

А. Т. ГАРИБДЖАНИЯ

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗВЕЗД ТИПА UV Cet В ОКРЕСТНОСТИ СОЛНЦА

В 1970 г. М. А. Аракеляном [1] была произведена попытка сравнения пространственной плотности вспыхивающих звезд в окрестности Солнца и плотности этих объектов на сравнительно больших расстояниях. Для этого по близким звездам (до 10—15 пс) была построена функция светимости рассматриваемых объектов и далее было оценено математическое ожидание числа вспышек слабых звезд типа UV Cet при условии, что пространственная плотность этих звезд в окрестности Солнца может быть распространена на достаточно большие расстояния. Полученные результаты были сравнены с наблюдательными данными. Результаты, по-видимому, дают основание утверждать, что плотность звезд типа UV Cet при удалении от Солнца быстро падает.

В упомянутой работе принимались во внимание лишь те звезды, наблюдения которых возможны вне вспышек. Однако целесообразно при подобном анализе учитывать и те звезды, которые, будучи недоступны наблюдению вне вспышек, могут наблюдаться во время вспышки. И так как в настоящее время имеется более полный список вспыхивающих звезд типа UV Cet, составленный Н. И. Шаховской [2], вышеуказанная работа повторена была с помощью независимо построенной функции светимости.

Прежде всего по данным фотоэлектрических наблюдений четырех звезд типа UV Cet (AD Leo, EV Lac, YZ CM, UV Cet), собранным В. С. Осканяном, была построена функция $\nu(M_v, \Delta B)$, представляющая собой частоту вспышек с амплитудой ΔB звезд абсолютной величины M_v , которую необходимо иметь при подобной статистике.

В табл. 1 приведены абсолютная величина и суммарное время наблюдения для каждой из вышеупомянутых звезд.

Таблица 1

Звезда	ADLeo	EVLac	YZCM:	UVCet
M_v	12,52	13,25	13,90	17,39
$t(\text{мин})$	14 253	14 568	24 880	12 057

Кроме этого, о каждой вспышке имеется следующая информация:

1) продолжительность вспышки τ ;

2) максимальное значение абсолютной величины вспышки

$$M_1 = -2.5 \lg \max[X_1(t)] + \text{const.}; \quad (1)$$

3) время, в течение которого звезда излучает столько энергии, сколько добавочной энергии она излучает при данной вспышке:

$$P_s = \int_{\tau}^{\tau'} \frac{X_1(t)}{X_s} dt. \quad (2)$$

В (1) и (2) X_s есть излучение звезды вне вспышки, а $X_1(t)$ добавочное излучение вспышки в энергетических единицах.

Для сравнения пространственной плотности вспыхивающих звезд в окрестности Солнца с ее значением на больших расстояниях используются результаты фотографических поисков вспыхивающих звезд. Эти поиски производятся посредством последовательных экспозиций, причем на одной пластинке получается 5—10 последовательных изображений с небольшим координатным смещением телескопа. В частности, в настоящей работе использованы подобные наблюдения, произведенные с метровым телескопом системы Шмидта Бюраканской обсерватории. Продолжительность экспозиции при этих наблюдениях составляет, как правило, 5 мин. При этом вспышка считается установленной, когда повышение яркости наблюдается, по меньшей мере, в двух изображениях, и если амплитуда изменения яркости не меньше, чем

$$\Delta B = 0^m,5.$$

Из сказанного ясно, что не всякая вспышка, доступная наблюдению фотозлектрическим способом, будет обнаружена фотографически и, с другой стороны, мощные и достаточно продолжительные вспышки будут проявляться в более чем двух изображениях. Для учета этого обстоятельства фотозлектрически наблюдаемые вспышки, использованные при построении функции $\nu(M_s, \Delta B)$, были подвергнуты обработке, сущность которой заключается в следующем.

Было сделано предположение, что яркость звезды во время вспышки достигает максимума мгновенно

$$\max[X_1(t)] = X_1(0) \quad (3)$$

и далее убывает по закону

$$X_s + X_1(t) = at^2 + bt + c. \quad (4)$$

Выбор функции, описывающей кривую блеска, не имеет принципиального значения, поскольку, как будет показано в дальнейшем, существенно лишь время, в течение которого яркость звезды выше заданного уровня. А эта величина зависит лишь от τ и P_s .

Из определения τ ясно, что

$$X_I(\tau) = 0. \quad (5)$$

Получим явный вид функции

$$\Delta B = \Delta B(t)$$

с численными коэффициентами, где $\Delta B(t)$ — изменение абсолютной величины звезды во время вспышки.

Подставив в (4) $t=0$, $t=\tau$ и принимая во внимание (3) и (5), получим

$$X_s + \max[X_I(t)] = c; \quad (6)$$

$$X_s = a\tau^3 + b\tau + c. \quad (7)$$

Подставив далее (4) в (2), будем иметь

$$P_n = \frac{a}{3} \frac{\tau^3}{X_s} + \frac{b}{2} \frac{\tau^2}{X_s} + \frac{c - X_s}{X_s} \tau. \quad (8)$$

Решая систему уравнений (6), (7), (8), легко найти коэффициенты, входящие в правую часть (4):

$$a = - \frac{6P_n X_s - 3\tau \max[X_I(t)]}{\tau^3};$$

$$b = \frac{6P_n X_s - 4\tau \max[X_I(t)]}{\tau^2}; \quad (9)$$

$$c = X_s + \max[X_I(t)].$$

Записав (4) в виде

$$\frac{X_I(t)}{X_s} = a't^3 + b't + c' - 1, \quad (4a)$$

для a' , b' , c' на основании (9) будем иметь

$$a' = -6 \frac{P_n}{\tau^3} + 3 \frac{\max[X_I(t)]}{\tau^2 X_s};$$

$$b' = 6 \frac{P_n}{\tau^2} - 4 \frac{\max[X_I(t)]}{\tau X_s}; \quad (10)$$

$$c' = 1 + \frac{\max[X_I(t)]}{X_s}.$$

Принимая во внимание (1) и условие

$$M_n = -2.5 \lg X_s + \text{const}, \quad (11)$$

можем записать

$$\frac{\max[X_f(t)]}{X_s} = 10^{0.4(M_s - M_f)} \cdot \quad (12)$$

Подставив (12) в (10), получим численные значения a' , b' , c' :

$$a' = -6 \frac{P_B}{\tau^2} + 3 \frac{1}{\tau^2} 10^{0.4(M_B - M_f)};$$

$$b' = 6 \frac{P_B}{\tau^2} - 4 \frac{1}{\tau} 10^{0.4(M_B - M_f)};$$

$$c' = 1 + 10^{0.4(M_B - M_f)}.$$

Поскольку

$$M_B - \Delta B(t) = -2.5 \lg[X_s + X_f(t)] + \text{const},$$

с помощью (11) и (4а) получим

$$\Delta B(t) = 2.5 \lg(a't^2 + b't + c').$$

Разделив продолжительность каждой вспышки τ на десятиминутные интервалы, можем заменить данную вспышку k вспышками, где k —целая часть от $\left(\frac{\tau}{10}\right)$. Амплитуда i -той вспышки принималась равной

$$\Delta B_i = 2.5 \lg[a'(10i)^2 + b'(10i) + c'], \quad (13)$$

т. е. соответствовала изменению яркости звезды в конце каждого десятиминутного интервала.

Полученные результаты приведены в табл. 2. Под обозначением каждой звезды в первом столбце даны количества фотоэлектрически наблюдаемых вспышек из различных интервалов амплитуды в максимуме, а во втором—количества эквивалентных вспышек, полученные после вышеописанной обработки первых.

Таблица 2

ΔB	ADLeo	EVLac	YZCMi	UV Cet
0.50 — 0.75	1 1	3 2	2 2	— 1
0.75 — 1.00	1 2	5 —	2 —	— 2
1.00 — 1.25	1 1	3 —	2 2	— —
1.25 — 1.50	— —	— 2	3 1	— 1
1.50 — 1.75	— 1	1 1	6 1	7 1
1.75 — 2.00	1 —	1 —	— —	6 1
2.00 — 2.25	— —	— —	2 1	2 —
2.25 — 2.50	— —	— —	— 1	4 —
2.50 — 2.75	1 —	— —	1 1	1 —
2.75 — 3.00	— —	— —	— 1	2 —
3.00 — 3.25	— —	— —	— 1	1 —
3.25 — 3.50	— —	— —	1 1	3 —
3.50 — 3.75	— —	— —	— —	1 —
3.75 — 4.00	— —	— —	— —	3 —
4.00 — 4.25	— —	— —	— —	2 —
4.25 — 4.50	— —	— —	— —	1 —

Принимая во внимание время патрулирования каждой звезды, по количеству эквивалентных вспышек данной мощности можно вычислить некоторые значения функции $\nu(M_B, \Delta B)$. Способом наименьших квадратов эта функция была представлена в виде

$$\nu(M_B, \Delta B) = (-0.0965M_B^2 + 2.9479M_B - 25.1095) \cdot \Delta B + (0.4873M_B^2 - 14.542M_B + 118.877). \quad (14)$$

В табл. 3 по данным табл. 2 приведены максимальные амплитуды эквивалентных вспышек для соответствующих звезд.

Таблица 3

	M_B	max(ΔB)
AD Leo	12.52	1.5
EV Lac	13.25	1.5
YZ CM1	13.90	3.25
UV Cet	17.39	2.00

По данным табл. 3 методом наименьших квадратов была проведена парабола

$$\max(\Delta B) = -0.28M_B^2 + 8.64M_B - 62.55 \quad (15)$$

и было принято, что ею ограничивается мощность вспышек звезд данной абсолютной величины.

Затем методом, предложенным М. А. Аракеляном [3, 4], по данным каталога ближайших звезд [5] и списка [2] была вычислена ненормированная функция светимости карликов с эмиссионными линиями водорода и вспыхивающих звезд в непосредственной окрестности Солнца. Для их построения использовались объекты с наибольшим удалением в 15 пс.

Обе функции светимости были построены в цвете В, в котором ведутся фотографические поиски вспыхивающих звезд в Бюракане. Из каталога [5] использовано 75 звезд с эмиссионными линиями водорода, к которым из списка [2] добавлены LPM 63, G—24—16. Для 51 из этих 77 звезд имеются значения В—V, а для остальных 26 принято среднее значение в 1,^m6, полученное по звездам с известными показателями цвета. Функции светимости карликов с эмиссионными линиями водорода и вспыхивающих (со звездочкой) звезд приведены в табл. 4.

Таблица 4

M_B	12	13	14	15	16	17
$D(M_B)пс^{-3}10^5$	176.7	266.6	222.4	1510	80.6	2709
$D^*(M_B)пс^{-3}10^5$	88.4	133.4	111.2	1132	60.45	2031

Теперь можно оценить математическое ожидание количества вспышек, доступных фотографическому обнаружению.

Пусть ω ($=16$ квадратных градусов) — телесный угол, охватываемый данным телескопом, а B_0 ($=17.5$) — предельная величина при данной экспозиции. В скобках соответственно указаны поле и предельная величина при пятиминутной экспозиции метрового телескопа системы Шмидта Бюраканской обсерватории. Тогда вне вспышки этому телескопу доступны звезды до расстояния

$$R(M_B) = 10^{0.2(B_0 + 5 - M_B)}.$$

Если амплитуда равна ΔB , то вспышка может быть обнаружена на расстоянии

$$R(M_B, \Delta B) = 10^{0.2(B_0 + 5 - M_B + \Delta B)}.$$

При экспозициях продолжительностью в t минут количество ожидаемых вспышек, обусловленных звездами абсолютной величины M_B , вспыхнувших на ΔB , будет

$$n^*(M_B, \Delta B) = \frac{1}{3} \omega R^3(M_B, \Delta B) \cdot D^*(M_B) \cdot \nu(M_B, \Delta B). \quad (16)$$

Суммируя (16) по M_B с шагом, равным единице, и по ΔB с шагом, равным 0,25, получим математическое ожидание наблюдаемого количества вспышек за время t

$$N^* = \frac{1}{3} \omega t \sum_{M_B=13}^{17} D^*(M_B) \sum_{\Delta B=0.5}^{15} R^3(M_B, \Delta B) \cdot \nu(M_B, \Delta B). \quad (17)$$

В настоящей работе использованы значения $D(M_B^*)$ в интервале $[13^m, 17^m]$, для получения которого использована информация объектов с наибольшим удалением в 10 пс.

Суммируя в (17) по M_B в интервале $[13^m - 17^m]$, а по ΔB до величины, определяемой (15) (т. е. не принимая во внимание вспышки звезд вне интервала $[13^m - 17^m]$ и ограничивая мощность вспышек параболой (15)), мы искусственно занижаем значение N^* .

Для метрового телескопа системы Шмидта

$$N^* = 0.0324 \cdot t \text{ мин.} \quad (18)$$

В статьях В. С. Осканяна и В. Ю. Тербижа [6, 7] было показано, что интервалы времен между вспышками имеют случайный характер (подчиняются закону Пуассона). Поэтому, сравнивая результаты наблюдений со значениями (18), можно найти вероятности обнаруживаемых отклонений, пользуясь формулой Пуассона.

Следует, однако, учесть то обстоятельство, что четыре звезды, по которым вычислена функция $\nu(M_B, \Delta B)$, отличаются наибольшей вспышечной активностью. Поэтому было бы неверно распространять полученные по ним результаты на все вспыхивающие звезды в окрест-

ности Солнца*. Поскольку эти звезды составляют примерно одну десятую того количества вспыхивающих звезд, на основании которых построена функция светимости, то при вычислении ожидаемого количества вспышек использовались значения $D^*(M_B)$, составляющие одну десятую значений, приведенных в табл. 4.

Результаты произведенных в Бюракане наблюдений вспыхивающих звезд по данным [8—10] приведены в табл. 5.

Таблица 5

Направление	Время наблюдений, часы	Количество наблюдаемых вспышек	Ожидаемое количество вспышек	Вероятность отклонения
Плеяды	275	111	54	
NGC7023	40	0	8	$3.4 \cdot 10^{-4}$
Лебедь	23	2	5	$1.3 \cdot 10^{-1}$
Ясли	21	1	4	$9.2 \cdot 10^{-2}$
Орион	10	1	2	$4 \cdot 10^{-1}$
Поле на широте Плеяд	4	0	1	$3.7 \cdot 10^{-1}$
Сумма без учета Плеяд	98	4	19	$3.8 \cdot 10^{-3}$

Для каждого направления приведено суммарное время наблюдений, количество наблюдаемых вспышек, количество ожидаемых вспышек по (18) (с учетом упомянутой десятикратной поправки) и вероятность отклонения по формуле Пуассона. Как видно, во всех случаях, кроме направления Плеяд, ожидаемое количество вспышек превосходит наблюдаемое. Как известно [8—10], Плеяды содержат около тысячи вспыхивающих звезд, и данные наблюдений этой области ни в коем случае не могут быть использованы для оценки вспыхивающих звезд в поле. Что же касается данных по остальным направлениям, то они подтверждают вывод [1] о падении средней плотности вспыхивающих звезд при удалении от Солнца.

Автор благодарит М. А. Аракеяна за постановку задачи и многократные обсуждения, В. С. Осканияна за предоставление данных о вспышках звезд AD Leo, EV Lac, YZ CMi, UV Cet и О. С. Чавушяна за предоставление автору неопубликованных данных о результатах фотографических поисков вспышек.

Ա. Տ. ՂԱՐԻՋԱՆՅԱՆ

UV Cet ՏԻՊԻ ԱՍՏՂԵՐԻ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ԱՐԵԳԱԿԻ ՇՐՋԱԿԱՅՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Կառուցելով Արեգակի անմիջական շրջակայքում բռնկվողների շնորմավորված լուսատվության ֆունկցիան գնահատվել է լուսանկարչական եղանակով

* Этим замечанием мы обязаны Н. И. Шаховской.

բունկում հայտնաբերելու մասին մատիկական սպասողականությունը: Ստացված արդյունքի համեմատումը դիտողական տվյալների հետ, ըստ երևույթին, հիմք տալիս ենթադրելու, որ UV Ceti տիպի աստղերի խտությունը Արեգակից հեռանալիս արագ նվազում է:

A. T. GHARIBJANIAN

THE DISTRIBUTION OF UV CETI TYPE STARS AROUND THE SUN

Summary

The non-normalized luminosity function of the flare stars in the vicinity of the Sun is determined and the mathematical expectation of flare detection by photographic methods is estimated. A comparison of obtained results with the observational data seems to allow the conclusion that the density of UV Ceti stars rapidly decreases with the distance from the Sun.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Аракелян, Сообщ. Бюрак. обс., 41, 56, 1970.
2. N. I. Shakhovskaya, IAU Colloq. 15, „New Directions and new Frontiers in Variable Star Research“, Bamberg, 1971, 138.
3. М. А. Аракелян, Астрофизика, 4, 617, 1968.
4. М. А. Аракелян, Астрофизика, 6, 531, 1970.
5. R. Woolley, E. A. Epps, M. J. Penston, S. B. Roscock, Royal Obs. Annals, 5, Catalogue of Stars within Twenty-five Parsecs of the Sun, 1970.
6. В. С. Осканян, В. Ю. Тербиж, Астрофизика, 7, 83, 1971.
7. В. С. Осканян, В. Ю. Тербиж, Астрофизика, 7, 281, 1971.
8. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерастова, Астрофизика, 6, 7, 1970.
9. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерастова, Астрофизика, 7, 319, 1971.
10. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерастова, Э. С. Казарян, Г. Б. Оганян, Астрофизика, 8, 475, 1972.