АСТРОФИЗИКА

ТОМ 45 ФЕВРАЛЬ, 2002 ВЫПУСК 1

УДК: 524.4

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ ЗВЕЗДНЫХ ВСПЫШЕК ДЛЯ СЛАБЫХ ЗВЕЗД СКОПЛЕНИЯ ПЛЕЯДЫ

ЭЛЬМА С.ПАРСАМЯН

Поступила 20 июля 2001

Показано, что для вывода функции распределения средней частоты звездных вспышек в случае, когда число пронаблюденных вспышек в агрегатах немного, для подтверждения хронологии "первых вспышек", можно использовать хронологию "третьих вспышек". Дано конкретное решение для слабых звезд скопления Плеяды.

Для характеристики звездного агрегата (ассоциации и скопления), в котором есть вспыхивающие звезды, кроме знания общего числа вспыхивающих звезд, следует знать и распределение их по частотам. Определение частоты вспышек отдельных звезд в агрегате непосредственно из наблюдений связано с многолетними наблюдениями. Амбарцумян [1] предложил статистический метод решения данной задачи, с использованием хронологии открытий "первых" вспышек и хронологии подтверждения, т.е. распределения по времени "вторых" вспышек. Этим методом им была определена в первом приближении функция распределения средних частот вспышек для скопления Плеяды. Из-за недостаточности количества известных вспыхивающих звезд в других агрегатах, функция распределения частоты звездных вспышек определена еще для ассоциации Ориона [2].

В некоторых случаях, когда количество вспышек небольшое, как будет показано ниже, можно воспользоваться хронологией "третьих" вспышек. Попытаемся определить функцию распределения частот звездных вспышек для звезд с $m \geq 19^m.5$ в Плеядах. Число таких вспышек, по имеющимся у нас данным, всего лишь 265.

Для определения функции распределения частот вспышек Амбарцумяном [1] получена формула:

$$n_1(t)/n_1(0) = \frac{1}{\bar{\nu}} \int_0^\infty e^{-\nu t} \nu f(\nu) d\nu, \qquad (1)$$

где $n_1(t)$ - число вспышек, происшедших в единицу времени t, а $n_1(0)$ - в начальный период наблюдений ($t=0$), таким образом левая часть уравнения (1) означает долю "первых" вспышек $n_1(t)$ среди всех вспышек, происходящих в единицу времени, и может быть найдена из наблюдений. Здесь t - это время, прошедшее с начала регистрации. Построим для этой выборки зависимость $n_1(t)/n_1(0)$ от z, где $z = n_1(0)t$ приближенно равняется номеру последней в промежутке $(0,t)$ наблюденной вспышки. На рис.1, кружочками обозначены $n_1(t)/n_1(0)$, полученные из наблюдений, а сплошная кривая - интерполяция из этих наблюдательных данных, проведенная от руки.

Функция $n_1(t)/n_1(0)$, которую необходимо знать для нахождения из (1) функции распределения частот ($f(\nu)$), может быть найдена как прямо из хронологии первых вспышек, как это отмечено выше, так и из формулы (16) [1]:

$$n_1(t) = n_1(0) - \int_0^t \frac{n_2(u)}{u} du, \tag{2}$$

где значение функции $n_1(t)$ выражено через статистику моментов "вторых" вспышек - $n_2(t)$, которые независимы от первых вспышек. Путем численного интегрирования определим значения $n_1(t)/n_1(0)$ для нашей выборки, нанесем их в виде крестиков на рис.1.

Как видно из приведенного графика, определение $n_1(t)/n_1(0)$ посредством $n_2(t)$ значительно отличается от $n_1(t)/n_1(0)$, полученных из наблюдений.

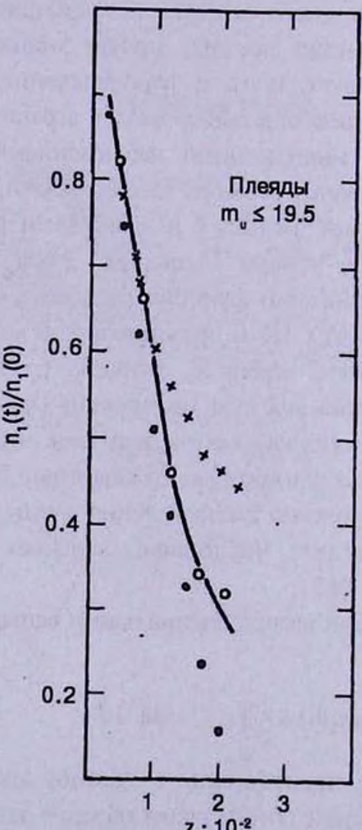

Рис.1. Зависимость $n_1(t)/n_1(0)$ от z. Кружочками обозначены значения, полученные из наблюдений; плавная кривая - интерполяция, основанная на этих значениях; крестики - значения, полученные из хронологии подтверждения по "вторым" вспышкам; точки - значения, полученние из хронологии подтверждений по "третьим" вспышкам.

В таком случае попытаемся провести хронологию подтверждения по "третьим" вспышкам. Ожидаемое число звезд N_2, у которых за время t наблюдались как первая, так и вторая вспышки, согласно Амбарцумяну [1], выражается формулой:

$$N_2 = N\int_0^\infty f(\nu)\left(1-e^{-\nu t}-e^{-\nu t}\,\nu t\right)d\nu. \tag{3}$$

Ожидаемое число звезд N_3, у которых за время t произошли три вспышки, выражается формулой:

$$N_3 = N\int_0^\infty f(\nu)\left[1-e^{-\nu t}-e^{-\nu t}\,\nu t-e^{-\nu t}\frac{(\nu t)^2}{2}\right]d\nu \tag{4}$$

или

$$N_3 = N_2-\frac{N}{2}\int_0^\infty f(\nu)e^{-\nu t}(\nu t)^2\,d\nu. \tag{5}$$

Рассмотрим выражение:

$$\frac{d}{dt}\int_0^\infty f(\nu)e^{-\nu t}\,\nu\,d\nu = \int_0^\infty f(\nu)e^{-\nu t}(-\nu)\nu\,d\nu = -\frac{1}{t^2}\int_0^\infty f(\nu)e^{-\nu t}(\nu t)^2\,d\nu \tag{6}$$

или

$$\int_0^\infty f(\nu)e^{-\nu t}(\nu t)^2\,d\nu = -t^2\frac{d}{dt}\frac{1}{t}\int_0^\infty f(\nu)e^{-\nu t}(\nu t)\,d\nu = t^2\frac{d}{dt}\frac{1}{t}\frac{N_2-N_1}{N}. \tag{7}$$

Подставим формулу (7) в (5):

$$N_3 = N_2-\frac{1}{2}t^2\frac{d}{dt}\left(\frac{N_2-N_1}{t}\right). \tag{8}$$

Легко проверить, что

$$N_2-N_1 = -t\frac{dN_1}{dt}.$$

Тогда (8) можно написать в виде:

$$N_3 = N_1(t)-t\frac{dN_1(t)}{dt}+\frac{t^2}{2}\frac{d^2N_1(t)}{dt^2}. \tag{9}$$

Перейдем в (9) от N_k к n_k, согласно

$$\frac{dN_k}{dt} = n_k(t).$$

Дифференцируя (9) по t:

$$n_3(t)=\frac{t^2}{2}\frac{d^2n_1(t)}{dt^2},\qquad \frac{d^2n_1(t)}{dt^2}=\frac{2}{t^2}n_3(t). \tag{10}$$

Интегрируя выражение (10) один раз, получим:

$$\frac{dn_1(t)}{dt}=2\int_0^t\frac{n_3(u)\,du}{u^2}+c_1. \tag{11}$$

Интегрируя (11), получим:

$$n_1(t) = c_0+c_1t+2\int_0^t dx\int_0^x\frac{n_3(u)\,du}{u^2}. \tag{12}$$

Переставляя порядок интегрирования в (12), получаем:

$$\int_0^t dx \int_0^x \frac{n_3(u)du}{u^2} = \int_0^t \frac{n_3(u)du}{u^2} \int_0^x dx = \int_0^t \frac{n_3(u)}{u^2}(t-u)du = t\int_0^t \frac{n_3(u)du}{u^2} - \int_0^t \frac{n_3(u)du}{u} \quad (13)$$

или

$$n_1(t) = c_0 + c_1 t + 2t\int_0^t \frac{n_3(u)du}{u^2} - 2\int_0^t \frac{n_3(u)du}{u}. \quad (14)$$

При $t \to 0$, $c_0 = n_1(0)$ имеем:

$$\frac{dn_1(t)}{dt}\Big|_{t=0} = c_1, \quad (15)$$

следовательно, окончательно для $n_1(t)$ имеем:

$$n_1(t) = n_1(0) + n_1'(0)t + 2t\int_0^t \frac{n_3(u)du}{u^2} - 2\int_0^t \frac{n_3(u)du}{u}. \quad (16)$$

Вычислим значения $n_1(t)$ через $n_3(t)$ и нанесем эти значения в виде точек на рис.1.

Из рис.1 видно, что значения $n_1(t)$, вычисленные посредством "третьих" вспышек по формуле (16), хорошо совпадают с наблюдениями.

Для скопления Плеяды по данным о всех вспышках ($N = 822$, $t = 2625$ часов) Амбарцумян [1] нашел, что $n_1(t)/n_1(0)$ можно представить интерполяционной формулой:

$$\frac{n_1(t)}{n_1(0)} = \frac{1}{(1+\alpha t)^{2/3}}, \quad (17)$$

и тогда решение уравнения (1) можно представить в виде:

$$f(\nu) = ce^{-\nu s}\,\nu^{-4/3}, \quad (18)$$

где параметр s имеет размерность времени и равен 385 часам.

В случае нашей выборки по полученным значениям $n_1(t)$ (16) можно вычислить параметр s, который оказался равным 533 часам.

Для проверки правильности полученной функции распределения частот для слабых звезд скопления можно, следуя Амбарцумяну [1], сосчитать значения отношений математических ожиданий числа звезд, вспыхивающих за время наблюдений k раз - m_k, сравнить с n_k, полученными из наблюдений. Окончательно это отношение можно представить в виде:

$$\frac{m_{k+1}}{m_k} = \frac{k-1/3}{k+1}\cdot\frac{t}{t+s}, \quad (19)$$

где t - суммарное время наблюдений скопления.

В табл.1 приведены значения n_k из наблюдений, а также вычисленные значения m_k при данном значении параметра s (во всех случаях принято $m_1 = 76$).

Как видно из приведенных в табл.1 значений n_k и m_k, наблюдения хорошо совпадают с вычислениями.

Таблица 1

ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ m_k ПРИ ДАННОМ s

k	n_k	m_k
1	76	(76)
2	22	21
3	17	10
4	6	5.2
5	3	3
6	3	2

Таким образом, хотя из-за малочисленности наблюдений флюктуации оказывают сильное влияние на число пронаблюденных вспышек, для определения функции распределения частоты вспышек можно использовать и хронологию подтверждений по "третьим" вспышкам.

Автор приносит благодарность М.А.Мнацаканяну за полезную дискуссию при выполнении работы.

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

THE DERIVATION OF THE FREQUENCY-FUNCTION OF STELLAR FLARES FOR THE FAINT STARS IN PLEIADES CLUSTER

ELMA S.PARSAMIAN

It is shown, that for derivation of the frequency-function of stellar flares in the case when observed number of flares in agregate not so much, for the confirmations of the "first flares" the chronology of "thirth flares" may be used. A concrete solution is found for the faint stars of Pleiades cluster.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В.А.Амбарцумян*, Астрофизика, **14**, 367, 1978.
2. *Э.С.Парсамян*, Астрофизика, **16**, 477, 1980.