САО АН СССР. Спектры получены с обратной линейной дисперсией 100 А/мм. Данные о наблюдательном материале приведены в табл. 1.

Ниже приведены результаты исследования каждого объекта в отдельности.

**№ 6 (GM-33).** GM-33 [7] находится в области темной туманности L 1287 [8] (рис. 1). В каталоге КТРО [1] она классифицирована как туманность типа IIa—в виде запятой. К тому же типу относятся туманности, связанные с фуорами V 1057 Суг и V 1515 Суг. Уже внешнее сходство с этими объектами достаточно, чтобы данный объект стал предметом изучения.

Туманность имеет протяженность порядка 0,6. Звезда—ядро туманности, наблюдалась Коэном [9]. Согласно этим наблюдениям, звезда спектрального класса F5 с  $H_{\alpha}$  в эмиссии и  $m_v = 14.1$ .

Наблюдения на 6 м телескопе показали наличие в спектре линии  $H_{\alpha}$  в эмиссии. К сожалению, отсутствие количественных данных в работе [9] лишает нас возможности проследить за поведением линии  $H_{\alpha}$  во времени, а также многочисленных линий поглощения, характерных для звезд типа F. Вследствие небольшого разрешения ( $\sim 5 \text{ \AA}$ ), большинство линий сливаются в бленды. Линии  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{\delta}$ , K CaII, Fe I, Mg I являются одиночными. В табл. 2 приведены положения линий, отождествленных в спектре ядра, их лабораторные дли-

Таблица 1

## Наблюдательный материал

Объект № по КТРО	Приемник	Спектр. диап., А	Эксп., мин	Дата
(ядро GM-33)	UAGS-сканер	5600-7200	10	22.07.81
•	•	4740-6100	7	29.07.81
•	•	3780-5100	•	•
•	•	5600-7200	6	30.07.81
•	СП160-М9ЩВ	5900-7200	2	20.10.81
•	•	4700-6000	1	•
•	•	3600-5000	4	•
•	•	5900-7200	4	•
•	•	4700-6000	2	24.10.81
•	•	•	4	•
•	•	3600-5000	2	•
•	•	•	4	•
•	UAGS-сканер	5600-7200	8	23.10.82
•	•	3780-5100	8	•
•	•	5600-7200	10	22.10.82
(Парс. 9)	•	•	8	•
(Sh 258)	•	•	•	•
(ядро Sh 258)	•	•	•	•
(ядро GM-45)	•	•	•	•
(ядро Парс. 22)	•	5900-7250	10	20.06.82
•	•	•	•	•
(ядро GM-28)	•	5900-7250	10	20.06.82
0 (RR-10)	•	5200-7200	5	24.06.84

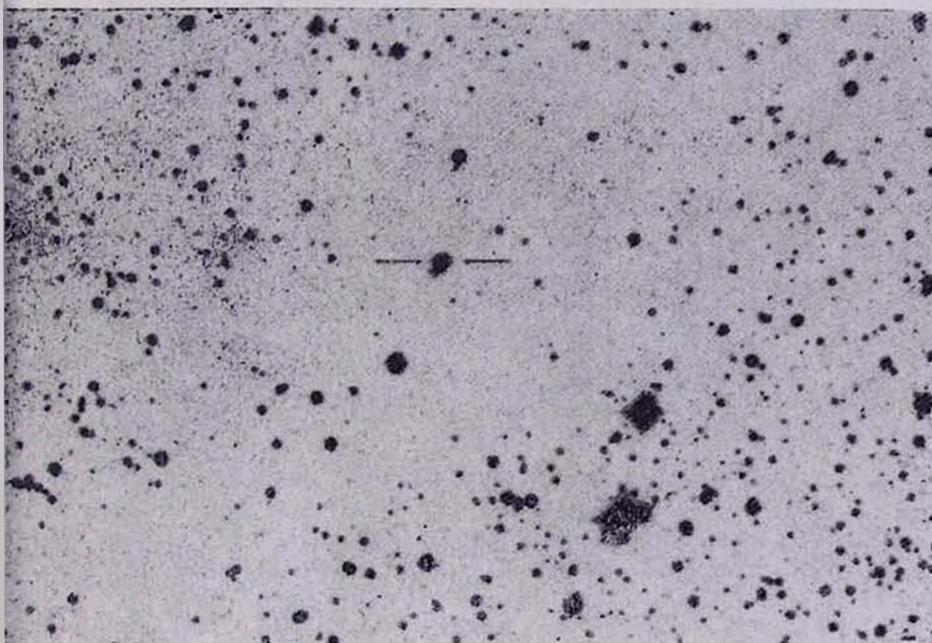


Рис. 1. GM-33 (№ 6). Е-карты PSS, масштаб 7"/мм

ны волн, эквивалентные ширины и соответствующие им химические элементы.

Учитывая, что линии бальмеровской серии водорода и CaII образуются в оболочке, на существование которой указывает эмиссия H $\alpha$ , можно определить скорость расширения оболочки. Она оказывается равной  $70 \pm 50$  км·с $^{-1}$ . Отметим также, что наблюдается смещение эмиссионного компонента линии H $\gamma$  в коротковолновую сторону ( $130 + 50$  км·с $^{-1}$ ).

Нам была предпринята попытка определения спектрального класса звезды по наблюдаемым линиям поглощения, для чего была

Таблица

Линии, обнаруженные в спектре ядра туманности GM 1—33

$\lambda$ (Å)	$W_{\lambda}$ (Å)	$\lambda_c$ (Å)	Элемент	1	2	3	4
1	2	3	4				
				4417.5	1.4	4416.82 4417.72 4418.34 4418.43	Fe II Ti II Ti II Fe I
3838.7	4.8	3829.36 3832.36 3834.22 3835.33 3838.29 3839.26 3840.44 3841.05 3841.08	Mg I Mg I Fe I H $\beta$ Mg I Fe I Fe I Fe I Mn I	4650.2	1.0	4651.28 4652.16	Cr I Cr I
				4726.6	0.9	4727.40 4728.55	Fe I Fe I
3888.1	6.1	3886.28 3887.05 3888.42 3888.52 3889.05 3890.84	Fe I Fe I Fe I Fe I H $\delta$ Fe I	4858.9 4883.2	8.1 2.0	4861.33 4878.13 4878.22 4890.76 4891.50	H $\beta$ Ca I Fe I Fe I Fe I
3933.5	5.1	3933.17	KCaII	4965.8	0.6	4966.10	Fe I
3967.9	5.8	3968.47 3970.08	HCaII H $\gamma$	4980.79	0.6	4983.26 4983.86	Fe I Fe I
4101.1 4305.7	7.8 2.2	4101.74 —	H $\alpha$ G полоса	5013.5	1.4	5014.18 5014.28 5014.95 5018.43	Ti I Ti I Fe I Fe II
4341.3	6.1	4340.47	H $\gamma$				
4387.9	1.5	4385.26 4385.38 4386.86 4387.90 4388.41 4390.95 4390.98	Fe I Fe II Ti II Fe I Fe I Fe I Ti II	5040.5	1.1	5040.90 5041.07 5041.62 5041.76	Fe I Fe I Ca I Fe I
				5171.7	1.1	5172.68	Mg I
				5891.3	2.6	5889.95 5895.92	Na I(D) Na I(D)
				6560.0	12.4	6562.82	H $\alpha$ -эмиссия

использованы критерии, приведенные в работах Копылова [10] и Андриана и др. [11]. Спектральная оценка дает значение F2—F5. Это находится в хорошем согласии с определением Коэна (F5) [9], что, по всей вероятности, является свидетельством того, что за этот период звезда не подверглась сильным изменениям.

№ 56 (Парсамян 9). Туманность [12] отнесена к типу Ia конической формы, протяженностью  $\sim 0.6$ , имеет большую поверхностную

яркость (рис. 2). Она расположена между двумя III областями— Sh 255 и Sh 257, которые, согласно наблюдениям в CO [13], принадлежат к одному и тому же гигантскому молекулярному облаку, находящемуся на расстоянии 2.5 кпс.

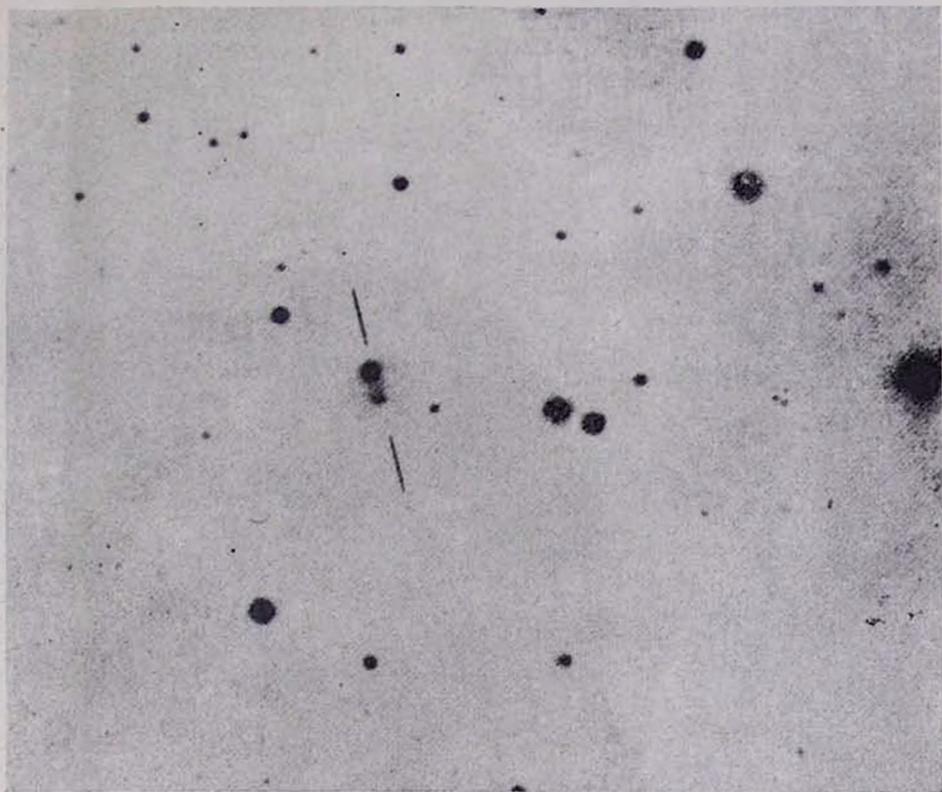


Рис. 2. Парсамян 9 (№ 56). Снимок 2.6 м телескопа (Kodak 103aF+ жс 12), масштаб 7"/мм

В результате наблюдений ядра Парс. 9 обнаружены интенсивные эмиссионные линии H $\alpha$ , [OI]  $\lambda\lambda$  6300/64, [NII]  $\lambda\lambda$  6548/84, [SII]  $\lambda\lambda$  6717/3Г и достаточно сильный непрерывный спектр. Это говорит о том, что, в действительности, полученный спектр соответствует не самой звезде, а области III. Что касается звезды, возможно, она внесла свой вклад лишь в непрерывный спектр.

Однако для окончательного вывода нужны наблюдения в коротковолновой части.

№ 57 (Sh 258). Это небольшая коническая туманность с ядром в юго-западной вершине (рис. 3), протяженностью 1'1, тип Ia. Наблюдения в CO [13] показали, что вместе с туманностями Sh 254—Sh 257 она входит в единую физическую систему на расстоянии в 2.5 кпс.

Предполагается, что звезда, находящаяся в юго-западной вершине туманности, является ее ядром. Согласно Моффету и др. [14] она спектрального класса B.

В спектре звезды наблюдается линия H, в поглощении ( $W \approx 3\text{Å}$ ). В туманности, в непосредственно прилегающей к звезде области, та

же линия наблюдается в эмиссии на фоне слабого непрерывного спектра.

Однако отсутствие эмиссионных линий в спектре звезды ставит под сомнение физическую связь звезды и туманности. По всей вероятности, Sh 258 является небольшой HII областью и входит в большой комплекс эмиссионных туманностей.

№ 58 (GM-45). Туманность GM-45 [2], протяженностью  $\sim 0.8$  находится в  $11'$  к югу от Sh 258 (рис. 4), имеет тип IIa в виде запы-

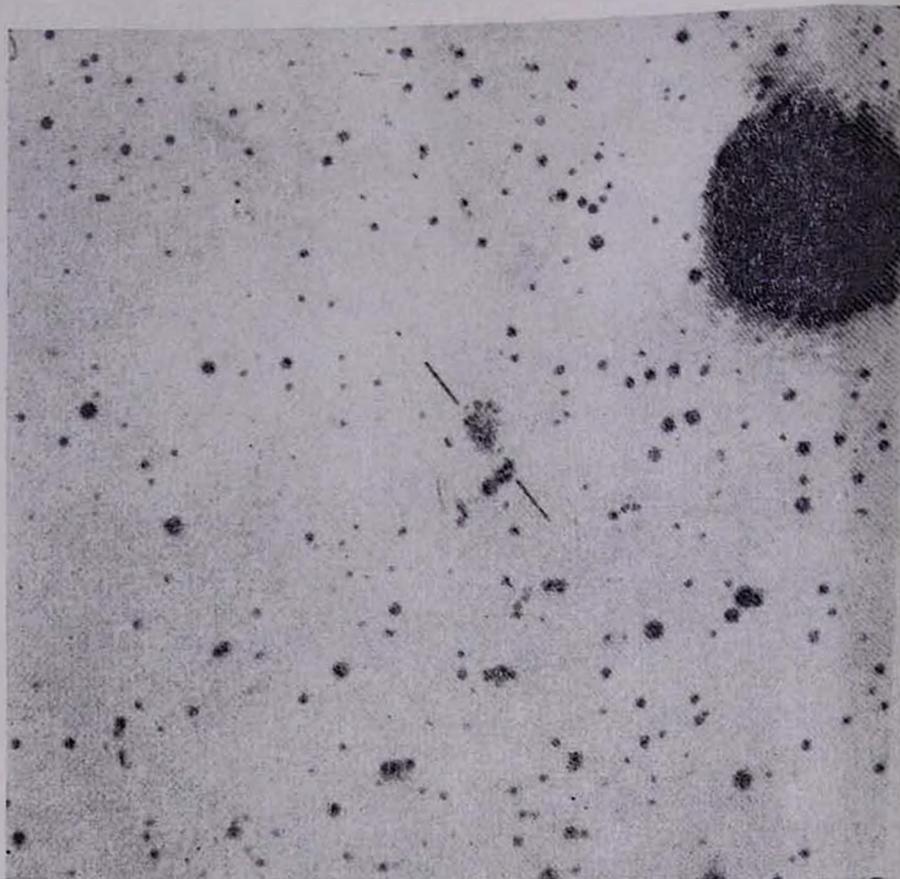


Рис. 3. Sh 258 (№ 57). E-карты PSS, масштаб  $7''/\text{мм}$

той. Наблюдения показали наличие эмиссионных линий  $H\alpha$ , [NII]  $\lambda\lambda$  6548/84, [SII]  $\lambda\lambda$  6717/31 как у звезды, так и в туманности.

Сравнение интенсивностей линий в спектрах, соответствующих звезде и туманности, показало их незначительное различие. Следовательно, наши наблюдения как и в случае Парс. 9, относятся к фоновой эмиссионной туманности, проектирующейся на туманность GM-45.

№ 95. (Парсамян 22). Туманность [12] (тип Ib) напоминает би-коническую туманность Апоп  $6^h 04$  (рис. 5). Расположена в  $8'$  от фюра V 1515 Суг. В центре туманности находится слабая красная звезда ( $m_V = 17.0$ ) спектрального класса A5e с  $H\alpha$  в эмиссии [15]. Наши

наблюдения показали, что она характеризуется слабым непрерывным спектром с  $H_{\alpha}$ , в эмиссии ( $m_V = 13.5$  A). Согласно результатам поверхностной фотометрии, приведенным в [16], цвет туманности красный ( $U-B = \pm 0.45$ ,  $B-V = +0.63$ ), с некоторым посинением к краям туманности. Инфракрасные наблюдения [17] обнаружили слабое излучение на 2 и 10 мкм [ $2.2 \geq 6.0$ ,  $10 \geq 2.5$ ] (в цитируемой работе

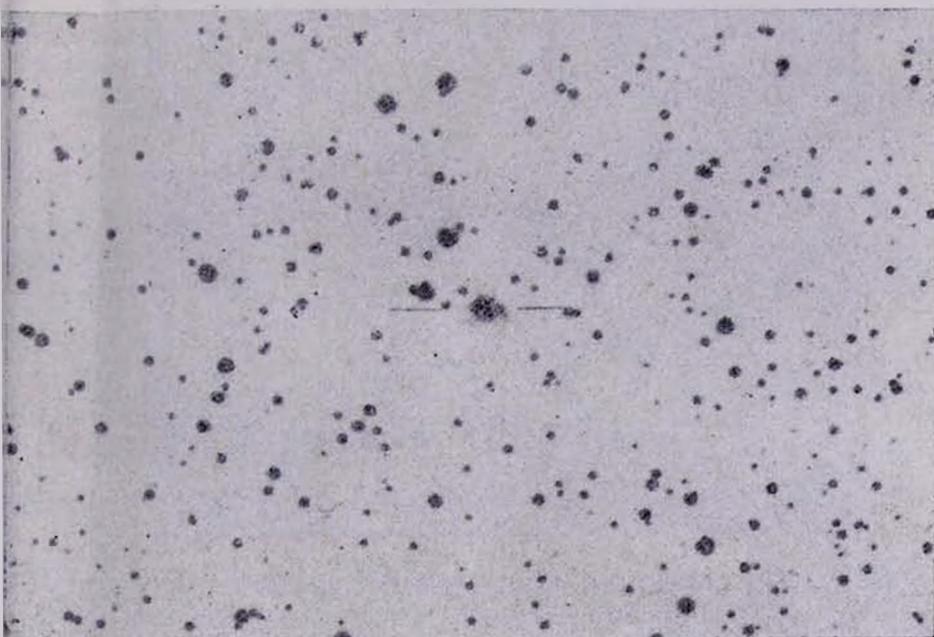


Рис. 4. GM—15 (№ 58). E—карты PSS, масштаб 7"/мм



Рис. 5. Парсамян 22 (№ 95). Снимок 2.6 м телескопа (Kodak 103aF), масштаб 7"/мм

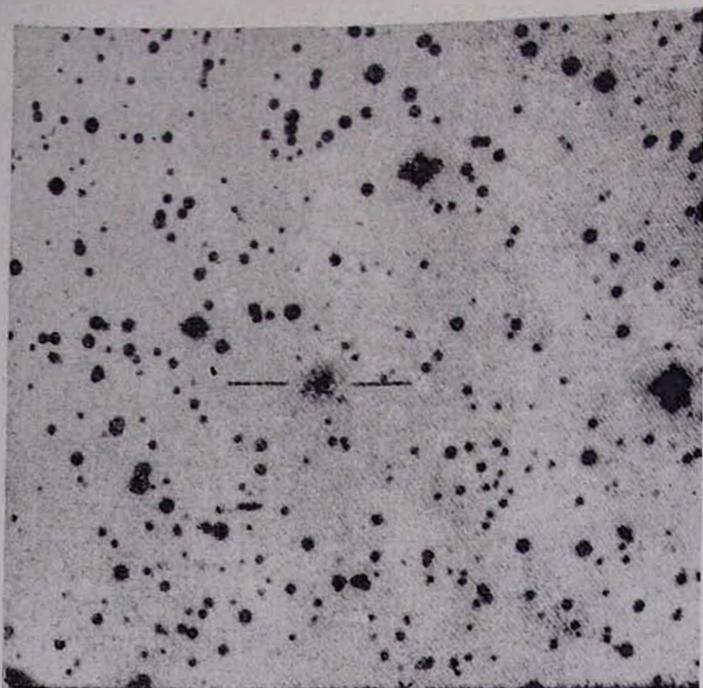


Рис. 6. GM—28 (№ 96). Е—карты PSS, масштаб 7"/мм



Рис. 7. RR—10 (№ 100). Е—карты PSS, масштаб 7"/мм

на обозначена как «а»). По всей вероятности, звезда находится внутри туманности.

№ 96. (GM-28). Объект [2] входит в список Коэна [9] под номером 120 (рис. 6), протяженность  $\sim 0.8$ , тип Ia. В длинноволновой части спектра звезды линия  $H_{\alpha}$  видна в поглощении ( $W=5.2A$ ).

№ 100. (RR-10). Небольшая туманность протяженностью 0.8, тип находится в некотором отдалении от переменной звезды RR-10 ( $P_{\text{PK}} = 17.0 \div 17.7$ ) [18] около NGC 7023 в Цефее (рис. 7). Объект входит в список Коэна [9] под номером 131. В спектре RR-10 наблюдается слабая эмиссия в линии  $H_{\alpha}$ .

Спектральные наблюдения ядер нескольких туманностей показывают, что туманности GM-33 (№ 6), Парс. 22 (№ 95), туманность около 2-10 (№ 100) имеют некоторые характеристики (поздний спектральный класс ядра, цвет туманности, внешний вид, присущие кометарным. В случае же объектов № 56—58, № 96 необходимы дальнейшие наблюдения.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам САО АН СССР за помощь при наблюдениях.

30 июля 1987 г.

Է. Ս. ՊԱՐՍԱՄՅԱՆ, Վ. Մ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԳԻՒՄԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏ ԿԱՊՎԱԾ ԱՍՏՂԵՐԻ ՍՊԵԿՏՐԱԿ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐ

Բերված են գիտավորաձև միգամածությունների և հարակից օբյեկտների տալրոգից որոշ միգամածությունների միջուկների՝ ՍՍՀՄ ՀԱ 6 մ դիտակով առցված գիտումների արդյունքները:

№ № 6, 95, 100 օբյեկտները ցուցաբերում են գիտավորաձև միգամածություններին հատուկ որոշ հատկություններ:

№ № 56—58 օբյեկտների երկարալիք սպեկտրներում երևում է առաքող գամածությունների կոմպլեքսի ազդեցությունը, որի մեջ և դրանք գտնվում

E. S. PARSAMIAN, V. M. PETROSIAN

## THE SPECTRAL OBSERVATIONS OF STARS CONNECTED WITH NEBULAE

The results of observations with 6-m telescope of some nuclei of nebulae from the catalogue of cometary nebulae and related objects are presented.

Objects No. 6, 95, 100 show some characteristics of cometary nebulae.

In red region spectra of objects No. 6—58 the influence of emission nebulae complex, in which they are embedded, is seen.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканской обс., 19, 1954.
2. R. Mundt, J. W. Fried, *Astrophys. J. Lett.*, 274, 83, 1983.
3. R. Mundt, T. Bährke, J. W. Fried, T. Neckel, M. Sarcander, J. Stocke, *Astrophys.*, 140, 17, 1984.
4. Дж. Л. Гринстейн, М. А. Казарян, Т. Ю. Магакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизик* 12, 587, 1976.
5. М. Мендес, Э. С. Парсамян, *Астрофизика*, 10, 65, 1974.
6. Э. С. Парсамян, В. М. Петросян, Сообщ. Бюраканской обс., 51, 1979.
7. А. Л. Гюльбудагян, Т. Ю. Магакян, *Письма в Аж*, 3, 113, 1977.
8. В. Т. Lynds, *Astrophys. J. Suppl.*, 7, 52, 1962.
9. M. Cohen, *Astron. J.*, 85, 29, 1980.
10. И. М. Копылов, *Изв. КрАО* 35, 11, 1966.
11. Y. Andrillat, S. Souffrin, D. Alloin, *Astron. Astrophys.*, 19, 405, 1972.
12. Э. С. Парсамян, *Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. науки*, 18, 146, 1965.
13. L. Blitz, M. Fich, A. A. Starke, *Astrophys. J. Suppl.*, 49, 183, 1982.
14. A. F. Moffett, M. P. Fitzgerald, P. D. Jackson, *Astron. Astrophys. Suppl.*, 3, 1979.
15. N. Calvet, M. Cohen, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 182, 687, 1978.
16. Э. Е. Хачикян, Дж. А. Эйнатян, Сообщ. Бюраканской обс., 46, 43, 1975.
17. M. Cohen, *PASP*, 86, 813, 1974.
18. L. G. Rosino, G. Romano, *Contr. Oss. Astago*, No. 127, 1962.

М. А. МНАЦАКАНЯН

## О ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКОВ

Из простых физических соображений выводятся различные представления функции источников в теории переноса. Обсуждаются их преимущества.

Интенсивность излучения  $I(\tau, \mu)$  в изотропно рассеивающей освещенной извне однородной полубесконечной среде, есть решение следующей задачи:

$$\mu \frac{dI(\tau, \mu)}{d\tau} = -I(\tau, \mu) + S(\tau); \quad I(0, \mu) = 0, \quad \mu > 0.$$

Наряду со стандартным представлением для функции источников  $S$ :

$$S(\tau) = \frac{\lambda}{2} \int_{-1}^1 I(\tau, \mu) d\mu + S^*(\tau), \quad S^*(\tau) = \frac{\lambda}{2} e^{-\tau/\lambda}, \quad (1)$$

можно записать ряд других, например:

$$S(\tau) = \frac{\lambda}{2} \int_0^1 I(\tau, \mu) H(\mu) d\mu + S_H^*(\tau), \quad (2)$$

где

$$S_H^*(\tau) = \frac{\lambda}{2} H(\tau) e^{-\tau/\lambda}.$$

Важность формулы (2) подчеркивается в работе [1]; вместе с тем там отмечается, что ее физический смысл неясен. В этой связи мы обращаем внимание на более ранние публикации [2, 3], в которых и была фактически установлена формула (2). Впрочем, там это было сделано непосредственно из физических соображений.

Ниже мы осветим физическую сторону двух представлений для функции источников, выводимых другим, формальным путем в [1], а также установим более общую форму представления для функции источников, опять же физически очевидную и содержащую в себе в качестве частных случаев эти два представления. Дабы не заслонять идеи деталями, мы ограничимся рассмотрением изотропного случая.

1. В [2, 3] введена функция  $Y(\tau, \eta, \xi)$  и описаны ее физические свойства.

Эквивалентное определение  $Y$  состоит в следующем. Пусть через  $\tau$  полубесконечной среды в направлении  $\xi$  к границе среды, вылетит из нее в направлении  $\eta$ .

Она определяет вероятность того, что квант, летящий на глубине  $\tau$  к границе полубесконечной среды вылетает квант в направлении  $\xi$ . Ес-

ли перед средой расположить слой толщины  $\tau$ , то вероятность выхода кванта в направлении  $\eta$  из суммарной полубесконечной среды определится величиной  $Y(\tau, \eta, \zeta)$ . Эту же вероятность безотносительно к знаку  $\zeta$  ниже обозначим через  $X(\tau, \eta, \zeta)$ .

Пусть на границе полубесконечной среды имеется поглощенный квант. Вероятность его выхода в направлении  $\mu$ , определяемую функцией Амбарцумяна, здесь обозначим через  $\frac{\lambda}{2}H(\mu)$ . Если перед средой расположить слой толщины  $\tau$ , то мы получим новую полубесконечную среду с квантом, поглощенным в ней на глубине  $\tau$ . Сказанное означает, что вероятность выхода этого кванта равна

$$P(\tau, \eta) = \frac{\lambda}{2} \int_0^1 Y(\tau, \eta, \mu) H(\mu) d\mu. \quad (3)$$

Учитывая, что величина  $Y$  состоит из диффузной и прямопролетной слагаемых

$$Y(\tau, \eta, \zeta) = Y_{\text{диф}}(\tau, \eta, \zeta) + e^{-\tau/\zeta} \delta(\eta - \zeta), \quad (4)$$

из соотношения (3) мы фактически получаем представление (2).

2. Чтобы выяснить смысл функции источников, обратимся к другому очевидному соотношению [2—4]

$$P(\tau, \eta) = \frac{\lambda}{2} \int_{-1}^1 X(\tau, \eta, \zeta) d\zeta, \quad (5)$$

выражающему собой то обстоятельство, что поглощенный на глубине  $\tau$  квант излучается изотропно с плотностью вероятности  $\frac{\lambda}{2}$ , после чего его выход определяется действием функции  $X(\tau, \eta, \zeta)$ . Подстановкой (4) в (5) мы и приходим к представлению (1).

В выражении (5) величина  $\eta$  является параметром. Интегрированием по  $\eta$  от 0 до 1 переходим к величинам  $S$  и  $I$ , т. е. приходим к формальной замене:

$$P(\tau, \eta) \rightarrow S(\tau), \quad Y(\tau, \eta, \zeta) \rightarrow I(\tau, \zeta). \quad (6)$$

Иными словами, формально, функция источников  $S$  есть величина  $P$  с «опущенной» зависимостью от углового параметра  $\eta$ .

3. Наряду со свойствами (3) и (5) отметим еще одно очевидное, но более общее свойство величины  $Y$  [2, 3]:

$$P(\tau+t, \eta) = \int_0^1 Y(\tau, \eta, \mu) P(t, \mu) d\mu. \quad (7)$$

Если в полубесконечной среде на глубине  $t$  поглощен квант, то вероятность его выхода из среды определяется величиной  $P(t, \mu)$ . Располагая перед средой слой толщины  $\tau$ , мы находим, с одной стороны, что вероятность выхода этого кванта определяется действием на  $P(t, \mu)$  оператора  $Y(\tau)$ , а с другой стороны, имеем задачу о вероятности выхода из суммарной полубесконечной среды кванта, поглощенного на глубине  $\tau+t$ .

Из (7), согласно (6), опуская зависимость от параметра  $\eta$  и выделяя из  $Y$  прямопролетную составляющую, мы заключаем, что имеет место более общее представление для функции источников

$$S(\tau + t) = \int_0^1 I(\tau, \mu) P(t, \mu) d\mu + S_p^*(\tau), \quad (8)$$

где

$$S_p^*(\tau) = P(t, \eta) e^{-\tau/\eta}.$$

При  $t=0$  оно переходит в представление (2).

4. В другом предельном случае  $\tau \rightarrow \infty$ , используя известную асимптотику

$$P(t, \eta) = \frac{\lambda}{2} A e^{-k\tau} \frac{\eta H(\eta)}{1 - k\eta}, \quad t \gg 1,$$

из (7) находим

$$\int_0^1 Y(\tau, \eta, \mu) \frac{\mu H(\mu)}{1 - k\mu} d\mu = \frac{H(\eta)}{1 - k\eta} e^{-k\tau}. \quad (9)$$

Смысл этого соотношения известен: в задаче Милна относительно угловое распределение выходящего из полубесконечной среды излучения не меняется при добавлении перед средой слоя произвольной толщины  $\tau$ , но интегральное излучение при этом экспоненциально убывает.

Полагая под интегралом

$$\frac{\mu}{1 - k\mu} = \frac{1}{k} \left( \frac{1}{1 - k\mu} - 1 \right),$$

получаем

$$\int_0^1 Y(\tau, \eta, \mu) \frac{H(\mu)}{1 - k\mu} d\mu = \frac{\lambda}{2} \int_0^1 Y(\tau, \eta, \mu) H(\mu) d\mu = \frac{\lambda}{2} k \frac{\eta H(\eta)}{1 - k\eta} e^{-k\tau}.$$

Из сравнения с (3) имеем

$$P(\tau, \eta) = \frac{\lambda}{2} \int_0^1 Y(\tau, \eta, \mu) \frac{H(\mu)}{1 - k\mu} d\mu = \frac{\lambda}{2} k \eta \frac{H(\eta)}{1 - k\eta} e^{-k\tau}. \quad (10)$$

Если теперь выделить из  $Y$   $\delta$ -составляющую (4), то придем к другому представлению (26—27) работы [1] для функции источников.

5. Таким образом, оба представления—(6—7) и (26—27) работы [1] являются предельными случаями физически очевидного представления (7)—(8)—одно при  $\tau=0$ , другое—при  $\tau \rightarrow \infty$ .

Представление (1) имеет серьезное преимущество перед другими известными. В него входит значение только нисходящей интенсивности  $I$  на «половинном» интервале (0,1). Это обстоятельство упрощает вычислительную сторону задачи.

Представление же (8) обладает еще другими преимуществами,

ибо позволяет проводить вычисления рекуррентно с конечным шагом по  $t$ , а не бесконечно малыми шагами, как этого требует, например, классическое дифференциальное уравнение переноса.

Однако и этот способ не самый лучший. Более простой и эффективный метод численного решения задачи переноса состоит в использовании элементарного выражения функции  $Y$ , зависящей от двух угловых переменных, через функцию источников  $R$ , зависящую от одной—если речь идет о полубесконечной среде, и метода сведения [2, 4]—для слоя конечной толщины.

3 августа 1987 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Иванов, *Астрофизика*, 13, 505, 1977.
2. М. А. Мнацаканян, *ДАН СССР*, 225, № 5, 1049, 1975.
3. Э. Х. Даниелян, М. А. Мнацаканян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 46, 101, 1975.
4. М. А. Мнацаканян, *Астрофизика*, 11, 659, 1975; 12, 451, 1976.

#### Մ. Ա. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ

#### ԱՂՔՅՈՒՐՆԵՐԻ ՖՈՒՆԿՑԻԱՅԻ ՏԱՐԲԵՐ ՊԱՏԿԵՐԱՑՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

*Ճառագայթման տեղափոխման տեսության աղբյուրների ֆունկցիայի տարբեր պատկերացումները կարելի է ստանալ պարզ ֆիզիկական դատողություններից: Քննարկվում են նրանց առավելությունները:*

#### M. A. MNATSAKANYAN

#### ON SOME REPRESENTATIONS OF THE SOURCE FUNCTION

It is shown that several representations of the source function can be obtained based on simple physical considerations. Their advantages are discussed.

Э. Х. ДАНИЕЛЯН

## К ЗАДАЧЕ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕХМЕРНОСТИ ГЕОМЕТРИИ. I. ТОЧНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ РЕЗОЛЬВЕНТЫ ОСНОВНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

Рассмотрены задачи теории переноса излучения в средах, содержащих горизонтально-неоднородно распределенные первичные источники энергии. В случае полубесконечной среды при изотропном рассеянии получено явное интегральное представление для резольвентной функции основного интегрального уравнения посредством аналога  $q$ -функции Амбарцумяна. Для последней также получено явное интегральное представление.

### 1. Введение

В теории переноса хорошо изученными можно считать задачи, в которых первичные источники излучения распределены в горизонтальной плоскости однородно. Во избежание недоразумений, сразу скажем, что под горизонтальной плоскостью подразумевается плоскость, параллельная границе рассеивающей среды. Если же распределение источников (первичных) зависит от всех пространственных координат, то нахождение интенсивности излучения в заданном месте представляет собой довольно трудную задачу (разумеется для сред, имеющих границы; например, для бесконечной среды это не является проблемой, поскольку известно явное выражение для резольвенты, которая в силу симметрии зависит, по существу, лишь от одной пространственной переменной). И, тем не менее, задачи подобного рода необходимо всесторонне исследовать, ввиду их большого прикладного значения в самых разных областях физики: от астрофизики, до физики плазмы, биофизики и др.

Некоторые из задач с учетом трехмерности геометрии уже изучались и к настоящему времени в этой области достигнут определенный прогресс. Так, в работе Амбарцумяна [1] впервые была рассмотрена задача о диффузии света в бесконечной среде, содержащей точечный первичный источник. В ней автору удалось свести задачу с точечным источником к задаче с плоским источником и получить асимптотическое выражение для функции источника. Отметим также работы Элюта [2], в которой для решения задач указанного типа применялось двумерное Фурье-преобразование, Абрамова и Напартовича [3], получивших некоторые асимптотические решения для задачи о диффузии излучения в полубесконечной среде, содержащей точечный источник, и, наконец работу Райбики [4], в которой с помощью двумерного Фурье-преобразования удается, в некотором смысле, свести задачи с горизонтально-неоднородными источниками к задачам с плоскопараллельной геометрией (как в полубесконечной, так и в среде конечной оптической толщины).

Полученные нами и приводимые ниже некоторые результаты для однородной полубесконечной среды основаны на применении метода интегрального преобразования Ганкеля, эквивалентного, в частном

случае, двумерному преобразованию Фурье с использованием цилиндрической симметрии.

## 2. Интенсивность излучения при произвольных, горизонтально-неоднородных первичных источниках энергии

Рассмотрим полубесконечную рассеивающую среду, в которой имеются произвольно расположенные первичные источники излучения. Введем систему цилиндрических координат ( $\tau$ ,  $r$  и  $\varphi$ ): переменные  $r$  и  $\varphi$  — полярные координаты точки на граничной плоскости, а переменная  $\tau$  — расстояние точки от граничной плоскости. Отметим также, что переменные  $\tau$  и  $r$  измеряются в оптических единицах.

Распределение первичных источников (излучающих изотропно и стационарно) в общем случае дается некоторой функцией трех переменных —  $g(\tau, r, \varphi)$ . В процессе диффузии первичного излучения в каждой точке среды установится некий стационарный режим, описываемый также функцией трех переменных —  $\varepsilon(\tau, r, \varphi)$ , которую обычно называют коэффициентом объемного излучения (ей пропорциональны функция источника и число возбужденных атомов в единице объема). Зная эту величину, очевидно, можно найти и интенсивность излучения в любом месте рассматриваемой среды. Например, для интенсивности излучения, идущего вверх в направлении  $\text{arccos}\eta$  на глубине  $\tau$  и  $r=0$ , легко видеть, что

$$I(\tau, \eta, \varphi) = \frac{\lambda}{4\pi} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t-\tau}{\eta}} \varepsilon \left[ t, \frac{\sqrt{1-\eta^2}}{\eta} (t-\tau), \pi + \varphi \right] \frac{dt}{\eta}.$$

Нетрудно убедиться, что функцию  $\varepsilon$ , соответствующую заданной функции  $g$ , можно найти с помощью величины  $\Gamma(\tau, \tau', r)$ , обобщающей понятие обычной резольвенты  $\Gamma(\tau, \tau')$  на случай задач с горизонтальной источниковой неоднородностью, следующим образом:

$$\varepsilon(\tau, r, \varphi) = g(\tau, r, \varphi) + \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^{\infty} r' dr' \int_0^{\infty} \Gamma(\tau', \tau, \sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos(\varphi - \varphi')}) g(\tau', r', \varphi') d\tau'.$$

При этом величине  $\Gamma(\tau, \tau', r) dV$  — приписывается следующий физический смысл: вероятность того, что квант, первоначально находившийся в поглощенном состоянии на оптической глубине  $\tau'$ , в результате диффузии поглотится в объеме  $dV$ , расположенном на глубине  $\tau$  и отстоящем от первоначального места на расстоянии  $r$ . Очевидно, что эта функция должна быть симметричной относительно аргументов  $\tau$  и  $\tau'$ , т. е.

$$\Gamma(\tau, \tau', r) = \Gamma(\tau', \tau, r),$$

а также, что имеет место нормировочное соотношение

$$2\pi \int_0^{\infty} \Gamma(\tau, \tau', r) r dr = \Gamma(\tau, \tau').$$

Это следует непосредственно из ее физического смысла, который позволяет также получить следующее интегральное уравнение:

$$\Gamma(\tau, \tau', r) = \frac{\lambda e^{-\rho^2}}{4\pi\rho_0^2} + \frac{\lambda}{2} \int_0^\infty dt \int_0^\infty L(\tau'-t, r, r') \Gamma(\tau, t, r') r' dr'. \quad (1)$$

Здесь обозначено

$$L(\tau, r, r') = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{-\sqrt{\tau^2 + \rho^2}}}{\tau^2 + \rho^2} d\varphi \quad (2)$$

и

$$\rho_0 = \sqrt{r^2 + (\tau' - \tau)^2}, \quad \rho = \sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos\varphi}. \quad (3)$$

Для решения уравнения (1) применим интегральное преобразование Ганкеля нулевого порядка. Кроме того, воспользовавшись теоремой сложения (см., например, [5])

$$J_0(z\rho) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(zr) J_k(zr') \cos(k\varphi) \quad (4)$$

и условием ортогональности бесселевых функций (см., например, [6])

$$y \int_0^\infty J_n(yx) J_n(zx) x dx = \delta(y-z), \quad (5)$$

получим следующее интегральное уравнение

$$\bar{\Gamma}(\tau, \tau', z) = \frac{\lambda}{4\pi} K(|\tau - \tau'|, z) + \frac{\lambda}{2} \int_0^\infty K(|t - \tau'|, z) \bar{\Gamma}(\tau, t, z) dt, \quad (6)$$

в котором черточки сверху означают результат применения преобразования Ганкеля к соответствующим величинам без черты, а  $z$  — параметр преобразования, т. е.

$$\bar{\Gamma}(\tau, \tau', z) = \int_0^\infty \Gamma(\tau, \tau', r) J_0(zr) r dr. \quad (7)$$

В формулах (4), (5) и (7),  $J_n(z)$  — функция Бесселя первого рода. Формула обращения, соответствующая (7), получается из нее заменой  $\bar{\Gamma} \rightleftharpoons \Gamma$  и  $z \rightleftharpoons \tau$ .

Ядро уравнения (6) имеет следующий вид:

$$K(\tau, z) = \int_0^\infty \frac{e^{-\sqrt{\tau^2 + \rho^2}}}{\tau^2 + \rho^2} J_0(z\rho) \rho d\rho.$$

Однако, если воспользоваться частным случаем одного из известных (см., например, [7]), интегралов Сонина-Гегенбауера

$$\int_0^\infty \frac{e^{-a\sqrt{x^2+y^2}}}{\sqrt{x^2+y^2}} J_0(bx) x dx = \frac{e^{-y\sqrt{a^2+b^2}}}{\sqrt{a^2+b^2}},$$

то для ядра можно получить представление в виде суперпозиции экспонент (относительно переменной  $\tau$ ):

$$K(\tau, z) = \int_1^{\infty} \frac{e^{-\tau\sqrt{z^2+x^2}}}{\sqrt{z^2+x^2}} dx = \int_1^{\infty} e^{-\tau y} \frac{dy}{\sqrt{y^2-z^2}}. \quad (8)$$

Отметим, что уравнение (6) с ядром (8) впервые было получено другим способом в работе Райбки [4].

### 3. Явное выражение для резольвентной функции $\bar{\Phi}(\tau, z)$ .

Из теории интегральных уравнений хорошо известно (см., например, [8] или [9]), что резольвенту интегрального уравнения типа Випера-Хопфа с разностным ядром можно выразить через ее граничные значения  $\bar{\Gamma}(0, \tau)$  и  $\bar{\Gamma}(\tau, 0)$  (в случае симметричных ядер они совпадают). В данном случае решение уравнения (6) запишется в виде

$$\bar{\Gamma}(\tau, \tau', z) = \bar{\Gamma}(0, |\tau' - \tau| z) + \int_0^{\min(\tau, \tau')} \bar{\Gamma}(0, \tau - t, z) \bar{\Gamma}(0, \tau' - t, z) dt. \quad (9)$$

Вводя обозначение  $\bar{\Gamma}(0, \tau, z) = \bar{\Phi}(\tau, z)$  и полагая в (6)  $\tau = 0$ , получим следующее уравнение

$$\bar{\Phi}(\tau, z) = \frac{\lambda}{4\pi} K(\tau, z) + \frac{\lambda}{2} \int_0^{\tau} K(|\tau - t|, z) \bar{\Phi}(t, z) dt. \quad (10)$$

Уравнения такого типа, ядра которых удается представить в виде суперпозиции экспонент, подробно исследовались в работе Нагирнера [10], в которой и приводится их решение в явном виде. Для получения решения уравнения (10) необходимо, в частности, выяснить вопрос о корнях характеристического уравнения данной задачи

$$\frac{\lambda}{2\sqrt{k^2 - z^2}} \ln \frac{1 + \sqrt{k^2 - z^2}}{1 - \sqrt{k^2 - z^2}} - 1 = 0, \quad (11)$$

т. е., при каких  $k = k(z, \lambda)$  удовлетворяется (11). Легко видеть, что это равенство может иметь место лишь при значениях

$$k(z, \lambda) = \sqrt{z^2 + k_0^2(\lambda)}. \quad (12)$$

Здесь через  $k_0(\lambda)$  мы обозначили корень обычного характеристического уравнения  $\alpha (1/k_0) = 0$ .

После вычисления полюсного члена, соответствующего корню характеристического уравнения (11), решение уравнения (10) запишется в виде

$$2\pi\bar{\Phi}(\tau, z) = C(z)e^{-k(z)\tau} + \frac{\lambda}{2} \int_0^{\tau} \frac{b e^{-\frac{\tau}{\mu}} d\mu}{\left[ \left( b - \frac{\lambda}{2} \mu \ln \left| \frac{\mu + b}{\mu - b} \right| \right)^2 + \left( \frac{\lambda\pi\mu}{2} \right)^2 \right] \mu H(\mu, z)}, \quad (13)$$

в котором обозначено:

$$b = \sqrt{1 - \mu^2 z^2}, \quad k(z) = k(z, \lambda), \quad C(z) = \left[ \frac{\lambda}{2} \int_0^1 \frac{H(\mu, z) d\mu}{[1 - k(z)\mu]^2 \sqrt{1 - \mu^2 z^2}} \right]^{-1} \quad (14)$$

$$H(\mu, z) = 1 + 2\pi \int_0^\infty e^{-\tau} \mu \bar{\Phi}(\tau, z) d\tau, \quad (15)$$

причем функция  $H$  удовлетворяет следующему функциональному уравнению

$$H(\eta, z) = 1 + \frac{\lambda}{2} \eta H(\eta, z) \int_0^1 \frac{H(\mu, z) d\mu}{(\mu + \eta) \sqrt{1 - \mu^2 z^2}}. \quad (16)$$

Уравнение (16) впервые было получено в упоминавшейся выше работе Райбкин [4].

Выражение (13) не очень удобно для вычислений, ввиду зависимости верхнего предела интегрирования, а также величины в квадратных скобках в подынтегральном выражении от переменной  $z$ . Вводя

новую переменную  $\eta = \frac{\mu}{\sqrt{1 - \mu^2 z^2}}$ , получим более удобное для вычисления следующее окончательное выражение:

$$2\pi \bar{\Phi}(\tau, z) = C(z) e^{-k(z)\tau} + \frac{\lambda}{2} \int_0^1 \frac{e^{-\tau} \frac{\sqrt{1 + \eta^2 z^2}}{\eta} d\eta}{R(\eta) \varphi(\eta, z) \eta (1 + \eta^2 z^2)}, \quad (17)$$

в котором обозначено  $R(\eta) = \left(1 - \frac{\lambda}{2} \eta \ln \frac{1 + \eta}{1 - \eta}\right)^2 + \left(\frac{\lambda \pi \eta}{2}\right)^2$ , а функция  $\varphi(\eta, z)$  удовлетворяет уже следующему уравнению

$$\varphi(\eta, z) = \frac{1}{\sqrt{1 + \eta^2 z^2}} + \frac{\lambda}{2} \eta \varphi(\eta, z) \int_0^1 \frac{\varphi(\mu, z) d\mu}{\mu \sqrt{1 + \eta^2 z^2} + \eta \sqrt{1 + \mu^2 z^2}}, \quad (18)$$

очень удобному (по сравнению с (16)), для вычислений.

Отметим, что выражения (18), (17), (12) — (10) и (6) при  $z=0$  переходят в хорошо известные выражения для задач с плоским источником, что, разумеется, естественно поскольку при этом  $K(\tau, 0) = E_1(\tau)$ .

Введенная нами вспомогательная функция  $\varphi(\eta, z)$  следующим образом связана с рассмотренной ранее функцией  $H(\eta, z)$ :

$$\sqrt{1 + \eta^2 z^2} \varphi(\eta, z) = H\left(\frac{\eta}{\sqrt{1 + \eta^2 z^2}}, z\right). \quad (19)$$

Для нее помимо (18) можно получить и другое уравнение (аналогичное уравнению для функции Амбарцумяна, полученному в работе

[11]). Для этого подставим (17) в (15) и проведем интегрирование по  $\tau$  аналитически. Имея в виду (19), окончательно получим уравнение

$$\sqrt{1+\gamma^2 z^2} \varphi(\gamma, z) = 1 + \frac{\gamma C(z)}{\sqrt{1+\gamma^2 z^2} + \gamma \sqrt{k^2 + z^2}} + \frac{\lambda}{2} \gamma \int_0^1 \frac{d\mu}{R(\mu)(1+\mu^2 z^2) \varphi(\mu, z) |\gamma \sqrt{1+\mu^2 z^2} + \mu \sqrt{1+\gamma^2 z^2}|} \quad (20)$$

обладающее по сравнению с (18) всеми преимуществами, о которых говорилось в работе [11] при сравнении общезвестного уравнения Амбарцумяна для  $\varphi$ -функции с новым уравнением для нее.

Для функции  $\varphi(\eta, z)$ , являющейся обобщением функции Амбарцумяна, можно получить и явное интегральное представление. Приведем его здесь без вывода:

$$\varphi(\eta, z) = \frac{1}{\sqrt{1+\eta^2 z^2}} \exp \left\{ -\frac{\eta}{\pi} \int_0^{\infty} \ln \left( 1 - i \frac{\arctg \sqrt{v^2 + z^2}}{\sqrt{v^2 + z^2}} \right) \frac{\sqrt{1+\eta^2 z^2} dv}{[1+\eta^2(v^2+z^2)]} \right\} \quad (21)$$

Приведем также одно весьма полезное соотношение для нее:

$$\int_0^1 \frac{\varphi(\eta, z)}{\sqrt{1+\eta^2 z^2}} d\eta = \frac{2}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - i \frac{\arctg z}{z}} \right). \quad (22)$$

Заметим, что при  $z=0$ , (21) переходит в известное явное выражение, полученное Фоком [12] для функции Амбарцумяна, а (22)-в известное соотношение для ее нулевого момента.

Дальнейшему изучению некоторых задач теории переноса в средах, содержащих локальные первичные источники энергии будет посвящена вторая часть нашей работы.

3 августа 1987 г.

Է. Խ. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ

ՀԱՌԱԳԱՅՔՄԱՆ ՏԵՂԱՓՈՒՄԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԽԵՒՐԻ ՌԵՍՈՒՄԱՍԻՐՈՒՄԸ ԵՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ԵՌԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ: I. ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԻՆՏԵԳՐԱԿԱՆ ՏՆՄԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՌԵԶՈՒՎԵՆՏԻ ՃՇԳՐԻՏ ԱՐՏԱՀԱՅՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Դիտարկված են տեղափոխման տեսության խնդիրները հորիզոնական-անհամասեռությամբ բաշխված ճառագայթման աղբյուրներ պարունակող միջավայրերում: Կիսանվերջ համասեռ միջավայրի իզոտրոպ ցրման խնդրում ստացված է հիմնական ինտեգրալ հավասարման ռեկուրվենտի բացահայտ տեսքը՝ Համբարձումյանի  $\varphi$ -ֆունկցիայի նմանակի միջոցով: Վերջինիս համար նույնպես ստացված է ճշգրիտ բացահայտ արտահայտություն:

E. KH. DANIELIAN

ON THE PROBLEM OF RADIATIVE TRANSFER THEORY  
WITH ACCOUNT OF THREE-DIMENSIONAL GEOMETRY.1. EXPLICIT EXPRESSION OF BASIC INTEGRAL  
EQUATIONS RESOLVENT

The problems of radiative transfer theory in the medium which contains horizontal-unhomogeneous primary energy sources have been considered. By means of the analogy of Ambartsumian's  $\varphi$ -function the explicit representation of resolvent function of the basic integral equation has been deduced in the case of semiinfinite homogeneous medium with isotropic scattering. The explicit integral representation of the  $\varphi$ -function has been obtained too.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Бюлл. Ереванской астрон. обс., 6, 3, 1945.
2. T. P. Elliot, Proc. Roy. Soc., 228A, 424, 1955.
3. Ю. Ю. Абрамов, А. П. Напартович, Астрофизика, 5, 187, 1969.
4. G. V. Rybicki, JQSRT, 11, 827, 1971.
5. И. С. Градштейн, И. М. Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Физматгиз, 1962.
6. Э. Маделунг, Математический аппарат физики. М.: Физматгиз, 1961.
7. А. Ф. Никифоров, В. Б. Уваров, Специальные функции математической физики. М.: Наука, 1978.
8. В. В. Соболев, Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 11, 39, 1958.
9. М. Г. Крейн, Успехи матем. наук, 13, 3, 1958.
10. Д. И. Нагирнер, АЖ, 41, 669, 1964.
11. Р. Р. Андреасян, Э. Х. Даниелян, Сообщ. Бюраканской обс., 50, 1978.
12. В. А. Фок, Математ. сб., 14, 3, 1944.

А. А. БЕГЛАРЯН

## ПОЛУГРУППОВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ N ТЕЛ

Развит полугрупповой подход к исследованию задачи N тел. Выведены дифференциальные уравнения в частных производных для семейств задач с различными начальными условиями. На основе физических соображений получены инвариантные преобразования для радиус-векторов, которые с привлечением соотношений полугруппы позволяют получить решения задачи N тел при специальных начальных условиях. Дополнительное использование принципа инвариантности Амбарцумяна позволяет составить диф. уравнение для семейств задач трех тел с различными начальными условиями. Рассматривается возможность общего решения этого уравнения. Приводятся примеры механических систем, для которых удается описать их дальнейшую эволюцию.

## 1. Введение

В последние годы Мнацаканяном [1] был развит полугрупповой подход в теории переноса. Впоследствии выяснилось, что и некоторые задачи из других областей естествознания при этом подходе допускают аналогичное математическое описание [1, 2]. Подобная универсальность метода была подмечена Ширковым [3, 4], который выяснил, однако, что не во всех случаях полугруппа эффективна [5], как, в частности, в задачах динамики. И тем не менее мы в этой работе покажем, что с использованием полугруппового подхода в задаче N тел можно получить ряд новых результатов. Применимость этого метода отнюдь не случайна, поскольку многие физические величины находятся в причинной связи с некоторыми первичными величинами, причем эти связи (или преобразования) обычно образуют группы или полугруппы и, как правило, удовлетворяют определенным законам композиции. Такие преобразования позволяют в ряде случаев получать дифференциальные уравнения (уравнения Ли) для конкретной физической задачи. Так, с использованием соотношений полугруппы (п. г.), найденной в работе Мнацаканяна [2, 6] можно получить дифференциальные уравнения в частных производных для семейств задач (например, задача N тел) с различными начальными условиями. Кроме того, из простых физических соображений можно получить преобразования, относительно которых радиус-вектор остается инвариантным. Эти преобразования, образующие группы [7], позволяют получить дифференциальные уравнения, которые будем называть уравнениями инвариантных преобразований (и. п.). Уравнения п. г. и и. п., будучи записаны для семейств задач с различными начальными значениями, дают возможность получать решения задач N тел при конкретных начальных условиях.

Решение частной задачи трех тел можно несколько упростить, если воспользоваться принципом инвариантности Амбарцумяна [8]. Полученные при этом дифференциальные уравнения представляют собой характеристики соответствующих уравнений п. г. и и. п. В настоящей работе методом полугруппы показана возможность решения задачи N тел при конкретных начальных условиях. Более подробно рассматри-

вается задача трех тел и приводятся некоторые примеры механических систем, для которых удается найти их дальнейшую эволюцию.

**2. Уравнения для семейств начальных условий**

Для нахождения уравнений п. г. и н. п. использованы соотношения: полугруппы (3), принципа подобия (6), а также преобразования инерциальных систем (9), (13), (11).

**А. Соотношение полугруппы.** Пусть в некоторой инерциальной системе  $O$  находятся  $N$  материальных частиц, и движение задается ньютоновским взаимодействием. Тогда для радиус-векторов будем писать

$$\ddot{\vec{r}}_i = -\gamma \sum_{k \neq i}^N \frac{\bar{m}_k}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|^3} (\vec{r}_i - \vec{r}_k) \quad (1)$$

с начальными значениями

$$\vec{r}_{01}, \vec{r}_{02}, \dots, \vec{r}_{0N} = \vec{r}_0, \dot{\vec{r}}_{01}, \dot{\vec{r}}_{02}, \dots, \dot{\vec{r}}_{0N} = \dot{\vec{r}}_0, (\bar{m}_1, \bar{m}_2, \dots, \bar{m}_N) = \bar{m}.$$

Движение  $i$ -ой частицы можно представить как некую функцию  $\vec{r}_{i1}$ , зависящую от времени  $t$ , от совокупности всех начальных координат  $\vec{r}_0$ , скоростей  $\dot{\vec{r}}_0$ , и масс  $\bar{m}$ .

$$\vec{r}_{i1} = \vec{r}_i(t, \vec{r}_0, \dot{\vec{r}}_0, \bar{m}), (\vec{r}_{i1}, \vec{r}_{i2}, \dots, \vec{r}_{iN}) = \vec{r}_i, (\dot{\vec{r}}_{i1}, \dot{\vec{r}}_{i2}, \dots, \dot{\vec{r}}_{iN}) = \dot{\vec{r}}_i. \quad (2)$$

Возможность определения п. г. для механической системы состоит в том, что для любого момента времени  $t_0$  значения совокупностей  $\vec{r}_{t_0}$   $\dot{\vec{r}}_{t_0}$  можно считать начальными значениями для определения движения этих же частиц. Из сказанного следует, что соотношение п. г. запишется в виде:

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{i1} \cdot \vec{i} + \vec{r}_{i2} \cdot \vec{j} + \vec{r}_{i3} \cdot \vec{k}$$

$$\vec{r}_i(t, \vec{r}_0, \dot{\vec{r}}_0, \bar{m}) = \vec{r}_i(t-t_0, \vec{r}_{t_0}, \dot{\vec{r}}_{t_0}, \bar{m}), \quad (3)$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ —единичные векторы инерциальной системы  $O$ . В соотношении п. г. устремив  $t_0$  к нулю получим дифференциальные уравнения в частных производных для семейств задач с различными начальными значениями

$$\frac{\partial \vec{r}_i}{\partial t} = \sum_{\alpha, j} \left( \dot{X}_{0\alpha j} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial X_{0\alpha j}} + G_{0\alpha j} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial X_{0\alpha j}} \right), \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \alpha = 1, 2, 3, \quad (4)$$

в котором

$$\vec{r}_{0i} = X_{01i} \vec{i} + X_{02i} \vec{j} + X_{03i} \vec{k}, \quad \dot{\vec{r}}_{0i} = \dot{X}_{01i} \vec{i} + \dot{X}_{02i} \vec{j} + \dot{X}_{03i} \vec{k},$$

$$\ddot{\vec{r}}_i(t=0) = G_{01i} \vec{i} + G_{02i} \vec{j} + G_{03i} \vec{k}.$$

Если же устремить  $t-t_0 \rightarrow 0$ , то получится тождество.

**Б. Соотношение подобия.** Легко убедиться, что соотношение подобия или соотношение сохранения единиц измерения, можно характеризовать некоторыми преобразованиями, а именно

$$t \rightarrow t' = C_2 \cdot t, \quad \vec{r}_0 \rightarrow \vec{r}'_0 = C_1 \cdot \vec{r}_0,$$

и соответственно

$$\dot{\vec{r}}_0 \rightarrow \dot{\vec{r}}'_0 = C_1 \cdot C_2 \cdot \dot{\vec{r}}_0, \quad \vec{m} \rightarrow \vec{m}' = C_1^3 \cdot C_2^3 \cdot \vec{m}, \quad (5)$$

при которых преобразующийся радиус-вектор остается инвариантным

$$C_1 \cdot \vec{r}_i(t, \vec{r}_0, \dot{\vec{r}}_0, \vec{m}) = \vec{r}_i(t', \vec{r}'_0, \dot{\vec{r}}'_0, \vec{m}'), \quad (6)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  любые конечные числа.

Устремив в (6) параметры  $C_1$  и  $C_2$  к единице, так чтобы величина  $C_1^3 C_2^3$  оставалась равной единице, получим уравнения подобия

$$3t \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial t} - 2\vec{r}_i = \sum_{\alpha, \beta} \left( \dot{X}_{\alpha\beta} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial \dot{X}_{\alpha\beta}} - 2 X_{\alpha\beta} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial X_{\alpha\beta}} \right). \quad (7)$$

**В. Инвариантные преобразования.** Если система К инерциальна относительно системы 0 и в момент времени  $t=0$  начальные значения рассматриваемой механической системы преобразуются как

$$\vec{r}'_{0i} = L_{01} \vec{r}_{0i}, \quad \dot{\vec{r}}'_{0i} = L_{02} \dot{\vec{r}}_{0i}, \quad \vec{r}'_i = L \vec{r}_i,$$

где  $L_{01}, L_{02}, L$  — операторы преобразования от одной системы к другой и  $L_{01}^{-1}, L_{02}^{-1}, L^{-1}$  — соответствующие им обратные операторы, тогда из инвариантности формы радиус-вектора при переходе от одной инерциальной системы к другой, следует, что

$$\vec{r}_i(t, \vec{r}_0, \dot{\vec{r}}_0, \vec{m}) = L \vec{r}_i(t, L_{01}^{-1} \vec{r}_0, L_{02}^{-1} \dot{\vec{r}}_0, \vec{m}). \quad (8)$$

Выбирая систему К различными способами и устремляя ее к системе 0 (т. е. устремляя  $L$  к единичному оператору  $I$ ), мы получим независимые линейные дифференциальные уравнения в частных производных. Чтобы найти эти уравнения рассмотрим частные случаи.

а) Система К сдвинута параллельно относительно системы 0 на расстояние  $\vec{r}_1$ . В этом случае преобразования примут вид

$$L \vec{r}_i = \vec{r}_i + \vec{r}_1, \quad L_{01}^{-1} \vec{r}_{0i} = \vec{r}_{0i} - \vec{r}_1, \quad L_{02} = L_{02}^{-1} = I, \quad (9)$$

где  $\vec{r}_1 = X_1 \vec{i} + X_2 \vec{j} + X_3 \vec{k}$ ,  $X_1, X_2, X_3$  произвольные постоянные.

Подставляя преобразование (9) в соотношение (8) и последовательно устремляя к нулю величины  $X_1, X_2, X_3$ , получим соответствующие уравнения

$$\sum_{\beta=1}^3 \frac{\partial \vec{r}_{\beta i}}{\partial X_{\alpha\beta}} = \delta_{\alpha\beta}, \quad \alpha, \beta = 1, 2, 3, \quad (10)$$

где  $\delta_{\alpha\beta}$  — символ Кронекера.

б) Пусть система К повернута на бесконечно малый угол  $\vec{\omega} \cdot \Delta t$  ( $\vec{\omega}$  произвольный вектор), без сдвига, тогда

$$L \vec{r}_i = \vec{r}_i + [\vec{\omega} \times \vec{r}_i] \cdot \Delta t, \quad L_{01}^{-1} \vec{r}_{0i} = \vec{r}_{0i} - [\vec{\omega} \times \vec{r}_{0i}] \cdot \Delta t,$$

$$L_{02} \vec{r}_{0i} = \dot{\vec{r}}_{0i} - [\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}_{0i}] \cdot \Delta t. \quad (11)$$

Далее, устремляя  $\Delta t$  к нулю, получим уравнения

$$[\vec{\omega} \times \vec{r}_i] = \sum_{\alpha, j} \left\{ [\vec{\omega} \times \vec{r}_{0j}]_{\alpha} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial X_{0\alpha j}} + [\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}_{0j}]_{\alpha} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial \dot{X}_{0\alpha j}} \right\}, \quad (12)$$

которых  $[\vec{\omega} \times \vec{r}]_{\alpha}$  значение проекции вектора  $[\vec{\omega} \times \vec{r}]$  на ось  $X_{\alpha}$  ( $X_1 = X, X_2 = Y, X_3 = Z$ ) в инерциальной системе 0.

в) Система К в момент  $t=0$  начинает прямолинейное и равномерное движение от начала системы 0 и остается параллельна ей, тогда

$$L \vec{r}_i = \vec{r}_i + \vec{r}_1 \cdot t, \quad L_{02} \dot{\vec{r}}_{0i} = \dot{\vec{r}}_{0i} - \dot{\vec{r}}_1, \quad L_{01} = L_{01} = L, \quad \dot{\vec{r}}_1 = P_1 \vec{i} + P_2 \vec{j} + P_3 \vec{k}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (8) и поочередно устремляя величины  $P_{\alpha}$  к нулю, соответственно получим

$$\sum_{j=1}^N \frac{\partial \vec{r}_{\beta i}}{\partial X_{0\alpha j}} = t \cdot \delta_{\alpha \beta}. \quad (14)$$

3. Совместное решение уравнений (4), (7), (10), (12), (14) при конкретных начальных условиях

Пусть начальные значения  $\vec{r}_0, \dot{\vec{r}}_0, \vec{m}$  механической системы и параметры  $t_0, \vec{r}_1, \dot{\vec{r}}_1, \vec{\omega}$  удовлетворяют следующим условиям

$$t_0 \cdot \dot{\vec{r}}_0 - [\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}_{0i}] \cdot t_0 - 2\vec{r}_{0i} = \vec{r}_1, \quad \vec{G}_{0i} \cdot t_0 - [\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}_{0i}] \cdot t_0 + \dot{\vec{r}}_{0i} = \dot{\vec{r}}_1. \quad (15)$$

Тогда уравнения (10), (14) умножая на  $X_{\alpha}, P_{\alpha}$  и суммируя по  $\alpha$ , а уравнения (12), (4) умножая на  $t_0$  и складывая их с уравнениями (7), получим отдельные обыкновенные дифференциальные уравнения для каждой частицы.

$$(3t + t_0) \frac{d\vec{r}_i}{dt} = 2\vec{r}_i - [\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}_i] \cdot t_0 - \vec{r}_1 - \dot{\vec{r}}_1 t_0 \quad (16)$$

начальными условиями  $\vec{r}_i(t=0) = \vec{r}_{0i}$ .

Пусть начало системы 0 совпадает с центром инерции механической системы и ось  $X_3$  направлена по  $\vec{\omega}$  (т. е.  $\vec{r}_1 = 0, \dot{\vec{r}}_1 = 0, \vec{\omega} = \omega \cdot \vec{k}$ ). Тогда решение уравнения (16) в полярных координатах  $r, \varphi, \Psi$  примет вид

$$r_i = r_{0i} \left( 1 + \frac{3t}{t_0} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad \psi_i = \psi_{0i} \\ \varphi_i = \varphi_{0i} + \frac{1}{3} \omega t_0 \ln \left( 1 + \frac{3t}{t_0} \right). \quad (17)$$

Из (17) видно, что движение частиц с начальными условиями (15) происходит по конической поверхности, при этом конфигурация системы остается подобной начальной конфигурации. При  $t_0 < 0$  возможно

лишь  $N$  кратное соударение через промежуток времени  $-t_0/3$ , а при  $t_0 \sim \infty$  движение круговое. Для задачи трех тел решения (17), в частном случае, совпадают с решениями Лагранжа, т. е. три тела образуют равносторонний треугольник [9].

#### 4. Получение диф. уравнений для задачи трех тел методом полугрупп

Рассмотрим задачу трех тел. В общем случае частицы в некоторой инерциальной системе  $O$  в начальный момент могут иметь любые значения координат и скоростей. Однако, если известно движение частиц для частного семейства начальных условий (семейства  $K$ ), например,

$$\begin{aligned} \vec{r}_{01} = 0, \quad \vec{r}_{02} = k_1 \vec{i}, \quad \vec{r}_{03} = k_2 \vec{i} + k_3 \vec{j}, \quad \dot{\vec{r}}_{01} = 0, \quad \dot{\vec{r}}_{02} = k_4 \vec{i} + k_5 \vec{j} + k_6 \vec{k}, \\ \dot{\vec{r}}_{03} = k_7 \vec{i} + k_8 \vec{j} + k_9 \vec{k}, \end{aligned}$$

то в общем случае движение частиц, очевидно, можно найти; поскольку всегда можно указать такую инерциальную систему, в которой начальные условия принадлежат семейству  $K$ . В этом случае радиус-вектор зависит от  $t$ ,  $K$ ,  $m$ ,  $(k_1, k_2, \dots, k_9) = K$ .

Пусть в момент  $t=0$  значения координат и скоростей частиц принадлежат семейству  $K$ . Ясно, что при описании той же задачи с начальными значениями, выбранными в момент  $t_1$ , последние, вообще говоря, могут уже не принадлежать семейству  $K$ , поэтому для величин

$\vec{r}_i$  соотношение п. г. в форме (3) уже не будет иметь места. Для получения аналогичного соотношения, для каждого момента времени  $t_0$  выберем такую инерциальную систему  $OK$  (например, систему, приведенную на рис. 1), по отношению к которой преобразованные координаты и скорости принадлежали бы семейству  $K$ . Тогда через бесконечно малый промежуток времени  $\Delta t$  величины семейства  $K$  соответственно преобразуются к виду

$$t \rightarrow t_1 + \Delta t \quad k_i \rightarrow k_i + k_i \omega_i \Delta t,$$

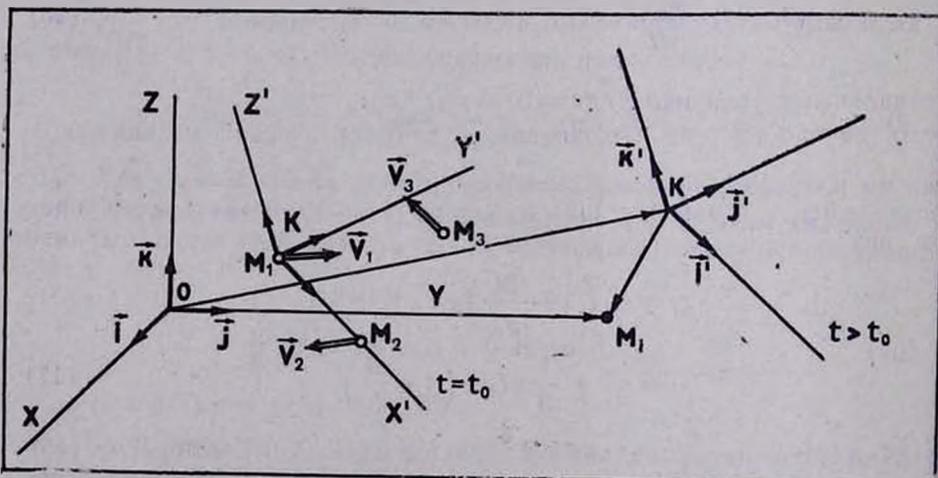


Рис. 1. Система  $K$  движется прямолинейно и равномерно по направлению  $V_1$ , частица  $M_3$  находится на плоскости  $X'KY'$  в момент времени  $t=t_0$

где  $\omega_1 k_1 = k_4$ ,  $\omega_2 k_1 k_2 = k_1 k_7 + k_2 k_3$ ,  $\omega_3 k_2 k_3 = k_1 k_8 - k_2 k_5$ ,  
 $\omega_4 k_1 k_4 = (G_{12} - G_{11}) k_1 + k_5^2 k_2^2$ ,  $k_2 k_6 - k_1 k_4 = \tau$ , (18)  
 $\omega_5 k_1 k_3 k_5 = (G_{22} - G_{21}) k_1 k_3 - k_2 k_4 k_5 - \tau k_6$ ,  $\omega_6 k_1 k_3 k_6 = -k_5 - k_3 k_4 k_5$   
 $\omega_7 k_1 k_7 = (G_{13} - G_{11}) k_1 + k_5 k_8 + k_6 k_9$ ,  $\omega_8 k_1 k_3 k_8 = -k_8 - k_3 k_6 k_7$   
 $\omega_9 k_1 k_3 k_9 = (G_{33} - G_{31}) k_1 k_3 - k_2 k_5 k_8 - \tau k_9$ ,

а система ОК будет ориентирована по закону

$$\vec{i}' = \vec{i} + \frac{k_5 \vec{i} + k_6 \vec{k}}{k_1} \Delta t, \vec{j}' = \vec{j} + \frac{-\tau \vec{k} - k_3 k_5 \vec{i}}{k_1 k_3} \Delta t, \quad (19)$$

т. е. система ОК повернется на малый угол

$$\omega \Delta t, \vec{\omega} = \frac{k_3}{k_1} \vec{k} - \frac{\tau}{k_1 k_3} \vec{i} - \frac{k_6}{k_1} \vec{j}. \quad (19a)$$

По прошествии времени  $t$  начало координат системы ОК будет двигаться по отношению к системе О по закону

$$\vec{OK} = \vec{r}_1(t_1 + \Delta t) + \vec{r}_1'(t_1 + \Delta t) \cdot t \quad (196)$$

и согласно инвариантности формы радиус-векторов, для каждой частицы в системе ОК, можно записать

$$\vec{KM}_i = \vec{r}_i'(t, K, \vec{m}) = r_{1i} \vec{i}' + r_{2i} \vec{j}' + r_{3i} \vec{k}'. \quad (20)$$

Из рис. 1 видно, что имеет место выражение  $\vec{OM}_i = \vec{OK} + \vec{KM}_i$ , которое с учетом (18) — (20) переходит в соотношение п. г. для радиус-векторов. Далее, устремляя  $\Delta t$  к нулю при  $t_1 = 0$ , получим следующее уравнение

$$\frac{\partial \vec{r}_i}{\partial t} = t \cdot \vec{G}_{01} + [\vec{\omega} \times \vec{r}_i] + \sum_{\alpha=1}^9 \omega_\alpha k_\alpha \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial k_\alpha}. \quad (21)$$

Если записать уравнение (7) для случая начальных условий, принадлежащих семейству К, то с учетом (21) окончательно получим

$$(3t + t_0) \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial t} = 2\vec{r}_i + [\vec{\omega} \times \vec{r}_i] \cdot t_0 + \vec{G}_{01} \cdot t_0 \cdot t + \vec{S}_i, \quad (22)$$

$$\vec{S}_i = \sum_{\alpha=1}^9 n_\alpha k_\alpha \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial k_\alpha}, \quad n_\alpha = \begin{cases} \omega_\alpha t_0 - 2, & \alpha \leq 3, \\ \omega_\alpha t_0 + 1, & \alpha \geq 4, \end{cases}$$

уравнение, обобщающее уравнения п. г. и н. п.

### 5. Обсуждение результатов

Рассмотрим некоторые возможности решения уравнения (22), описывающего задачу трех тел. Поскольку уравнение (22) получено из независимых уравнений (21) и (7), то при конечных значениях  $\omega_\alpha k_\alpha$  (конечность которых предполагается всюду),  $t_0$  можно выбрать таким образом, чтобы одна из величин  $n_\alpha$  стала равной нулю (т. е. исключить одно из слагаемых величины  $\vec{S}_i$ ). Если семейство К таково, что величины  $\vec{S}_i$  равны нулю, то решением уравнения (22) будет (17), поскольку выбранные начальные значения будут удовлетворять условиям (15).

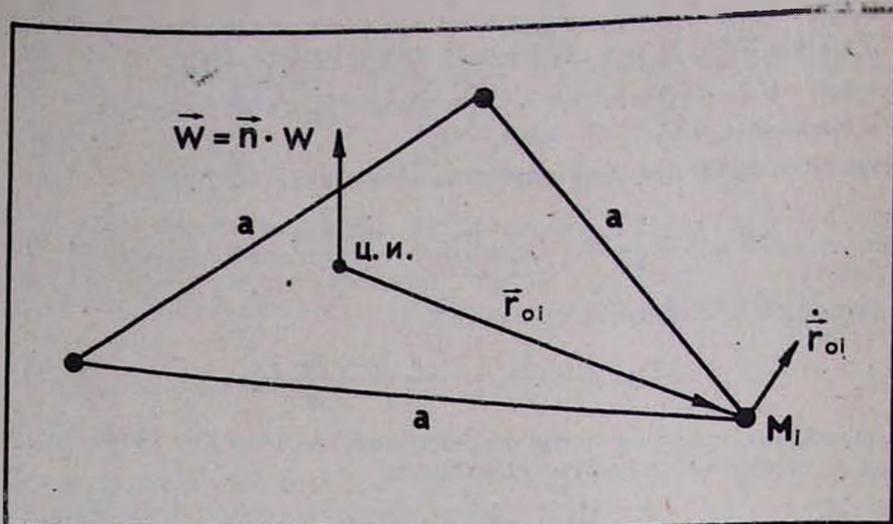


Рис. 2. Частицы образуют равносторонний треугольник, а перпендикуляр  $\vec{n}$  (восстановленный в ц. и., в который можно поместить частицу) совпадает с направлением вектора  $\omega$

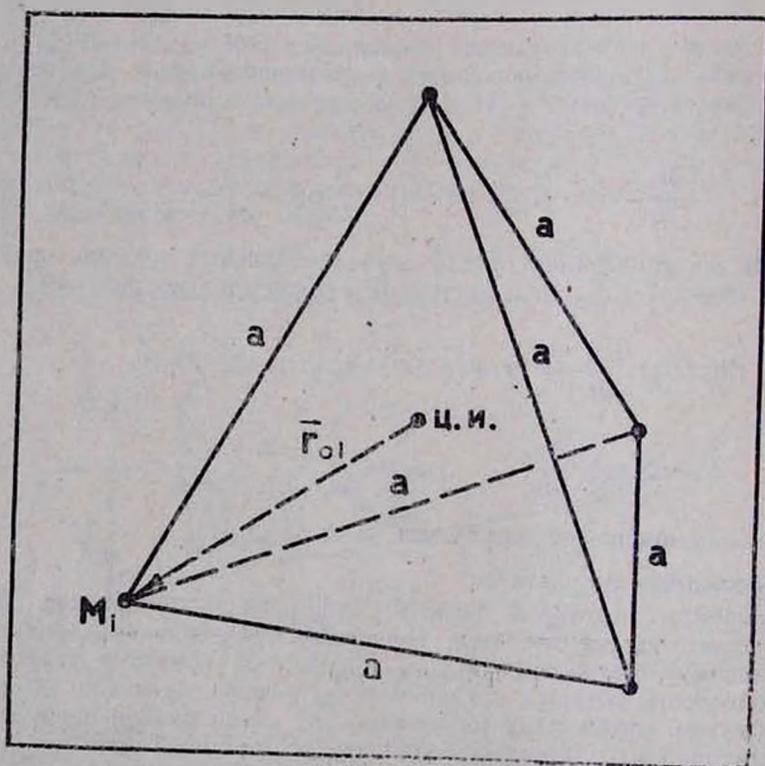


Рис. 3. Частицы составляют тетраэдр, в ц. и. которого можно поместить частицу

Если семейство  $K$  выбрано так, что независимо от других значений  $\alpha$  только одна величина ( $\alpha=h$ ) не равна нулю, то последний член

уравнении (22) можно преобразовать к виду  $\vec{S} = n_h k_h \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial k_h}$ .

Таким образом, выбирая определенные начальные значения можно достигнуть понижения порядка уравнения (22) и соответственно упростить его аналитическое или численное решение. Нужно отметить, что в общих начальных значениях семейства  $K$ , нет необходимости в решении уравнений (22), поскольку преобразования (18) в дифференциальном виде (т. е.  $k_\alpha = \omega_\alpha k_\alpha$ ) представляют собой характеристики уравнений (21). Кроме того, при известных  $k_\alpha$  задачу можно считать решенной в общих чертах. При решении уравнения (22), можно считать, что в предельных точках  $k_\alpha \sim \infty$  значения  $\vec{r}_i$  определены. В тексте иллюстраций приведены простые механические системы, удовлетворяющие условиям (15) на рис. 2, 3, 4.

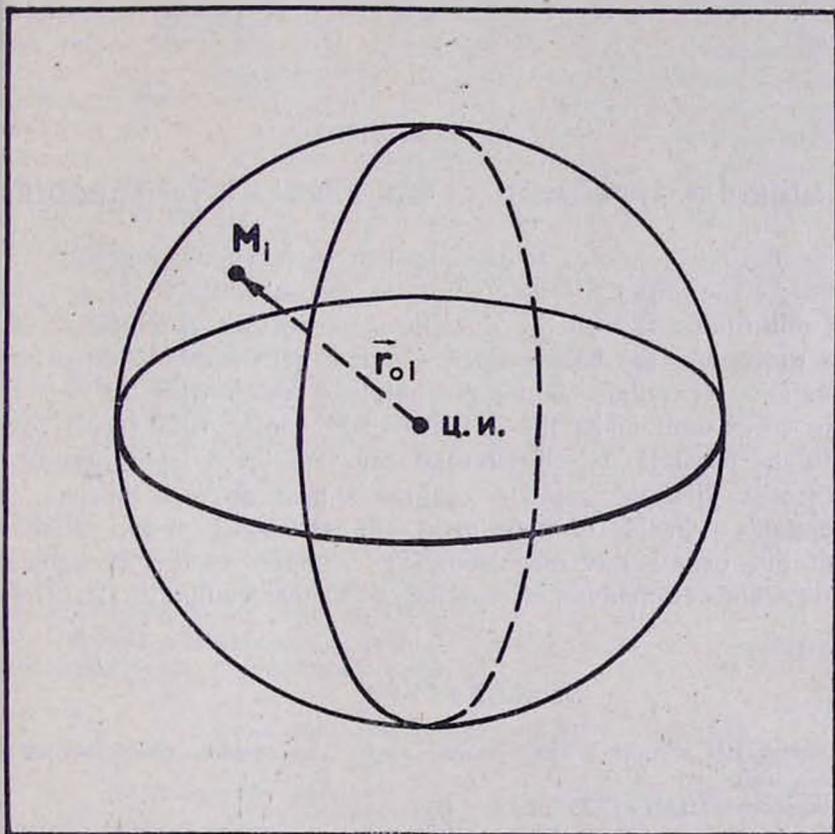


Рис. 4. Частицы распределены в шаре равномерно

В заключение автор выражает благодарность М. А. Мнацаканя за полезные советы и обсуждение настоящей работы.

30 июля 1987 г.

## ԿԻՍԱԽՄՐԱԿԱՑԻՆ ԵՂԱՆԱԿ N-ՄԱՐՄՆԻ ԽՆՂՐԻ ԼՈՒՄՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Զարգացվել է կիսախմբային եղանակ N-մարմնի խնդրի ուսումնասիրման համար: Արտածված են մասնակի ածանցիալներով դիֆֆերենցիալ հավասարումներ տարբեր սկզբնական պայմաններով խնդրի ընտանիքի համար: Ֆիզիկական գաղափարների հիման վրա ստացված են ինվարիանտ ձևափոխություններ շառավիղ վեկտորի համար, որոնք կիսախմբի կիրառման հետ միասին, թույլ են տալիս լուծել N-մարմնի խնդիրը մասնակի սկզբնական պայմանների դեպքում:

Համաբարձումյանի ինվարիանտության սկզբունքի մասնակի օգտագործումը թույլ է տալիս գրել դիֆֆ-հավասարում երեք մարմնի խնդրի սկզբնական պայմանների ընտանիքի համար: Քննարկվում է այդ հավասարման ընդհանուր տեսքով լուծման հնարավորություն: Բերվում են մեխանիկական համակարգերի օրինակներ, որոնց համար հաջողվում է նկարագրել համակարգի էվոլյուցիան:

A. A. BEGLARIAN

## THE SEMIGROUP APPROACH TO THE PROBLEM OF N BODIES

The semigroup approach to the problem of N bodies investigation is developed. The differential equation in partial differences for the problems multitudes problem of N bodies with different initial conditions are given. On the basis of the physical considerations invariant transformations for radius-vectors are obtained which with the help of semigroup correlation make the problem of N bodies with special initial conditions possible. The differential equation for 3 bodies problem multitudes with different initial conditions is possible with the help of Ambartsumian's principle of invariance. The possibility of the common solving of this equation is discussed. The examples of the mechanical systems for which we manage to describe the further evolution are given.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Мнацаканян, Новый аппарат теории переноса в плоском слое, Докт. дис., Ереван, 1983.
2. М. А. Мнацаканян, ДАН СССР, 262, 4, с. 856, 1982.
3. Д. В. Ширков, Теор. и мат. физ., 60, 2, с. 218, 1984.
4. Д. В. Ширков, Преприят ОИЯИ, Дубна, Е2-83-790, 1983.
5. Д. В. Ширков, ДАН СССР, 263, 1, с. 64, 67, 1982.
6. М. А. Мнацаканян, Сообщ. Бюраканской обл., 50, 59, 1978.
7. Л. В. Овсянников, Групповые свойства дифференциальных уравнений, АН СССР, Сибирское отделение, Новосибирск, 1962.
8. В. А. Амбарцумян, Научные труды, т. 1, Ереван, 1960.
- 9) Г. И. Дубошин, Небесная механика, Основные задачи и методы, М.: Наука, 1968.

Г. В. АБРАМЯН

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИКИ ТЕЛЕСКОПА ЗТА-2.6 м. ВЕДУЩИЕСЯ НА ТЕЛЕСКОПЕ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Методом Гартмана исследовано качество основных оптических систем телескопа ЗТА-2.6 м Бюраканской астрофизической обсерватории. Приведены значения волновых aberrаций главного зеркала. Рассмотрены вопросы астроклимата башни и апертюры телескопа.

**1. Введение.** Одним из основных методов исследования качества оптической системы, получившем широкое распространение в настоящее время, является метод Гартмана [1]. Мейнел и Василевскис применили метод Гартмана для полного восстановления исследуемого волнового фронта [2]. В СССР метод Гартмана начал активно развиваться в связи с разработкой и реализацией проекта шестиметрового телескопа. Особенно успешными оказались разработки по усовершенствованию и применению метода Гартмана, выполненные в ИОМО-ЛИТМО [3—5], в САО АН СССР [6—9], и в КрАО АН СССР [10, 11].

Начиная с 1984 г. метод Гартмана широко применялся для исследования качества оптических систем и юстировки телескопа ЗТА-2.6 м Бюраканской астрофизической обсерватории.

**2. Основные оптические системы и качество оптики телескопа ЗТА-2.6 м.** Телескоп ЗТА-2.6 м вошел в строй в 1976 г. Качество его главного параболического стеклянного зеркала оказалось неудовлетворительным и обсерватория приняла решение заменить его новым, более качественным. В конце 1983 г. завершились механические работы по замене стеклянного зеркала телескопа на новое—ситалловое. В 1986 г. силами обсерватории телескоп был оснащен оптической системой Кассегрена, которая по проекту не была предусмотрена. Работы по расчету, реализации и исследованию качества системы Кассегрена завершились к середине 1986 г.

Перечень основных оптических систем телескопа с необходимыми характеристиками приведен в табл. 1.

Таблица 1

Основные оптические параметры телескопа ЗТА-2.6 м

Оптическая система	F, мм	D/F	2w, мин	Масштаб уг. с. мм
Первичный фокус без корректора	9965	1:3.83	2	20.701
Первичный фокус с корректором 1	9978	1:3.84	12	20.671
Первичный фокус с корректором 2	10000	1:3.85	45	20.636
Фокус Нэсмита 1	40237	1:15.48	4	5.136
Фокус Нэсмита 2	37453	1:14.40	4	5.500
Фокус Кассегрена	42698	1:16.42	4	4.830
Фокус Кудэ	105428	1:40.70	1.7	1.960

Как видно из таблицы, система Кассегрена по оптическим параметрам сильно не отличается от системы Нэсмита. Но надо отметить, что оснащение телескопа системой Кассегрена по приближенным оценкам на 30% повысило пропускание оптики телескопа (было устранено диагональное плоское зеркало системы Нэсмита). Кроме того, на 25—30% повысился коэффициент использования фотопленки. Временное неудобство из-за удобного расположения фокуса Кассегрена во время наблюдений в фокусе Кассегрена отпадает необходимость использования подъемных механизмов для приближения наблюдателя к светоприемной аппаратуре. С созданием системы Кассегрена стало возможным проведение поляриметрических наблюдений, которые в системе Нэсмита связаны с дополнительными трудностями и ошибками, вносимые плоским диагональным зеркалом [12].

Создание системы Кассегрена способствовало также внедрению новых, более рациональных решений некоторых конструктивных вопросов, связанных с юстировкой диагонального плоского зеркала системы Нэсмита. Полностью был видоизменен механизм юстировки этого зеркала, в результате чего он стал более технологичным.

В течение 1984 г. параллельно с юстировочными работами, которые выполнялись, в основном, с использованием метода Гартмана проводились работы по исследованию всех основных оптических систем телескопа, кроме системы Кудэ. Первый этап этих исследований завершился в середине 1986 г.

Телескоп ЗТА-2.6 м оснащен диафрагмой Гартмана с радиальным расположением отверстий. Диаметр отверстий и их взаимное расположение рассчитаны согласно условиям М. Романовой [13]. Конструктивные данные диафрагмы приведены на рис. 1. Диафрагма размещается на верхнем кольце телескопа.

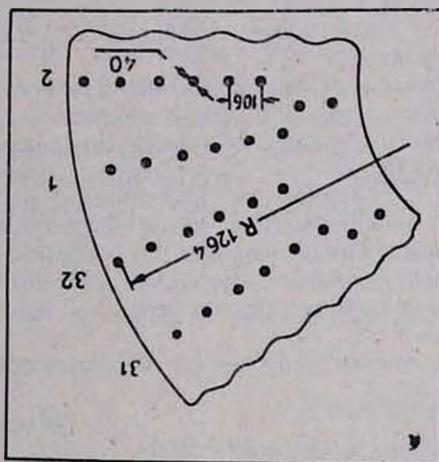


Рис. 1. Конструктивные данные и схема расположения отверстий штатной диафрагмы Гартмана телескопа ЗТА-2.6 м

а) Качество второго главного зеркала и его юстировка. Главное зеркало телескопа ЗТА-2.6 м параболическое, с диаметром 2.6 м и с фокусным расстоянием 9965 мм. Оно изготовлено из ситалла.

Результаты цеховых исследований качества зеркала наряду с результатами наших исследований, проведенные на телескопе методом

исследованиями были получены как одиночные, так и двойные снимки-гартманогрaммы. Расстояние между предфокальными и зафокальными снимками составляло 360 мм. В ходе проведения наших исследований, в общей сложности, было получено 14 одиночных и 97 двойных гартманогрaммы с экспозициями от 30<sup>с</sup> до 2<sup>м</sup>. Из них были отобраны и обработаны 157 лучших гартманогрaммы. Измерения координат изображений отверстий проводились на измерительном микроскопе «Аскорекод». Обработка проводилась на ЭВМ ЕС-1030 по программе, разработанной в ЛИТМО.

Гартмана, приведены в табл. 2. Данные исследований зеркала на телескопе получены усреднением результатов обработки 16 двойных гартманогрaмм. Разброс в значениях аберраций не превосходит 0,2 длины волны ( $\lambda=546$  мкм). В цеху зеркало исследовалось двумя различными интерференционными методами и методом Гартмана.

Результаты цеховых исследований показывают, что зеркало как по концентрации энергии, так и по значениям остаточных аберраций, имеет довольно высокое качество.

Картина совершенно изменилась после установки главного зеркала на телескоп. Величины комы и сферической аберрации находятся в пределах допустимых значений. Значение астигматизма более чем в пять раз превышает допуск на эту аберрацию. Появлением повышенного астигматизма и объясняется понижение концентрации энергии в кружке рассеяния по сравнению с цеховыми результатами. После включения в расчеты астигматизма концентрация повышается до уровня цеховых значений, что следует из результатов (табл. 3) обработки пары гартманогрaмм № 506—507.

Таблица 2

Качество главного зеркала телескопа ЗТА-2,6 м

Метод контроля	Энергия, %		Аберрации Зайделя 3—го порядка в дл. волны ( $\lambda=546$ мкм)		
	0.5	1	Кома	Сферическая	Астигматизм
Гартмана	88	96	0.193	-0.047	0.278
Интерференционный 1	86	94	0.003	-0.016	0.273
Интерференционный 2	86	95	0.086	-0.106	0.374
Гартмана (на телескопе)	78	88	0.722	-0.458	1.371
Допуски на амплитуды аберраций в дл. волны			0.6	1.0	0.25
Тех. задание на изготовление главного зеркала	70	90			

Таблица 3

Результаты обработки пары гартманогрaмм № 506—507

Диаметр кружка рассеяния, в уг. с	Концентрация энергии без исключения астигматизма	Концентрация энергии после исключения астигматизма
0.5	56	80
1.0	85	92

Причиной повышенного астигматизма может быть различие технологических и штатных разгрузочных механизмов, чем можно объяснить также и небольшое повышение величины сферической аберрации.

Картина астигматизма хорошо видна на рис. 2, где приведена карта отклонений поверхности зеркала от расчетной в мкм.

Изучение внефокальных изображений ярких звезд, а также и детальное рассмотрение мест сосредоточения наибольших по модулю поперечных аберраций показывают, что другой по величине после астигматизма ошибкой поверхности главного зеркала телескопа является резкий завал наружного края зеркала. Предфокальные изображения ярких звезд имеют разрежение почернения по краям, а зафокальные—

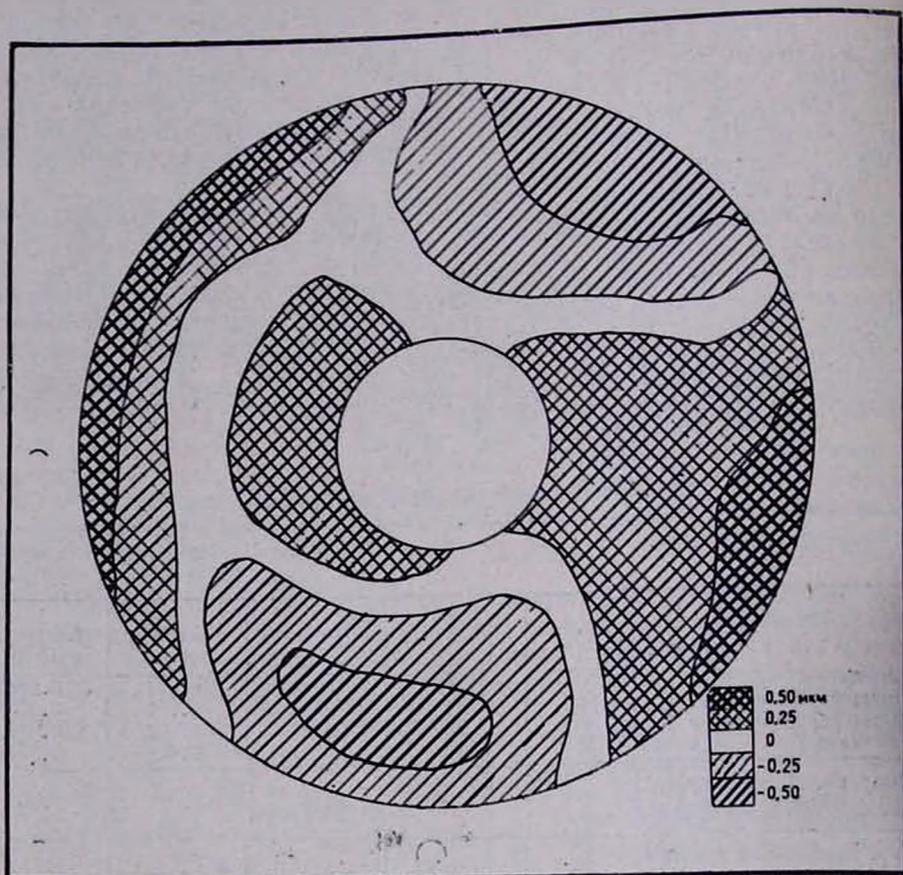


Рис. 2. Карта отклонений поверхности зеркала от расчетной в мкм

уплотнение. Такая характерная картина может получиться только при наличии завала наружного края зеркала. В пользу данного объяснения говорит и тот факт, что после закрытия края зеркала диафрагмой шириною в 150 мм, эффект разрежения и уплотнения краев внефокальных изображений звезд исчезает полностью. Снимки предфокальных изображений звезд приведены на рис. 3.

В табл. 4 приведены концентрации собираемой энергии для отдельных зон зеркала, полученные на основе поперечных aberrаций каждой зоны (ширина зон—53 мм).

Из данных табл. 4 следует, что краевые три зоны шириною в 150 мм значительно уступают по качеству изготовления средним зонам зеркала.

На рис. 4 приведена цеховая интерферограмма зеркала. Значительное искривление интерференционных полос по краям также указывает на наличие завала края.

Следующим доказательством завала края зеркала служит наличие слабого ореола вокруг фокальных изображений звезд.

Приведенное в табл. 3 значение комы показывает, что юстировка главного зеркала хорошая. Величина остаточной комы в  $0.7\lambda$  несомненно превосходит допустимое ( $0.6\lambda$ ).

Таблица 4

Распределение энергии в кружке рассеяния по отдельным зонам  
главного зеркала телескопа ЗТА-2.6 м

Диаметр кружки рассея- ния, в уг.с	Средний диаметр зон, мм													
	575	628	681	734	787	840	893	946	999	1052	1105	1158	1211	1264
	Энергия, %													
0.25	6	6	19	6	13	6	13	25	6	13	19	6	13	6
0.50	33	50	37	31	38	38	31	44	25	50	44	38	13	13
1.00	65	75	87	56	94	88	75	81	69	69	75	50	31	31
1.50	86	94	100	94	94	100	94	94	100	88	88	88	44	56
2.00	91	100	100	100	94	100	100	94	100	100	88	100	63	69
2.50	96	100	100	100	94	100	100	94	100	100	100	100	81	81

Резюмируя сказанное, можно прийти к выводу, что второе главное зеркало телескопа ЗТА-2.6 м обладает астигматизмом порядка  $1.5\lambda$  и сферической аберрацией—около  $0.5\lambda$ . Кроме того, имеется завал наружного края зеркала. Устранение указанных недостатков требует торичной цеховой обработки поверхности зеркала с более высокой точностью, чем была применена первоначально.

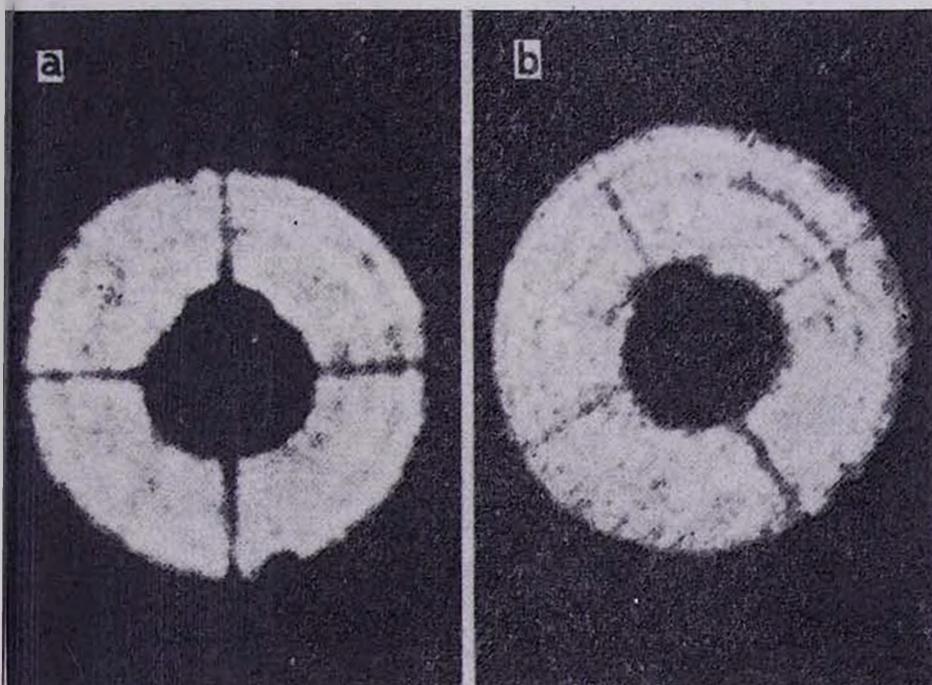


Рис. 3. Предфокальные снимки ярких звезд: а—полностью открытое зеркало, б—край зеркала задифрагмирован на 100 мм

б) Качество изображений в системах Кассегрена и Нэсмита. Результаты исследования методом Гартмана систем Кассегрена и Нэсмита телескопа приведены в табл. 5, из которой следует, что величины остаточной комы находятся в пределах допустимых значений и юс-

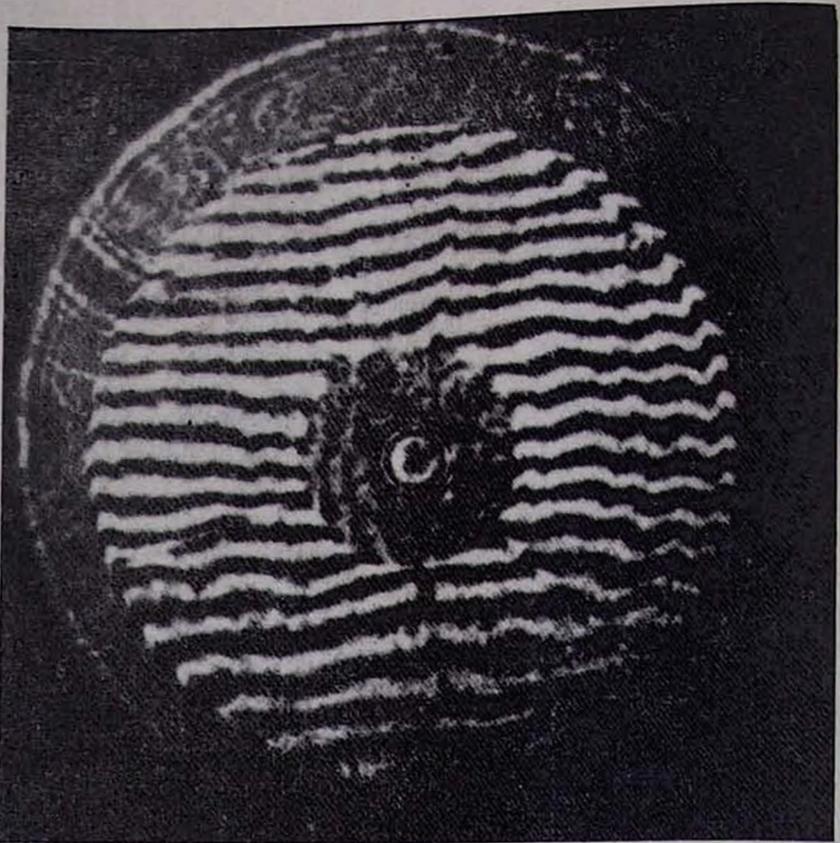


Рис. 4. Цеховая интерферограмма главного зеркала телескопа ЗТА-2.6 м

тировка этих систем выполнена качественно. Кроме того, как следует из приведенных значений концентрации энергии в кружке рассеяния, вторичное гиперболическое зеркало значительно не ухудшает изображения, что свидетельствует в пользу его высококачественного изготовления. Небольшое повышение величины сферической аберрации в системе Кассегрена является следствием уменьшения воздушного зазора между главным и вторичным зеркалами, которое требовалось для обеспечения выноса фокальной плоскости на требуемое расстояние за главным зеркалом.

Таблица  
Качество оптических систем Кассегрена и Нэсмита телескопа ЗТА-2.6 м

Оптическая система	Энергия, %		Аберрации Зайделя 3-го порядка в дл. волны		
	0.5	1	Кома	Сферическая	Астигматизм
Кассегрена	55	83	0.731	-0.716	1.404
Нэсмит 1	53	85	0.726	-0.560	1.035
Допуски на амплитуды аберраций в дл. волны			0.6	1.0	0.25

Вторичное гиперболическое зеркало рассчитано специально для системы Нэсмита. Обсерватория заказала в ЛОМО новую гиперболу для системы Кассегрена. Предполагается для его изготовления использовать плавленый кварц.

3. Точностные и эксплуатационные характеристики телескопа. Точностные характеристики наведения телескопа обычны для сельсинных систем и ошибки не превосходят  $\pm 15$ — $20$  уг. с по обоим координатам. Следящая система телескопа кварцевая с дополнительным фотогидом для наблюдений в главном фокусе. В ближайшее время предусмотрено завершить переоборудование фотогида для обеспечения фотогидирования во время спектральных наблюдений в фокусе Кассегрена. Кроме того, завершаются работы по оснащению телескопа телевизионной системой «Карат», которая предназначена для офсетного гидирования в первичном фокусе телескопа и для гидирования на щели спектрографа в системе Кассегрена.

Десятилетний период эксплуатации телескопа ЗТА-2.6 м показывает высокое качество разработки и изготовления его механических и электрических систем, надежность которых высокая. Значительных неполадок за время эксплуатации не проявлялось.

4. Астроклиматические характеристики комплекса телескопа ЗТА-2.6 м. По количеству ясных ночей Бюраканская астрофизическая обсерватория особенно не выделяется среди обсерваторий Закавказья. Среднее количество ясных ночей в году (вместе с лунными ночами) составляет 100—120. По многолетним оценкам Бюраканских наблюдателей размеры изображений заключены, в среднем, в пределах  $2''$ — $2''.5$ .

Особенно неблагоприятным фактором для наблюдений в Бюракане является повышенный фон ночного неба, основным источником которого является уличное освещение близлежащих населенных пунктов—г. Ереван, Араратская долина, г. Аштарак и с. Бюракан. Согласно нашим электрофотометрическим оценкам [14], а также и по результатам измерений астрономов наблюдательной станции АО ЛГУ, в Бюракане в зените в безлунные ночи свечение ночного фона в настоящее время по сравнению с 1976 г. увеличилось на  $1^m$  и составляет  $21^m.3$  с квадратной секунды в полосе В системы UVV. Эта величина повышается на  $0^m.5$ — $1^m$  на зенитных расстояниях  $40^\circ$ — $50^\circ$ , в зависимости от азимута. Приведенное значение фона приблизительно на  $1^m$  превышает соответствующую величину фонового свечения естественного происхождения. Ясно, что на  $1^m$ — $2^m$  снижаются и предельные характеристики телескопа в зависимости от зенитного расстояния и азимута наблюдаемой области. По нашим оценкам предельная величина телескопа на прямых снимках, полученных на фотопластинках Kodak 103 аО без фильтра с 30-минутной экспозицией в зените при хороших изображениях составляет  $21^m.5$ . В фокусе Кассегрена, в подсмотре поля спектрографа уверенно можно отождествлять и наводить щель на звезду предельной величины  $17^m.5$ .

Оценки качества изображений, проводимые нами на щели спектрографа UAGS в фокусе Кассегрена телескопа ЗТА-2.6 м, показывают систематическое ухудшение изображений в летние периоды относительно зимних. Причина этого явления связана с низкими астроклиматическими свойствами башни и купола телескопа. С целью детального исследования терморегима всего комплекса была разработана, изготовлена и смонтирована система цифровых термометров с возможностью квазисовременного опроса температуры в сорока точках башни, купола и телескопа. Измерения температуры проводи-

лись в сентябре-ноябре 1986 г., а также январе 1987 г. Отсчеты температуры снимались круглосуточно, с интервалом времени в один час. Результаты этих исследований показывают, что в зависимости от средней температуры и облачности неба, в среднем, ночью при открытом куполе температура подкупольного пространства стабилизируется на  $2^{\circ}$ — $8^{\circ}$  С выше от наружной. Более теплое подкупольное пространство способствует возникновению неоднородных воздушных потоков теплого воздуха из подкупольного пространства наружу, в результате чего и ухудшаются изображения. Указанный градиент температуры уменьшается зимой.

Возникновению больших градиентов температуры способствует наличие нескольких факторов, главными из которых являются: а) отсутствие конвекционного теплообмена подкупольного пространства с наружной средой при закрытом куполе, б) отсутствие пассивной защиты всего комплекса от прямого излучения Солнца, в) использование сравнительно теплоемких конструкционных материалов при изготовлении купола и в строительстве башни. Для устранения больших градиентов предусматривается кондиционирование воздуха в подкупольном пространстве. Кроме того, проектируется теплозащитный дюралюминиевый экран, который будет экранировать башню от прямого излучения Солнца. Предусмотрено также окрасить купол и защитный экран башни краской с высоким коэффициентом отражения. Все эти меры должны способствовать поддержанию стабильной, близкой к ночной, температуры в подкупольном пространстве.

5. Основные методы наблюдений. В настоящее время на телескопе ЗТА-2.6 м возможно проведение наблюдений со следующими основными методами: а) фотографические прямые наблюдения в главном фокусе с корректором 47-минутного поля. Кассеты фотопластинок размером  $16 \times 16$  см оснащены широкополосными светофильтрами системы UBVR, б) спектральные наблюдения в фокусе Кассегрена и Нэсмита со спектрографом UAGS. Спектрограф оснащен ЭОПом УМК-91 В конструкции САО [15], в) спектральные наблюдения в фокусе Нэсмита со спектрографом АСП-32 с широким диапазоном дисперсий. Светоприемником для спектрографа служит фотопластинка. Намечается оснащение спектрографа АСП-32 ЭОПом типа УМК-91 В, г) электрофотометрические UVV наблюдения в фокусах Кассегрена и Нэсмита с помощью одноканального электрофотометра венгерского производства. Электрофотометр управляется микроЭВМ, запись результатов проводится на гибкие диски.

Проводятся работы для приобретения и оснащения спектрографов телескопа телевизионной светоприемной системой «Квант».

Согласно решению Ученого Совета Бюраканской астрофизической обсерватории 60% наблюдательного времени на телескопе ЗТА-2.6 м отводится для выполнения девяти долгосрочных наблюдательных программ, охватывающих широкий круг астрофизических задач. Например, ведущаяся автором данной работы программа «Спектральное исследование голубых и красных звездных объектов Первого Бюраканского обзора неба» содержит несколько тысяч объектов и рассчитана на 5 лет.

Около 10% наблюдательного времени распределяется по решению КТШТ, 10% отводится на техническое обслуживание телескопа, а остальные 20% времени предоставляются для выполнения краткосрочных программ.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность Л. И. Снежко и Р. Е. Гершбергу за ценные советы в ходе вы-

полнения этой работы. Автор искренне признателен Ю. Л. Шахбазяну за оказанную помощь в создании системы Кассегрена, а также и В. В. Усоскину за предоставление обсерватории разработанной им вычислительной программы метода Гартмана.

3 августа 1987 г.

## 2. Վ. ԱՐՐԱՀԱՄՅԱՆ

ՉՏԱ-2.6 Մ ԱՍՏՂԱԴԻՏՏԱԿԻ ՕՊՏԻԿԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ:  
ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ՎՐԱ ԿԱՏԱՐՎՈՂ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ

Հարամանի մեթոդով ուսումնասիրվել է Բյուրականի աստղադիտարանի ՉՏԱ-2.6 մ աստղադիտակի հիմնական օպտիկական համակարգերի որակը: Բերված են գլխավոր հայելու ալիքային արեբացիաների արժեքները: Դիտարկված են աստղադիտակի աշտարակի և գմբեթի աստղակլիմայի հարցերը:

H. V. ABRAHAMIAN

## THE RESULTS OF ZTA-2.6 M TELESCOPE OPTICS STUDY. WORK BEING CARRIED ON AT THE TELESCOPE AND PERSPECTIVES

The quality of the main optical systems of the Byurakan observatory 2.6 m telescope with the help of Gartman's method is investigated. The wave aberration values of the main mirror are given. The problems of the astroclimate of the telescope tower and the dome are discussed.

## ЛИТЕРАТУРА

1. J. Hartmann, Zts. f. Instrkunde, 20, 51, 1900.
2. N. U. Mayall, S. Vastlevskis, Astron. J., 65, 304, 1960.
3. В. А. Зверев, С. А. Родионов, М. Н. Сокольский, В. В. Усокин, Опт. мех. пром., 2, 18, 1977.
4. В. А. Зверев, С. А. Родионов, М. Н. Сокольский, В. В. Усокин, Опт. мех. пром., 3, 3, 1977.
5. В. В. Зверев, С. А. Родионов, М. Н. Сокольский, В. В. Усокин, Опт. мех. пром., 4, 3, 1977.
6. Э. А. Витриченко, Ф. К. Катагаров, В. Г. Липовецкая, Изв. САО, 7, 167, 1975.
7. Л. И. Снежко, АЖ, 56, 1094, 1979.
8. Л. И. Снежко, АЖ, 57, 869, 1980.
9. Л. И. Снежко, Изв. САО, 14, 3, 1981.
10. Р. Е. Гершберг, К. Я. Лилоренко, В. И. Проник, Изв. КрАО, 67, 132, 1983.
11. И. В. Ильин, Изв. КрАО, 73, 176, 1985.
12. Г. В. Абрамян, Л. Г. Ахвердян, Р. А. Варданян, Г. А. Погосян, Сообщ. Бюраканской обс., 52, 91, 1980.
13. М. В. Романова, Труды ГОИ, 4, 1, 1927.
14. Г. В. Абрамян, Л. Г. Ахвердян, Сообщ. Бюраканской обс., 50, 50, 1978.
15. Г. И. Брюховец, Л. В. Гавягин, Э. И. Зак, С. В. Липатов, А. Е. Мелидид, В. А. Миллер, В. С. Рылов, Б. М. Степанов, Т. А. Скоцирская, Е. И. Титков, Астрофизика, 21, 378, 1984.

В. П. ЗАПИНЯН, Г. М. ТОВМАСЯН

## ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Дано описание двухканального электрофотометра с высоким временным разрешением  $0.01 \div 1.00$  с для одновременной регистрации вспышек звезд в двух цветах — U и V. Этот электрофотометр существенно повышает достоверность обнаруженных вспышек, так как при одновременной регистрации вспышки в двух каналах исключаются ложные всплески, вызванные помехами процессами в фотоумножителях, искровыми помехами и турбулентцией земной атмосферы.

**Введение.** Изучение кривых яркости вспышек с большим временным разрешением может дать важные сведения для понимания природы вспыхивающих звезд.

Наблюдения с постоянной времени интегрирования менее одной секунды позволяют детально исследовать обычно быстротечный процесс нарастания яркости, а также регистрировать короткие вспышки, которые невозможно обнаружить при записи с обычными постоянными времени в несколько секунд. Реальность, однако, коротких вспышек звезд типа всплесков может вызвать сомнения, поскольку аналогичные всплески могут быть зарегистрированы в результате каких-то помех. Основными источниками помех, могущими вызвать ложные всплески, являются ионные процессы в фотоумножителях, искровые помехи и турбулентция земной атмосферы. Поэтому требования, предъявляемые к работе аппаратуры, предназначенной для регистрации короткоживущих вспышек с постоянной времени интегрирования  $0.01 \div 1.0$  с, определяют необходимость их высокой помехоустойчивости и сведения к минимуму фактов ложного обнаружения. Эффективным путем исключения вышеописанных факторов является синхронная регистрация блеска звезд, по крайней мере, в двух цветах U и V. Запись в двух независимых каналах практически сведет к нулю вероятность появления одновременных всплесков, вызванных газоразрядной ионной лавиной в двух фотоумножителях. Кроме того, это позволит с большой достоверностью различать реальные вспышки звезд от возможных всплесков атмосферного происхождения.

Ниже дается описание разработанного нами двухканального электрофотометра, с помощью которого можно вести наблюдения вспыхивающих звезд одновременно в двух цветах. Этот электрофотометр является модификацией описанного в [1] одноканального автоматического электрофотометра, в котором запись производится только во время вспышки наблюдаемой звезды, когда сигнал превышает средний уровень на  $m\sigma$ , где  $m$  — произвольный коэффициент (обычно от 3 до 6), выбираемый наблюдателем в зависимости от величины флуктуации сигнала. В процессе наблюдения микроЭВМ анализирует входящую информацию, определяя среднее число фотоимпульсов  $N$  из массива определенной длины, содержащего  $n$  последовательных отсчетов. Величина каждого поступающего отсчета сравнивается с уровнем порога регистрации, и если отсчет не превышает порога, то он занимает в массиве место ранее записанного отсчета, отстоящего от

зовь поступившего на время  $p \cdot \tau$ , где  $\tau$ —постоянная времени интегрирования. Таким образом, массив из которого непрерывно определяется порог обнаружения, непосредственно примыкает к поступающему отсчету, для которого и вычисляется порог.

**Блок-схема прибора.** Общий вид изготовленного нами электрофотометра, установленного на телескопе 40 см системы Кассегрена, представлен на рис. 1, а блок-схема электрофотометра и системы регистрации на рис. 2.

Световой поток исследуемой звезды фокусируется телескопом в плоскости диафрагмы 4, а затем, с помощью светоделительной пластины 7 разделяется на два канала. Светоделительная пластина представляет собой неселективное полупрозрачное зеркало с коэффициентом пропускания равным 0.4 и коэффициентом отражения 0.42. Оптические фильтры «U» и «B», близкие к фотометрической системе U, B, выбраны из цветных стекол по методике, описанной в работе [2]. Электрофотометр, основные параметры которого приведены в работе

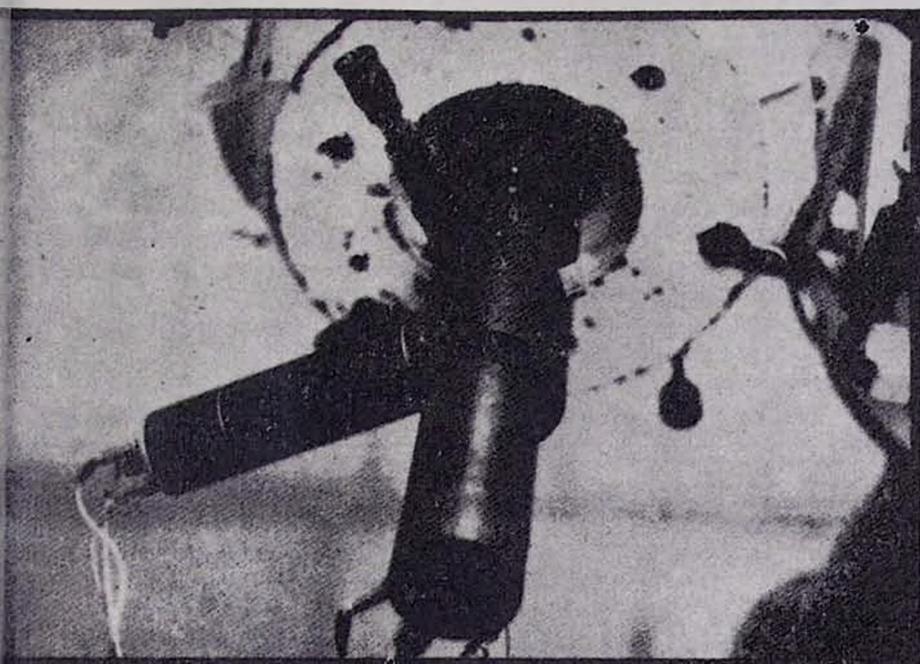


Рис. 1. Общий вид электрофотометра

1], работает по принципу счета фотонов. Чтобы исключить взаимное влияние одного канала на другой, источники питания фотоумножителей и схемы счета фотонов для каждого канала свои. В цепи сетевого питания всего прибора установлен двухзвенный фильтр для подавления искровых помех, возникающих при работе мощных электродвигателей в подкупольном пространстве. Для визуального контроля в непосредственной близости от электрофотометра установлены частотомеры 17 и 18. Вычислительная машина находится в отдельном помещении, где и осуществляется регистрация и оперативный контроль поступающей информации.

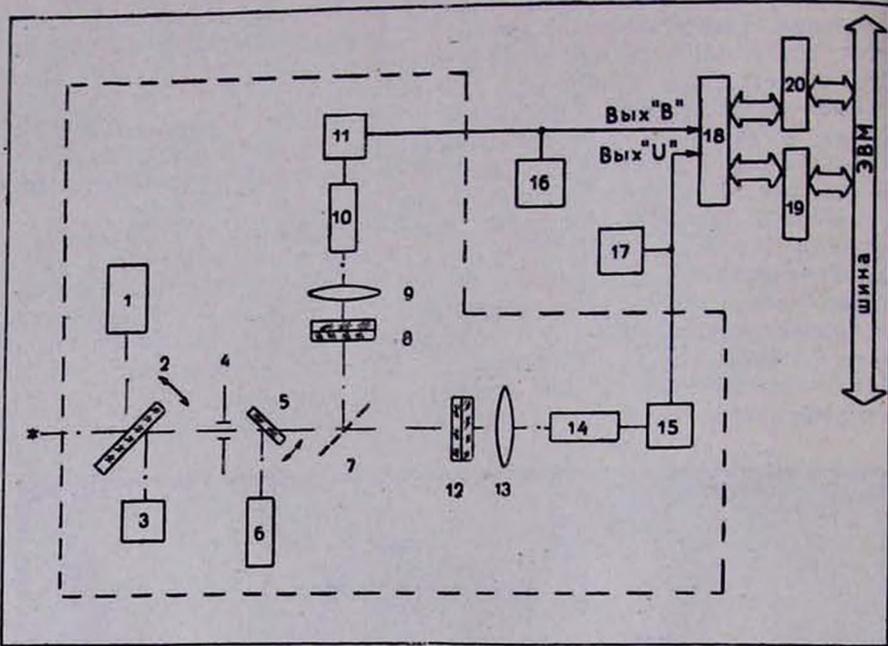


Рис. 2. Блок-схема двухканального электрофотометра: 1—окуляр поля; 2—откидное зеркало подзора поля; 3—калиброванный источник света; 4—полевая диафрагма; 5—откидное зеркало подзора диафрагмы; 6—окуляр подзора диафрагмы; 7—светоделительная пластина; 8—светофильтр «В»; 9—линза Фабри; 10—фотоумножитель; 11—усилитель и формирователь-дискриминатор канала «В»; 12—светофильтр «У»; 13—линза Фабри; 14—фотоумножитель; 15—усилитель и дискриминатор-формирователь канала «У»; 16, 17—частотомеры; 18—блок сопряжения электрофотометра с интерфейсами И2; 19, 20—интерфейсы И2

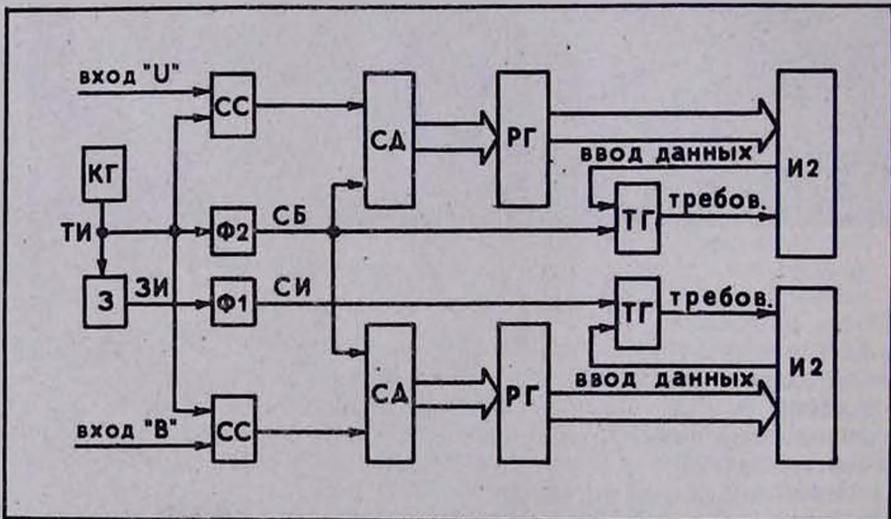


Рис. 3. Блок-схема блока сопряжения: КГ—кварцевый генератор; Ф1, Ф2—формирователи; СС—схемы совпадений; РГ—регистры; СД—двоичные счетчики; ТГ—RS триггеры; З—задержка; И2—интерфейсы

**Блок-схема сопряжения.** Упрощенная блок-схема блока сопряжения представлена на рис. 3. Тактовые импульсы управления ТИ блоком сопряжения, временная диаграмма которых представлена на рис. 4, вырабатываются кварцевым генератором КГ. Импульсы сброса СБ двоичных счетчиков СД и импульсы перезаписи СИ состояний счетчиков в регистры РГ имеют длительность 30 нс с периодом следования от 0.001 до 1.0 с. Причем, импульсы СБ задержаны относительно импульсов СИ, подаваемых на синхровход регистров, на 50 нс. Эта задержка позволяет устранить нежелательные ошибки при перезаписи состояний счетчиков в регистры, т. к. время перезаписи составляет примерно 40 нс. В противном случае запись в регистры произойдет в тот момент, когда счетчики уже начали устанавливаться на нуль, что приведет к неправильным измерениям. Импульсы СИ, сформированные по переднему фронту импульсов ЗИ, задержаны относительно переднего фронта тактовых импульсов ТИ на 0.5 мкс, равного времени задержки установления последнего разряда в шестнадцатиразрядных счетчиках СД. На все время действия низкого уровня импульса ТИ прохождение фотопульсов с электрофотометра через схему совпадений СС на счетчики прекращается, что дает возможность для стабильного установления всех разрядов счетчиков. По заднему фронту импульсов ТИ формирователь Ф2 выдает импульс сброса СБ. Инвертированный импульс СБ подается на RS-триггеры ТГ, которые вырабатывают сигнал «Требование», используемый в качестве флага требования прерывания. Сигнал «Ввод данных» от интерфейсов И2 пересылает информацию с РГ в буфер данных И2 и по заднему фронту сбрасывает триггеры ТГ.

Вышеописанный блок сопряжения собран на микросхемах 155 серии.

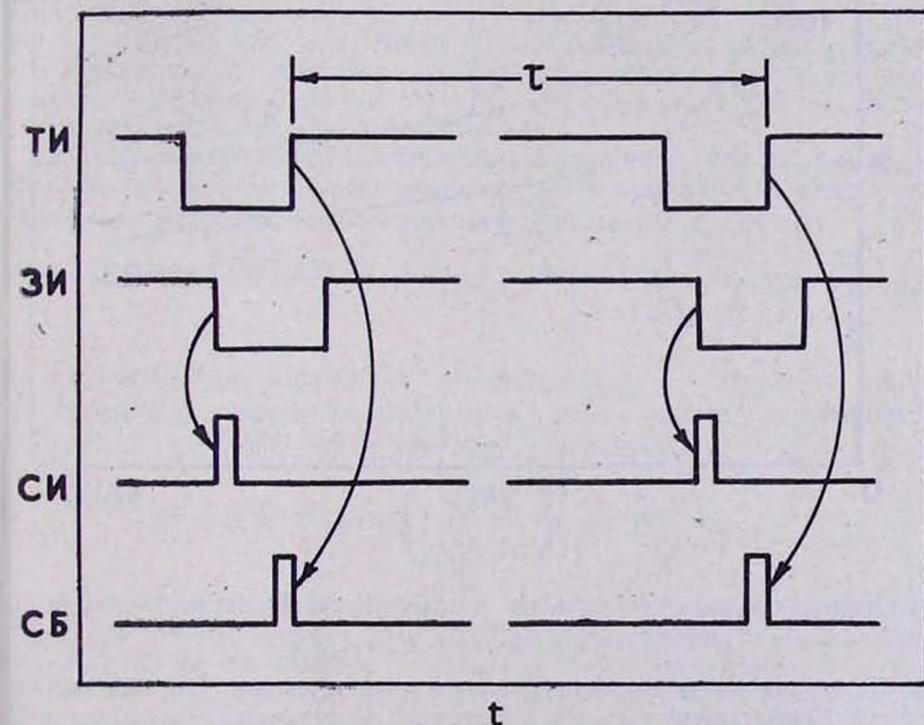


Рис. 4. Временная диаграмма импульсов управления блоком сопряжения

**Программное обеспечение.** Программа регистрации вспышек одновременно в двух цветах, алгоритм которого приведен в работе [1], позволяет записывать в магнитную память те отсчеты, которые превышают установленный порог обнаружения вспышки (выбором значения  $m$ ) и предшествующие вспышке  $n$  последовательных отсчетов, по которым определяется средний уровень сигнала  $\bar{N}$  и среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ . При наших наблюдениях с описываемым электрофотометром значение  $n$  было принято равным 100. Алгоритм работы двухканального фотометра несколько отличается от алгоритма работы одноканального электрофотометра. Он состоит в том, что запись вспышки, причем одновременно в двух цветах, производится лишь тогда, когда количество фотоимпульсов превышает пороговое значение в канале «U», определяемое по отсчетам в этом канале. Зависимость срабатывания записи в канале «B» от канала «U» выбрана потому, что амплитуда вспышки в цвете U обычно, существенно превышает амплитуду в цвете B, и поэтому уверенное превышение адаптивного порога происходит именно в канале «U».

Включение записи вспышки только при превышении порога накладывает ограничение на способность системы регистрировать более

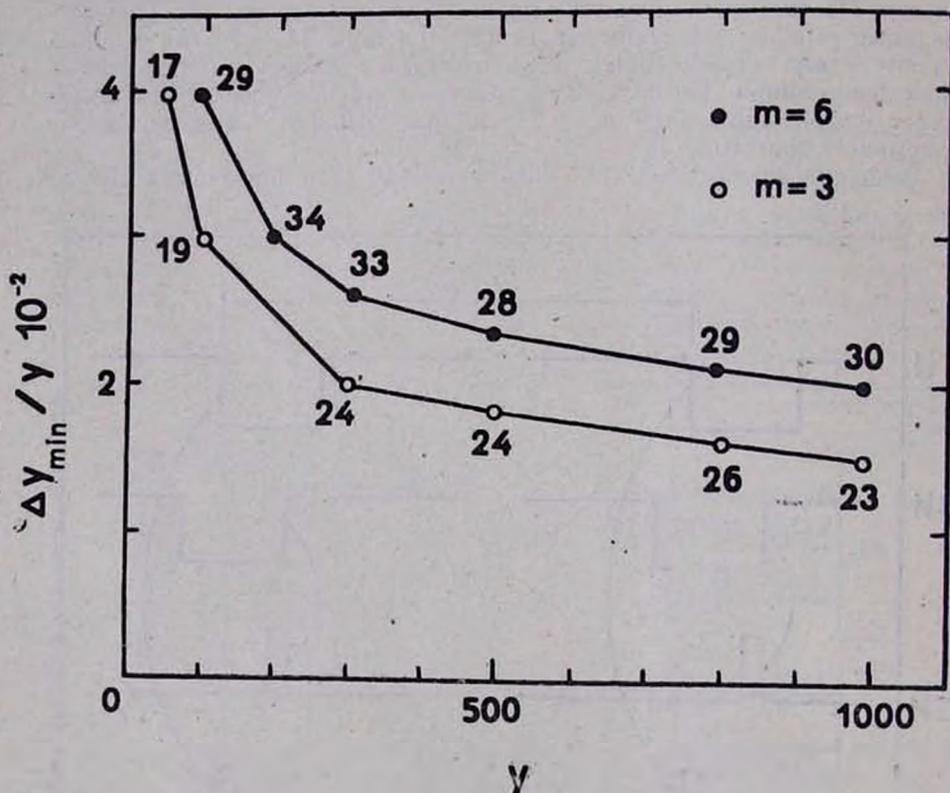


Рис. 5. Зависимость срабатывания записи от крутизны нарастания фронта  $\Delta N_{\min} / \bar{N}$  вспышки от среднего уровня сигнала  $\bar{N}$

медленные нарастания яркости у длительных вспышек, т. к. по мере медленного нарастания сигнала постепенно увеличивается и сам адаптивный порог. Однако вспышка в нашей системе все же может быть записана и при небольших скоростях нарастания яркости. Действи-

ельно, при постоянном увеличении сигнала его уровень на каком-то отсчете может превысить порог обнаружения и тогда сработает система записи. При этом для каждого среднего количества импульсов  $\bar{N}$  будет существовать некоторое минимальное значение  $\Delta N_{\min}$  приращенния импульсов в каждом последующем отсчете, в случае равномерного увеличения сигнала, только при превышении которого накопление приращений сигнала приведет к срабатыванию системы записи. На рис. 5 представлена кривая зависимости крутизны нарастания фронта  $\Delta N_{\min}/N$  от  $N$  при двух значениях  $m: 3$  и  $6$ . Числами на каждой кривой при соответствующем среднем значении  $N$  указаны номера отсчетов после начала вспышки, при которых срабатывает система записи. Естественно, что чем медленнее происходит нарастание яркости, тем позднее от начала вспышки, т. е. с тем более позднего номера отсчета начинается запись. Но поскольку в памяти машины сохраняются предшествующий началу записи массив из ста отсчетов, то во многих случаях, как это видно из рис. 5, представляется возможность восстановить целиком весь процесс нарастания яркости, т. е. записать весь ход относительно медленной вспышки.

Программное обеспечение позволяет оператору, работающему у терминала, контролировать информацию, идущую с электрофотометра. Помимо этого, в зависимости от характера информации можно изменять постоянную времени интегрирования от 0.01 до 1.0 с с минимальным шагом 0.01 с. Это позволяет исключить переполнение счетчиков при наблюдении ярких объектов.

Диалоговый режим работы дает возможность при наблюдении разных звезд строить различные файлы с записью в них названия объекта, даты наблюдений и величины постоянной времени интегрирования. Вывод информации на печать осуществляется термопечатающим устройством ТПУ ВВП80-002. Предусмотрена возможность вывода информации в аналоговом виде на двухкоординатный самописец, используя при этом выходные регистры интерфейсов И2 [3] совместно с цифроаналоговыми преобразователями.

**Вероятность ложного обнаружения.** Вероятность обнаружения одного ложного всплеска, превышающего пороговое значение можно определить из выражения, приведенного в работе [4] при  $\bar{N} \gg 1$ :

$$P = 1 - [1 - \Phi\{2\sqrt{\bar{N}} - 2\sqrt{M+1}\}]^k = 1 - \left[ 1 - \Phi\left\{ -\frac{2m}{1 + \sqrt{\frac{m}{\sqrt{\bar{N}} + 1}}} \right\} \right]^k \quad (1)$$

где  $\Phi(x)$  — функция нормального распределения,  $L$  — количество каналов,  $\bar{N}$  — среднее число фотоимпульсов,  $k$  — количество непрерывных отсчетов,  $M$  — величина порога обнаружения, равная:

$$M = m\sqrt{\bar{N}} + \bar{N} = m \left( \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n}$$

где  $N_i$  — количество фотоимпульсов в отсчете, вызванных суммарным излучением звезды и фона,  $m$  — коэффициент, равный  $3 \div 6$ ,  $n$  — количество отсчетов, по которым определяется величина порога.

Так как при реальных наблюдениях средняя частота фотоимпульсов  $\bar{N}$  намного превышает коэффициент  $m$ , то выражение (1) можно записать в следующем виде:

$$P \approx 1 - [1 - \Phi(-m)]^k \quad (2)$$

Зависимость вероятности ложного обнаружения от количества непрерывных отсчетов  $k$  и коэффициента  $m$  приведена на рис. 6. Как видно из рисунка, регистрация одного ложного всплеска одновременно в двух каналах даже при  $m=3$  может произойти за 2,8 ч непрерывных наблюдений с постоянной времени интегрирования 0,1 с. А при  $m=5$  регистрация ложного всплеска произойдет за  $2,7 \cdot 10^7$  ч.

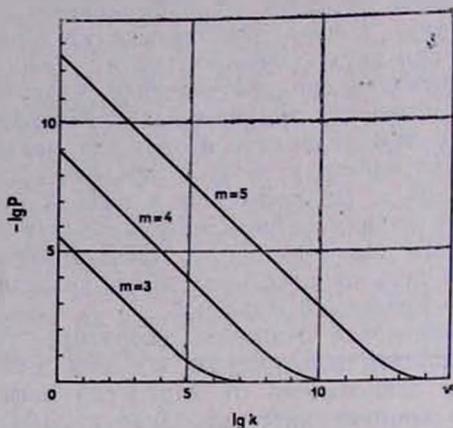


Рис. 6. Зависимость вероятности ложного обнаружения  $P$  от количества отсчетов  $k$  и коэффициента  $m$  для двухканального режима

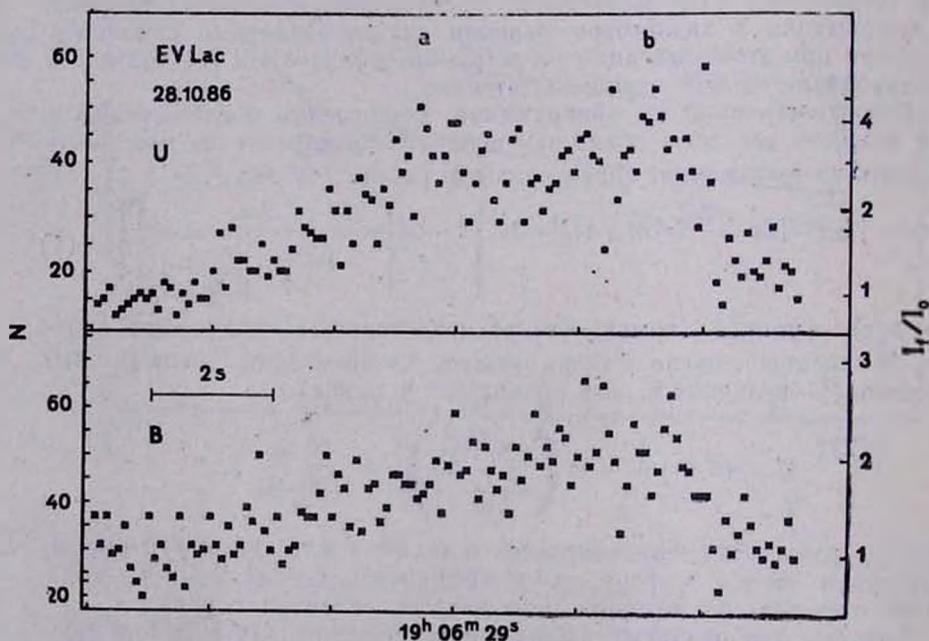


Рис. 7. Вспышка звезды EV Lac, зарегистрированная 28.10.86 с постоянной времени интегрирования 0,1 с

Таким образом, синхронная регистрация коротких вспышек в двух цветах не может вызвать сомнений в достоверности факта обнаружения вспышки, т. к. вероятность обнаружения одного ложного всплеска (тем более нескольких последовательных отсчетов, превышающих порог) при непрерывном патрулировании в течении одной ночи, практически равна нулю.

**Результаты наблюдений.** Наблюдения с помощью двухканального электрофотометра проводились на 40 см телескопе Бюраканской обсерватории. Исследовались вспыхивающие звезды типа UV Cet. Результаты первых наблюдений приведены в работе [5]. На рис. 7 приведена кривая блеска одной из зарегистрированных вспышек звезды EV Lac.

**Заключение.** Двухканальный электрофотометр, работающий с микроЭВМ «Электроника 60» и предназначенный для регистрации вспышек с высоким временным разрешением, порядка 0.01 с, позволил существенно увеличить достоверность регистрируемых коротких вспышек. В то же время наблюдения одновременно в двух цветах U и B дают представление об энергетическом спектре самой вспышки.

3 августа 1987 г.

Վ. Պ. ԶԱԼԻՆԻԱՆ, Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ

ԲԱՐՁՐ ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ԵՐԿԿԱՆԱԼ ԷԼԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱԶԱՓ

Բերված է U և B գույներում աստղերի բռնկումների միաժամանակյա արձանագրման համար ստեղծած, մեծ ժամանակային լուծունակությամբ՝ 0.01 ÷ 1.0 վրկ ունեցող էլեկտրալուսաչափի նկարագրությունը: Այս էլեկտրալուսաչափը զգալիորեն մեծացնում է հայտնաբերված բռնկումների իրական լինելը, բանի որ երկու կանալներում բռնկման միաժամանակյա արձանագրումը բացառում է լուսաբաղմապատկիչներում տեղի ունեցող իոնային պրոցեսներով, կայծային բնույթի և մթնոլորտային խանգարումներով պայմանավորված կեղծ բռնկումները:

V. P. ZALINIAN, H. M. TOVMASSIAN

## THE TWO-CHANNEL ELECTROPHOTOMETER WITH A HIGH TIME RESOLUTION

The two-channel electrophotometer with a high time resolution of 0.01—1.0 s for simultaneous registration of stellar flares in U and B is described. This electrophotometer appreciably increases the trustworthiness of the detected flares, since the simultaneous registration of a flare in two channels excludes fals flares caused by ion processes in photomultipliers, sparks and atmospheric turbulence.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Залинян, Г. М. Товмасян, Сообщ. Бюраканской обс., 58, 87, 1986.
2. В. Л. Страйжис. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Изд. Мокслас, 1983.
3. Устройство параллельного обмена И2, техническое описание.
4. А. Д. Вережик, В. Г. Коваленко, Б. В. Поленов, М. А. Сабиров, В. М. Соловьев. Изучение гамма-всплесков автоматическими станциями. Сб. статей. М.: Наука, 1983, 42 с.
5. V. P. Zalintan, H. M. Tovmassian, IBVS. № 2992, 1987.

## О ПОГРЕШНОСТЯХ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ МЕРТВЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРИ СЧЕТЕ ФОТОНОВ

Приведен метод оценки погрешности электрофотометрических измерений, обусловленный наличием мертвого времени системы счета фотонов.

Электрофотометрия световых потоков методом счета фотонов получила широкое распространение в астрономии из-за возможности представления информации непосредственно в цифровом виде. Измерения методом счета фотонов связаны также с такими преимуществами по сравнению с режимом постоянного тока, как более высокая пороговая чувствительность и малая зависимость от изменения усиления фотоумножителя [1]. Однако при измерении потоков фотонов различной мощности может быть нарушена линейность отношения частоты измеряемых фотоимпульсов к регистрируемым импульсам. Это обусловлено временным разрешением тракта регистрации [2], когда после прихода импульса системе необходимо время на восстановление (мертвое время). Так что наличие мертвого времени вызывает погрешность измерений из-за того, что часть информации просто не регистрируется, поскольку существует вероятность превышения мертвого времени интервалов между фотоимпульсами.

Распределение временных интервалов между фотонами, падающих на фотокатод, носит случайный характер и подчиняется закону Пуассона. Если  $N$ —действительная частота фотоимпульсов, а  $\tau$ —мертвое время, то можно определить вероятное число фотоимпульсов, поступающих с временными интервалами, меньше мертвого времени и, тем самым, не подвергшихся регистрации. Принимая, что средний временной интервал между фотоимпульсами  $T=1/N$ , можно определить вероятность прихода  $k$  фотоимпульсов за время  $\tau$ :

$$P_k = \left(\frac{\tau}{T}\right)^k \frac{1}{k!} e^{-\frac{\tau}{T}}. \quad (1)$$

Среднее ожидаемое число фотоимпульсов за мертвое время  $\tau$ , превышающее два, будет равно:

$$\sum_{k=2}^{\infty} k P_k = \sum_{k=0}^{\infty} k P_k - P_1 = \frac{\tau}{T} (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}), \quad (2)$$

где  $P_1$ —вероятность прихода одного фотоимпульса за время  $\tau$ . Тогда поправка  $\Delta N$  к регистрируемому числу импульсов  $n$  за время интегрирования  $t$  равна:

$$\Delta N = \frac{t}{T} (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}) \quad (3)$$

Окончательно число истинных фотоимпульсов определяется как:

$$N = n + \frac{\tau}{T} (1 - e^{-\frac{T}{\tau}}). \quad (4)$$

Как видно из выражения (3), количество неучтенных фотоимпульсов  $\Delta N$  увеличивается с уменьшением  $T$ , т. е. с ростом частоты фотоимпульсов  $N$ .

На рисунке в качестве примера приведена зависимость между частотой прихода фотоимпульсов  $N$  и регистрируемой  $n$  в случае мертвого времени  $\tau = 5 \cdot 10^{-7}$  с. В верхней части рисунка для случая наблюдений с телескопами с диаметрами зеркал 0.4 м и 2.6 м указаны звездные величины, соответствующие частоте фотоимпульсов  $m_u$ .

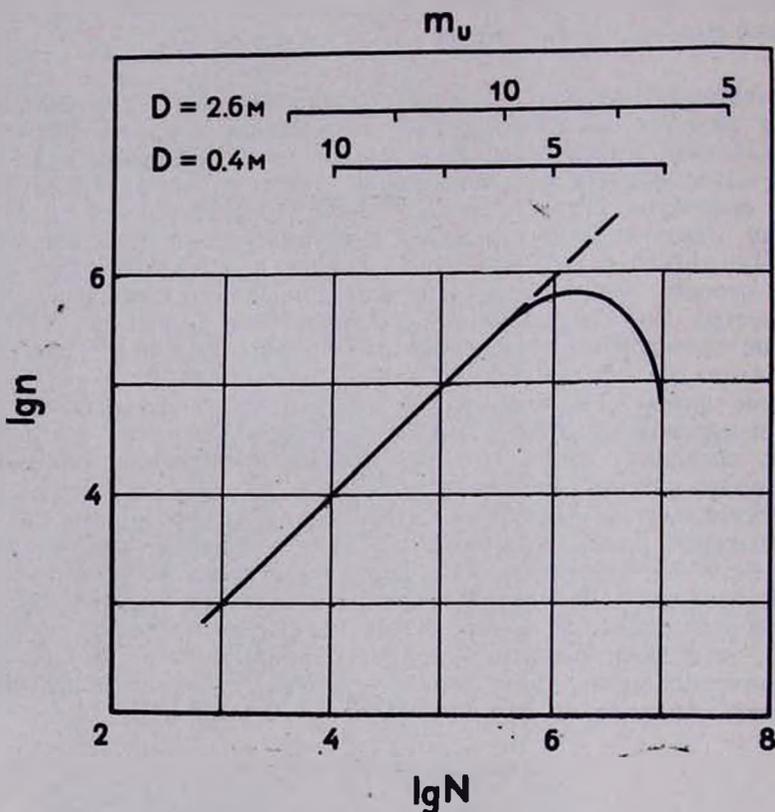


Рисунок. Зависимость между числом регистрируемых импульсов  $n$  и действительным числом поступающих фотоимпульсов  $N$ , при  $\tau = 5 \cdot 10^{-7}$  и  $t = 1$  с

Как видно из рисунка, вблизи значения  $N = 1/\tau$  количество регистрируемых импульсов  $n$  уже значительно меньше  $N$  ( $N = 2 \cdot 10^6$ ,  $n = 735758$ ). С увеличением  $N$  наблюдается еще более резкое уменьшение регистрируемых импульсов, на что указывает спад кривой. Спад кривой является следствием того, что система начинает, в основном, регистрировать группы фотоимпульсов, как одиночные импульсы. Это происходит из-за того, что сумма временных интервалов между фотоимпульсами в каждой группе не превышает мертвое время, а интервалы между группами все еще больше  $\tau$ . При дальнейшем увеличе-

нии  $N$ , количество таких групп уменьшается вследствие того, что среднее число интервалов между группами, превышающих мертвое время, сокращается, а количество фотоимпульсов в группах увеличивается.

Исходя из вышесказанного, необходимо корректировать измерения на влияние мертвого времени системы счета фотонов, которое ухудшает точность определения световых потоков. При этом следует указать, что стремление уменьшить мертвое время и тем самым увеличить линейный диапазон системы счета фотонов может привести к существенному вкладу послепулсов [3] в ошибку измерений. Причем, учет вклада послепулсов весьма затруднен [4]. Если же мертвое время больше времени задержки между инициирующей лавиной и послепулсом, то последний нейтрализуется.

Следует отметить, что при электрофотометрии звезд необходимо работать на участке кривой до спада (рисунок), т. к. в противном случае задача учета незарегистрированных фотоимпульсов становится неопределенной.

Погрешность в измерении световых потоков из-за мертвого времени может оказаться весьма существенной при наблюдении вспыхивающих звезд, когда поток при вспышке обычно сравнивают с потоком в спокойном состоянии звезды.

#### Վ. Պ. ԶԱԼԻՆԻԱՆ

ՅՈՏՈՆՆԵՐԻ ՀԱՄՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐՈՒՍԱԶՍՓՈՒԿԱՆ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ՍԽԱԼՆԵՐԸ, ՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԼԵՆԻՅԱԼ ԺԱՄԱՆԱԿՈՎ

Բերված է ֆոտոնների համրման միջոցով էլեկտրալուսաչափական չափումների մեռյալ ժամանակով պայմանավորված սխալների գնահատման եղանակ:

#### V. P. ZALINIAN

### ON THE ERRORS OF THE ELECTROPHOTOMETRIC MEASUREMENTS IN THE CASE OF THE PHOTON COUNTS DIE TIME CAUSED BY THE DIE-TIME

The method of the estimation of the errors of the electrophotometric measurements caused by the die-time of the photon counting system.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. K. Nakamura, Schwarz S. F., Appl. Opt, 1968, v7, №6. p 1073—1078.
2. J. W. Muller, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 112, 47, 1973.
2. Кэнди, Приборы для научных исследований, 2, 3, 1985.
4. Берстин, Приборы для научных исследований, 10, 144, 1980.

А. Ж. БАРСЕГЯН, Р. А. ЕПРЕМЯН

## КОМЕТА ГАЛЛЕЯ ПО СВИДЕТЕЛЬСТВАМ АРМЯНСКИХ РУКОПИСЕЙ

В работе приведены сведения из армянских летописей о наблюдениях кометы Галлея в 989, 1066, 1222 и 1531 гг. Вычислены координаты кометы для упомянутых дат, а также была оценена ее светимость. Результаты этих расчетов указывают, что во время упомянутых прохождений комета Галлея была доступна для наблюдений с территории Армении. Тем самым утверждается достоверность сведений армянских летописей.

В армянских рукописях, хрониках и работах армянских историков есть многочисленные свидетельства, которые относятся к описанию наблюдений небесных явлений. В армянских рукописях Матенадарана до настоящего времени найдено 66 свидетельств относительно комет. Из них 57 интерпретировали С. К. Всехсвятский и Б. Е. Туманян [1]. Два случая комет описывает Б. Е. Туманян [2]. Остальные семь свидетельств в настоящее время находятся в стадии изучения. Четыре из вышеназванных 66 свидетельств относятся к наблюдениям кометы Галлея (одно из них отождествлено авторами). Эти четыре свидетельства относятся к следующим эпохам: 989, 1066, 1222 и 1531 гг., которые совпадают со временем появления кометы Галлея.

В настоящей работе, кроме интерпретации письменных свидетельств одновременно вычислены координаты кометы Галлея в упомянутые эпохи и проведено сравнение с данными, приведенными в работе Н. А. Беляева и К. И. Чурюмова [3].

В древнеармянских рукописях в основном использовалось так называемое «Большое армянское летосчисление», начинавшееся с 11 июля 552 г. Год состоял из 12 месяцев по 30 дней и пяти добавочных дней, так что начало года было подвижным. При переводе на Юлианский стиль некоторые авторы использовали точные таблицы перевода дат, другие же довольствовались простым прибавлением числа 551 к дате, упомянутой в рукописи. Поэтому иногда разница Юлианских дат может составлять 1 год [4].

Ниже приводятся переводы соответствующих мест из хроник и исторических сочинений, относящихся к комете Галлея, с краткими комментариями.

1. «И в 438 году снова появилась копьеобразная звезда. 15-го кагоца месяца в день усупения пресвятой девы Богоматери. Появилась она на восточной стороне и отбрасывала световые отблески несколько дней на юг и, исчезнув, появилась над западной стороной при заходе Солнца, отбрасывая копьеобразный свет на восток. По истечении нескольких дней заколебалась земля...» — Степанос Асохик (X в.) [5].

Такой же текст (только в сокращенном виде) имеется в рукописи Матенадарана за № 4584, 566. «В 438 году 15-го кагоца месяца снова появилась копьеобразная звезда».

Время датируется по Большому армянскому летосчислению. 1-ое навасарда армянского 438 года совпадает с 24-ым марта 989 (438+551) римского года, а 15-го кагоца 438 года соответствует римскому 5 августу 989 года [6].

Комета Галлея в 989 г. была обнаружена 13 августа в Китае в созвездии Близнецов. Таким образом, она была обнаружена в Армении на 8 дней раньше, чем в Китае. В том же году ее наблюдали в Европе и в арабских странах. Арабский историк Эльмакин сообщает: «В воскресенье 28 июля 989 г. увидели на западе волосатую звезду. Она была видна больше 20 дней и не заходила в течение всей ночи. Затем пропала» [3].

2. Второе сведение наблюдения кометы Галлея в Армении относится к 1066 году.

«А в начале 515 года по армянскому летосчислению появилась кометная звезда на восточной стороне и перемещалась на запад. Там оставалась она один месяц и стала невидимой. Через много дней появилась она на западной стороне вечером. Многие, увидев ее, говорили, что эта та самая кометная звезда, которая появилась на востоке...»—Матевос Ураецн (XII в.) [7].

Согласно таблицам соответствия календарей, 515 год армянского летосчисления соответствует интервалу с 5 марта 1066 г. по 4 марта 1067 г.

В работах [1, 6] при переводе данного абзаца с древнеармянского (грабара) на армянский и русский языки была допущена неточность. Вышеупомянутые авторы время появления кометы считают конец 515 года, что соответствует 4 марту 1067 г. Интерпретируя это свидетельство, они замечают, что не исключено, что 4 марта 1067 года армяне наблюдали именно комету Галлея. Вычисляя координаты кометы для 4 марта 1067 года, мы получили следующие значения для  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\rho$  и  $g$ :  $\alpha=9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 05^{\text{s}}$ ,  $\delta=-6^{\circ} 03' 50''$ ,  $\rho=1.18$  а. е.,  $g=4.82$  а. е. А для видимой звездной величины кометы получено  $m=8^{\text{m}}9$ . При таком значении  $m$  комета не могла наблюдаться армянами.

В переводе хронографии Матевоса Ураецн с древнеармянского на современный армянский язык [8], отмечено, что комета наблюдалась в начале 515 года, которому соответствует 5 марта 1066 г. римского календаря.

Таким образом, армяне наблюдали комету Галлея после 5 марта 1066 г., так как в это время согласно нашим вычислениям  $\alpha=0^{\text{h}} 40^{\text{m}} 30^{\text{s}}$ ,  $\delta=+10^{\circ} 29' 00''$ ,  $\rho=1.5020$  а. е.,  $g=0.5879$  а. е. и  $m=-1^{\text{m}}42$ .

В работе [3] дан путь кометы Галлея в 1066 году. Согласно приведенной части орбиты кометы Галлея и нашим оценкам координат, мы приходим к выводу, что армяне после 5 марта 1066 года наблюдали комету Галлея, которая в это время находилась в созвездии Рыб.

Китайцы его наблюдали 67 дней, греки—40, итальянцы—20, немцы—30 дней, французы—3 месяца. Его наблюдали и другие народы.

3. «В 669 году появилась кометная звезда, и татары разгромили грузин на берегах Кроман воды»—Степанос Епископ (XIII в.) [9].

Летопись дана в виде таблиц, где указано, что появление кометы произошло в 669 году по армянскому летосчислению, которая соответствует 1222 году по юлианскому календарю (другая комета в 1222 г. не наблюдалась [10]).

В Китае комету Галлея наблюдали 15 сентября 1222 года в со-

звезды Весов два месяца [10]. В Европе—13 сентября в течение двух месяцев. Его наблюдали и другие народы.

4. «В 980 году ... в августе месяце появилась кометная звезда» —Ананун Себастанн (XVI в.) [11].

Здесь 980 год дан по Большому армянскому летосчислению, а месяц—по юлианскому календарю, что соответствует промежутку времени от 9 ноября 1530 года по 8 ноября 1531 года. В этом промежутке август попадает на 1531 год. Отсюда, комета появилась в августе 1531 года (другая комета в августе 1531 г. не наблюдалась [10]).

Свидетельства о появлении этой кометы сохранились в записях П. Аппиана (1495—1552)—придворного астронома императора «священной Римской империи» Карла V. Аппиан наблюдал комету Галлея с 13 августа. В книге, вышедшей в 1531 г., он приводит много рисунков кометы и Солнца [3].

Чтобы вновь убедиться, что данные, приведенные в армянском летосчислении, относятся к комете Галлея, вычислим координаты  $\alpha$  и  $\delta$  комет, наблюдаемых в 989, 1066, 1222 и 1531 годах и сравним, соответственно, с вычисленными данными для кометы Галлея, которые приведены в [3].

Движение кометы будет вполне определено, если известны плоскость, в которой лежит ее орбита, размеры и форма этой орбиты, ее ориентировка в плоскости и момент времени, в который комета находится в определенной точке орбиты. Величины, определяющие орбиты кометы, т. е. элементы ее орбиты ( $i, \Omega, \omega, a, e, t_0$ ), где  $a$ —большая полуось,  $e$ —эксцентриситет,  $i$ —наклонение орбиты к плоскости эклиптики,  $\Omega$ —долгота восходящего узла,  $\omega$ —угловое расстояние перигелия от восходящего узла,  $t_0$ —момент прохождения через перигелий или положение кометы на орбите в какой-нибудь определенный момент времени  $t$  [12, 13].

Расчеты сделаны четырьмя этапами и в результате получены  $\alpha$  и  $\delta$ —прямое восхождение и склонение кометы,  $\rho$  и  $\gamma$ —геоцентрическое и гелиоцентрическое расстояние кометы (а. е.). Полученные результаты приведены в таблице, где в первой строке даны наши результаты, а во второй—из работы [3].

Таблица

№	Комета Галлея	Прямое восхождение*	Склонение*	$\rho$ (а. е.)	$\gamma$ (а. е.)
1	5 августа 989 г.	6 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	32° 07' 10''	0.8368	0.8802
	9 августа 989 г.	6 <sup>h</sup> 28. <sup>m</sup> 2	34° 23'	0.70	0.83
2	5 марта 1066 г.	0 40.30	10 29 00	1.5020	0.5879
	8 апреля 1066 г.	22 58.7	1 53	0.69	0.69
3	15 сентября 1222 г.	13 46.03	6 43 30	0.5618	0.6462
	12 сентября 1222 г.	13 16.5	19 16	0.38	0.68
4	15 августа 1531 г.	9 16.37	39 14 10	0.4730	0.6339
	19 августа 1531 г.	11 02.0	30 13	0.47	0.60

\* Экватор и равноденствие 1950, 0.

Таким образом, из расчетов, проведенных для 989, 1066, 1222 и 1531 годов, полученные  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\rho$  и  $\gamma$  координаты показывают, что, действительно, армяне в эти годы наблюдали комету Галлея.

Когда настоящая работа была завершена, стало известно, что комету Галлея наблюдали в Армении еще и в 684 году по юлианскому

календарю. В работе [1] Б. Е. Туманян датировал упоминание армянского историка VIII века Гевонда о появлении кометы 682 годом. В недавно опубликованной работе [14] Г. А. Брутян, основываясь на изучении древних летописей, доказал, что сообщение Гевонда относится к появлению кометы Галлея в 684 году.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность Э. С. Парсаян и А. А. Гурштейну за полезные советы при выполнении настоящей работы, а также Н. А. Беляеву за любезно предоставленные нам координаты Солнца в интересующие нас дни.

3 августа 1987 г.

Армянский педагогический институт  
им. Хачатура Абовяна  
Бюраканская астрофизическая обсерватория  
АН АрмССР

Ա. Ժ. ԲԱՐՍԵԴՅԱՆ, Ռ. Ա. ԵՓՐԵՄՅԱՆ

ՀԱՎԼԵՑԻ ԳԻՍԱՎՈՐԸ ԸՍՏ ՀԱՅ ՄԱՏԵՆԱԳՐԱԿԱՆ ԱՂՔՅՈՒՐՆԵՐԻ

Աշխատանքում ներկայացված են հայ մատենագրության հաղորդած տրված լույսերը Հալլեյի գիսավորի 989, 1066, 1222 և 1531 թթ. դիտումների մասին: Հաշվարկվել են գիսավորի կոորդինատները նշված թվականների համար, ինչպես նաև գնահատվել է դրա պայծառությունը: Կատարված հաշվարկի արդյունքը ցույց է տալիս, որ հիշյալ թվականներին Հալլեյի գիսավորը դիտելի է եղել Հայաստանի տարածքից, որով և հաստատվում են այդ գիսավորի մասին հայ մատենագիրների հաղորդած տեղեկությունները:

A. J. BARSEGHIAN, R. A. EPREMIAN

THE OBSERVATIONS OF THE HALLEY COMET ACCORDING  
TO ARMENIAN MEDIEVAL SOURCES

Data from Armenian medieval sources on 989, 1066, 1222 and 1531 A. D. appearances of the Halley comet are considered. The coordinates of the comet for the mentioned data are calculated and the luminosity is estimated. According to the calculations it is shown that it was possible to observe the Halley comet from the territory of Armenia during its mentioned visits. The authenticity of the data of the Armenian sources is confirmed as well.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Всехсвятский, Б. Е. Туманян, Уч. записки ЕрГУ, № 3, 1970, с. 52—71.
2. Б. Е. Туманян, Из истории армянской астрономии, Ереван, ЕрГУ, 1985 (на арм. яз.).
3. Н. А. Беляев, К. И. Чурюмов, Комета Галлея и ее наблюдение. М.: Наука, 1985.

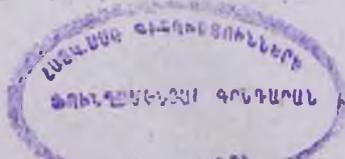
4. Б. Е. Туманян, История армянской астрономии, т. 1, Ереван, Митк, 1964, с. 141 (на арм. яз.).
5. Степанос Асохик, Всемирная история, Париж, 1859, с. 241—242 (на арм. яз.).
6. Б. Е. Туманян, История армянской астрономии, т. 2, Ереван, 1986, с. 206 (на арм. яз.).
7. Матевос Ураеци, Хроника, Взагаршапат, 1898, с. 185 (на арм. яз.).
8. Г. Бартикян, Матевос Ураеци, Ереван: Айастан, 1973, с. 122 (на арм. яз.).
9. Степанос Епископ, Летопись (см. В. Акопян, «Мелкие хроники», т. 1, Е., 1951, стр. 38 (на арм. яз)).
10. С. К. Всехсвятский, Физические характеристики комет, М., 1958, с. 575.
11. Ананун Себастици, Хроника (см. В. Акопян, Мелкие хроники, т. 1, Ереван, 1951, с. 170 (на арм. яз)).
12. Ф. Р. Мультон, Введение в небесную механику, М., 1935.
13. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике, под ред. Г. Н. Дубошина, М.: Наука, 1976.
14. Г. А. Брутян, Сообщ. Бюраканской обс., 60, 100, 1987.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՈՋ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
 АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ԲՅՈՒՐԱԿԱՆԻ ԱՍՏԳԱԴԻՏԱՐԱՆԻ ՀԱԳՈՐԴՈՒՄՆԵՐ  
 СООБЩЕНИЯ БЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Պ Ր Ա Վ L X I В Ы П У С К

ОБНАРУЖЕНИЕ ЯДЕР У ГАЛАКТИК С ЯРКИМИ ЦЕНТРАЛЬНЫМИ СГУЩЕНИЯМИ О ДВУХ ГОЛУБЫХ СОСЕДЯХ ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 581	Г. М. Товмасян, Р. Х. Оганесян А. Р. Петросян, А. Б. Саркисян, Э. Е. Хачикян	3 8
ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА И АЗОТА В ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКАХ	А. Р. Петросян	15
ДИСПЕРСИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ И ОТНОШЕНИЕ МАССА—СВЕТИМОСТЬ В КОМПАКТНЫХ ГРУППАХ ШАХБАЗЯН 16 И 30	А. С. Амирханян	25
НАБЛЮДЕНИЯ ВЗАМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК NGC 7714—NGC 7715 И КВАЗАРА 2333+019 НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600	Г. А. Оганян	29
РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ И АКТИВНОСТЬ ЯДЕР СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК	Г. М. Товмасян, С. А. Аюкян	32
МЕНЕЕ ВЕРОЯТНЫЕ КАНДИДАТЫ В Irr II ГАЛАКТИКИ С ВОЗМОЖНЫМИ ПРИЗНАКАМИ ГАЛАКТИК ТИПА M 82	С. Г. Искусударян С. Г. Искусударян	39 46
О ВОЗМОЖНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫМИ ГАЛАКТИКАМИ С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗБЫТКОМ	А. А. Егиазарян, С. В. Зарацян, А. П. Маггесян	53
АБСОЛЮТНОЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППЫ ЗВЕЗД КЛАССОВ F, G И K В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ И ВИДИМОЙ ОБЛАСТЯХ. I	Р. А. Епремян	58
ПОИСК ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ У ЗВЕЗД, НАХОДЯЩИХСЯ В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ	А. С. Мелконян	66
О И И <sub>2</sub> ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ВСПЫШЕК ЗВЕЗДЫ EV Lac ПОИСК ПЕРЕМЕННОСТИ МАЛОП АМПЛИТУДЫ	А. С. Мелконян	77
ПОИСК ЗВЕЗД С СОБСТВЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ	Р. А. Варданян, М. А. Ерицян	87
РАСЧЕТЫ ДИССОЦИАТИВНОГО РАВНОВЕСИЯ В АТМОСФЕРАХ ХОЛОДНЫХ ГИГАНТОВ	А. А. Аюкян, Ю. К. Мелик-Алавердян	91
СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗД, СВЯЗАННЫХ С ТУМАННОСТЯМИ	Э. С. Парсисян, В. М. Петросян	104
О ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКОВ К ЗАДАЧЕ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕХМЕРНОСТИ ГЕОМЕТРИИ. I. ТОЧНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ РЕЗОЛВЕНТЫ ОСНОВНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ	Э. Х. Даниелян	117
ПОЛУГРУППОВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ N ТЕЛ. А. А. Бегларян		124
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИКИ ТЕЛЕСКОПА ЗТА-2. 6М. ВЕДУЩЕЕСЯ НА ТЕЛЕСКОПЕ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	Г. В. Абрамян	133
ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ	В. П. Залинян, Г. М. Товмасян	142
О ПОГРЕШНОСТЯХ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ МЕРТВЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРИ СЧЕТЕ ФОТОНОВ	В. П. Залинян	151
КОМЕТА ГАЛЛЕЯ ПО СВИДЕТЕЛЬСТВАМ АРМЯНСКИХ РУКОПИСЕЙ	А. Ж. Барсегян, Р. А. Епремян	154



ԲՈՎԱՆԻԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Թովմասյան, Ռ. Խ. Հովհաննիսյան—Կորիզների հայտնաբերումը սլայժառ կենտրոնական խոտացումներով գալակտիկաներում	3
Ռ. Պետրոսյան, Ա. Ռ. Սարգսյան, Է. Ն. Խաչիկյան—Մարզարյան 581-ի երկու կապույտ հարևանների մասին	8
Ռ. Պետրոսյան—Էմպիրիկ կապակցություններ գալակտիկաների աստղաուղացման կենտրոններում թթվածնի և ազոտի պարունակության որոշման համար	15
Ս. Ամբիսանյան—Տեսագծային արագությունների դիսպերսիան և ղանգված-լուսատվություն հարաբերությունը Շահբադյան 16 և 30 սեղմ խմբերի համար	25
Ա. Սնանյան—NGC7714—NGC7715 փոխադրող գալակտիկաների և 2333 + 019 բլազարի դիտումները ԽԱՏԱՆ—600 ռադիոդիտակով	29
Մ. Թովմասյան, Ս. Ա. Հակոբյան—Պարուրաձև գալակտիկաների կորիզների ակտիվությունը և ռադիոճառագայթումը	32
Դ. Խակոբյան—IG 11 տիպի սակավ հավանական թևկանաձուներ	39
Դ. Խակոբյան—Չալակտիկաներ, որոնք հնարավոր է, որ ունեն M 82 տիպի գալակտիկաների հատկություններ	46
Ա. Նիդաբադյան, Ս. Վ. Զարադյան, Ա. Պ. Մահտեսյան—Մոտ գտնվող գերմանուշակ գալակտիկաների հնարավոր ֆիզիկական կապի մասին	53
Ա. Նիբելյան—F, G, K սպեկտրայ ղասի մի խումբ աստղերի բացարձակ սպեկտրալուսաչափություն սպեկտրի գերմանուշակ և տեսանելի տիրույթներում	58
Լ. Ս. Մելիքոյան—Չխափող հաչորդականության ներքին մասում գտնվող աստղերի լուսաչափական փոփոխության մասին	66
Լ. Ս. Մելիքոյան—EV Lac աստղի բոնկումների U և H $\beta$ էլեկտրալուսաչափությունը Պայծառության դանդաղ փոփոխությունների որոնում	77
Ի. Ա. Վարդանյան, Մ. Հ. Նոնիցյան—Սեփական բևեռացում ունեցող աստղերի որոնումներ.	87
Լ. Ա. Հակոբյան, Յու. Կ. Մելիք—Ալավերդյան—Սառը աստղերում դիսոցիատիվ հավասարակշռության հաշվարկները	91
Ս. Պարսամյան, Վ. Մ. Պետրոսյան—Միգամածությունների հետ կապված աստղերի սպեկտրալ դիտումներ	104
Բ. Ա. Մնացակունյան—Աղբյուրների ֆունկցիայի տարրեր պատկերացումների վերաբերյալ	113
Խ. Կանիկյան—Ճառագայթման տեղափոխման տեսության խնդիրը երկրաչափական եռաչափության հաշվառումով I. Հիմնական ինտեգրալ հավասարման ուղղվեճտայի ճշգրիտ արտահայտությունը	117
Ա. Ա. Ռեզաբյան—Կիսախմբային լեղանակ N-մարմնի խնդրի լուծման համար	124
Զ. Վ. Աբրահամյան—ՋՏԱ-2.6մ աստղադիտակի օպտիկայի հետազոտման արդյունքները Աստղադիտակի վրա կատարվող աշխատանքները և հետանկարները	133
Վ. Պ. Զայիբյան, Հ. Մ. Թովմասյան—Բարձր ժամանակային լուծունակությամբ երկկանալ էլեկտրալուսաչափ	142
Վ. Պ. Զայիբյան—Յոտոնների համրման դեպքում էլեկտրալուսաչափական շափումների սխալները, պայմանավորված մեռոյալ ժամանակով	151
Ա. Ժ. Ռաբսոլյան, Ռ. Ա. Նվրեմյան—Հալլեյի գիսավորը բստ հայ մատենագրական աղբյուրների	154

## CONTENTS

<i>H. M. Tovmassian, R. Kh. Hovhannesian</i> —The detection of nuclei in galaxies with a bright central condensations. . . . .	3
<i>A. R. Petrosian, A. B. Sarkissian, E. Ye. Khachikian</i> —On the two neighbours of galaxy Markarian 581. . . . .	8
<i>A. R. Petrosian</i> —Empirical relations for oxygen and nitrogen abundance determination in star forming regions of galaxies. . . . .	15
<i>A. S. Amirkhunian</i> —The dispersions of the radial velocities and mass to luminosity ratios for the compact groups of galaxies Shahbazian 16 and 30 . . . . .	25
<i>G. A. Ohanian</i> —Observations of interacting galaxies NGC 7714—NGC 7615 and Quasar 2333+019 on RATAN—600 Radiotelescope. . . . .	29
<i>H. M. Tovmassian, S. A. Hakopian</i> —The radioemission and the activity of nuclei of spiral galaxies. . . . .	32
<i>S. G. Iskudarian</i> —The less probable candidates to Irril type . . . . .	39
<i>S. G. Iskudarian</i> —The galaxies with the possible signs of M82 type galaxies. . . . .	46
<i>A. A. Yeghiazarian, S. V. Zaratsian, A. P. Mahtessian</i> —Possible physical connection between nearby Kazarian galaxies with UV excess. . . . .	53
<i>R. A. Epreman</i> —The absolute spectrophotometric investigation of a group of F, G, K stars in ultraviolet and visible regions. I. . . . .	58
<i>A. S. Melkonian</i> —A search for photometric variability among lower main sequence stars. . . . .	66
<i>A. S. Melkonian</i> —U and H $\beta$ electrophotometry of flares of EV lac. The search of minor amplitude variability. . . . .	77
<i>R. A. Vardanian, M. H. Eritsian</i> —A search for intrinsic polarization of stars. . . . .	87
<i>A. A. Hakopian, Yu. K. Melik-Alaverdian</i> —Dissociation equilibrium calculations in cool giant stars. . . . .	91
<i>E. S. Parsamian, V. M. Petrosian</i> —The spectral observations of stars connected with nebulae. . . . .	104
<i>M. A. Mnatsakanian</i> —On some representations of the source function. . . . .	113
<i>E. Kh. Danilelian</i> —On the problem of radiation transfer theory with account of three—dimensional geometry. I. . . . .	117
Explicit expression of basic integral equations resolvent. . . . .	
<i>A. A. Beglarian</i> —The semigroup approach to the problem of N bodies. . . . .	124
<i>H. V. Abrahamian</i> —The results of ZTA—2.6 m telescope optics study. Work bring carried on at the telescope and perspectives. . . . .	133
<i>V. P. Zaitlian, H. M. Tovmassian</i> —The two-channel electrophotometer with a high time resolution. . . . .	142
<i>V. P. Zaitlian</i> —On the errors of the electrophotometric measurements in the case of the photon counts die time caused by die-time. . . . .	151
<i>A. J. Barseghian, R. A. Epreman</i> —The Observations of the Halley comet according to armenian medieval sources. . . . .	154