

УДК: 524. 338. 6

## О ЗАВИСИМОСТИ СРЕДНЕЙ СВЕТИМОСТИ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД ОТ ВОЗРАСТА СИСТЕМЫ

А.А.АКОПЯН

Поступила 16 июля 1995

Принята к печати 20 августа 1995

Рассмотрены зависимости светимости ярчайшей вспышкающей звезды и средней светимости вспышкающих звезд системы от ее возраста. Получены оценки для среднего значения и дисперсии начальной функции светимостей вспышкающих звезд.

1. *Введение.* Впервые Аро [1] высказал гипотезу о том, что стадия вспышкающей звезды в жизни красных карликовых звезд является закономерной и эволюционной, и следует за стадией звезды типа Т Тельца. Закономерность этой эволюционной стадии была подтверждена Амбарцумяном [2] путем оценки общего числа вспышкающих звезд в звездной системе Плеяды, которое оказалось одного порядка с общим числом карликовых звезд в нем.

Зависимость светимости ярчайшей вспышкающей звезды от возраста соответствующей системы, содержащей эти звезды, впервые была отмечена Аро и Чавира [3]: существует зависимость между наиболее ранним спектральным классом вспышкающей звезды и возрастом системы.

Впоследствии Кункель [4], используя данные о вспышкающих звездах двух систем (Плеяды, Гиады), подтвердил существование зависимости светимости ярчайшей вспышкающей звезды системы от ее возраста.

В дальнейшем зависимость средней светимости вспышкающих звезд данной системы от ее возраста была установлена Мирзояном и Бругяном [5], которая затем была подтверждена в работе [6] на основе наблюдательных данных ближайших систем. Было показано, что наблюдаемая функция светимости вспышкающих звезд смещается в сторону низких светимостей со старением системы.

Единственной системой, не удовлетворяющей данной зависимости, оказалась звездная ассоциация Моп ОВ1 (NGC 2264). Однако нами в [7], на основе метода оценки возрастов молодых ассоциаций с помощью известных отношений количеств вспышкающих звезд и звезд типа Т Тельца в них, были получены оценки возрастов некоторых звездных систем, в том числе и NGC 2264, которые показали, что данная зависимость имеет место для всех систем, рассмотренных в [6].

На рис.1 приводятся построенные на основе данных работы [6] зависимость светимости ярчайшей вспышкающей звезды от возраста системы и зависимость средней светимости вспышкающих звезд от возраста системы. Приведенные на рис.1 зависимости несколько отличаются от аналогичных зависимостей приведенных в [4] и [6]. Во-первых, здесь использованы значения возрастов молодых систем, полученные в [7], которые отличаются от использованных в [6] возра-

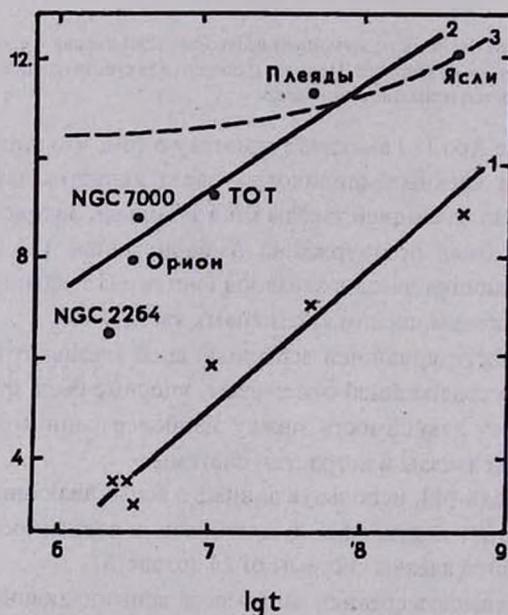


Рис.1 Кривая 1 и крестики — зависимость светимости ярчайшей вспышкающей звезды системы от возраста системы. Кривая 2 и точки — зависимость средней светимости вспышкающих звезд от возраста системы. Кривая 3 — теоретическая зависимость средней светимости вспышкающих звезд от возраста системы в случае нормального начального распределения светимостей вспышкающих звезд с параметрами распределения  $\hat{m} = 10^{m.5}$  и  $\hat{\sigma} = 3^m$ .

стов. Во-вторых, в [6] с целью учета эффектов селекции наблюдательных данных, связанных с разными расстояниями исследуемых систем, были использованы только вспыхивающие звезды с абсолютной фотографической светимостью  $m < 11^m$ , которые доступны наблюдениям для всех рассмотренных систем. Введение такого ограничения было необходимо, чтобы доказать, что данная зависимость реальная, а не эффект селекции, однако само это ограничение также является селективным.

В частности, по сравнению с молодыми системами значительно переоценивается средняя светимость вспыхивающих звезд  $\bar{m}$  относительно старых систем, поскольку в них из-за смещения функции светимости вспыхивающие звезды, имеющие светимость  $m > 11^m$ , составляют большую часть. Поскольку старые системы наиболее близкие к нам, то в результате получается заниженный наклон зависимости  $(\bar{m}, lgt)$ , где  $t$  — возраст системы ( $d\bar{m}/dlgt = 0.8$ ).

Несмотря на присутствие селективного эффекта расстояния, в настоящей работе использованы все имеющиеся данные без всяких ограничений на светимость. Снимая ограничение  $m < 11^m$ , можно надеяться получить более близкие к истинным значениям средние светимости вспыхивающих звезд и получить верхнюю оценку наклона зависимости  $(\bar{m}, lgt)$ . Действительно, неучет селективного эффекта расстояния приводит к сравнительной переоценке средних светимостей вспыхивающих звезд далеких и более молодых систем, что приводит к завышенному значению наклона зависимости  $d\bar{m}/dlgt = 2.2$ . Отсюда, для реального наклона зависимости имеем

$$0.8 < d\bar{m}/dlgt < 2.2$$

2. *О возможной интерпретации зависимости средней светимости вспыхивающих звезд от возраста системы.* Согласно работе [8] зависимость средней светимости вспыхивающих звезд системы от ее возраста является прямым следствием зависимости темпов эволюции звезд от их масс, в результате чего более массивные, т.е. более яркие звезды проходят стадию вспыхивающей звезды быстрее, чем менее массивные звезды низких светимостей. В пользу данной интерпретации говорит тот факт, что относительное число вспыхивающих звезд среди красных карликов резко возрастает при переходе от звезд высоких светимостей к звездам более низких светимостей (см. [9]).

Предположим, что начальная функция распределения светимостей вспыхивающих звезд одинакова для всех систем. Это позволит рассматривать данные системы как реализации одной системы в разных моментах времени. Сравнение функций распределения светимостей ярких звезд двух наиболее близких и хо-

рошо изученных систем — Плеяды и Ясли [10, 11], показывает, что это предположение справедливо, по крайней мере для этих систем.

В этом случае, выход ярких звезд в процессе эволюции из совокупности вспыхивающих звезд, естественно, приведет к смещению светимости ярчайшей вспыхивающей звезды и средней светимости вспыхивающих звезд системы в сторону низких светимостей. При этом, зависимость светимости ярчайшей вспыхивающей звезды системы от ее возраста, особенно для больших значений возраста системы, может интерпретироваться как зависимость между светимостью звезд и продолжительностью стадии вспышечной активности. Действительно, если возраст системы значительно больше характерного времени звездообразования, то можно считать, что все вспыхивающие звезды данной системы имеют одинаковый возраст, приблизительно равный возрасту системы. В этом случае, вспышечная активность указывает, что продолжительность стадии вспышечной активности у нее больше возраста системы. Для ярчайших же вспыхивающих звезд системы это означает, что продолжительность стадии вспышечной активности у них равна возрасту системы, поскольку чуть более яркие звезды уже покинули данную стадию.

3. Оценка параметров начальной функции светимости вспыхивающих звезд. Среднюю светимость вспыхивающих звезд можно представить в виде:

$$\bar{m}(t) = \frac{\int_{m_{\alpha}(t)}^{\infty} m dF}{\int_{m_{\alpha}(t)}^{\infty} dF}, \quad (1)$$

где  $\bar{m}(t)$  — средняя светимость вспыхивающих звезд,  $m_{\alpha}(t)$  — светимость ярчайшей вспыхивающей звезды,  $F$  — начальная функция светимости вспыхивающих звезд,  $t$  — возраст системы.

Разбив интеграл в числителе выражения (1) на две части, можно записать:

$$\bar{m}(t) = \frac{\int_{m_{00}}^{\infty} m dF - \int_{m_{00}}^{m_{\alpha}(t)} m dF}{\int_{m_{\alpha}(t)}^{\infty} dF}, \quad (2)$$

где  $m_{00}$  — светимость ярчайшей вспыхивающей звезды начальной функции светимости вспыхивающих звезд, т.е.  $m_{00} = m_{\alpha}(0)$ .

Поочередно выводя из-под интеграла  $\int_{m_{00}}^{m_{10}} m dF$  величину  $m$ , соответственно как  $m = m_{00}$  и  $m = m_0$ , из выражения (2) можно получить неравенство:

$$\frac{\hat{m} - m_0 \int_{m_0}^{m_0} dF}{\int_{m_0}^{\infty} dF} < \bar{m}(t) < \frac{\hat{m} - m_{00} \int_{m_{00}}^{m_0} dF}{\int_{m_0}^{\infty} dF}, \quad (3)$$

где  $\hat{m} = \int_{m_{00}}^{\infty} m dF$  — средняя светимость вспыхивающих звезд начальной функции светимостей вспыхивающих звезд, т.е.  $\hat{m} = \bar{m}(0)$ .

Согласно смыслу функции распределения  $F(m_{00}) = 0$ ,  $F(\infty) = 1$ . Учитывая это из (3) получим:

$$m_{00}F(m_0) + \bar{m} - \bar{m}F(m_0) < \hat{m} < m_0F(m_0) + \bar{m} - \bar{m}F(m_0). \quad (4)$$

Величины  $m_0$ ,  $\bar{m}$  непосредственно можно определить из наблюдаемых функций светимостей [6]. Поскольку  $m_{00} = m_0(0)$ , то величину  $m_{00}$  можно оценить экстраполируя наблюдаемую зависимость  $(m_0, lgt)$  (рис.1) на разумно малые значения  $lgt$ , из чего следует,  $m_{00} = 2^m - 3^m$ . Аналогичная процедура для определения величины  $\hat{m}$  не обоснована из-за гораздо меньшей точности определения кривой зависимости  $(\bar{m}, lgt)$  и может привести к большим ошибкам.

Величину  $m_{00}$  можно оценить также исходя из другого соображения. Следует ожидать, что светимость ярчайшей вспыхивающей звезды начальной функции светимостей по своему значению должна быть близка к светимостям ярчайших вспыхивающих звезд тех молодых систем, где идет процесс активного звездообразования (Орион, NGC 7000, NGC 2264). Это соображение тоже приводит к оценке  $\sim 3^m$  (см.рис.1).

Величина  $F(m_0)$  имеет следующий физический смысл. Она представляет долю тех вспыхивающих звезд, которые, согласно приведенной интерпретации, покинули стадию вспышечной активности ( $m < m_0$ ), т.е.  $F(m_0)$  есть доля нормальных звезд в общем числе карликовых звезд:

$$F(m_0) = \frac{N_n}{N_n + N_f}, \quad (5)$$

где  $N_n$  — число нормальных карликовых звезд, а  $N_f$  — число вспыхивающих звезд.

В настоящее время для большинства рассмотренных систем определение величин  $N_n$ ,  $N_f$  сопряжено со значительными ошибками. В этом отношении наиболее хорошо изученной является система Плеяд, которая благодаря относительной близости и значительного по времени и объему наблюдений за вспышками звездами менее всех подвержена разным селективным эффектам.

Число  $N_n$  для системы Плеяды можно оценить из известных функций светимостей ярких звезд, приведенных в работах Джонса [12] и Стауффера и др. [10]. Оно порядка 150 — 200.

Число вспышкающих звезд в Плеядах можно оценить методом Амбарцумяна [2], с помощью наблюдательных данных. Согласно [13], оно порядка 1000. Однако при оценке числа вспышкающих звезд используются вспышки, среди которых есть вспышки, принадлежащие вспышкающим звездам поля и ложные вспышки, являющиеся ошибками наблюдений и обработок.

Учет вспышкающих звезд поля может приводить к понижению числа зарегистрированных ныне вспышкающих звезд системы Плеяды на 10% [14]. Более завышенные оценки, приведенные в [10, 15], в основном базируются на определении числа вспышкающих звезд поля с помощью изучения собственных движений звезд.

Однако в [16] показано, что вспышечная активность звезды является более надежным критерием принадлежности к системе, чем критерий принадлежности, основанный на собственных движениях. Этот вывод следует из того факта, что все звезды системы Плеяды, независимо от их вероятностей членства к системе, вычисленных на основе собственных движений [10], имеют четко выраженную тенденцию сконцентрироваться вокруг центра системы (см. рис.1 в [16]).

Согласно [15], процент ложных вспышкающих звезд может быть значительным среди звезд с одной зарегистрированной вспышкой с фотографической амплитудой вспышки  $\Delta m < 1^m$ , что по нашим грубым оценкам может приводить к занижению числа известных вспышкающих звезд не более 10%.

Поэтому примем, что в результате учета этих факторов число известных вспышкающих звезд может понизиться до 20%. В свою очередь, при использовании метода Амбарцумяна, это может до 30% понизить оценку полного числа вспышкающих звезд. Однако нужно иметь в виду, что сам метод Амбарцумяна дает лишь нижнюю оценку числа вспышкающих звезд [17]. Учет этого обстоятельства может вполне компенсировать данное понижение и даже больше. Поэтому, примем оценку  $N_f = 1000$  [13] в качестве нижней оценки полного числа вспышкающих звезд. Из (5) получим  $F(m_0) = 0.13 + 0.16$ . Для значения  $F(m_0) = 0.15$  из (4) получим оценку среднего значения начальной функции светимостей вспышкающих звезд:

$$10.^m15 < \hat{m} < 10.^m75 .$$

Изменение средней светимости вспыхивающих звезд  $\Delta m = \bar{m} - \hat{m}$  за время жизни системы можно оценить из выражения:

$$F(m_o) (\bar{m} - m_o) < \Delta \bar{m} < F(m_o) (\bar{m} - m_{oo}) ,$$

которое непосредственно следует из (4).

Для системы Плеяды  $\Delta \bar{m}$  порядка единицы ( $0.66 < \Delta \bar{m} < 1.26$ ).

Аналогичным образом можно оценить дисперсию начальной функции светимостей вспыхивающих звезд. Для наблюдаемой дисперсии имеем:

$$\sigma^2 = \frac{\int_{m_o}^{\infty} (m - \bar{m})^2 dF}{\int_{m_o}^{\infty} dF}$$

или разбив интеграл в числителе на две части:

$$\sigma^2 = \frac{\int_{m_{oo}}^{\infty} (m - \bar{m})^2 dF - \int_{m_{oo}}^{m_o} (m - \bar{m})^2 dF}{\int_{m_o}^{\infty} dF} . \tag{6}$$

Поочередно выводя из-под интеграла  $\int_{m_{oo}}^{m_o} (m - \bar{m})^2 dF$  величину  $(m - \bar{m})^2$ , соответственно как  $(m - \bar{m})^2 = (m_o - \bar{m})^2$  и  $(m - \bar{m})^2 = (m_{oo} - \bar{m})^2$ , и учитывая, что  $\int_{m_{oo}}^{\infty} (m - \bar{m})^2 dF = \sigma^2 + \Delta \bar{m}^2$ , где  $\sigma^2 = \int_{m_{oo}}^{\infty} (m - \hat{m})^2 dF$  — дисперсия начальной функции светимостей вспыхивающих звезд, из (6) получим:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}^2 &> \sigma^2 + F(m_o) [(\bar{m} - m_o)^2 - \sigma^2] - \Delta \bar{m}^2 \\ \hat{\sigma}^2 &< \sigma^2 + F(m_o) [(\bar{m} - m_{oo})^2 - \sigma^2] - \Delta \bar{m}^2 . \end{aligned} \tag{7}$$

Наблюдаемое значение дисперсии светимостей вспыхивающих звезд системы Плеяды  $\sigma^2 = 3$ . Подставляя это значение в (7), для оценки дисперсии начальной функции светимостей вспыхивающих звезд получим:

$$4.5 < \hat{\sigma}^2 < 12.1 \quad \text{или} \quad 2.1 < \hat{\sigma} < 3.5 .$$

4. *Приближение нормального распределения.* Чтобы определить вид начальной функции светимостей вспыхивающих звезд, необходимо иметь приведенные на рис.1 зависимости  $(m_o, lgt)$  и  $(\bar{m}, lgt)$  с гораздо большей точностью и для более широкого диапазона времени.

Однако для значительной части вспыхивающих звезд продолжительность стадии вспышечной активности одного порядка и больше времени необходимого для полного или частичного распада физической системы, в которую они входят. Иначе говоря, значительное число звезд покидают материнскую систему и становятся звездами поля, не переставая быть вспыхивающими [14]. В результате полного или частичного распада системы процесс перехода вспыхивающих звезд в нормальные не находит своего завершения в физической системе, и поэтому трудно ожидать, что можно значительно расширить диапазон времени за счет возможного обнаружения старых систем вспыхивающих звезд и точно определить вид начальной функции светимости вспыхивающих звезд.

Однако рассмотрение видов наблюдаемых функций светимостей вспыхивающих звезд, приведенных в [6], дает некоторое основание принять нормальное распределение в качестве первого приближения начальной функции светимостей вспыхивающих звезд.

Допустим, что начальная функция светимостей является нормальной:

$$dF = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \hat{\sigma}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{m - \hat{m}}{\hat{\sigma}} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где  $\hat{m}$  — среднее значение,  $\hat{\sigma}^2$  — дисперсия светимостей начальной функции светимостей вспыхивающих звезд.

Подставляя (8) в (1) можно получить соотношение между средней светимостью вспыхивающих звезд и светимостью ярчайшей вспыхивающей звезды:

$$\bar{m} = \hat{m} + \frac{\hat{\sigma}}{R \left( \frac{m_o - \hat{m}}{\hat{\sigma}} \right)}, \quad (9)$$

где  $R$  — известное в математической статистике отношение Миллса (см. напр. [18]).

Используя наблюдаемую зависимость  $(m_o, lgt)$  (рис.1), с помощью соотношения (9) можно построить ожидаемую зависимость средней светимости вспыхивающих звезд от возраста системы в случае начального нормального распределения. При построении зависимости, приведенной на рис.1, были использованы значения параметров  $\hat{m} = 10^m$ ,  $\hat{\sigma} = 3^m$ , в соответствии с пол-

учеными выше оценками. Как видно из рис.1 согласие с наблюдаемой зависимостью хорошее для наиболее близких и старых систем (Плеяды, Ясли).

В приближении нормального начального распределения светимостей вспыхивающих звезд можно оценить также среднюю продолжительность стадии вспышечной активности. Выше было отмечено, что зависимость светимости ярчайшей вспыхивающей звезды от возраста системы ( $m_0, \lg t$ ) может интерпретироваться как зависимость между светимостью и продолжительностью стадии вспышечной активности, т.е. как ( $m, \ln T$ ), где  $T$  — продолжительность стадии вспышечной активности.

Как видно из рис.1 данная зависимость хорошо представляется в линейной форме:

$$m = a \ln T + b, \quad (10)$$

где  $a = 1.1$  и  $b = -11.8$  определяются из зависимости ( $m_0, \lg t$ ) (рис.1).

Подставляя (10) в (8) можно получить логарифмически нормальную функцию распределения продолжительностей стадий вспышечной активности:

$$\varphi(T) dT = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \frac{\hat{\sigma}}{a}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln T - \overline{\ln T}}{\frac{\hat{\sigma}}{a}} \right)^2 \right]$$

со средним значением  $\overline{\ln T} = \frac{\hat{m} - b}{a}$  и с дисперсией  $\left( \frac{\hat{\sigma}}{a} \right)^2$ . Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  определяют среднюю продолжительность стадии вспышечной активности:

$$\overline{\ln T} = 20 \quad \text{или} \quad 5.10^8 \text{ л.}$$

Среди молодых далеких систем, в смысле статистики вспыхивающих звезд наиболее хорошо изученной является система вспыхивающих звезд ассоциации Ориона. Однако из-за сравнительно большого расстояния данной системы в настоящее время зарегистрированы вспышки лишь у звезд с  $m < 12^m - 13^m$ . При этом для вспыхивающих звезд самых низких светимостей минимальная амплитуда регистрируемой вспышки порядка  $4^m - 5^m$  и больше. Естественно, что в данном случае теряется значительное число вспыхивающих звезд низких светимостей с меньшими амплитудами вспышек.

Сравнивая наблюдаемую функцию светимостей вспыхивающих звезд с нормальным распределением, можно учитывать вклад возможных селективных эффектов в оценке общего числа вспыхивающих звезд. Для этого на рис.2 приводится наблюдаемая функция светимостей вспыхивающих звезд системы Ори-

она (из [6]) в сравнении с нормальным распределением, которое рассматривалось выше в качестве первого приближения к начальной функции светимостей. Приведенные на рис.2 распределения нормированы так, чтобы было хорошее совпадение левых крыльев распределений (соответствующих ярким звездам) свободных от селективного эффекта расстояния.

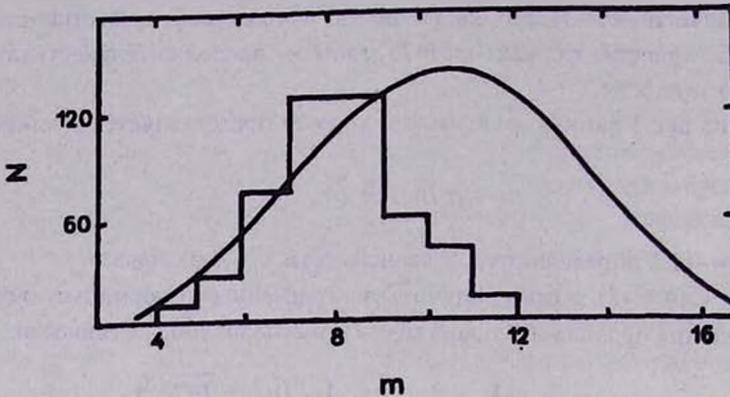


Рис.2 Наблюдаемое распределение светимостей вспыхивающих звезд системы Ориона (гистограмма) и его сравнение с нормальным распределением с параметрами  $\hat{m} = 10.^m5$  и  $\hat{\sigma} = 3.^m$ .

Как видно из рис.2 учет селективного эффекта может значительно, по крайней мере в два раза, повысить число вспыхивающих звезд, которое в настоящее время оценено 2000 [19].

5. *О возможной роли уменьшения светимостей звезд.* Вспышечная активность звезды является проявлением или следствием неравновесного физического состояния звезды, что дает основание допустить, что в течение вспышечной стадии, по мере приближения к равновесному состоянию, светимость звезды может значительно измениться. Естественно, уменьшение светимостей звезд внесет определенные изменения в рассмотренные зависимости. В частности, оно приведет к смещению не только средней светимости вспыхивающих звезд и светимости ярчайшей вспыхивающей звезды, но и к смещению максимума наблюдаемой функции светимостей вспыхивающих звезд. Такое смещение намечается, например, при сравнении функций светимостей вспыхивающих звезд систем ТОТ и Плеяды/Ясли. Это смещение ( $\sim 2.^m$ ) трудно объяснить влиянием селективных эффектов, поскольку данные системы находятся почти на одинаковом расстоянии.

Исходя из этого можно допустить, что уменьшение светимостей вспыскивающих звезд вносит определенный вклад в зависимость средней светимости вспыскивающих звезд от возраста системы. Предварительный анализ показывает, что учет уменьшения светимостей вспыскивающих звезд приведет к понижению оценок величин  $\hat{m}$ ,  $\hat{\sigma}$ , и  $N_f$  — число вспыскивающих звезд в Орионе, полученных в п.3,4.

**6. Заключение.** Рассмотрены зависимости светимости ярчайшей вспыскивающей звезды системы и средней светимости вспыскивающих звезд в ней от возраста системы. Оставаясь в рамках интерпретации данных зависимостей, предложенной в [8], в этой работе оценены параметры (среднее значение, дисперсия) начальной функции светимостей вспыскивающих звезд. В приближении нормального распределения оценены также средняя продолжительность стадии вспышечной активности и влияние селективного эффекта расстояния. Предложено альтернативное объяснение наблюдаемых зависимостей, в котором учитывается, что светимости отдельных вспыскивающих звезд со временем могут уменьшаться. Имеющиеся на сегодняшний день наблюдательные данные не позволяют однозначно определить относительный вклад этого фактора в формировании данных зависимостей.

В заключение выражаю благодарность проф. Л.В. Мирзояну за весьма полезное обсуждение данной работы.

Бюраканская астрофизическая обсерватория, Армения

## ON THE RELATION BETWEEN MEAN LUMINOSITY OF FLARE STARS AND AGE OF SYSTEM.

A.A. AKOPIAN

Dependences of the luminosity of the brightest flare stars in the system, mean luminosity of all flare stars in it from the age of the corresponding system are considered. Mean value and dispersion of initial luminosity function of flare stars are estimated.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *G.Haro*, Non — Stable Stars IAU symp. №3, ed. G.H.Herbig, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1957, p.26.
2. *В.А.Амбарцумян*, Звезды, туманности, галактики, АН Арм ССР, Ереван, 1969, с.283.
3. *G.Haro, E.Chavira*, Vistas in Astrofísica, 8, 1966, p.89.
4. *W.Kunkel*, Variable stars and Stellar Evolution, eds. V.S. Prerwood, L. Plaut, IAU symp. №67, Reidel, Dordrecht, 1975, p.75.
5. *Л.В.Мирзоян, Г.А.Брутян*, Астрофизика, 16, 97, 1980.
6. *Л.В.Мирзоян, В.В.Амбарян*, Астрофизика, 28, 375, 1988.
7. *А.А.Акопян*, Астрофизика, 37, 277, 1993.
8. *L.V.Mirzoyan*, Publ. Astrophys. Obs. Potsdam, №110, Band 32, Heft 3, 1982.
9. *Л.В.Мирзоян, В.В.Амбарян, А.Т.Гарибджанян, А.Л.Мирзоян*, Астрофизика, 31, 259, 1989.
10. *J.Stauffer, A.Klemola, C.Prosser, R.Probst*, Astron. J., 101, 980, 1991.
11. *V.F.Jones, J.R.Stauffer*, Astron. J., 102, 1080, 1991.
12. *V.F.Jones*, Astron. J., 75, 563, 1970.
13. *Л.В.Мирзоян, Г.Б.Оганян*, Вспыхивающие звезды и родственные объекты, АН Арм ССР, Ереван, 1986, с.86.
14. *Л.В.Мирзоян, В.В.Амбарян, А.Т.Гарибджанян, А.Л.Мирзоян*, Астрофизика, 29, 531, 1988.
15. *G.Haro, E.Chavira, G.Gonzalez*, Boll. Inst. Tonanzintla, 3, 3, 1982.
16. *Л.В.Мирзоян, В.В.Амбарян, А.Л.Мирзоян*, Астрофизика, 36, 396, 1993.
17. *В.А.Амбарцумян, Л.В.Мирзоян, Э.С.Парсаян, О.С.Чавушян, Л.К.Ерастова*, Астрофизика, 6, 3, 1970.
18. *М.Кендалл, А.Стьюарт*, Теория распределения, Наука, М., 1966.
19. *Р.Нацалшвили*, Вспыхивающие звезды в Орионе и в Плеядах, кандидатская диссертация, Бюраканская астрофизическая обсерватория, 1988.