АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

МАЙ, 1977

ВЫПУСК 2

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ В ПЛЕЯДАХ. V

Л. В. МИРЗОЯН, О. С. ЧАВУШЯН, Л. К. ЕРАСТОВА, Г. Б. ОГАНЯН,
Н. Д. МЕЛИКЯН, Р. Ш. НАЦВЛИШВИЛИ*, М. К. ЦВЕТКОВ**

Поступила 4 марта 1977

Приводятся результаты фотографических наблюдений звездных вспышек в области Плеяд, выполненных в Бюраканской и Абастуманской астрофизических обсерваториях в течение, в основном, 1973—1974 гг. На основе этих наблюдений, а также ревизии снимков, полученных ранее, обнаружено 20 новых вспыхивающих звезд (табл. 1) и 62 повторные вспышки уже известных вспыхивающих звезд (табл. 3).

Продолжена единая нумерация вспыхивающих звезд в Плеядах, включающая и вспыхивающие звезды, обнаруженные за этот период в других обсерваториях (табл. 2). Общее число известных к 1 мая 1976 г. вспыхивающих звезд в области Плеяд достигло 469, а число вспышек—1089 (исключая вспыхивающую звезду № 55 и ее вспышки).

Выполнены двухцветные наблюдения 21 вспышки в фотографических и ультрафиолетовых лучах (табл. 4). Они указывают на сильное «посинение» излучения вспышек вблизи максимума блеска и некоторое его «покраснение» после максимума.

Представлены некоторые данные о семи медленных вспышках, обнаруженных в области Плеяд (табл. 5).

Рассмотрены аргументы, свидетельствующие о том, что числа вспыхивающих звезд, приходящихся на интервал в одну фотографическую звездную величину, имеют хорошо выраженный максимум при $m = 17-18$ (табл. 6), а средние энергии вспышек составляют одну и ту же долю полного излучения звезды почти независимо от яркости звезд (табл. 7).

Полное число вспыхивающих звезд в Плеядах, оцененное различными методами, равно, по порядку величины, 1000 (табл. 8 и 9), в согласии с более ранними оценками [1—4].

Наблюдательные данные указывают на большие различия в средней частоте вспышек у различных вспыхивающих звезд в Плеядах. Данные, относящиеся к вспыхивающим звездам, наблюдаемым во вспышках в $k < 5$ раз, удовлетворительно представляются тремя пуассоновскими распределениями с различными средними частотами вспышек (табл. 10).

* Абастуманская астрофизическая обсерватория Академии наук Грузинской ССР.

** Сектор астрономии Академии наук Болгарии.

Введение. В предыдущих статьях этой серии [1—4] сообщалось о результатах фотографических наблюдений вспыхивающих звезд области скопления Плеяды, произведенных в Бюраканской астрофизической обсерватории.

Эти наблюдения указывают на богатство этого скопления вспыхивающими звездами. Так как большинство из них принадлежит самому скоплению Плеяды, имеющему небольшой возраст (7·10⁷ лет [5]), этот результат, вместе с результатами наблюдений, выполненных в обсерваториях Тонанцинтла (Мексика), Асиаго (Италия) и Будапештской, подтверждает высказанный ранее (см., например, [6]) вывод о том, что стадия вспыхивающей звезды является одной из наиболее ранних в жизни карликовых звезд.

Наблюдения показали также, что математическое ожидание числа обнаруживаемых за один час слежения *новых вспыхивающих звезд* в Плеядах со временем регулярно убывает, в то время как математическое ожидание числа обнаруживаемых повторных вспышек уже известных *вспыхивающих звезд* возрастает.

В настоящей статье мы приводим результаты фотографических наблюдений области Плеяд последних лет.

Новые вспыхивающие звезды. Наблюдения области Плеяд, представленные в настоящей статье, были выполнены 40- и 21-дюймовыми камерами системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР и 28-дюймовой камерой системы Максудова Абастуманской астрофизической обсерватории Академии наук Грузинской ССР.

Общая продолжительность всех наблюдений составляет 255 часов. Из них 50 часов (в 1974 г.) область Плеяд фотографировалась тремя телескопами, одновременно в фотографических и ультрафиолетовых лучах, для определения цветов вспышек.

Все наблюдения по годам и по телескопам распределяются следующим образом: 1973 г.— 141 час в Бюракане и 20 часов в Абастумани; 1974 г.— 71 час и 56 часов; 1975 г.— 5 часов и 11 часов, соответственно, и 1976 г.— около одного часа в Абастумани.

Следует добавить, что в Бюракане область Плеяд фотографировалась либо 40" телескопом, либо 21" телескопом, кроме периода кампании 1974 г.

Наблюдения проводились, в основном, в осенние месяцы.

Табл. 1 содержит данные о всех новых вспыхивающих звездах в Плеядах, обнаруженных в Бюракане и в Абастумани после опубликования последней статьи этой серии [4]. Мы, как и раньше, используем систему единой нумерации вспыхивающих звезд Плеяд.

В качестве вспышки нами рассматривались все случаи быстрого возрастания блеска звезды, если амплитуда ее заметно превышала 0.5 звездной

величины. В случае параллельных наблюдений в двух цветах за вспышку принимались все случаи, когда амплитуда хотя бы в одном из цветов превышала 0.5 звездной величины.

Таблица 1

НОВЫЕ ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ В ПЛЕЯДАХ

№	ИП [7]	α (1900)	δ (1900)	m_U	Δm_U	m_{RG}	Δm_{RG}	Дата	Телескоп
466		03 ^h 34 ^m 8	21 51"			16.5	2.0	14. 8.69	21"
467		42.3	23 21	18.1	2.0			14. 8.72	40
468		40.1	22 02			20.2	4.0	28.10.72	21
469		47.1	25 42			16.9	2.5	3.11.73	21
470		42.8	22 56			19.7	6.0	20.11.73	21
471		51.2	21 45			19.0	2.0	14.10.74	21
472		40.2	22 40	16.3	1.7	15.3	0.5	15.10.74	40 21
473		41.6	22 04	16.8	1.0			16.10.74	40 21
474		46.6	25 32	19.7	3.1			18.10.74	40 21
475		45.0	22 22	18.4	3.4	17.6	1.5	18.10.74	40 21, 28
475		43.0	24 02	18.7	2.5	17.7	0.7	18.10.74	40 21
477		37.9	23 38	20.0	4.0			19.10.74	40 21
473		41.4	23 01	19.9	5.6	18.9	4.2	24.10.74	40 21, 28
479	1651	42.0	24 12	17.6	1.3			17.11.74	40
480		40.7	22 38	17.0	1.5			17.11.74	40
481		35.5	23 33	20.5	5.0	19.5	4.8	17.11.74	40 21
432		42.6	23 08			21.0	2.5	20.11.73	28
433		41.7	25 02			18.2	3.4	17.10.74	28
484		37.3	23 45			17.3	1.1	20.10.74	28
485		32.6	23 06			21.0	4.8	8. 1.76	28

За этот период нами обнаружено всего 20 новых вспыхивающих звезд и 62 повторные вспышки уже известных вспыхивающих звезд. Из них 21 вспышка, в том числе 13 повторных, были наблюдаемы в двух цветах.

За время, прошедшее после опубликования статьи [4], 35 новых вспыхивающих звезд в области Плеяд были обнаружены другими исследователями. Сведения о них нам стали известны из литературных источников [8—11]*.

* Из трех вспыхивающих звезд, обнаруженных за этот период в Падомаре [12], звезды P 1 и P 3 (ИП 2940) нами не учтены, так как у них амплитуды вспышек не превышали 0.5 звездной величины, а вспышка звезды P 2 совпадает со вспышкой звезды T 53b, обнаруженной в Тонантитла.

В итоге число известных вспыхивающих звезд в области Плеяд к 1 мая 1976 г. достигло 469*, а число зарегистрированных вспышек — 1089. За все время фотографических наблюдений области Плеяд общая продолжительность непрерывающихся наблюдений составила 2612 часов.

В табл. 2 приводится список всех обнаруженных за этот период вспыхивающих звезд. В ней, наряду с номерами звезд по первоисточнику, даны номера их по единой нумерации.

Порядок единой нумерации по-прежнему хронологический.

Таблица 2

ЕДИНАЯ НУМЕРАЦИЯ НОВЫХ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ПЛЕЯДАХ, ОБНАРУЖЕННЫХ ПОСЛЕ 1971 г. (А — АСИАГО, В — БЮРАКАН, К — КОНКОЛИ, Т — ТОНАНЦИНТЛА)

№ по единой нумерации	№ по первоисточнику	Литература
431—435	Т 56b—60b	[8]
436—454	А 118—123, 125, 130, 131, 134, 135, 137, 138, 141, 145, 147—150	[9]
455—465	К 24—34	[10, 11]
466—481	В 466—481	Настоящая статья
482—485	Открыты в Абастумани	" "

Как следует из приведенных данных, интерес к вспыхивающим звездам у наблюдателей несколько понизился после того, как наблюдения позволили приближенно установить некоторые статистические особенности совокупности вспыхивающих звезд, принадлежащих скоплению. Между тем, всестороннее исследование вспыхивающих звезд в Плеядах и дальнейшее уточнение установленных статистических закономерностей, так же, как их эволюционное истолкование, представляют большой интерес для решения проблемы физики и эволюции звезд.

Повторные вспышки ранее известных вспыхивающих звезд. Как было отмечено, за прошедшее время нами были зарегистрированы 62 повторные вспышки известных вспыхивающих звезд Плеяд. Большинство из них обнаружено на новых фотографиях и только 4 при ревизии старых снимков области Плеяд. Данные об этих вспышках представлены в табл. 3. Еще 102 повторные вспышки были обнаружены в обсерватории Тонанцинтла [8] и 13 вспышек — в обсерватории Асиаго [9].

Таким образом, полное число повторных вспышек, наблюдаемых в Плеядах за последнее время, составляет 177.

* За исключением вспыхивающей звезды № 55, принадлежащей к скоплению Гпады [4].

Таблица 3

НОВЫЕ ПОВТОРНЫЕ ВСПЫШКИ ИЗВЕСТНЫХ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД
В ПЛЕЯДАХ

№	НП [7]	α (1900)	δ (1900)	m_U	Δm_U	m_{PR}	Δm_{PR}	Дата	Телескоп
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2		03 ^h 34 ^m 8	+ 24 27'			18.8	3.2	27. 9.73	21"
10		38.5	25 43			16.9	2.7	29.11.73	21
10				18.0	2.7			7.11.74	40
14	906	40.2	24 22	18.2	2.4	17.0	0.6	26.10.74	40, 21
14						17.0	1.6	16.11.74	21
18		41.6	22 02			16.6	0.7	20.10.74	28
18				17.1	2.8			16. 1.75	40
23		42.4	24 36			18.8	1.5	27. 9.73	21, 28
23						18.8	3.1	14.10.74	21
23				19.8	4.8	18.8	2.1	24.10.74	40, 21, 28
24		42.5	22 53			19.3	3.4	5.10.75	28
36		36.2	23 46	18.4	1.1			24.10.74	40, 21, 28
39		37.1	24 30	18.3	2.6			5. 9.73	40
43		38.8	23 54			17.4	2.4	7.12.75	28
55	2411	43.7	24 01			15.9	0.5	26.11.73	21
55				16.9	1.2			18.10.74	40, 21
55				16.9	2.6	15.9	1.5	20.10.74	40, 21, 28
70	212	38.0	24 07	17.2	1.9			7. 9.73	40
71		38.2	22 46			17.2	2.8	24. 8.73	21
83		42.0	22 15			17.0	2.1	19.11.73	21
83						17.0	1.9	19.11.73	21
86		42.6	22 06	18.1	2.3	17.3	1.6	24.10.74	40, 21, 28
87		42.7	22 28	17.0	1.0			7. 9.73	40
95		45.1	23 00			16.3	0.8	18.10.73	21
99		49.7	22 33			16.1	2.5	15.10.74	28
101		33.2	24 25			17.8	4.7	1.10.73	28
103		36.9	23 08	17.7	1.1			18.10.74	40, 21
103				17.7	1.9			17.11.74	40, 21
104		38.7	24 12	19.5	4.5	18.5	3.2	20.10.74	40, 21
119		37.8	23 25			19.3	4.3	1.09.73	21
120		40.7	23 28	19.9	6.1	18.9	4.6	20.10.74	40, 21, 28
145		41.9	22 06	20.6	6.2	19.6	4.9	18.10.74	40, 21, 28
150		38.1	24 45	18.2	1.7			19.10.74	40
154		42.2	22 44	18.0	1.3			18. 9.71	40
172		36.1	23 38			18.6	3.5	27. 9.73	21, 28

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
173		03 ^h 37 ^m .2	22 29'			17.0	2.0	15.10.74	28	
174		36.8	23 03	20.1	4.8	19.1	4.1	17.11.74	40, 21	
179		38.6	24 22			18.3	3.2	31. 8.73	21	
225		35.5	23 36			19.0	2.7	29. 9.73	21, 28	
244	1128	40.7	23 40	16.8	1.6			4. 2.73	40	
245		37.2	24 26	18.8	1.8			18. 9.71	40	
257		42.7	24 18			19.1	2.1	30.11.72	21	
267		41.0	24 56	18.2	1.4			25. 1.74	40	
271	1485	41.9	24 35	16.9	4.0			21.12.73	40	
289		36.6	22 35	17.1	1.4	15.8	0.2	17.10.74	40, 28	
291		46.8	21 25			15.8	1.2	29.11.73	21	
298		36.6	22 28	17.4	2.6	16.5	0.8	18.10.74	40, 21	
306		36.1	24 24	16.0	1.3	14.8	0.5	20.10.74	40, 21	
326		38.5	25 03			18.2	2.4	17.11.73	21	
326						18.2	2.1	25. 1.74	21	
326				19.2	7.6	18.2	5.7	22.10.74	40, 21, 28	
335	1321	41.2	23 26	18.1	2.1	16.9	1.0	18.10.74	40, 21	
335							1.0	7.12.75	28	
360		39.9	21 48			18.8	1.5	22.10.73	21	
394		35.0	22 55			19.2	4.2	28.11.73	21	
399		38.4	24 33	20.0	5.6			21.11.74	40	
424		41.4	24 50			18.2	4.5	21.10.73	21	
435		43.3	21 52	16.6	1.4	15.2	0.5	25.10.74	40, 21	
467		42.3	23 21	18.1	1.5			7.12.72	40	
467						4.1	17.5	3.4	16.10.74	40, 21
467						17.5	2.7	24.10.74	28	
467						3.0	0.9	17.11.74	40, 21	

Двухцветные наблюдения вспыхивающих звезд в Плеядах. В период наших наблюдений одной из главных задач являлась попытка определения цветов излучения вспышек. Именно с этой целью осуществлялись одновременные параллельные («синхронные») наблюдения области Плеяд в фотографических (21" телескоп) и ультрафиолетовых (40" телескоп) лучах. Эти наблюдения проводились в октябре—ноябре 1974 г., когда была организована кампания оптических и радионаблюдений вспышек в Плеядах, совместно с радиоастрономами из радиоастрономической станции Института ТАТА в Отокаунде (Индия). В оптических наблюдениях области Плеяд участвовала также Абастуманская астрофизическая обсерватория

Академии наук Грузинской ССР*. Результаты двухцветных наблюдений включены в табл. 1—3.

Как уже отмечено, общая продолжительность параллельных наблюдений на двух телескопах составляет 51 час. За это время была зарегистрирована 21 вспышка.

Таблица 4

ДВУХЦВЕТНЫЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ (m_U) И ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ (m_{pg}) НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗДНЫХ ВСПЫШЕК В ПЛЕЯДАХ

№	V	U—B	Δm_U	$(m_U - m_{pg})_{flare}$			Асинхронность (мин)
				max	через 10 мин	через 20 мин	
14	15.26	1.26	2.4	-1.3	-0.3	+0.4	2 U
23	17.31	1.00	4.8	-1.8	-0.5	-0.4	3 pg
55	14.09	0.99	2.6	-0.3	+0.6	+0.2	0
86	15.69	0.74	2.3	-0.1	-0.5	+0.0	3 pg
104	17.33	1.0	4.5	-0.3	-0.8	—	0
120	17.62	1.0	6.1	-0.5	-0.2	-0.3	1 pg
145	18.85	1.0	6.2	-0.3	0.0	-0.3	0
174	17.97	1.0	4.8	+0.3	-0.7	—	4 U
289	14.46	1.27	1.4	-1.5	—	—	0
298	15.07	0.87	2.6	-1.5	-1.2	-1.0	3 pg
306	13.32	1.11	1.3	-0.4	+0.7	—	0
326	17.35	1.0	7.6	-0.9	-0.8	-1.0	1 pg
335	15.37	1.19	2.1	-0.3	-0.8	-0.7	4 pg
435	13.75	1.36	1.4	-0.3	-0.8	—	3 pg
467	16.29	0.63	4.1	-0.1	-1.0	-0.1	0
467	16.29		3.0	—	—	-2.0	0
472	13.94	1.07	1.7	-0.9	—	—	0
475	15.88	0.82	3.4	-1.3	-1.0	-1.3	5 pg
476	16.04	0.98	2.5	-1.6	-1.6	-2.3	4 pg
478	17.39	1.0	5.6	-0.4	-0.4	—	0
481	18.43	1.0	5.8	-0.1	0.0	0.0	4 U
Средние цвета				-0.7	-0.5	-0.6	

Примечание: Обозначения «U» и «pg» в последнем столбце указывают, что соответствующие наблюдения начаты раньше других.

В табл. 4 приводятся данные о вспыхнувших за это время вспыхивающих звездах и цвета $m_U - m_{pg}$ этих вспышек (речь идет о цветах самих

* При определении цветов вспышек эти наблюдения не учтены, так как они не являются «синхронными» с наблюдениями, выполненными в Бюракане.

вспышек, то есть из наблюдаемых во время вспышек величин фотометрически вычтены соответствующие величины в минимуме). Цифры, представленные в восьмом столбце табл. 4, указывают на величину асинхронности двухцветных наблюдений в минутах. Они показывают, что в большинстве случаев наблюдения точно синхронные. Однако в ряде случаев эта разница доходит до 5 минут, причем, только в трех случаях (звезды № 14, 174 и 481) наблюдения в ультрафиолетовых лучах были начаты раньше фотографических, а в 9 случаях (звезды № 23, 86, 120, 298, 326, 335, 435 и 476) — наоборот. Цвета вспышек определены для трех изображений звезды на снимке (для трех точек кривой блеска): вблизи ее максимума и через 10 и 20 минут после максимума. В некоторых случаях число цветов меньше трех, так как соответствующие изображения, по крайней мере в одном цвете, отсутствуют.

Каждое изображение представляет собой десятиминутную экспозицию звезды, то есть соответствует (если пренебречь нелинейными эффектами) интегралу излучения звезды за это время в данном цвете. Цвета вспышек определены как разность ультрафиолетовых и фотографических звездных величин вспышек, с учетом цветов звезды в минимуме блеска. Очевидно, что они могут вследствие интегрирования излучения звезды несколько отличаться от мгновенных цветов вспышек.

Данные табл. 4 позволяют делать следующие выводы. Цвета наблюдаемых вспышек меняются в широких пределах, даже примерно в одной и той же фазе относительно максимума вспышки и указывают на существенное посинение звезды во время вспышки. Вблизи максимума блеска цвет вспышки $m_U - m_{pg}$ очень «синий».

В подавляющем большинстве случаев показатель цвета отрицателен, а для значительного числа вспышек близок и меньше — 1.0. Такие цвета вспышек зарегистрированы во время фотоэлектрических наблюдений вспышек звезд типа UV Кита. Например, по наблюдениям Кункеля [13] цвета U—V в максимуме вспышек приблизительно равны —1. Данные табл. 4 указывают, по-видимому, также, в согласии с фотоэлектрическими наблюдениями звезд типа UV Кита [13], что в большинстве случаев показатель цвета вспышки «краснеет» после максимума. Однако имеются и вспышки, когда наблюдается посинение после максимума, или цвет вспышки остается постоянным.

Этим, в основном, можно объяснить тот факт, что цвета всех вспышек, включенных в табл. 4, в среднем почти не меняются с удалением от максимума. Возможно, что это частично обусловлено неодинаковым числом измерений в соответствующих столбцах.

Имея в виду большие амплитуды наблюдаемых вспышек ($\Delta m_U = 1.4—7.6$), можно допустить, что эти результаты в большинстве случаев правильно отражают действительную картину изменения цветов вспышек.

Вместе с этим следует отметить, что цвета $m_U - m_{Pg}$ вспыхивающих звезд, вычисленные по их фотографическим и ультрафиолетовым величинам, определенным из «синхронных» наблюдений вспышек, имеют недостаточно высокую точность. Она меньше точности определения каждой из соответствующих звездных величин ($\pm 0.2 \div 0.4$).

Поэтому полученные на основе m_U и m_{Pg} оценки цветов вспышек носят, в основном, качественный характер. Тем не менее, посинение звезды во время вспышки и относительное покраснение цвета вспышки после максимума в большинстве случаев можно считать несомненным. Что касается случаев посинения цвета вспышек после максимума, то они требуют дальнейшего исследования.

Следует добавить, что вычисленные нами цвета $m_U - m_{Pg}$ вспышек вблизи максимумов по своему определению должны быть несколько краснее цветов $U - V$.

Медленные вспышки в Плеядах. Аро [14] первым обратил внимание на отличие вспышек, обладающих различной продолжительностью возгорания. На основе этого критерия он разделил все вспышки на две группы: быстрые и медленные. К медленным вспышкам он отнес все вспышки, у которых время возгорания порядка 30 минут и больше, а к быстрым — все остальные вспышки. Аро [14] привел свидетельства, показывающие, что вспышки этих двух групп отличаются друг от друга своим цветом: медленные вспышки имеют более красный цвет, чем быстрые. Выяснилось также, что медленные вспышки встречаются гораздо реже, их число почти на два порядка меньше числа быстрых вспышек.

Первые медленные вспышки Аро [14] обнаружил в ассоциации Ориона и высказал предположение, что они характерны для самых молодых вспыхивающих звезд. Однако в дальнейшем это предположение не подтвердилось: были обнаружены медленные вспышки и в более старых агрегатах — Плеядах [3, 4, 15, 16], Гиадах [4] и Яслях [17]. Примечателен тот факт, что у некоторых вспыхивающих звезд (например, № 66, 149, 153 в Орионе [18] и № 103, 154, 203, 267 в Плеядах [3, 15, 16]) были наблюдаемы как быстрые, так и медленные вспышки.

Таким образом, выяснилось, что различие в этих двух группах вспышек не связано с возрастом звезды. Оно, вероятно, обусловлено различием физических условий протекания процесса вспышки. В. А. Амбарцумян [19], например, это объясняет различием в глубине расположения тех слоев звезды, где происходит вспышка (распад протозвездной материи). Это представление, по-видимому, позволяет удовлетворительно объяснить наблюдаемые характеристики медленных вспышек (частота, скорость возгорания и цвет).

Бюраканские наблюдения области Плеяд привели к обнаружению пяти медленных вспышек [3, 4, 15, 16], в том числе одной у звезды № 55.

принадлежащей Гиадам [4]. Еще две медленные вспышки в Плеядах были обнаружены Пигатто и Розино [9].

В табл. 5 приводятся данные об этих медленных вспышках. Для двух из них (№ 55, 203) имеются наблюдения в двух цветах [4, 15], которые как будто подтверждают вывод Аро об относительно красном цвете медленных вспышек.

МЕДЛЕННЫЕ ВСПЫШКИ В ПЛЕЯДАХ

Таблица 5

Звезда (№)	Дата	Время возгорания	Блеск и нормальные цвета			Литера- тура
			V	B-V	U-B	
55	3.12.72	40	14.09	1.80	0.99	[4]
103	2. 9.70	40	14.98	1.61	1.07	[15]
154	25. 9.71	30	16.44	1.57	0.84	[3]
203	20. 9.71	30	17.20	1.33	0.49	[16]
205	29. 1.73	50	17.89	1.15	—	[9]
267	19. 9.71	30	16.42	1.75	0.47	[3]
360	8.11.72	30	16.52	1.79	—	[9]

Число вспыхивающих звезд различных величин и средняя энергия вспышек. Наблюдения показывают, что число вспыхивающих звезд n_* и число зарегистрированных вспышек n в Плеядах резко возрастает, когда мы переходим от самых ярких до звезд с фотографическими величинами 17—18, а затем примерно симметрично убывает до самых слабых звезд (табл. 6).

Таблица 6

СРЕДНЕЕ ЧИСЛО НАБЛЮДЕННЫХ ВСПЫШЕК НА ОДНУ ВСПЫХИВАЮЩУЮ ЗВЕЗДУ ($\bar{n}$) ДЛЯ РАЗНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН

Число mrg	13—14	14—15	15—16	16—17	17—18	18—19	19—20	20—21	>21.0
Звезд- n_*	5	33	43	79	137	71	54	32	15
Вспышек- n	6	97	112	232	303	159	108	47	25
$\bar{n} = n/n_*$	1.20	2.94	2.60	2.94	2.21	2.24	2.00	1.47	1.67

Однако у более слабых вспыхивающих звезд нам доступны только вспышки со сравнительно большими амплитудами. Вследствие этого среди слабых вспыхивающих звезд число еще не обнаруженных должно быть сравнительно больше, чем у более ярких звезд. Об этом говорит, в частности, тот факт, что средняя видимая звездная величина обнаруживаемых вспыхивающих звезд систематически росла со временем. Так, например,

она составляет 17.3 для обнаруженных первыми 150 вспыхвающих звезд в Плеядах и 17.9 — для последних 150. Поэтому реальное убывание числа вспыхвающих звезд, при переходе к слабым, должно быть несколько медленнее. Убывание числа вспыхвающих звезд к слабым звездам, безусловно, отражает действительность. В противном случае, мы пришли бы к невероятно большой массе скопления Плеяды.

Зависимость среднего числа наблюденных вспышек на одну вспыхвающую звезду ($\bar{n}$) от видимой звездной величины для вспыхвающих звезд Плеяд указывает на некоторое убывание этого числа при переходе к слабым вспыхвающим звездам (табл. 6).

Если полагать, что это число убывает вследствие отмеченной наблюдательной селекции, а в действительности оно постоянно для всех звездных величин, то этот факт можно рассматривать как свидетельство независимости кратности вспышек от светимости вспыхвающих звезд.

Исключение составляет интервал звездных величин 13—14. Для них среднее число вспышек, приходящееся на одну звезду, близко к единице. Выпадение этих вспыхвающих звезд из общей зависимости обусловлено, по всей вероятности, трудностью наблюдения вспышек у ярчайших вспыхвающих звезд. Не исключено, однако, что это частично вызвано реальным уменьшением у них средней частоты вспышек.

Данные о средних амплитудах вспышек вспыхвающих звезд можно попытаться использовать для оценок средней энергии вспышек. Наблюдаемая средняя амплитуда вспышек меняется с видимой величиной звезды. Для звезд до 16-ой величины в минимуме блеска средняя амплитуда, по-видимому, не зависит от яркости звезды, а для более слабых звезд сильно возрастает с возрастанием звездной величины (табл. 7). Это возрастание можно попытаться объяснить при допущении, что для этих слабых (начиная с 17-ой звездной величины) звезд средняя энергия наблюдаемых вспышек почти постоянна независимо от яркости звезды. Это видно из данных второй строки табл. 7, полученных при этом допущении.

Таблица 7

СРЕДНИЕ АМПЛИТУДЫ ВСПЫШЕК

Δm_{pg} \ m_{pg}	13—14	14—15	15—16	16—17	17—18	18—19	19—20	20—21	>21.0
Наблюдения	1.2	1.2	1.2	1.4	2.0	3.2	4.0	5.0	6.0
С учетом потерь	1.2	1.2	1.2	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7

Действительно, при наблюдениях слабых звезд мы теряем все вспышки сравнительно малых амплитуд, когда на снимках не достигается предельная

величина. В результате для них искусственно завышена наблюдаемая средняя энергия вспышек.

Для учета доли вспышек различных амплитуд, теряемых из-за наблюдательной селекции, можно допустить, что у звезд, в минимуме блеска слабее предельной величины, доступной телескопу при данной экспозиции, реальное распределение амплитуд больше 0.5 звездной величины совпадает с видимым распределением амплитуд для ярких звезд.

Оценив, таким образом, долю вспышек, теряемых при наблюдениях вспышек слабых вспыхивающих звезд, можно грубо определить для них зависимость средней амплитуды от видимой величины звезд. Она показывает тенденцию возрастания средней амплитуды с видимой звездной величиной для звезд слабее 16-ой величины. Имея в виду, что эта величина приблизительно постоянна для вспыхивающих звезд до 16-ой видимой величины, можно допустить, что указанное возрастание является следствием неточного учета наблюдательной селекции, а в действительности средняя амплитуда не зависит от яркости звезды.

В этом случае можно заключить, что средняя энергия вспышек составляет постоянную часть светимости вспыхивающих звезд. В противном случае следует считать, что имеет место слабое возрастание средней энергии вспышек к звездам низких светимостей.

Полное число и средняя частота вспыхивающих звезд в Плеядах. Как уже было отмечено, за последние три года, прошедшие после опубликования статьи [4], в Плеядах обнаружено 55 новых вспыхивающих звезд и 177 повторных вспышек ранее известных вспыхивающих звезд. Эти числа можно использовать для грубой оценки полного числа вспыхивающих звезд в Плеядах.

Отношение чисел новых и повторных вспышек в каком-либо ряде наблюдений при условии, когда вероятность обнаружения вспышек одинакова для всех вспыхивающих звезд, должно быть равным отношению чисел еще не известных и известных до начала данного ряда наблюдений вспыхивающих звезд в системе. Иначе говоря, в этом случае мы имели бы основание утверждать, что число неизвестных в настоящее время вспыхивающих звезд в Плеядах примерно в три раза меньше числа уже обнаруженных вспыхивающих звезд. При справедливости этого допущения меньше одной четверти всех вспыхивающих звезд в Плеядах было бы нам неизвестно и для полного числа вспыхивающих звезд в Плеядах мы имели бы оценку $N \simeq 550$.

Очевидно, что вышеприведенные соображения справедливы только при равной средней частоте вспышек всех звезд. Между тем, как будет показано ниже, эта средняя частота совершенно различна у разных вспыхивающих звезд. В этом случае, естественно, чаще обнаруживаются звезды с большими средними частотами вспышек, чем с малыми. Это приводит к меньше-

му значению вероятности появления вспышек у еще не обнаруженных вспыхивающих звезд.

Но дело не только в различии вероятностей появления вспышек этих двух родов. Вероятности обнаружения повторной вспышки и обнаружения пока неизвестной вспыхивающей звезды также значительно отличаются. Это обусловлено прежде всего тем, что со временем остаются неизвестными все более и более слабые вспыхивающие звезды (а следовательно, для обнаружения вспышки нужно, чтобы она обладала большой амплитудой) и тем, что при поисках вспышек на фотографических пластинках наблюдатель невольно (а при ревизии старых пластинок сознательно) обращает больше внимания на уже известные вспыхивающие звезды.

Этим можно объяснить тот факт, что вышеприведенная оценка полного числа вспыхивающих звезд в Плеядах ($N \approx 550$) сильно расходится с более подробными оценками, полученными разными методами в наших предыдущих статьях. Эти последние дают значение порядка 1000 [1—4] для полного числа вспыхивающих звезд в Плеядах. Согласно этим оценкам, в настоящее время остаются еще неизвестными в этой системе более половины всех вспыхивающих звезд.

Наиболее простая оценка количества неизвестных в системе вспыхивающих звезд (n_0) получается с помощью формулы [1, 5]

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2}, \quad (1)$$

выражающей это число посредством чисел вспыхивающих звезд, уже наблюденных в одной (n_1) и в двух (n_2) вспышках.

Формула (1) справедлива в том случае, когда последовательность вспышек у каждой звезды представляется пуассоновским распределением, а средние частоты вспышек одинаковы у всех вспыхивающих звезд.

Для известных к настоящему времени вспыхивающих звезд в Плеядах имеем:

$$n_1 = 270, \quad n_2 = 71,$$

что приводит к значению $n_0 = 513$.

Полное число вспыхивающих звезд в системе определится как сумма известных (469) и неизвестных (513) в ней вспыхивающих звезд

$$N = \sum_0^{\infty} n_k = 982.$$

Следовательно, полное число вспыхивающих звезд в Плеядах, даже при справедливости сделанных выше предположений, порядка 1000.

Формулу (1) можно применить и для оценки полного числа вспыхивающих звезд для разных интервалов звездных величин, по соответствующим

шим значениям чисел n_1 и n_2 . И в этом случае полное число всех вспыхивающих звезд оказывается порядка 1000 (табл. 8).

Таблица 8

ОЦЕНКА ПОЛНОГО ЧИСЛА ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ПЛЕЯДАХ

n_k \ m _{pg}	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	>21	Сумма
n_1	4	14	18	48	85	38	30	22	11	270
n_2	1	6	7	11	17	9	12	6	2	71
n_0	8	16	23	105	213	80	38	40	30	553
$\sum_1 n_k$	5	33	43	79	137	71	54	32	15	469
N	13	49	66	184	350	151	92	72	45	1022

Следует отметить, что допущение о пуассоновском распределении последовательности вспышек у каждой звезды в известной мере обосновано [1]. Между тем, допущение о равенстве средней частоты вспышек у разных вспыхивающих звезд, как показано в наших предыдущих статьях [1-4], не соответствует действительности. В этом случае величина n_0 , вычисленная по формуле (1), определяет лишь нижний предел числа неизвестных вспыхивающих звезд в системе.

Полное число вспыхивающих звезд в Плеядах можно определить сравнительно независимым методом с помощью числа известных вспыхивающих звезд и числа всех зарегистрированных у них вспышек, приведенных в табл. 6.

Действительно, примем для простоты, что средняя частота вспышек одинакова для всех вспыхивающих звезд в системе. В этом случае число вспыхивающих звезд, показавших k вспышек за все время наблюдений, можно с достаточной точностью представить законом Пуассона:

$$n_k = N e^{-x} \frac{x^k}{k!}, \quad (2)$$

где N — полное число вспыхивающих звезд в системе, а x — среднее число вспышек одной вспыхивающей звезды (нетрудно убедиться, что $x = \nu t$, где ν — средняя частота вспышек, а t — суммарное время всех наблюдений).

Согласно (2), число неизвестных в системе вспыхивающих звезд определится формулой

$$n_0 = N e^{-x}, \quad (3)$$

а число известных вспыхивающих звезд

$$n_* = N - n_0. \quad (4)$$

С помощью (3) выражение (4) преобразуется в

$$n_* = N(1 - e^{-x}). \quad (5)$$

Очевидно, что число всех вспышек, зарегистрированных в системе n , определится произведением

$$n = Nx. \quad (6)$$

Разделив (6) на (5), получим отношение

$$\frac{n}{n_*} = \frac{x}{1 - e^{-x}}, \quad (7)$$

представляющее собой среднее число вспышек на одну вспыхивающую звезду.

Величины $\bar{n} = n/n_*$ для разных интервалов звездных величин представлены в табл. 6. Вычисляя по ним x , из формулы (7) можно затем определить полное число вспыхивающих звезд для каждого интервала звездных величин по формуле (6):

$$N = \frac{n}{x}. \quad (8)$$

Результаты соответствующих вычислений, x и N для всех доступных интервалов звездных величин, даны в четвертой и пятой строках табл. 9.

Таблица 9

К ОЦЕНКЕ ПОЛНОГО ЧИСЛА ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ПЛЕЯДАХ

Параметр	Видимая величина (m _{рг})									Сумма
	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	>21	
n	6	97	112	232	303	159	108	47	25	1089
$\bar{n} = n/n_*$	1.20	2.94	2.60	2.94	2.21	2.24	2.00	1.47	1.67	
$x = \tau t$	0.38	2.68	2.37	2.68	1.87	1.91	1.59	0.83	1.13	
N	16	36	47	87	162	83	68	57	22	578

Примечание: Данные первых двух строк взяты из табл. 6.

Полное число всех вспыхивающих звезд (сумма N для всех интервалов звездных величин) в Плеядах по этим данным составляет 578, что значительно меньше оценок этого числа, полученных другими методами.

Это расхождение обусловлено наличием в нашей выборке большого числа вспыхивающих звезд, показавших многократные вспышки*.

Действительно, последовательно исключая из этой выборки все звезды, показавшие $k \geq 6$ (38 звезд), $k \geq 5$ (54 звезды), $k \geq 4$ (82 звезды) и $k \geq 3$ (126 звезд) вспышек, для полного числа вспыхивающих звезд в Плеядах мы получим этим же методом, соответственно, 696, 728, 866 и 1254.

Это означает, что наше допущение об одинаковой средней частоте всех вспыхивающих звезд в системе не соответствует действительности и в ней на самом деле имеются вспыхивающие звезды сильно отличающиеся друг от друга по средней частоте вспышек.

Для более точного определения полного числа вспыхивающих звезд в Плеядах и приблизительной оценки средней частоты вспышек, в предыдущих статьях этой серии [1—4] мы представляли числа вспыхивающих звезд, наблюдаемых в k ($k = 1, 2, 3, \dots$) вспышках, двумя распределениями Пуассона с различными частотами:

$$n_k = \sum_{i=1, 2} N_i e^{-\nu_i t} \frac{(\nu_i t)^k}{k!}, \quad (9)$$

где N_i — полное число вспыхивающих звезд в i -ой группе, обладающих средней частотой вспышек ν_i .

В этом случае можно определить число неизвестных звезд по $N_1, N_2, \nu_1 t, \nu_2 t$ величинам, соответствующим наилучшему представлению наблюдаемых чисел n_k .

Новые данные об n_k уже не допускают приемлемое представление наблюдений даже двумя пуассоновскими распределениями. Они требуют введения, по крайней мере, еще одного пуассоновского распределения с третьей средней частотой. Это означает, что следует допустить существование в Плеядах, по крайней мере, трех групп вспыхивающих звезд, отличающихся по средней частоте вспышек.

При этом предположении наблюдаемые числа n_k для $k = 1, 2, 3, 4$ и 5 можно с помощью выражения (9) удовлетворительно представить тремя пуассоновскими распределениями, например, со следующими параметрами [20]:

$$\begin{aligned} N_1 &= 950, & \nu_1 t &= 0.40, \\ N_2 &= 100, & \nu_2 t &= 3.20, \\ N_3 &= 60, & \nu_3 t &= 4.50. \end{aligned}$$

Это представление приведено в табл. 10.

* Этим замечанием авторы обязаны М. А. Мнацаканяну.

Однако, как видно из табл. 10, даже при трех средних частотах не удается удовлетворительно представить высокие n_k . Для лучшего представления чисел n_k при $k \geq 6$ нужно допустить, что в Плеядах должна существовать еще одна группа вспыхивающих звезд, состоящая из $N_1 \approx 15$ членов с очень высокой средней частотой вспышек ($\nu_1 t = 12$).

Таблица 10
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ЧИСЕЛ
 n_k ТРЕМЯ ПУАССОНОВСКИМИ РАСПРЕДЕ-
ЛЕНИЯМИ С РАЗНЫМИ СРЕДНИМИ ЧАСТО-
ТАМИ ВСПЫШЕК ДЛЯ ПЛЕЯД

k	n_k	
	Набл.	Вычисл.
0	—	641
1	270	271
2	71	78
3	46	38
4	28	29
5	17	22
< 6	37	25

Следует отметить, что эффективная частота вспышек для слабых звезд постепенно падает вследствие того, что вспышки с относительно малыми амплитудами у них не доступны наблюдениям.

Таким образом, новые данные указывают, по-прежнему, [1—4] на полное число вспыхивающих звезд в Плеядах порядка 1000 (около 1100). Вместе с этим, они свидетельствуют о том, что средняя частота вспышек в системе изменяется в широких пределах.

В действительности, по-видимому, существует определенная непрерывная функция «средней частоты» — $f(\nu)$, и при дальнейшем увеличении статистического материала целесообразнее представить наблюдения (n_k) не многими пуассоновскими распределениями с различными средними частотами, а пуассоновским распределением с учетом указанной функции $f(\nu)$, которая может быть определена из наблюдений.

Это находится в согласии с результатами изучения вспыхивающих звезд типа UV Кита в окрестностях Солнца, которые показывают, что средняя частота вспышек различна у разных звезд и коррелирует с физическими параметрами вспышек (амплитуда, цвет и т. д.), а, возможно, также со светимостью звезды (см., например, [21]).

Авторы выражают глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за ценные советы и постоянный интерес к работе.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

FLARE STARS IN PLEIADES. V

L. V. MIRZOYAN, H. S. CHAVUSHIAN, L. K. ERASTOVA, G. B. OHANIAN,
N. D. MELIKIAN, R. SH. NATSVLISHVILI, M. K. TSVETKOV

The results of photographic observations of stellar flares in the Pleiades region carried out at the Byurakan and Abastumani astrophysical observatories, mainly during 1973—1974, are given. In all 20 new flare stars (Table 1) and 62 repeated flares of the known flare stars (Table 3) have been found.

The general numeration of flare stars in Pleiades including the flare stars found in the other observations during the same period is continued (Table 2). Total number of all known flare stars in the Pleiades region at 1 May 1976 reached 469 and the number of all flares—1089 (excluding the flare star No. 55 and its flares).

21 flares have been observed in photographic and ultraviolet colours (Table 4). They show that the flare radiation is strongly "blue" near the maximum of brightness and becomes "red" after the maximum.

Some data on seven "slow" flares, detected in the Pleiades region are presented (Table 5).

The arguments are discussed which show that the numbers of flare stars per one magnitude interval of photographic brightness have well expressed maximum at $m = 17-18$ (Table 6) and mean flare energies form the same portion of the total star radiation almost independent on brightness of stars (Table 7).

The total number of the flare stars in the Pleiades, estimated by the different methods is of the order of 1000 (Table 8 and 9), in agreement with the earlier estimations [1—4].

The observational data indicate large differences in the mean flare frequencies of different flare stars in the Pleiades. The data concerning the flare stars observed in $k \leq 5$ flares are presented satisfactorily by three Poisson's distributions with different mean flare frequencies.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсмян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерстова, *Астрофизика*, 6, 7, 1970.
2. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсмян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерстова, *Астрофизика*, 7, 319, 1971.
3. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсмян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерстова, Э. С. Казарян, Г. Б. Оганян, *Астрофизика*, 8, 485, 1972.
4. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсмян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерстова, Э. С. Казарян, Г. Б. Оганян, И. Янкович, *Астрофизика*, 9, 461, 1973.
5. E. Simpson, R. F. Hills, W. Hoffman, S. A. Killman, E. Morton, F. Paresce, C. Peterson, *Ap. J.*, 159, 895, 1970.
6. В. А. Амбарцумян, Звезды, туманности, галактики, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1969, стр. 283.
7. E. Hertzsprung, C. Sanders, C. J. Kuoreman et al., *Ann. Leiden obs.*, 19, No. 1A, 1947.
8. G. Haro, E. Chavira, G. Gonzalez, *Bol. Inst. Tonantzintla*, 1, No. 1, 3, 1975.
9. L. Pigatto, L. Rosino, *Centr. Asiago Obs.*, No. 296, 3, 1974.
10. G. Szecsenyi-Nagy, *IBVS*, No. 898, 1974.
11. G. Szecsenyi-Nagy, *IBVS*, No. 956, 1975.
12. H. M. Tovmassian, G. Haro, J. C. Webber, G. W. Swenson, Jr., K. S. Yong, K. M. Yoss, D. Deming, R. F. Green, *Astrofizika*, 10, 337, 1974.
13. W. Kunkel, *An Optical Study of Stellar Flares*, University of Texas, Austin, 1967.
14. G. Haro, *Stars and Stellar Systems*, vol. 7, ed. B. M. Middlehurst and L. H. Aller, University of Chicago Press, Chicago, 1968.
15. Э. С. Парсмян, *Астрофизика*, 7, 547, 1971.
16. Э. С. Парсмян, О. С. Чавушян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 46, 16, 1975.
17. И. Янкович, *Вспыхивающая активность красных карликовых звезд в области открытого скопления Ясли*, Диссертация, Ереванский университет, 1975.
18. G. Haro, E. Chavira, *Bol. Obs. Tonantzintla*, 5, No. 32, 59, 1969.
19. В. А. Амбарцумян, *Астрофизика*, 6, 31, 1970.
20. E. C. Molina, *Poisson's Exponential Binomial Limit*, D. Van Nostrand Company, New York, 1943.
21. В. С. Осканян, В. Ю. Тербиж, *Астрофизика*, 7, 281, 1971.