АСТРОФИЗИКА

ТОМ 44 ФЕВРАЛЬ, 2001 ВЫПУСК 1

УДК: 524.338.6

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ВСПЫШЕК ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД. II. ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ СКОПЛЕНИЯ ПЛЕЯДЫ

А.А.АКОПЯН

Поступила 19 июля 2000
Принята к печати 28 августа 2000

Рассмотрен вопрос о возможном изменении частоты вспышек вспыхивающих звезд скопления Плеяды. Показано, что из выбранных 75 звезд, показавших по 5 и более вспышек, у 33 можно заподозрить изменение частоты вспышек на уровне значимости 0.1.

1. *Введение*. В предыдущей работе [1], привлекая методы, разработанные в современной теории обнаружения изменения свойств сигналов и динамических систем, был предложен способ обнаружения изменения частоты вспышек ν вспыхивающих звезд.

В настоящее время нет достаточных оснований отказаться от предположения о случайном характере распределения вспышек. Поэтому был рассмотрен вопрос, является ли последовательность вспышек стационарным пуассоновским процессом или кусочно-стационарным, при котором в отдельных интервалах времени наблюдений параметр пуассоновского рапределения (частота вспышек) имеет разные значения?

Для этого был использован критерий отношения правдоподобия, основанный на статистике

$$\Lambda = \sup_{\tau} \sup_{\nu_1} \sup_{\nu_2} \inf_{\nu} \ln L_{H_1/H_0}, \qquad (1)$$

где $\ln L_{H_1/H_0}$ - логарифм отношения правдоподобий:

$$\ln L_{H_1/H_0} = -n \ln \nu + \nu T + (n - k_\tau) \ln \nu_2 - \nu_2 (T - \tau) + k_\tau \ln \nu_1 - \nu_1 \tau, \qquad (2)$$

H_0 - гипотеза о постоянной частоте, H_1 - гипотеза об изменении частоты, τ - момент изменения частоты, T - полное время наблюдений, ν - частота вспышек при предположении о ее постоянстве, ν_1 - частота вспышек до предполагаемого момента изменения частоты, ν_2 - частота вспышек после предполагаемого момента изменения частоты, κ_τ - количество зарегистрированных вспышек за время τ, n - количество зарегистрированных вспышек за время T ($n = \kappa_T$).

На основе (1) и (2) получаются следующие статистики:

а) $\Lambda = n \sup_{\tau} K\left(\frac{k_\tau}{n}, \frac{\tau}{T}\right)$,

где - $K(p,r) = p\ln\frac{p}{r} + (1-p)\ln\frac{(1-p)}{(1-r)}$ - информационное расстояние Кульбака,

б) $\Lambda 1 = \frac{2k_\tau}{n}\left(1-\frac{k_\tau}{n}\right)\Lambda$,

где $\frac{2k_\tau}{n}\left(1-\frac{k_\tau}{n}\right)$ - весовая функция,

в) $\Lambda 2 = n\sup\left|\frac{k_\tau}{n}-\frac{\tau}{T}\right|$.

Эта статистика является нормированной разностью между оценками частот $\frac{k_\tau}{n}-\frac{\tau}{T} = \frac{\tau(T-\tau)}{nT}\left(\frac{k_\tau}{\tau}-\frac{n-k_\tau}{T-\tau}\right)$ и получается путем замены расстояния Кульбака на расстояние Колмогорова-Смирнова.

Изменение частоты устанавливается, если значение статистики критерия Λ ($\Lambda 1$, $\Lambda 2$) превышает некую пороговую величину $c(\alpha)$, которой определяется уровень значимости α.

Используя статистики Λ, $\Lambda 1$, $\Lambda 2$, были исследованы хорошо известные ряды наблюдений Моффета [2] за вспыхивающими звездами окрестности Солнца. Было показано, что изменение частоты вспышек имело место, по крайней мере, у одной из 4 звезд. Предварительная обработка других наблюдательных данных показала, что изменение частоты вспышек вспыхивающих звезд окрестности Солнца - явление достаточно частое.

В данной работе рассматривается вопрос об изменении частоты вспышек вспыхивающих звезд скопления Плеяды. Вопрос об изменении частоты (вспышечной активности) вспыхивающих звезд скоплений и других звездных систем рассматривался в ряде работ.

В работе Мирзояна и Оганян [3], для обнаружения возможной цикличности вспышечной активности вспыхивающих звезд скопления Плеяды, весь наблюдательный период времени был разбит на две примерно равные части и были вычислены теоретические отношения числа вспыхивающих звезд, показавших по k вспышек в каждом интервале ($n_{k,k}$), к числу звезд, показавших по $2k$ вспышек за весь период (n_{2k}):

$$\frac{n_{k,k}}{n_{2k}} = \frac{(2k)!}{2k^{2k}k!k!}.$$

Сравнение теоретических и наблюдаемых отношений показало, что для всех значений k теоретически ожидаемые значения больше соответствующих наблюдаемых. Согласно авторам [3], это согласуется с предположением о цикличности вспышечной активности вспыхивающих звезд скопления Плеяды.

Другой подход использован в работе Парсамян и Эндрюса [4]. Из списка вспыхивающих звезд ассоциации Ориона для дальнейшего исследования были выбраны звезды, показавшие по 5 и более вспышек. Весь наблюдательный период времени был разбит на две части и по

наблюдаемой частоте вспышек в первом интервале вычислялось теоретически ожидаемое число вспышек во втором интервале и его дисперсия. Если теоретически ожидаемое число вспышек во втором интервале значительно отличалось от соответствующего наблюдаемого, то данная звезда подозревалась в переменной вспышечной активности.

В чем схожесть и отличие предлагаемого в данной работе метода от вышеуказанных? В основе всех способов - обнаружение отклонения наблюдательных данных от теоретического пуассоновского распределения. Отличие в том, что в данном способе предлагается конкретная альтернативная гипотеза о кусочно-стационарном пуассоновском процессе. Другое, более существенное отличие состоит в том, что данный способ позволяет определить вероятный момент изменения вспышечной активности, а также оценить уровень значимости обнаруженных изменений.

2. *Обработка данных и результаты.* По сравнению с данными вспыхивающих звезд окрестности Солнца, наблюдательные данные о вспыхивающих звездах скопления Плеяды более однородны, что значительно облегчает статистическую обработку и осмысление полученных результатов. С другой стороны, количество зарегистрированных вспышек у отдельных звезд несравненно меньше, чем у звезд окрестности Солнца.

Поэтому, для определения зависимости пороговой величины от уровня значимости при характерных для данной задачи малых объемах выборок ($n = 5$, 10, 20, 30, 40, 50), были проведены численные эксперименты (моделирование) в количестве 1000 для каждого значения n. В процессе моделирования, в каждом эксперименте генерировалась пуассоновская последовательность и определялись значения Λ, $\Lambda 1$, $\Lambda 2$.

По распределениям этих величин были получены зависимости $c(\alpha)$ от α для каждой статистики и для каждого значения n. С помощью полученных зависимостей построены зависимости уровня пороговой величины, соответствующие уровням значимостей $\alpha = 0.05$, 0.1 от числа зарегистрированных вспышек n (рис.1). Они и были использованы для обработки наблюдательных данных вспыхивающих звезд скопления Плеяды.

Специфической особенностью астрономических наблюдений является то, что из-за смены дня и ночи и погодных условий невозможно получить длинный ряд непрерывных наземных наблюдений. Поэтому введем "условное время", состоящее из последовательно "склеенных" отрезков наблюдений, и расположим все вспышки в хронологическом порядке. Тогда отношение момента условного времени вспышки (t) к общему времени наблюдений (T) можно принять равным отношению порядкового номера вспышки (m) к общему числу вспышек (M):

$$\frac{t}{T} = \frac{m}{M}.$$

Такой способ представления отношения момента условного времени

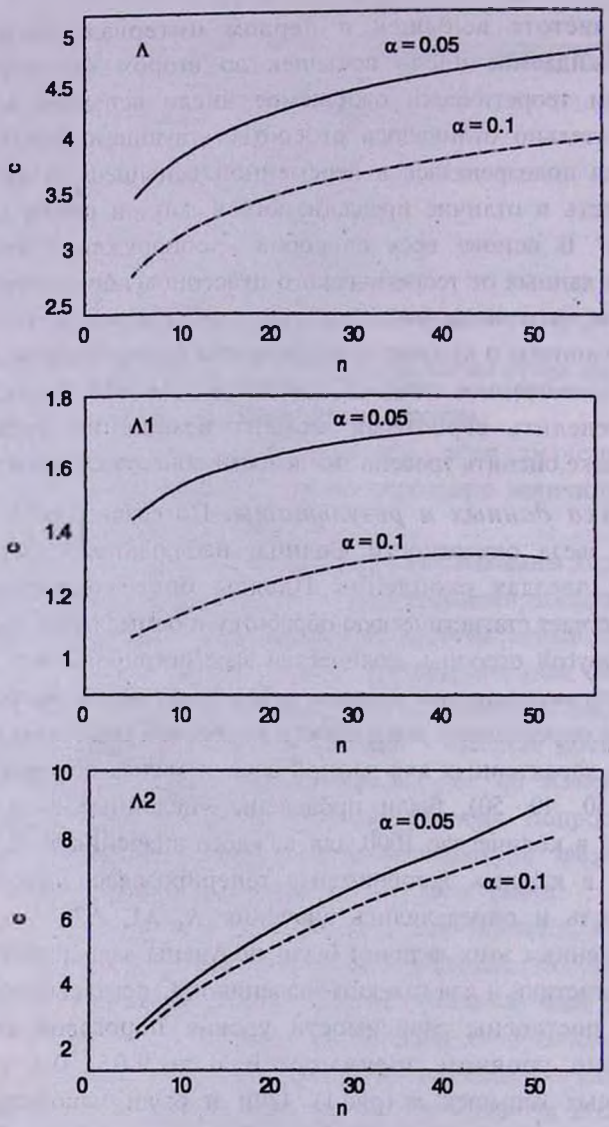

Рис.1. Зависимость пороговой величины C от количества вспышек для статистик Λ, Λ1 и Λ2.

вспышки к общему времени наблюдений был предложен Амбарцумяном [6].

Для дальнейшей обработки из каталога вспыхивающих звезд [5] были отобраны все звезды (75), показавшие по пять и более вспышек, и были вычислены статистики Λ, Λ1, Λ2. Звезда подозревалась в переменной вспышечной активности, если для данного числа вспышек хотя бы одно из вычисленных значений Λ, Λ1, Λ2 превышало соответствующую пороговую величину $c(\alpha)$. В табл.1 приведен список звезд, у которых обнаружено изменение вспышечной активности на уровне значимости 0.1.

В первом и седьмом столбцах приводится номер звезды по каталогу, во втором и восьмом - звездная величина, в третьем и девятом τ/T - отношение

момента изменения к общей продолжительности наблюдений, в четвертом и десятом - общее число регистрированных вспышек, в пятом и одиннадцатом - число вспышек до момента изменения частоты, в шестом и двенадцатом - вероятность наблюдаемого распределения вспышек по интервалам времени τ и $(T-\tau)$ при предположении о постоянной частоте:

$$p = \frac{\tau^k (T-\tau)^{n-k}}{T^n} \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

Звездочкой отмечены те звезды, у которых изменение частоты подтверждается лишь одной из статистик.

Таблица1

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ СКОПЛЕНИЯ ПЛЕЯДЫ, У КОТОРЫХ ОБНАРУЖЕНО ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВСПЫШЕК

N	m	τ/T	n	k	p	N	m	τ/T	n	k	p
40	19.00	0.033	6	2	0.014	257*	16.20	0.486	8	1	0.037
65	16.20	0.543	6	0	9.11E-3	280	15.23	0.434	5	0	0.058
73*	20.00	0.204	5	3	0.054	283	14.89	0.742	6	1	5.09E-3
79	19.60	0.814	5	1	4.87E-3	295	17.30	0.578	5	5	0.065
80*	17.60	0.735	6	2	0.04	300	14.62	0.036	6	2	0.017
91	17.20	0.042	32	6	1.63E-3	309*	18.80	0.364	6	0	0.066
100	18.00	0.423	7	0	0.021	310	18.10	0.551	6	0	8.19E-3
102	18.40	0.550	6	6	0.028	325*	18.70	0.468	7	1	0.074
121*	15.64	0.306	5	4	0.03	333	18.60	0.420	6	0	0.038
143	20.00	0.497	10	0	1.04E-3	355*	19.80	0.590	5	1	0.083
150*	18.00	0.279	10	0	0.038	377	15.52	0.392	120	65	5.48E-4
154	15.12	0.631	9	9	0.016	384*	15.80	0.300	6	4	0.06
158	14.49	0.210	8	7	1.14E-4	390*	16.00	0.169	9	4	0.041
211	15.90	0.080	13	5	2.16E-3	441	18.50	0.339	5	5	4.48E-3
244	15.14	0.530	7	7	0.012	454	17.70	0.536	11	10	9.99E-3
248	17.10	0.013	7	2	3.32E-3	477*	15.50	0.401	12	1	0.017
256	14.61	0.132	11	5	7.92E-3						

Интересно, что у двух из трех наиболее часто вспыхивавших звезд было обнаружено изменение частоты вспышек с более высоким уровнем значимости. Эти звезды -Тон 91, Тон 377 (принадлежит к скоплению Гиад) были исследованы более детально. На рис.2 приведены распределения вспышек звезд Тон 91, Тон 377 в условном времени.

Как видно из рис.2, у звезды Тон 377 можно заподозрить наличие еще одного момента изменения частоты в районе $t \sim 300$. На это указывают также вторичные максимумы статистик Λ, $\Lambda 1$ и $\Lambda 2$, значительно превышающие соответствующие пороговые значения. Пунктирная стрелка на рис.2 указывает на этот момент. Отметим, что ранее [7] эта звезда была уже заподозрена в цикличности вспышечной активности, и методом Фурье-анализа были определены вероятные периоды цикличности ($3060^d.4$ и $23^d.8$).

Аналогичная картина наблюдается и у звезды Тон 91, у которой

вторичный максимум статистик Λ, Λ1 и Λ2, приблизительно равный по величине основному, наблюдается в районе $t \sim 1100$. Интересно, что интервал между двумя изменениями частоты, составляющий около 10 лет, примерно равен периоду цикличности Солнца.

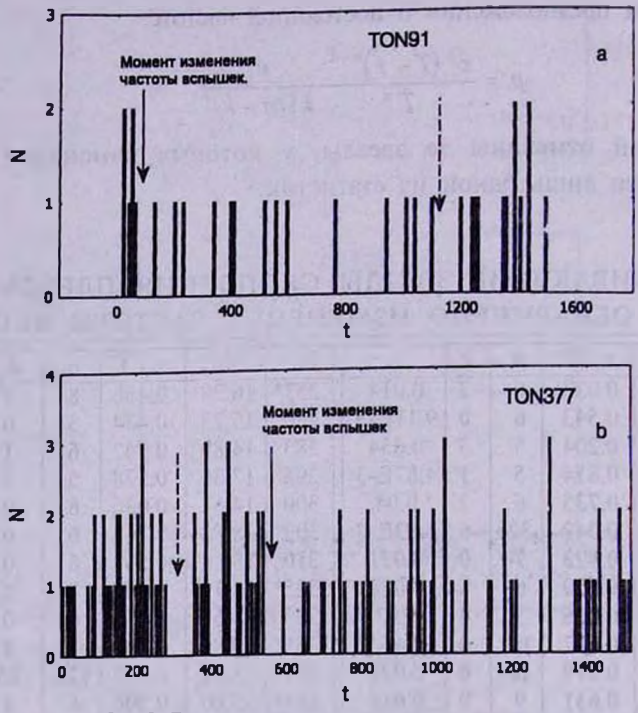

Рис.2. Распределение вспышек в условном времени.

Большая статистика вспышек звезды Тон 377 позволяет проверить исходное предположение о случайном, кусочно-стационарном пуассоновском характере временного распределения вспышек. Хорошо известно, что при пуассоновском процессе интервал между двумя последовательными вспышками имеет экспоненциальное распределение. На рис.3 приводятся распределения интервала между двумя последовательными вспышками до и после момента изменения частоты и соответствующие экспоненциальные распределения. Как видно из рис.3, согласие более чем удовлетворительное.

Отметим, что и общее распределение интервала между двумя последовательными вспышками достаточно хорошо представляется экспоненциальным распределением. Это означает, что и стационарный пуассоновский процесс может служить хорошим приближением для описания наблюдаемого распределения вспышек, особенно в тех задачах, в которых временное поведение изучаемых статистических величин не представляется важным.

3. *Заключение*. Применение метода, предложенного в [1] для

обнаружения изменения вспышечной активности вспыхивающих звезд окрестности Солнца, к вспыхивающим звездам скоплений и ассоциаций может привести к существенно новым результатам. В данной работе мы применили их для обнаружения возможного изменения частоты вспышек вспыхивающих звезд скопления Плеяды.

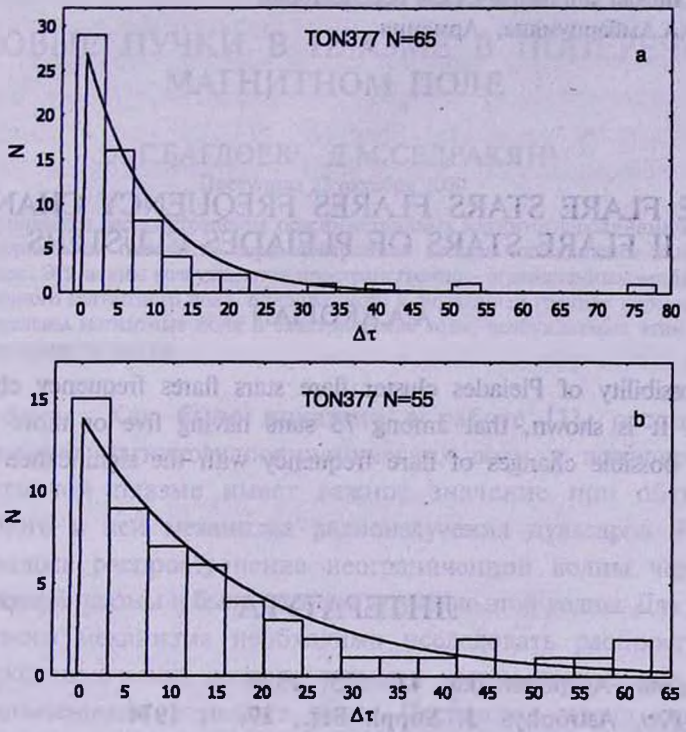

Рис.3. Распределение интервалов между вспышками: a - до изменения частоты вспышек; b - после изменения часатоты.

Как видно из табл.1, из выбранных 75 звезд, показавших по 5 и более вспышек, у 33 можно заподозрить изменение частоты вспышек на уровне значимости 0.1. При этом не наблюдается зависимость процента звезд, заподозренных в переменной вспышечной активности, от количества зарегистрированных вспышек. Объяснить такой большой процент (45%) случайными статистическими флуктуациями представляется невозможным. Очевидно, большинство этих звезд обладает переменной вспышечной активностью. Более того, на наш взгляд, полученные результаты свидетельствуют о закономерности этого явления.

У наиболее часто вспыхивающих звезд, кроме основного момента изменения частоты наблюдаются также статистически значимые вторичные моменты изменения. Возможно, что в этом случае интервал между двумя последовательными изменениями частоты является периодом цикла вспышечной активности звезды. Однако существующий статистический материал явно недостаточен для более строгого обоснования этого

предположения.

Полученные результаты свидетельствуют в пользу предположения о кусочно-стационарном пуассоновском характере временной последовательности вспышек.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

ON THE FLARE STARS FLARES FREQUENCY CHANGING. II FLARE STARS OF PLEIADES CLUSTERS

A.A.AKOPIAN

The possibility of Pleiades cluster flare stars flares frequency changing is considered. It is shown, that among 75 stars having five or more flares, 33 stars show possible changes of flare frequency with the significance level 0.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.А.Акопян*, Астрофизика, **42**, 555, 1999.
2. *T.J.Moffett*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **29**, 1, 1974.
3. *Л.В.Мирзоян, Г.Б.Оганян*, Астрофизика, **13**, 561, 1977.
4. *E.S.Parsamian, A.D.Andrews*, Irish.Astr.J., **23(2)**, 183, 1996.
5. *G.Haro, E.Chavira, G.Gonzalez*, Bol. Inst. Tonantzintla, **3**, N1, 1982.
6. *В.А.Амбарцумян*, Астрофизика, **14**, 367, 1978.
7. *O.Cardona, E.Chavira, E.S.Parsamian*, Rev. Mex. AA, **22**, 213, 1991.