

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗДНЫХ ВСПЫШЕК PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF STELLAR FLARES

Л. В. МИРЗОЯН, О. С. ЧАВУШЯН*

Бюраканская астрофизическая обсерватория

Резюме. Обсуждаются некоторые результаты по физике и эволюции вспыхивающих звезд, полученные исключительно благодаря *фотографическим наблюдениям* звездных вспышек в звездных ассоциациях и скоплениях. 1. Стадия вспыхивающей звезды является эволюционной стадией в жизни карликовых звезд, через которую проходят все звезды-карлики. 2. Функция средней частоты вспышек для различных звездных систем различна. 3. Средняя светимость вспыхивающих звезд в системе уменьшается при переходе к более старым системам. 4. На диаграмме Герцшпрунга-Рессела вспыхивающих звезд в системах существуют звезды, попадающие в область ниже главной последовательности. 5. Встречаются звездные вспышки («медленные») время возгорания которых существенно больше, чем у подавляющего большинства вспышек («быстрых»). 6. По цветовым характеристикам звездные вспышки в ассоциациях и скоплениях практически не отличаются от вспышек звезд типа UY Кита окрестности Солнца. 7. Показатели цвета U—B и B—V вспышечного излучения в максимуме вспышки значительно отличаются для разных вспышек и, обычно, неправильно изменяются в период данной вспышки.

Abstract. Some results on Physics and Evolution of flare stars, obtained exclusively owing to *photographic observations* of stellar flares in star clusters and associations are discussed. 1. The stage of flare stars is an evolutionary stage in life of dwarf stars through which all dwarf stars pass. 2. The function of mean flare frequency is different for different systems. 3. The mean luminosity of flare stars in a system is decreasing to older systems. 4. On the Hertzsprung—Russell diagram for flare stars in systems there are stars being below the main sequence. 5. There are flares („slow“) increasing time of which is essentially larger than that of majority of flares („fast“). 6. According to their colours the stellar flares in clusters and associations don't differ practically from the flares of UY Cet type stars. 7. The colour indices U—B and B—V of flare emission in flare maximum differ considerably for different flares and usually vary irregularly during given flare.

Около 30 лет назад Аро и коллеги [1] *фотографическим методом* открыли первые вспыхивающие звезды в ассоциации Ориона. Чуть позже Джонсон и Митчелл [2] *фотоэлектрическим методом*, случайно, открыли первую вспыхивающую звезду в более старой системе—в скоплении Плеяды.

Первое из этих открытий подтвердило родственную связь вспыхивающих звезд со звездами типа T Тельца, подозреваемую Амбарцумяном [3], исходя из общности характеристик их переменного излучения. Второе же открытие показало, что жизнь вспыхивающей звезды должна быть более продолжительной, чем звезды типа T Тельца. Этот факт в свете первого открытия дал основание Аро [1,4] высказать идею

* Доклад представлен Л. В. Мирзояном

о том, что стадия вспыхивающей звезды является эволюционной, последующей за стадией типа Т Тельца.

Вскоре начались довольно интенсивные фотографические наблюдения областей звездных агрегатов-ассоциаций и молодых звездных скоплений с помощью широкоугольных телескопов для открытия вспыхивающих звезд. Наблюдениями, выполненными, в основном, Аро и сотрудниками в обсерватории Тонанцинтла и Розино и сотрудниками в обсерватории Азяго (см. статью Аро [5]) в ближайших агрегатах были открыты более 100 вспыхивающих звезд.

Для дальнейшего развертывания фотографических наблюдений звездных агрегатов, с целью поиска и исследования вспыхивающих звезд в них, важное значение имела первая статистическая оценка полного числа вспыхивающих звезд в скоплении Плеяды, полученная Амбарцумяном [6] в 1968 г. Она свидетельствовала о необычно большом обилии вспыхивающих звезд в этой сравнительно молодой системе и стимулировала обширные фотографические наблюдения областей звездных агрегатов.

В этих наблюдениях кроме указанных двух обсерваторий принимали активное участие Бюраканская, в последующем и Абастуманская астрофизические обсерватории, а также Обсерватории им. Конколи (Венгрия) и Болгарская национальная.

Несмотря на невысокую точность фотографического метода он открыл возможность одновременного наблюдения широкоугольными телескопами большого числа вспыхивающих звезд в звездных агрегатах, что оказалось принципиальным.

Именно, *благодаря фотографическим наблюдениям областей звездных агрегатов были получены новые результаты по физике и эволюции вспыхивающих звезд, которые были неизвестны из фотоэлектрических наблюдений вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестности Солнца.* Ниже мы рассмотрим некоторые из них (см., подробнее, в [7]).

Эволюционный статус вспыхивающих звезд. Оценка Амбарцумяна [6] полного числа вспыхивающих звезд в агрегате Плеяды была основана на формуле*.

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2},$$

где n_0 —число неизвестных в системе вспыхивающих звезд, а n_1 и n_2 —числа звезд вспыхнувших по одной и по два раза в период наблюдений. Она показала, что наряду с известными в то время (1968 г.) 60 вспыхивающими звездами в Плеядах должны быть около 300 неизвестных вспыхивающих звезд. Это послужило основанием для вывода о том, что в этой сравнительно молодой системе (возраст 7×10^7 лет [9]) все или почти все звезды низкой светимости должны быть вспыхивающими.

Этот вывод полностью подтверждается современными данными, которые свидетельствуют о большом обилии вспыхивающих звезд во всех агрегатах.

В табл. 1 представлены соответствующие данные, заимствованные из работы [10]. В этой таблице n —число известных в агрегате вспыхивающих звезд, а N —оценка полного числа вспыхивающих звезд, основанная на формуле Амбарцумяна [6].

* В последующем было показано [8], что эта формула дает нижний предел числа неизвестных в системе вспыхивающих звезд.

Число известных вспыхивающих звезд
и оценка их полного числа в звездных агрегатах

Агрегат	n	n_1	n_2	n_0	N
Плеяды	524	302	79	577	1101
Орион	466	337	87	653	1119
Лебедь (NGC 7000)	67	58	5	336	413
Ясли	54	44	6	161	215
Единогор (NGC 2264)	42	40	2	400	442

Из табл. 1 следует принципиально важный вывод о том, что стадия вспыхивающей звезды является эволюционной стадией в жизни карликовых звезд, через которую проходят все звезды-карлики.

Она наступает за стадией типа Т Тельца [4], представляющей наиболее раннюю стадию эволюции карликовой звезды. Причем, существование в ассоциациях Ориона и Единорога (NGC 2264) звезд типа Т Тельца, обладающих одновременно вспышечной активностью свидетельствует о том, что эти две стадии эволюции взаимно перекрываются. По расчетам Амбарцумяна [11] время этого перекрывания для звезд типа Т Тельца ассоциации Ориона равно четверти продолжительности стадии типа Т Тельца.

Отметим, наконец, что согласно [12] вспышечная активность звезд носит, по-видимому, циклический характер.

Функция средней частоты вспышек. Из фотоэлектрических наблюдений вспышек звезд типа UV Кита было известно, что средняя частота вспышек у разных звезд разная. Фотографические наблюдения показали, что такое же положение наблюдается и в случае вспыхивающих звезд в агрегатах.

При этом, имеются основания допустить, что функции средней частоты для разных агрегатов значительно отличаются. Поэтому для описания совокупности вспыхивающих звезд в каждом звездном агрегате необходимо знать не только полное число вспыхивающих звезд в нем, но и функцию распределения их средних частот— $f(\nu)$.

Прямое определение этой функции в настоящее время невозможно из-за недостатка наблюдений (даже для наиболее изученных агрегатов значительная часть вспыхивающих звезд неизвестна, а звезды, у которых наблюдалось более двух вспышек, составляют небольшую долю их полного числа).

В связи с этим решение задачи определения функции $f(\nu)$ в звездном агрегате было получено Амбарцумяном [13] статистически. Именно, была решена обратная задача с использованием статистических данных о хронологии открытий вспышек и хронологии их подтверждений.

Исследование функции средней частоты $f(\nu)$ для агрегата Плеяды, определенной этим методом, показало [13], что для вспыхивающих звезд в этой системе значения средней частоты ν распределены в широком интервале (крайние значения отличаются почти на три порядка величины).

Для иллюстрации удовлетворительного представления полученной функцией ($f(\nu)$) наблюдений в табл. 2, заимствованной из работы [14],

приводятся данные о распределении чисел вспыхивающих звезд n_k , показавших по k вспышек в скоплении Плеяды к 1 июня 1980 г. и вычисленные значения n_k с помощью этой функции (эти значения нормированы так, чтобы наблюдаемое и вычисленное значения n_k совпали для $k=1$).

Таблица 2

Представление чисел вспыхивающих звезд n_k , показавших по k вспышек к 1 июня 1980 г. в скоплении Плеяды с помощью функции средней частоты вспышек [14].

k	n_k	
	Набл.	Вычисл.
1	302	(302)
2	79	89
3	45	44
4	37	26
5	13	17
6	15	12
>7	33	29
Всего	524	519

Функция $f(v)$ для вспыхивающих звезд ассоциации Орiona была определена этим же методом Парсамян [15]. Сравнение функций средней частоты вспышек для ассоциации Орiona и скопления Плеяды свидетельствует [15], что Плеяды богаче Орiona часто вспыхивающими звездами ($v^{-1} < 1800$ часов) и, наоборот, беднее ее звездами реже вспыхивающими ($v^{-1} > 1800$ часов).

Имея в виду, что в каждом звездном агрегате существует значительная дисперсия светимостей вспыхивающих звезд можно допустить, что функция $f(v)$ зависит от светимостей вспыхивающих звезд, распределение средней частоты вспышек которых она представляет. Этим, по-видимому, и обусловлено указанное различие.

Это допущение было использовано Амбарцумяном [16] для объяснения весьма широкого диапазона средних частот вспышек в агрегате Плеяды, как следствия большой дисперсии светимостей соответствующих вспыхивающих звезд.

Корреляции между параметрами вспыхивающих звезд и возрастом соответствующего агрегата. Аро и Чавира [17] обратили внимание на тот факт, что спектральный класс наиболее яркой вспыхивающей звезды в данном агрегате коррелирует с возрастом агрегата: чем моложе агрегат, тем более ранний спектральный класс этой звезды. Это означает, что со старением звезд (агрегата) наиболее высокой светимости звезды кончают свою вспышечную активность. Вследствие этого средняя светимость вспыхивающих звезд в агрегате убывает с возрастом системы. Этот факт можно иллюстрировать табл. 3, заимствованной из работы [18].

Наблюдаемую корреляцию между средней светимостью вспыхивающих звезд и возрастом соответствующего агрегата можно рассматривать как свидетельство представления о том, что темпы эволюции звезд замедляются при переходе к звездам более низких светимостей [19].

Вследствие этого относительная вспышечная активность падает

Средние светимости вспыхивающих звезд ($\bar{M}_{\text{pг}}$)
в звездных агрегатах разного возраста (Т)

Агрегат	$\bar{M}_{\text{pг}}$	Т (лет)
Орион 1	7.3	3×10^5
Лебедь (NGC7000)	8.1	2×10^6
Плеяды	9.1	7×10^7
Ясли	10.2	4×10^8

к вспыхивающим звездам более высоких светимостей. Этот вопрос был рассмотрен Амбарцумяном и автором [20] и подробнее автором и Брутяном [18] на примере вспыхивающих звезд скопления Плеяды. Оказалось, в частности, что средняя амплитуда вспышек звезды возрастает в сторону вспыхивающих звезд более низких светимостей.

В результате существует обратная корреляция между светимостью вспыхивающей звезды и возможной для нее максимальной амплитудой вспышек: эта максимальная амплитуда тем больше, чем ниже светимость вспыхивающей звезды. Обнаружившая эту корреляцию Парсамян [21] использовала ее для оценки возрастов звездных агрегатов, содержащих вспыхивающие звезды, а также отдельных вспыхивающих звезд по наблюдениям звездных вспышек.

Следует добавить, что вследствие возрастания вспышечной активности при переходе к вспыхивающим звездам более низких светимостей возрастание количества энергии, выделяемой во время вспышек со светимостью происходит значительно медленнее, чем возрастание самой светимости звезды (см., например, [21, 22]).

Диаграмма Герцшпрунга-Рессела вспыхивающих звезд. Как показали Аро и Чавира [17], на диаграмме Герцшпрунга Рессела вспыхивающие звезды занимают область, окружающую с обеих сторон главную последовательность.

Основное различие между диаграммами, построенными для вспыхивающих звезд агрегатов различного возраста заключается в том, что величина отклонения звезд от главной последовательности убывает при переходе к более старым агрегатам, а наиболее яркие вспыхивающие звезды имеют более низкие светимости (более поздние спектральные классы).

Этот вывод был подтвержден последующими наблюдениями Эндриуса (ассоциация Ориона) [23], Чавушяна и Гарибджаняна (скопление Плеяды) [24] и других*).

Поскольку в теории начальной эволюции звезд, основанной на гипотезе о конденсации диффузной материи в звезды нет места для недавно возникших звезд, имеющих светимости ниже светимостей соответствующих главной последовательности, что существование в звездных агрегатах вспыхивающих звезд с такими параметрами является принципиальным затруднением для этой теории. Предложенные до сих пор объяснения этого затруднения оказались неудачными (см. [7]).

* О существовании вспыхивающих звезд, а также звезд типа Т Тельца, расположенных на диаграмме Герцшпрунга-Рессела ниже главной последовательности см. в [7].

«Быстрые» и «медленные» вспышки. Для выяснения физической природы звездных вспышек важным представляется разделение Аро [25] всех фотографических вспышек на две группы: «быстрые» и «медленные», по продолжительности времени их возгорания.

Подавляющее большинство вспышек являются «быстрыми». Причем, почти у всех звезд, показавших «медленные» вспышки, наблюдались и «быстрые» вспышки. Это дает основание допустить, что «быстрый» или «медленный» характер вспышки определяется не физическими параметрами звезды, в целом, а локальными условиями той активной зоны звезды, где происходит вспышка.

Фотографические наблюдения звездных вспышек показывают повидимому, что «медленные» вспышки более красные, чем «быстрые». Наглядное свидетельство в пользу этого вывода содержится, например, в работе Аро [25].

Основные наблюдательные различия между «быстрыми» и «медленными» вспышками (время возгорания, частота, цвет) можно удовлетворительно объяснить с помощью нетрадиционной интерпретации Амбарцумяна [3]. Она основана на допущении об освобождении энергии неравновесного излучения молодых звезд, в частности вспыхивающих звезд, в поверхностных слоях звезды, на различной глубине.

Некоторые данные в пользу этой интерпретации, полученные из наблюдений «медленных» вспышек в агрегатах Ориона и Плеяды были обсуждены недавно Парсамян [26].

Следует отметить, что необычное явление фуора удается объяснить в рамках этой интерпретации как чрезвычайно медленную «вспышку» [27].

Фотографическая колориметрия звездных вспышек. Изучение спектров звездных вспышек в агрегатах даже с умеренным разрешением в настоящее время практически невозможно. Единственную возможность для исследования спектральных характеристик вспышечного излучения представляют колориметрические наблюдения вспышек с применением нескольких телескопов, одновременно, каждый из которых фотографически регистрирует излучение звезды в одной области спектра.

Такие наблюдения, обладающие небольшим разрешением во времени, уже много лет проводятся в Бюраканской астрофизической обсерватории с применением метрового и 21" — камер Шмидта. В последние годы были осуществлены и трехцветные UVV — наблюдения вспышек, применяя вместе с ними 28" камеру Максудова Абастуманской астрофизической обсерватории.

Анализ этих наблюдений позволил сделать следующие выводы (см., например, [28]*.

1. По своим цветовым характеристикам звездные вспышки в агрегатах практически не отличаются от вспышек звезд типа UV Кита окрестности Солнца.

2. Показатели цвета U—B и B—V вспышечного излучения значительно отличаются даже в период максимума вспышки.

3. Цвета вспышечного излучения обычно неправильно изменяются в период вспышки.

4. Очень редко наблюдаются необычно синие и красные вспышки.

*-Фотоэлектрические наблюдения вспышек звезд типа UV Кита окрестности Солнца не противоречат этим выводам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *G. Haro*, Non-Stable Stars, IAU Symposium No. 3, ed. G. H. Herbig, Cambridge University Press, Cambridge, 1957, p. 26.
2. *H. L. Johnson, R. I. Mitchell*, Astrophys. J. 128, 31, 1958.
3. *В. А. Амбарцумян*, Сообщ. Бюраканской обс., 13, 1954.
4. *G. Haro*, Symposium on Stellar Evolution, ed. J. Sahade, Astron. Obs. Nat. Univ. of La Plata, La Plata, 1962, p. 37.
5. *G. Haro*, Stars and Stellar Systems, Vol. 7, eds. B. M. Middlehurst, L. H. Aller, University of Chicago, Chicago, 1968, p. 141.
6. *В. А. Амбарцумян*, Звезды, туманности, галактики, АН АрмССР, Ереван, 1969, стр. 283.
7. *Л. В. Мирзоян*, Нестационарность и эволюция звезд, АН АрмССР, Ереван, 1981.
8. *В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсаян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерастова*; Астрофизика, 6, 3, 1970.
9. *К. У. Аллен*, Астрофизические величины, Мир, Москва, 1977.
10. *L. V. Mirzoyan*, Vistas in Astronomy, 27, 77, 1984.
11. *В. А. Амбарцумян*, Астрофизика, 6, 31, 1970.
12. *Л. В. Мирзоян, Г. Б. Оганян*, Астрофизика, 13, 561, 1977.
13. *В. А. Амбарцумян*, Астрофизика, 14, 367, 1978.
14. *Л. В. Мирзоян, О. С. Чавушян, Г. Б. Оганян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, Н. Д. Меликян*, Астрофизика, 17, 71, 1981.
15. *Э. С. Парсаян*, Астрофизика, 16, 677, 1980.
16. *В. А. Амбарцумян*, Вспыхивающие звезды, фуоры и объекты Хербига-Аро, ред. Л. В. Мирзоян, АН АрмССР, Ереван, 1980, стр. 85.
17. *G. Haro, E. Chavira*, Vistas in Astronomy, Vol. 8, eds. A. Beer, K. Aa Strand, Pergamon Press, London, 1966, p. 89.
18. *Л. В. Мирзоян, Г. А. Брутян*, Астрофизика, 16, 97, 1980.
19. *Л. В. Мирзоян*, Publ. Astrophys. Obs. Potsdam, Nr. 110, Band. 32, Heft 3, 71, 1982.
20. *В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян*, Вспыхивающие звезды, ред. Л. В. Мирзоян, АН АрмССР, Ереван, 1977, стр. 63.
21. *Э. С. Парсаян*, Астрофизика, 12, 235, 1976.
22. *V. A. Ambartsumian, L. V. Mirzoyan*, Variable Stars and Stellar Evolution, IAU Symposium No. 67, eds. V. Sherwood, L. Plaut, Reidel, Dordrecht, 1975, p. 3.
23. *A. D. Andrews*, Bol. Obs. Tonantzintla, 5, 34, 195, 1970.
24. *О. С. Чавушян, А. Т. Гарибджанян*, Астрофизика, 11, 565, 1975.
25. *G. Haro*, The Galaxy and The Magellanic Clouds, IAU—URSI Symposium № 20, eds. F. J. Kerr, A. W. Rodgess, Australian Acad. Sci., Canberra, 1964, p. 30.
26. *Э. С. Парсаян*, Астрофизика, 16, 231, 1980.
27. *В. А. Амбарцумян*, Астрофизика, 7, 557, 1971.
28. *Л. В. Мирзоян, О. С. Чавушян, Н. Д. Меликян, Р. Ш. Нацвлишвили, В. В. Амбарян, Г. А. Брутян*, Астрофизика, 19, 725, 1983.