

## О ЧАСТОТАХ СУПЕРВСПЫШЕК У ЗВЕЗД СОЛНЕЧНОГО ТИПА, РЕГИСТРИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ОРБИТАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ "КЕПЛЕР"

А.А.АКОПЯН

Поступила 26 июля 2013

Принята к печати 14 августа 2013

Проведено статистическое исследование звезд солнечного типа, у которых с помощью орбитальной обсерватории "Кеплер" обнаружены супервспышки. Для этого привлечены методы, разработанные при решении аналогичных задач для вспыхивающих звезд. Приведены оценки полного числа звезд, способных на супервспышки, определены функции распределения частоты вспышек как для полной выборки звезд, так и для отдельных подвыборок, составленных путем разбиения полной выборки на две части по значениям периодов вращения и амплитуд переменности. У звезды КIC 7264976 обнаружено статистически значимое изменение частоты супервспышек.

**Ключевые слова:** *супервспышка: частота вспышек*

1. *Введение.* Супервспышка у звезды солнечного типа представляет собой внезапное поярчение блеска с продолжительностью от нескольких минут до десятки часов. При этом выделяется энергия порядка  $10^{33}$ - $10^{39}$  эрг, что от  $10$  до  $10^7$  раз больше, чем у самых мощных солнечных вспышек, зарегистрированных когда-либо [1].

До недавнего времени число известных супервспышек не превышало нескольких десятков. Впервые данные о них были собраны и представлены в работе [2]. Супервспышки имели место у одиноких, средневозрастных, медленно вращающихся звезд спектральных классов F8-G8. По аналогии с солнечными вспышками предполагается, что супервспышки связаны с магнитными полями. Согласно [1,3-6], супервспышки вызываются в результате взаимодействия интенсивных магнитных полей звезды и очень близко вращающейся вокруг него планеты, с массой, соизмеримой массе Юпитера (модель "горячего Юпитера").

Данные о супервспышках, опубликованные до 2012г., не являлись результатом однородных, целенаправленных исследований и в значительной мере носили случайный характер. Ситуация резко изменилась к лучшему после запуска орбитальной обсерватории "Кеплер". Основной задачей "Кеплер" является обнаружение внесолнечных планет и планетных систем путем высокоточных фотометрических измерений огромного количества

звезд. Благодаря этому, наблюдения "Кеплер" одновременно дают ценную и однородную информацию о переменных звездах и переменных явлениях почти всех типов, в том числе о вспыхивающих звездах и вспышках. Применительно к данной задаче данные "Кеплер" имеют двойную ценность, поскольку позволяют не только регистрировать супервспышки, но и в определенной степени ответить на вопрос о существовании вокруг вспыхнувшей звезды массивной планеты, способной содействовать возникновению супервспышек.

В работе [7] представлены данные о 365 супервспышках, обнаруженных у 148 звезд солнечного типа. Общее количество рассмотренных звезд данного типа при этом составляло более 83000. Были исследованы кривые блеска, полученные обсерваторией "Кеплер" в период от апреля 2009г. до декабря 2009г. Данные о вспышках, кривые вспышек, а также детальное описание процедуры обработки данных приводятся в [8]. Согласно [7], максимальная энергия вспышки не коррелирует с периодом вращения, однако быстровращающиеся звезды вспыхивают чаще. Не было подтверждено наличие у этих звезд близковращающейся планеты с массой, соизмеримой с массой Юпитера. Квазипериодическая модуляция яркости указывает на наличие у этих звезд пятен, значительно превышающих по своим размерам солнечные.

Целью данной работы является статистическое исследование упомянутой выше выборки - оценка числа звезд способных на супервспышки, определение функции распределения частоты вспышек, а также исследование возможной кратковременной переменности вспышечной активности. Для этого привлекаются методы, разработанные при решении аналогичных задач для вспыхивающих звезд. Базовым в этих методах является предположение о случайном и независимом характере вспышек. Это позволяет рассмотреть последовательность вспышек у каждой вспыхивающей звезды как случайный пуассоновский процесс.

2. *Оценка числа звезд, показывающих супервспышки.* Для оценки полного числа звезд, способных на супервспышки, можно применить оценку, полученную Амбарцумяном [9] для обыкновенных вспыхивающих звезд при двух следующих предположениях:

1) Последовательность вспышек у каждой вспыхивающей звезды представляет собой случайный пуассоновский процесс.

2) Частота вспышек у всех вспыхивающих звезд данной системы одинакова.

В этом случае, число  $n_0$  вспыхивающих звезд системы, у которых еще не были зарегистрированы вспышки, можно выразить через числа  $n_1$  и  $n_2$  известных вспыхивающих звезд, у которых уже наблюдались, соответственно, по одной и по две вспышки, следующим образом:

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

Соответственно, полное число вспыхивающих звезд в системе определяется как сумма уже известных и еще неизвестных вспыхивающих звезд:

$$N = n_0 + N_{obs}, \quad (2)$$

где  $N_{obs}$  - число обнаруженных вспыхивающих звезд. Дисперсия и доверительные интервалы этой оценки была получены в работе [10]. Согласно [10], дисперсия имеет вид:

$$\sigma_N^2 = n_2 \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 + \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 + \frac{1}{4} \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^4 \right]. \quad (3)$$

В случае различных частот вспышек у разных звезд, оценка (1) дает лишь нижний предел числа  $n_0$  [11]. Если отдельно взятая вспыхивающая звезда характеризуется некой частотой  $\nu$ , то выборку исследуемых звезд можно описать распределением частот среди совокупности входящих в него вспыхивающих звезд, нормированную плотность которой обозначим через  $\phi(\nu)$ . Дисперсия этого распределения связана с дисперсией числа вспышек следующим образом (напр., [12]):

$$\sigma_\nu^2 = \frac{\sigma_k^2 - \bar{k}}{t^2}, \quad (4)$$

где  $\sigma_k^2$  - дисперсия числа вспышек,  $\bar{k}$  - среднее число вспышек,  $t$  - общее эффективное время наблюдений, которое для подавляющего большинства

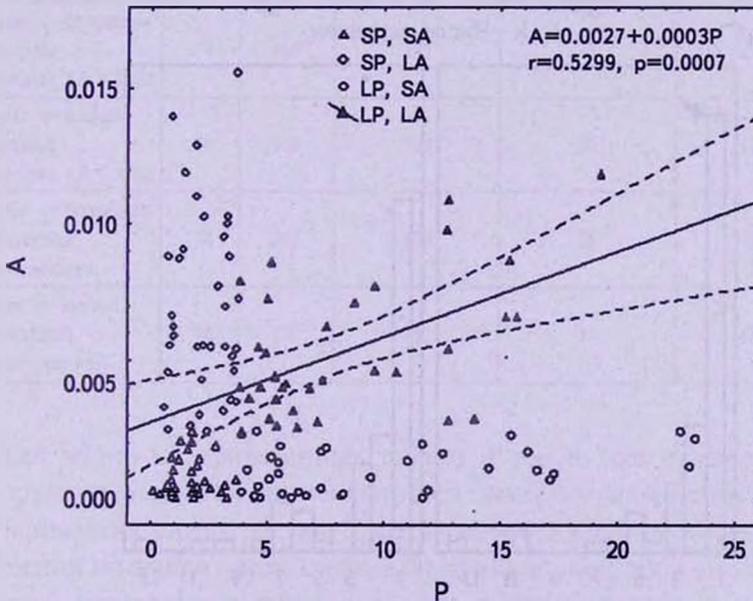


Рис.1. Зависимость амплитуды блеска от периода вращения: SP - малые периоды, SA - малые амплитуды, LP - большие периоды, LA - большие амплитуды. Кривая регрессии, соответствующий 95% доверительный интервал, коэффициент корреляции  $r$  и уровень значимости  $p$  относятся к подвыборке звезд с большими значениями периода и амплитуды (LP, LA).

исследуемых в данной работе звезд составляет 120 дней.

Статистическое исследование было проведено как для выборки в целом, так и для подвыборок, образованных путем разделения полной выборки на две равные части по значениям периода вращения и амплитуды переменности блеска. Такое разбиение выборки носит несколько условный характер, но позволяет избежать трудностей, связанных с неодинаковыми объемами выборок. Полученные подвыборки обозначены; LA - звезды со

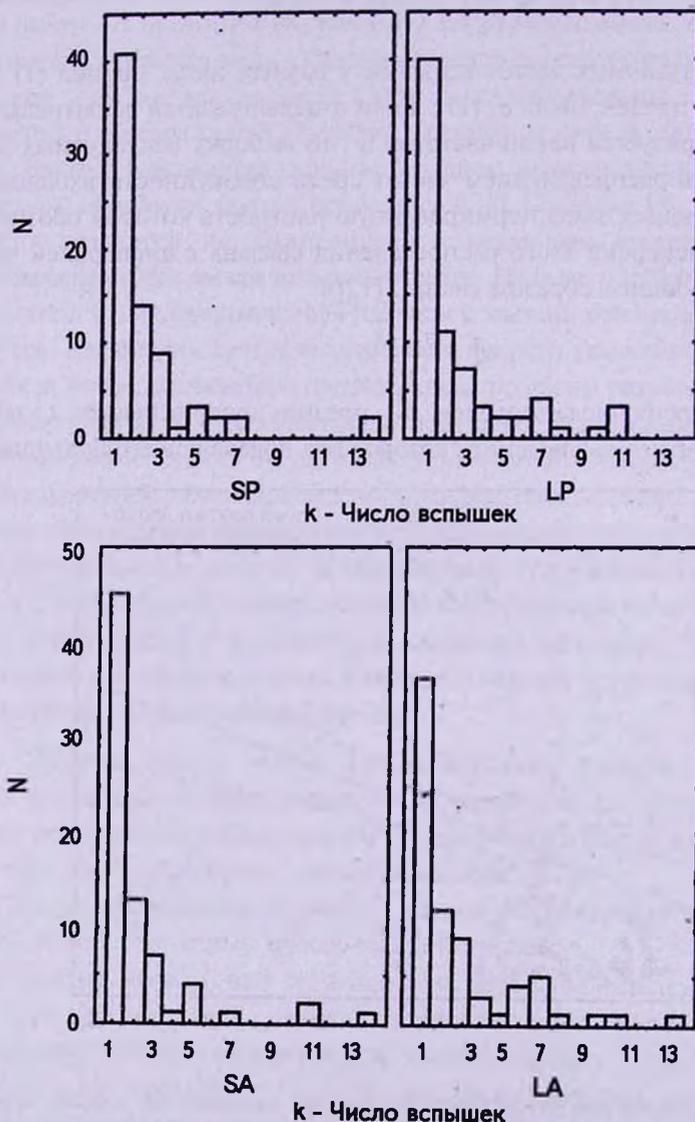


Рис.2. Распределение звезд по количеству супервспышек для подвыборок: SP - малые периоды, LP - большие периоды, SA - малые амплитуды, LA - большие амплитуды.

сравнительно большими амплитудами, SA -звезды со сравнительно маленькими амплитудами, LP - звезды со сравнительно большими периодами и SP - звезды со сравнительно маленькими периодами. Интересно, что если для полной выборки звезд не наблюдается корреляция между периодом вращения и амплитудой блеска, то для подвыборки с большими значениями этих величин наблюдается положительная корреляция (рис.1).

На рис.2 приводятся наблюдаемые распределения звезд по количеству супервспышек для этих подвыборок, а в табл.1 приводятся округленные до целого значения оценки общего числа вспыхивающих звезд, вычисленные по формулам (1-3). В табл.2 приведены среднее число вспышек и его дисперсия, с учетом оценки общего количества звезд, а также вычисленная по формуле (4) дисперсия частоты вспышек, где общее время наблюдений принято равной единице.

Таблица 1

### ОЦЕНКИ ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ЗВЕЗД СПОСОБНЫХ НА СУПЕРВСПЫШКИ

	Число всп. звезд	Общее число вспышек	Оценка общего количества всп. звезд	Средняя ошибка оценки общего количества	95% доверительный интервал общего количества всп. звезд
Полная выборка	148	365	279	41	(220, 386)
Звезды с большим периодом вращения ( $P > 3^d.8$ )	74	196	147	33	(105, 243)
Звезды с малым периодом вращения ( $P < 3^d.8$ )	74	169	134	26	(101, 209)
Звезды с большой амплитудой переменности	74	206	128	25	(97, 202)
Звезды с малой амплитудой переменности	74	159	152	33	(109, 246)

Как видно из приведенных таблиц и рис.1, при разбиении общей выборки по периодам не наблюдается значимое изменение изучаемых статистических характеристик. Такое изменение четко прослеживается при разбиении по амплитудам; среднее значение и дисперсия числа вспышек, а также дисперсия частоты вспышек существенно больше у звезд с большими амплитудами. Более детально этот вопрос рассмотрен в следующем разделе.

## ВЫЧИСЛЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫБОРОК

	Среднее число вспышек	Дисперсия числа вспышек	Дисперсия частоты вспышек, согласно (4), принято $r = 1$
Полная выборка	1.31 (0.95, 1.66)	5.01	3.70
Звезды с большим периодом вращения ( $P > 3^d.8$ )	1.33 (0.81, 1.87)	5.33	3.72
Звезды с малым периодом вращения ( $P < 3^d.8$ )	1.26 (0.81, 1.67)	4.65	3.39
Звезды с большой амплитудой переменности ( $A > 0.002435$ )	1.61 (1.02, 2.12)	6.11	4.50
Звезды с малой амплитудой переменности ( $A < 0.002435$ )	1.05 (0.64, 1.46)	3.95	2.90

3. *Определение функции распределения частоты супервспышек.* Определение плотности распределения  $\varphi(v)$  путем прямых подсчетов пока практически невозможно из-за сравнительно малого числа зарегистрированных вспышек у отдельных звезд.

В 1978г. Амбарцумян [13] предложил статистический метод определения  $\varphi(v)$ , основанный на решении обратной задачи, позволяющий обойти эту трудность. В работе [14] был предложен другой метод определения функции распределения частоты вспышек случайно вспыхивающих объектов. Суть метода состоит в определении искомой функции через собственные моменты распределения.

В задаче определения функции распределения частоты вспышек в качестве исходного эмпирического распределения служит распределение числа наблюдаемых вспышек вспыхивающих звезд, а не распределение соответствующих частот. Однако можно выразить моменты функции распределения частоты вспышек через соответствующие моменты числа вспышек. Для выборки вспыхивающих объектов с плотностью распределения частоты  $\varphi(v)$ , моменты распределения числа вспышек соответственно равны:

$$\mu k_j = \int \sum_{k=0}^{\infty} k \frac{(vt)^k}{k!} e^{-vt} \varphi(v) dv,$$

$$\mu k_j = \int \sum_{k=0}^{\infty} (k - \mu k_1)^j \frac{(vt)^k}{k!} e^{-vt} \varphi(v) dv, \quad j = 2, 3, 4$$

где, в частности,  $\mu k_1$  - среднее число вспышек,  $\mu k_2$  - дисперсия числа

вспышек.

Соотношения, связывающие моменты частоты вспышек с моментами распределения числа вспышек, соответственно равны:

$$\begin{aligned} \mu\nu_1 &= \frac{\mu k_1}{t}, \quad \mu\nu_2 = \frac{\mu k_2 - \mu k_1}{t^2}, \quad \mu\nu_3 = \frac{\mu k_3 - 3\mu k_2 + 2\mu k_1}{t^3}, \\ \mu\nu_4 &= \frac{\mu k_4 - 6\mu k_3 - 6\mu k_2 \cdot \mu k_1 + 11\mu k_2 - 6\mu k_1 + 3\mu k_1^2}{t^3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Легко заметить, что второе уравнение системы (5) это уравнение (4) в других обозначениях.

Подставляя эмпирические моменты распределения числа вспышек в (5), получим соответствующие эмпирические моменты функции распределения частоты вспышек. Таким образом, задача сводится к определению функции распределения с помощью известных моментов распределения. Для этого в [14] был использован метод подгонки кривых семейства распределений Пирсона методом моментов [15]. Тип распределения определяется величинами  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\kappa$ , где

$$\beta_1 = \frac{\mu\nu_3^2}{\mu\nu_2^3}, \quad \beta_2 = \frac{\mu\nu_4}{\mu\nu_2^2}, \quad \kappa = \beta_1 \frac{(\beta_2 + 3)^2}{4(2\beta_2 - 3\beta_1 - 6)(4\beta_2 - 3\beta_1)}.$$

Используя полученные в предыдущем разделе оценки общего количества звезд, можно вычислить значения  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\kappa$  и определить тип распределения для всех выборок (рис.3). Оказалось, что функции распределения

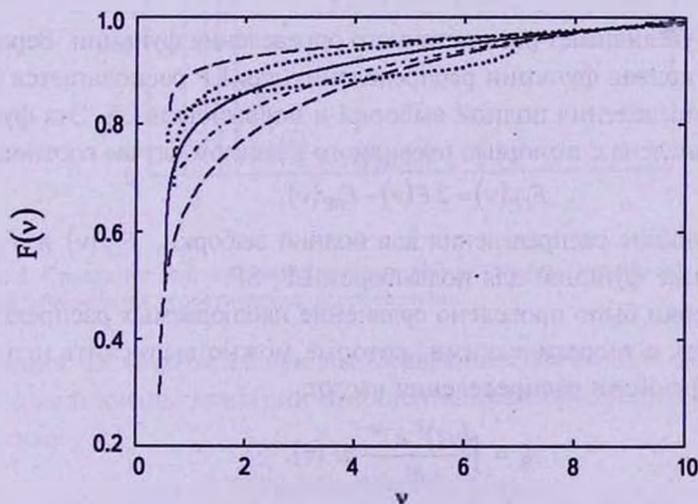


Рис.3. Функции распределения частоты вспышек для полной выборки - сплошная линия, для звезд с малой амплитудой (SA) - верхняя прерывистая линия, для звезд с большой амплитудой (LA) - нижняя прерывистая линия, для звезд с малым периодом (SP) - верхняя кривая с точками, для звезд с большим периодом (LP) - нижняя кривая с точками. Перевычисленная функция для LP показана линией с точками. За единицу времени принято полное время наблюдений - 120 дней.

можно представить в виде распределения Пирсона I типа (бета распределение):

$$F(v) = C \int_{\hat{v}-a}^v \left(1 + \frac{\eta - \hat{v}}{a}\right)^{m_1} \left(1 - \frac{\eta - \hat{v}}{b}\right)^{m_2} d\eta,$$

где  $\hat{v}$  - среднее, а  $(\hat{v} - a)$  - нижний предел распределения. Соответственно, верхним пределом будет  $(\hat{v} + b)$ .

Параметры соответствующих распределений приведены в табл.3.

Очевидно, что кривая функция распределения для полной выборки должна быть некой "усредненной" кривой соответствующих кривых функций подвыборок SA, LA, с одной стороны, и подвыборок SP, LP, с другой. Однако, если в первом случае это четко отмечается, то во втором - нет. Возможно, это связано с тем, что для подвыборки LP значения  $\beta_1, \beta_2$  оказались очень близки к границе допустимой области применения метода

Таблица 3

## ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

	C	a	b	$m_1$	$m_2$	$\hat{v}$
Полная выборка	0.081	0.758	9.504	-0.925	-0.058	1.297
LP	0.027	0.786	5.630	-0.977	-0.836	1.331
SP	0.078	0.592	12.755	-0.945	0.176	1.261
LA	0.098	1.173	9.385	-0.839	0.284	1.609
SA	0.050	0.464	9.772	0.975	-0.466	1.046

Пирсона, что увеличивает риск неточного определения функции. Вероятнее, что реальная кривая функции распределения для LP располагается между кривыми распределения полной выборки и подвыборки LA. Эта функция была перевычислена с помощью очевидного в данном случае соотношения:

$$F_{LP}(v) = 2F(v) - F_{SP}(v),$$

где  $F(v)$  - функция распределения для полной выборки,  $F_{LP}(v)$  и  $F_{SP}(v)$  - соответствующие функции для подвыборок LP, SP.

Для проверки было проведено сравнение наблюдаемых распределений числа вспышек с теоретическими, которые можно вычислить, используя полученные функции распределения частот:

$$n_k = \int \frac{(vt)^k e^{-vt}}{k!} dF(v).$$

На рис.4 приведено сравнение наблюдаемого распределения числа вспышек с теоретическим для полной выборки. Согласно критерию  $\chi^2$ , они не отличаются друг от друга на уровне значимости 0.05. Такая же картина наблюдается и для остальных выборок.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- процент звезд с высокими частотами супервспышек значительно выше у звезд с большими амплитудами переменности. Например, частота вспышек у подавляющего большинства (около 90%) звезд с малой амплитудой переменности меньше 0.01/день, а частота супервспышек у более 20% звезд с большой амплитудой переменности превышает значение 0.02/день, а у более 10% звезд она выше, чем 0.04/день,

- аналогичная картина с меньшим контрастом численных значений наблюдается и для периодов, т.е. среди звезд с большими периодами сравнительно больше звезд с высокими частотами, что следует также из зависимости, приведенной на рис.1,

- создается впечатление, что амплитуда переменности более тесно связана со вспышечной активностью, чем период вращения.

4. *Исследование переменности вспышечной активности.* В работах [16-18], привлекая методы, разработанные в современной теории обнаружения изменения свойств сигналов и динамических систем (см. напр., [19]), были предложены и применены критерии обнаружения

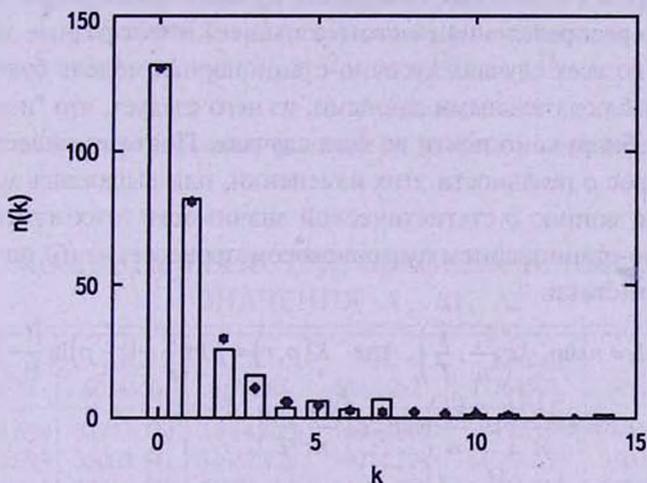


Рис.4. Сравнение наблюдаемого распределения с теоретическим для полной выборки. Точками обозначено теоретическое распределение.

изменения частоты вспышек вспыхивающих звезд. Для этого в [16-18] были использованы критерии отношения правдоподобий, основанные на статистике

$$\Lambda = \sup_{\tau} \sup_{v_1} \sup_{v_2} \inf_{\nu} \ln L_{H_1/H_0}, \quad (6)$$

где  $\ln L_{H_1/H_0}$  - логарифм отношения правдоподобий,  $H_0$  - гипотеза о постоянной частоте,  $H_1$  - гипотеза об изменении частоты,  $\sup$  и  $\inf$  соответственно означают супремум и инфимум данного отношения по величине, указанной в качестве индекса. В данной работе эти критерии

привлекаются для обнаружения возможной кратковременной переменности вспышечной активности звезд, у которых регистрированы супервспышки.

Наличие кратковременной переменности вспышечной активности можно заподозрить, исходя из существующих представлений о природе вспышек. Учитывая локальный характер вспышек и вращение звезд, можно ожидать, что, когда локальные области высокой вспышечной активности из-за вращения звезды оказываются на обратной от нас стороне звезды, происходит изменение частоты вспышек. Это изменение будет особенно существенным при сильно неравномерном распределении активных областей. Изменение вспышечной активности можно ожидать и в рамках модели "горячего Юпитера", где изменение будет связано уже с вращением планеты вокруг звезды.

С математической точки зрения вопрос сводится к обнаружению переменности параметра пуассоновского распределения. Если предполагаемое изменение происходит скачкообразно или в течение сравнительно небольшого времени, то последовательность вспышек, вместо стационарного пуассоновского процесса, лучше описать кусочно-стационарным пуассоновским, при котором в отдельных интервалах времени наблюдений параметр пуассоновского распределения (частота вспышек) имеет разные значения. Очевидно, что во всех случаях кусочно-стационарная модель будет лучше согласована с наблюдательными данными, из чего следует, что "изменение" частоты будет обнаружено почти во всех случаях. Поэтому существенным становится вопрос о реальности этих изменений, или выражаясь математическим языком, вопрос о статистической значимости этих изменений.

При кусочно-стационарном пуассоновском процессе, из (6) получаются следующие статистики:

$$а) \Lambda \equiv \sup_{\tau} L = n \sup_{\tau} K\left(\frac{k_{\tau}}{n}, \frac{\tau}{T}\right), \text{ где } K(p, r) = p \ln \frac{p}{r} + (1-p) \ln \frac{(1-p)}{(1-r)},$$

$$б) \Lambda 1 \equiv \sup_{\tau} L 1 = n \frac{2k_{\tau}}{n} \left(1 - \frac{k_{\tau}}{n}\right) \sup_{\tau} K\left(\frac{k_{\tau}}{n}, \frac{\tau}{T}\right),$$

$$в) \Lambda 2 \equiv \sup_{\tau} L 2 = n \sup_{\tau} \left| \frac{k_{\tau}}{n} - \frac{\tau}{T} \right|,$$

где  $\frac{2k_{\tau}}{n} \left(1 - \frac{k_{\tau}}{n}\right)$  - весовая функция,  $\left(\frac{k_{\tau}}{n} - \frac{\tau}{T}\right) = \frac{\tau(T-\tau)}{nT} \left(\frac{k_{\tau}}{\tau} - \frac{n-k_{\tau}}{T-\tau}\right)$  - нормированная разность между оценками частот,  $\tau$  - момент изменения частоты,  $T$  - полное время наблюдений,  $\nu$  - частота вспышек при предположении о ее постоянстве,  $\nu_1$  - частота вспышек до предполагаемого момента изменения частоты,  $\nu_2$  - частота вспышек после предполагаемого момента изменения частоты,  $k_{\tau}$  - количество зарегистрированных вспышек за время  $\tau$ ,  $n$  - количество зарегистрированных вспышек за время  $T$  ( $n = \kappa_T$ ).

Изменение частоты можно считать установленным с уровнем значимости  $\alpha$ , если значение статистики критерия  $\Lambda$  ( $\Lambda 1, \Lambda 2$ ) превышает некую

пороговую величину  $c(\alpha)$ . Зависимости пороговой величины от уровня значимости от числа зарегистрированных вспышек  $n$  ранее были получены нами с помощью численного моделирования [17]. На рис.5 приведена лишь

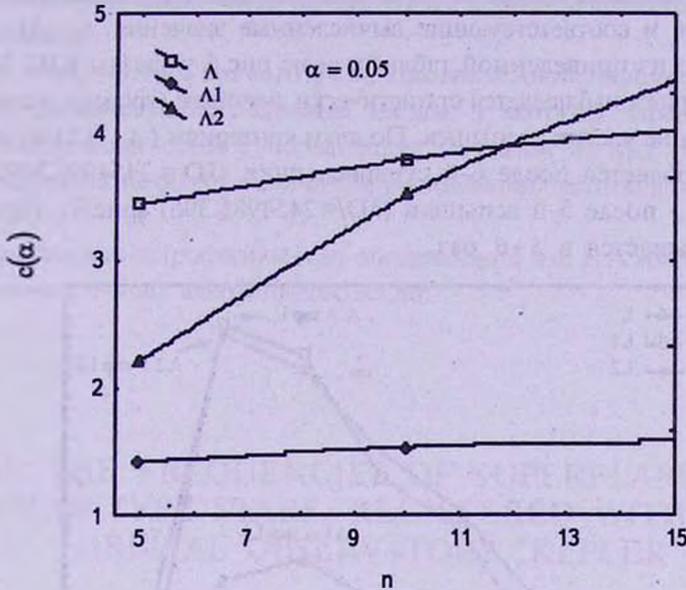


Рис.5. Зависимость пороговой величины от числа зарегистрированных вспышек  $n$ .

Таблица 4

МОМЕНТЫ РЕГИСТРИРОВАННЫХ ВСПЫШЕК И  
ЗНАЧЕНИЯ  $\lambda$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$

	КIC 7264976	КIC 6034120	КIC 8547383	КIC 10422252	КIC 11764567	КIC 4742436	КIC 7174505
1	54966.698	54993.774	54966.617	54964.695	54955.377	54973.135	54965.902
2	54972.093	55003.541	54967.720	54974.279	54957.359	55003.092	54967.823
3	54974.280	55014.147	54970.683	54989.543	54970.764	55005.932	54970.091
4	54981.411	55028.267	54982.760	54997.288	54979.489	55012.982	54977.141
5	54985.396	55041.487	55003.746	55006.340	54979.816	55025.774	54984.395
6	54996.369	55055.239	55027.755	55008.281	54993.078	55027.756	55012.818
7	55060.572	55066.273	55047.351	55012.716	55037.992	55039.873	55017.273
8	55079.125	55067.029	55050.559	55018.294	55049.026	55052.644	55028.450
9		55071.402	55058.610	55032.353	55056.117	55055.035	55029.186
10		55082.149	55077.286	55035.377	55058.508	55069.072	55030.759
11			55082.210	55041.814	55062.921	55073.098	55034.437
12						55075.509	55061.266
13						55081.210	55065.619
14						55083.478	55074.956
$\lambda$	3.920	1.491	1.594	2.426	1.420	0.571	1.249
$\lambda_1$	1.698	0.268	0.632	0.560	0.704	0.140	0.479
$\lambda_2$	3.812	2.328	2.037	3.204	2.534	1.648	2.794

та часть зависимости  $c(\alpha)$  от  $n$ , которая необходима в данной работе.

Для дальнейшего исследования на переменную вспышечную активность были отобраны звезды, показавшие по восемь и более вспышек. В табл.4 приведен список исследованных звезд, с моментами зарегистрированных вспышек в JD 2400000+ и соответствующие вычисленные значения  $\Lambda$ ,  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ .

Как видно из приведенной таблицы и из рис.6 у звезды KIC 7264976 по всем критериям наблюдается статистически значимое (уровень значимости - 0.05) изменение частоты вспышек. По двум критериям ( $\Lambda$ ,  $\Lambda_2$ ) изменение частоты наблюдается после 6-й супервспышки (JD = 2454996.369), а по критерию  $\Lambda_1$  - после 5-й вспышки (JD = 2454985.396) (рис.6). При этом частота уменьшается в 5+6 раз.

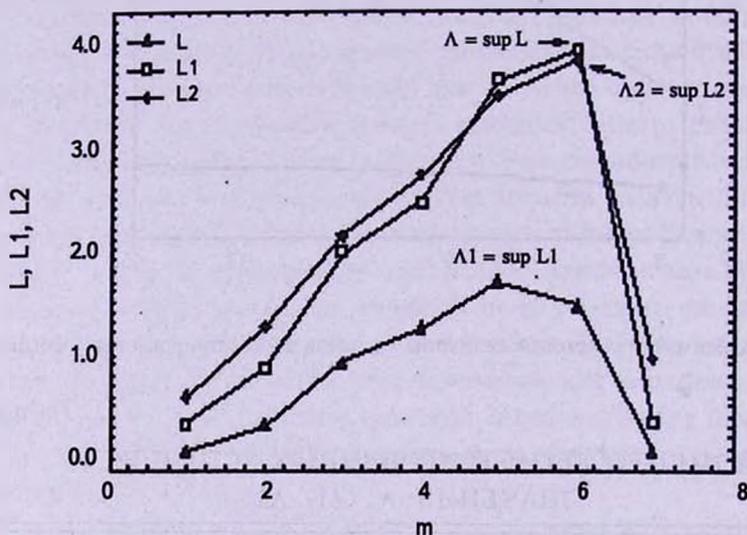


Рис.6. Зависимость вычисленных величин  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  от порядкового номера вспышки для звезды KIC 7264976, где как  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  обозначены функции, супремумами которых являются, соответственно,  $\Lambda$ ,  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ .

При предположении о постоянной частоте вспышек вероятность такого распределения по интервалам времени  $\tau$  и  $(T-\tau)$ , вычисленная по формуле (6), меньше  $q = 0.025$ ,

$$q = \frac{\tau^k (T-\tau)^{n-k}}{T^n} \frac{nl}{k!(n-k)!} \quad (6)$$

Согласно [8] звезда KIC 7264976 имеет эффективную температуру 5184 K, период вращения -12.7 дня и амплитуду  $9.84 \cdot 10^{-3}$ .

5. **Заключение.** В данной работе проведено статистическое исследование выборки звезд солнечного типа, у которых с помощью орбитальной обсерватории "Кеплер" обнаружены супервспышки. Для этого привлечены методы, используемые при решении аналогичных задач для вспышечных звезд.

Получены оценки полного числа звезд, способных на супервспышки, определены функции распределения частоты вспышек как для полной выборки, так и для отдельных подвыборок, составленных путем разбиения полной выборки на две части по значениям периодов вращения и амплитуд переменности.

Для обнаружения возможной кратковременной переменности вспышечной активности исследованы звезды, у которых зарегистрированы наибольшие количества супервспышек. У одной из них (KIC 7264976) обнаружено статистически значимое уменьшение частоты в несколько раз.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,  
Армения, e-mail: aakopian@bao.sci.am

## ON THE FREQUENCIES OF SUPERFLARES OF SOLAR-TYPE STARS, REGISTERED WITH THE ORBITAL OBSERVATORY "KEPLER"

A.A.AKOPIAN

Statistical study of solar-type stars which show a superflare, that have observed with the orbiting observatory "Kepler", is presented. For this, methods developed for solving similar problems to flare stars were involved. The estimates of the total number of stars, that can show a superflare, the functions of the frequency distribution of superflares for the whole sample of stars and the individual sub-samples drawn up by splitting the whole sample into two parts by the values of the rotation periods and amplitudes of variability, are presented. Statistically significant change of the frequency of superflares is noted at star KIC 7264976.

Key words: *superflare: flare frequency*

## ЛИТЕРАТУРА

1. B.Schaefer, Nature, 485, 456, 2012.
2. B.Schaefer, Astrophys. J., 337, 927, 1989.
3. E.P.Rubenstein, B.Schaefer, Astrophys. J., 529, 1031, 2000.

4. *M.Cuntz, S.H.Saar, Z.E.Musielak*, *Astrophys. J.*, **533**, L151-L154, 2000.
5. *W.-H Ip, A.Kopp, J.-H.Hu*, *Astrophys. J.*, **602**, L53-L56, 2004.
6. *A.F.Lanza*, *Astron. Astrophys.*, **487**, 1163, 2008.
7. *H.Maehara, T.Shibayama, S.Noisu et al.*, *Nature*, **485**, 478, 2012.
8. *H.Maehara, T.Shibayama, S.Noisu et al.*, *Nature*, **485**, Supplementary Information, 11063, 2012.
9. *В.А.Амбарцумян*, "Звезды, Туманности, Галактики", Изд. АН Арм ССР, 1969, с.283.
10. *A.Chao*, *Biometrics*, **43**, 783, 1987.
11. *В.А.Амбарцумян, Л.В.Мирзоян, Э.С.Парсамян и др.*, *Астрофизика*, **6**, 7, 1970.
12. *М.Кендалл, А.Стьюарт*, "Теория распределений", М., Наука, 1966, с.587.
13. *В.А.Амбарцумян*, *Астрофизика*, **14**, 367, 1978.
14. *А.А.Акопян*, *Астрофизика*, **46**, 75, 2003.
15. *W.Elderton, N.Johnson*, "Systems of frequency curves", Cambridge Univ. Press, 1969, p.216.
16. *А.А.Акопян*, *Астрофизика*, **42**, 555, 1999.
17. *А.А.Акопян*, *Астрофизика*, **44**, 131, 2001.
18. *А.А.Акопян, Л.Саргсян*, *Астрофизика*, **45**, 29, 2002.
19. "Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем", сб. статей, М., Мир, 1989.