

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ В ПЛЕЯДАХ

В. А. АМБАРЦУМЯН, Л. В. МИРЗОЯН, Э. С. ПАРСАМЯН,
О. С. ЧАВУШЯН, Л. К. ЕРАСТОВА

Поступила 16 августа 1969

Собраны данные о 46 новых вспыхивающих звездах в Плеядах, открытых главным образом в период наблюдательного сезона 1968—69 гг. в обсерваториях Тонанцинта, Асиаго, Бюраканской, Будапештской и Алма-Атинской (табл. 1). Вместе со 100 вспыхивающими звездами предыдущих списков обсерватории Тонанцинта общее число обнаруженных вспыхивающих звезд в области Плеяд достигло 146. Одна из них (H II 2411) принадлежит Гиадам. Из остальных 145 звезд по одной вспышке наблюдалось у 123, по две — у 16 и более двух вспышек — у 6 звезд.

Проведено статистическое исследование вспыхивающих звезд. Показано, что общее число вспыхивающих звезд в Плеядах должно быть больше 600. Распределение вспыхивающих звезд по числу наблюдаемых вспышек хорошо представляется суммой двух распределений Пуассона с различными частотами.

Все или почти все члены Плеяд с $V \geq 13.3$ являются вспыхивающими. При $V = 13.29$ имеется резкая граница между фотографически наблюдаемыми вспыхивающими и не вспыхивающими звездами. Средняя частота больших вспышек с амплитудами $> 0^m.6$ для большинства звезд порядка $4 \cdot 10^{-4}$ час $^{-1}$.

Полная масса Плеяд больше динамической массы, определенной из теоремы виряла (400 M_{\odot}). Разность обусловлена внешней оболочкой звезд низких светимостей, большей частью вспыхивающих.

1. *Введение.* Изучение явлений, связанных с возникновением и развитием звезд и звездных систем, в последние десятилетия привлекает широкий интерес исследователей [1].

Для определения путей эволюции звезд в большинстве случаев применяется теоретический метод [2]. При этом исходят из тех или иных моделей внутреннего строения звезд и стремятся вычислить изменения параметров моделей во времени. Сами эти модели основываются на гипотезе о термоядерном происхождении энергии, излучаемой звездами.

Не отрицая большой ценности выполненных в указанном направлении работ, следует помнить, что астрофизика является прежде всего *наблюдательной* наукой. Следовательно, можно требовать, чтобы закономерности звездной эволюции определялись прежде всего на основе обобщения и подробного анализа наблюдательных данных. При этом, конечно, теоретические соображения могут играть некоторую вспомогательную роль, однако желательно, чтобы при таком обобщении и анализе исследователи пользовались минимальным числом гипотез, могущих предопределить выводы о направлении развития звезд.

По существу, астрофизика уже сделала первые шаги в этом направлении. Возьмем, например, вопрос о групповом происхождении звезд [3, 4]. Теоретики [даже не ставили этого вопроса. Более того, считалось чем-то само собой разумеющимся, что звезды возникают, как правило, независимо друг от друга. Только обнаружение на основе наблюдательных данных *звездных ассоциаций* позволило установить, что звезды возникают сообще группами. Точно также факт существования Т-ассоциаций привел к выводу [3, 4], что вновь рождающиеся звезды выходят на главную последовательность в различных ее частях. Дальнейшее изучение ассоциаций позволило сделать и ряд других выводов, относящихся к ранней фазе звездной эволюции. Примером наблюдений, имеющих большое значение для проблемы происхождения звезд, является открытие объектов Арс-Хербига [5] и происходящих в них удивительных изменений. Однако, эти изменения остаются пока чем-то совершенно чуждым для современных теорий.

В настоящей работе мы анализируем некоторые данные о вспыхивающих звездах (flare stars) в Плеядах. Огромное значение вспыхивающих звезд для составления картины звездной эволюции впервые глубоко понял и оценил профессор Г. Аро [6]. Он показал, что данные о вспыхивающих звездах в скоплениях и ассоциациях свидетельствуют в пользу того, что вслед за наиболее ранней ступенью эволюции звезд — стадией RW Возничего (или Т Тельца) следует другая стадия, когда одной из важнейших характеристик звезды является ее способность производить время от времени вспышки большой амплитуды (до пяти и даже семи величин в ультрафиолете — U).

Поняв значение этих звезд, Г. Аро и его сотрудники [7] продолжили их наблюдение в скоплениях и ассоциациях, тем самым создав серьезную основу для более точного анализа относящихся к ним фактов. Следует отметить, что основные выводы Г. Аро нашли дальнейшее подтверждение в работах Л. Розино и его сотрудников [8].

Систематические наблюдения вспыхивающих звезд в звездных агрегатах начали развертываться за последние годы и в Бюраканской обсерватории [9—12].

Ниже делается попытка получения некоторых более конкретных результатов из имеющихся данных, главным образом тех, которые относятся к Плеядам. В дискуссию включены также данные о вспышках, наблюдаемых в Плеядах в течение сезона 1968—69 гг. Более полные данные о наблюдаемых в Бюракане вспышках вместе с соответствующими фотографиями будут опубликованы отдельно.

2. *О статистическом анализе наблюдений вспышек в ассоциациях и скоплениях.* Наблюдения показывают, что по крайней мере некоторые звезды в звездных агрегатах испытывают время от времени вспышки. Можно считать установленным, что у каждой вспыхивающей звезды никакой периодичности вспышек не наблюдается. Наоборот, имеются указания на крайнюю неправильность в чередовании вспышек. Уже одно это наводит на мысль о том, что чередование вспышек представляет собой явление, подобное случайной последовательности событий, подчиняющихся закону, подобному закону Пуассона. На самом деле, однако, применимость закона Пуассона к какой-либо звезде проверить очень трудно, так как для этого необходимо было бы пронаблюдать у нее, по крайней мере, несколько сот последовательных вспышек. Это, конечно, очень трудная задача. Только у звезды HN 2411 , проектирующейся на Плеяды, было наблюдаено 48 вспышек [13]. У всех остальных вспыхивающих звезд это число во много раз меньше. Но даже эта звезда не наблюдалась непрерывно. Поэтому установить статистику интервалов между последовательными вспышками невозможно.

Но именно это обстоятельство — отсутствие непрерывности в наблюдениях и более или менее неправильное их распределение, определяемое факторами, не связанными с данной звездой (время года, время суток, погода, освобождение телескопа от других работ и т. д.), позволяют упростить задачу статистического анализа *наблюденных вспышек*. По-существу наблюдателям удастся следить за поведением каждой звезды меньше, чем в течение двух-трех процентов общего времени. Вдобавок эта небольшая доля разделена на небольшие промежутки, более или менее случайно расположенные по оси времени. Вся деятельность звезды в остальное время не охватывается наблюдениями, и соответствующие вспышки теряются.

В этих условиях можно принять с очень большой степенью приближения, что вероятность наблюдения k вспышек за эффективное время наблюдений t хорошо описывается для каждой звезды законом Пуассона

$$p_k = \frac{e^{-\nu t} (\nu t)^k}{k!}, \quad (1)$$

где ν — средняя частота вспышек, а t — суммарное время, охваченное наблюдениями звезды.

У нас нет никаких оснований считать, что ν одинаково для всех звезд данного агрегата. По существу мы должны иметь некоторый закон распределения $f(\nu)$ значений ν по различным вспыхивающим звездам данной системы. Получение этой функции распределения должно быть задачей наблюдений.

Обозначим число звезд с частотами между ν и $\nu + d\nu$ через $Nf(\nu)d\nu$, где N — полное число вспыхивающих звезд в изучаемой системе. Тогда закон распределения числа вспышек для наудачу взятой вспыхивающей звезды в этой системе будет определяться формулой

$$p_k = \frac{t^k}{k!} \int_0^{\infty} f(\nu) e^{-\nu t} \nu^k d\nu, \quad (2)$$

а математическое ожидание числа звезд, переживших k вспышек за время t , в системе будет равно Np_k .

Законы распределения типа (2), представляющие собой наложение пуассоновских распределений с различными частотами, подробно исследованы в теории вероятностей и в статистике. Имеются соответствующие вспомогательные формулы и таблицы [14, 15], в результате чего облегчается определение функции $f(\nu)$.

Если мы желаем определить функцию $f(\nu)$ из наблюдений, то первым грубым способом для этого может быть приравнивание наблюдаемых чисел n_k звезд, имевших k вспышек за время t , соответствующим математическим ожиданиям: $\bar{n}_k = Np_k$. Существенно, что наблюдения позволяют определить в принципе значение величины N и таким образом прогнозировать результаты дальнейшего изучения вспышек данной системы [16].

3. *Новые наблюдения вспыхивающих звезд в Плеядах.* Работа Г. Арэ [17], опубликованная в 1968 году, содержала весь материал, относящийся к вспыхивающим звездам в агрегатах, вплоть до 1965 г. Эти данные показывали, что среднее число вспыхивающих звезд за один час наблюдений в Плеядах не очень уступало тому же числу для одной из самых богатых ассоциаций — ассоциации Ориона.

Более того, первая же попытка статистического анализа вспышек, наблюдаемых в Плеядах, основанная на данных, содержащихся в [17], привела к неожиданному результату [16]. Оказалось, что все или почти все звезды этого скопления слабее $V = 13.25$ должны быть вспыхивающими. Общее их число было оценено порядка 320.

В связи с этим возник вопрос о проверке вывода о необычно большом обилии вспыхивающих звезд в Плеядах на основе наблюдений.

Вскоре нам стали известны новые наблюдения Г. Аро и Э. Чавиры [18], которые только подтверждали этот вывод. Благодаря этим наблюдениям, выполненным в обсерватории Тонанцингла в 1965—67 гг., к известным в Плеядах 61 вспыхивающей звезде прибавилось еще 39 новых вспыхивающих звезд. Еще более плодотворным в этом смысле оказался сезон наблюдений 1968—69 гг. За этот период в обсерваториях Тонанцингла, Бюраканской и Асиаго было открыто 43 новых вспыхивающих звезды [19, 20]. Еще три вспыхивающие звезды в Плеядах были открыты в обсерваториях Конколи и Алма-Ата. Списки новых вспыхивающих звезд и новых вспышек, происшедших у ранее известных вспыхивающих звезд, приводятся соответственно в таблицах 1 и 2. В них, в последовательных столбцах приводятся порядковый номер (продолжение нумерации Аро), номер по каталогу Герцшпрунга и др. [21], координаты, звездная величина в минимуме (в фотографических лучах), фотографическая или ультрафиолетовая (U) амплитуда вспышки, дата вспышки, телескоп (диаметр) и ссылка на литературу. Таким образом, число известных вспыхивающих звезд достигло 145. Этот богатый материал нами использован для статистического анализа вспышек в Плеядах по методу, изложенному в разделе 2.

4. *О влиянии телескопа и метода наблюдений на число наблюдаемых вспышек.* Для телескопа данного диаметра не все вспышки доступны. За определенное время он может регистрировать вспышки с малыми амплитудами у ярких звезд и только вспышки с большими амплитудами у слабых звезд. При этом „яркие“ или „слабые“ — понятие относительное, зависящее от проникающей силы данного телескопа. Выбор экспозиции также находится в зависимости от диаметра телескопа. Для телескопов с диаметром от 20 до 40 дюймов при использовании высокочувствительных пластинок оптимальная экспозиция в фотографических лучах находится в пределах от 5 до 10 минут. При дальнейшем увеличении экспозиции, хотя мы выигрываем в предельной величине и доходим до более слабых звезд, однако теряются быстрые вспышки. В конечном итоге общее число вспышек, доступных для регистрации, почти не меняется. Вместе с тем, увеличение

Таблица 1

НОВЫЕ ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ

№	Звезда (HIP)	α (1900)	δ (1900)	m_{pg}	Δm_{pg}	Дата вспышки (1968—1969)	Телескоп	Литера- тура
1	2	3	4	5	6	7	8	9
101		$3^{\text{h}}33^{\text{m}}2$	$24^{\circ}25'$	17.8	6.5 U	23/12	26"	[19]
101		"	"	"	4.8 U	24/12	"	"
101		"	"	"	5.6	26/10	21	+
102		34.8	24 50	19.0	4.5 U	25/11	26	[19]
103		36.9	23 08	16.2	0.8 U	16/12	"	"
104		38.7	24 13	19.0	5.1 U	17/12	"	"
105		41.7	23 23	16.4	2.5	26/10	"	"
106		42.1	23 11	18.4	4.9 U	16/11	"	"
107	2208	43.3	24 16	15.3	0.7 U	16/11	"	"
107	2208	"	"	"	1.8 U	18/12	"	"
108		43.9	25 06	14.8	1.3 U	12/1	"	"
108		"	"	"	0.7 U	20/1	"	"
109	2927	45.1	24 25	14.8	1.7 U	18/12	"	"
110	3019	45.4	23 47	14.6	1.0 U	22/12	"	"
111	3104	45.7	22 53	14.7	4.0 U	25/11	"	"
112		47.8	24 07	>18.2	>4.0 U	13/1	"	"
113	624	39.4	24 32	16.0	1.5	1967 28/11	21	+
114		46.0	24 21	17.5	2.0	1967 29/11	"	+
115		46.2	24 15	17.7	3.0	1967 29/11	"	+
116		33.5	25 10	18.7	3.4	17/11	"	+
117		33.7	25 53	18.4	4.2	16/10	40	+
118		37.3	24 20	17.5	3.5	16/10	"	+
119		37.8	23 25	>21.0	>4.6	16/10	"	+
120		40.7	23 28	17.8	1.6	18/10	"	+
121		41.0	24 09	18.1	6.0	21/11	21	+
122		41.0	23 10	17.8	1.8	18/10	40	+
123		42.5	24 45	16.3	1.0	20/12	21	+
124		45.8	21 45	15.0	0.5	19/12	"	+
125		46.0	23 40	19.3	5.9	18/10	40,21	+
126		46.4	21 50	14.7	1.2	19/12	21	+
127		48.5	25 22	16.5	2.0	17/11	"	+
128		36.1	25 34	17.0	>1.0	24/12	"	+++
129		36.0	23 16	~ 20.0	>6.4	11/1	26	+++
130		43.5	25 22	~ 15.4	~ 0.5	11/1	"	+++

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
131	924	3 ^h 40. ^m 3	23°19'	16.7	0.9	17/10	24	×	
132		41.7	22 30	18.5	2.7	18/10	"	×	
133		30.5	24 23	18.2	2.8	18/10	"	×	
134		37.4	22 49	17.1	1.0	20/10	"	×	
135		45.2	24 05	17.0	1.7	24/10	"	×	
136		38.5	24 57	19.0:	3.1:	24/10	"	×	
137		53.0	23 27	16.8	1.2	24/10	"	×	
138		33.2	23 41	17.8	4.5	28/10	"	×	
139		38.7	23 12	17.8	3.3	28/10	"	×	
140		1547	41.8	24 30	16.2	1.1	23/12	"	×
141			31.1	24 27	16.5	2.4	19/1	"	×
142			48.4	23 04	17.2	1.7	19/1	"	×
143			39.3	24 57	17.5	2.3	30/10	"	×
144	44.0		24 48	(17.5	(3.0	30/10	"	×	
145	41.9		22 06	19.2:	3.7:	25/11	"	×	
146	41.3		21 59	(19	(3.2	26/11	"	×	

Примечание. Крестиками (+, ++ и +++) отмечены вспыхивающие звезды, открытые, соответственно, в Бюракане, Алма-Ате и Будапеште (обсерватория Конколи), данные о которых публикуются впервые в настоящей статье. Знаком × обозначены вспыхивающие звезды, открытые в обсерватории Асиаго, о которых нам сообщил Л. Розино [20].

ПОВТОРНЫЕ ВСПЫШКИ РАНЕЕ ИЗВЕСТНЫХ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД

Таблица 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	357	3 ^h 38. ^m 5	23°51'	14.5	0.6 U	16/11	26"	[19]
8	"	"	"	"	1.0 U	"	"	"
8	"	"	"	"	1.2	27/10	24	×
14	906	40.2	24 22	15.9	2.2 U	16/11	26	[19]
15		40.9	23 59	18.0	2.5	26/11	24	×
21	1653	42.0	24 25	14.6	1.4 U	24/11	26	[19]
21	"	"	"	"	1.0 U	28/12	"	"
40		37.2	24 22	18.0	3.5	25/9	21	+
88	2193	43.2	23 15	15.2	2.1 U	26/12	26	[19]
93	2602	44.2	23 41	16.4	3.1 U	22/12	"	"

экспозиции приводит к усреднению во времени и к искусственному снижению реальной амплитуды вспышек.

Важное значение имеет выбор спектральной области наблюдений. Поскольку амплитуда вспышки растет к ультрафиолету, то при введении ультрафиолетового фильтра можно регистрировать вспышки с малыми амплитудами у ярких звезд, однако теряются вспышки у слабых звезд. Хотя при наблюдениях без фильтра уменьшение амплитуды приводит к потере некоторой части вспышек ярких звезд, нам все же кажется, что для поисков новых вспыхивающих звезд, особенно слабых, более эффективными должны быть фотографические наблюдения без фильтра.

Следует указать, что при статистическом анализе наблюдаемых вспышек, в принципе, нельзя использовать данные, полученные на телескопах разных диаметров вместе, так как в зависимости от предельной звездной величины меняется вероятность открытия вспыхивающих звезд низких светимостей. Так например, за эффективное время наблюдений 6 часов на метровом телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории было открыто 6 вспышек звезд, т. е. одна вспышка за один час, между тем, на один час наблюдений на 21-дюймовом телескопе системы Шмидта приходится 0.15 вспышки. Хотя, как показало сравнение параллельных наблюдений, выполненных на двух телескопах, почти все вспышки, обнаруженные с помощью 40-дюймового телескопа, оставляли след и на снимках, полученных на 21-дюймовом телескопе (из-за больших амплитуд), однако они были пропущены, так как виднелось только одно слабое изображение, соответствующее максимуму блеска, что не давало возможность констатировать вспышку с уверенностью. Стало очевидно, что 40-дюймовый

Таблица 3

Телескоп (обсерватория)	Количество обнаруженных вспышек	Эффективное время набл. (часов)	Число вспышек за 1 час
21" (Бюракан)	9	62	0.15
26" (Тонанцинтла)	22	138	0.16
26" (Конколи)	2	11.7	0.17
40" (Бюракан)	6	6	1.00

телескоп Шмидта регистрирует гораздо более широкую категорию вспышек, чем 21-дюймовый.

Поэтому для статистики всегда целесообразно иметь материал, полученный на одном и том же телескопе или на сходных—близких по диаметру телескопах. Сказанное подтверждается табл. 3, составленной по данным наблюдений сезона 1968—69 гг.

Она показывает, что число вспышек за один час примерно одно и то же для телескопов близких друг к другу диаметров.

5. *Закон распределения числа наблюдаемых у случайно взятой звезды вспышек в реальном случае.* Имея в виду, что обычно можно регистрировать не все вспышки, но только некоторую их долю, следует закон распределения (2) преобразовать с учетом этого обстоятельства.

Обозначим через $q(m)$ долю тех вспышек звезд с величиной m в минимуме, которые доступны для регистрации на данном телескопе. Очевидно, что $q(m)$ зависит от распределения амплитуд вспышек. Обозначим распределение частоты вспышек для тех же звезд через $f_m(\nu)$. Таким образом, среднее число вспышек одной звезды время dt будет равно νdt , причем из них можно регистрировать только $q(m)\nu dt$ вспышек.

В этом случае вероятность регистрации k вспышек у случайно взятой вспыхивающей звезды, имеющей в минимуме величину m , будет равна

$$p_k(m) = \frac{q^k t^k}{k!} \int_0^{\infty} e^{-q\nu t} f_m(\nu) \nu^k d\nu. \quad (3)$$

Если обозначим через P_k вероятность того, что на данном телескопе у вспыхивающих звезд наблюдается k вспышек за время t , то мы имеем

$$P_k = \int_{m_0}^{\infty} p_k(m) a(m) dm, \quad (4)$$

где $a(m)$ — функция распределения вспыхивающих звезд по звездным величинам, а m_0 — видимая величина наиболее яркой вспыхивающей звезды в агрегате.

Подставляя значение $p_k(m)$ в это выражение, получим

$$P_k = \frac{t^k}{k!} \int_{m_0}^{\infty} a(m) dm \int_0^{\infty} e^{-q\nu t} f_m(\nu) q^k \nu^k d\nu. \quad (5)$$

Обозначив в (5) $q\nu$ через ν' и изменив порядок интегрирования в полученном выражении, можем написать

$$\begin{aligned}
 P_k &= \frac{t^k}{k!} \int_{m_0}^{\infty} \frac{a(m)}{q(m)} dm \int_0^{\infty} e^{-\nu' t} \nu'^k f_m\left(\frac{\nu'}{q}\right) d\nu' = \\
 &= \frac{t^k}{k!} \int_0^{\infty} e^{-\nu' t} \nu'^k d\nu' \int_{m_0}^{\infty} \frac{a(m)}{q(m)} f_m\left(\frac{\nu'}{q}\right) dm.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Введем новое обозначение

$$\int_{m_0}^{\infty} \frac{a(m)}{q(m)} f_m\left(\frac{\nu'}{q}\right) dm = f_1(\nu'). \tag{7}$$

Тогда из (6) окончательно имеем следующий закон распределения:

$$P_k = \frac{t^k}{k!} \int_0^{\infty} f_1(\nu') e^{-\nu' t} \nu'^k d\nu'. \tag{8}$$

Таким образом, для распределения P_k , соответствующего реально наблюдаемому случаю, мы получили выражение (8), аналогичное выражению распределения (2), с той лишь разницей, что в этом случае в выражение для P_k входит новая функция распределения частот вспышек: $f_1(\nu')$.

6. *Влияние дисперсии частот вспышек на оценку общего числа вспыхивающих звезд.* Закон распределения (2) приводит к очень важному неравенству для математического ожидания числа еще не обнаруженных вспыхивающих звезд. Прежде чем перейти к его выводу, остановимся на воображаемом случае, когда все звезды имеют одну и ту же частоту ν , причем вспышки одинаково доступны для наблюдений на данном телескопе. Тогда для математического ожидания числа наблюдаемых вспышек за время t мы имеем

$$\bar{n}_k = N e^{-\nu t} \frac{(\nu t)^k}{k!}. \tag{9}$$

Написав формулу (9) отдельно для случаев $k = 0, 1, 2$, мы непосредственно получаем

$$2 \bar{n}_0 \bar{n}_2 = \bar{n}_1^2, \tag{10}$$

откуда

$$\bar{n}_0 = \frac{\bar{n}_1^2}{2 \bar{n}_2}. \tag{11}$$

Заменяя приближенно математические ожидания соответствующими числами звезд, вспыхнувших один и два раза, мы по этой формуле легко получаем значение \bar{n}_0 -число—вспыхивающих звезд, вспышки которых еще не наблюдались.

Так, из известных в настоящее время 145 вспыхивающих звезд в Плеядах по одной вспышке наблюдалось у 123, а по две — у 16 звезд. Подставляя эти числа вместо \bar{n}_1 и \bar{n}_2 , получаем

$$\bar{n}_0 = 473,$$

а общее число вспыхивающих звезд (зарегистрированных и незарегистрированных) должно быть близко к $N = 600$, что справедливо при применимости формулы (9).

Такое большое число вспыхивающих звезд делает еще более надежным сделанный ранее вывод [16] о том, что все или почти все звезды Плеяд слабее некоторой абсолютной величины являются вспыхивающими.

Далее, подставив в формулу (9) последовательно $k = 0$ и $k = 1$, разделив полученное выражение для \bar{n}_1 на выражение \bar{n}_0 , получим формулу для определения νt :

$$\nu t = \frac{\bar{n}_1}{\bar{n}_0}. \quad (12)$$

Из этой формулы, используя вышеприведенные данные, получим для агрегата Плеяд $\nu t \cong 0.26$.

Отсюда, приняв для полного эффективного времени приближенное значение 750 часов (мы не знаем точно эффективное время наблюдений Л. Розино [20] и приняли для него значение ~ 100 часов), определим среднюю частоту вспышек в Плеядах: 0.00035 час^{-1} ($\nu^{-1} \cong 2900$ часов).

Теперь перейдем к общему случаю формулы (2), когда имеются звезды с разными средними частотами вспышек. Как мы показали, эту формулу можно применять и в том случае, когда телескоп регистрирует не все вспышки.

Согласно неравенству Шварца имеем:

$$\left(\int f g d\nu \right)^2 \leq \int f^2 d\nu \cdot \int g^2 d\nu. \quad (13)$$

Положим

$$f = \nu \sqrt{e^{-\nu t} f(\nu)},$$

$$g = \sqrt{e^{-\nu t} f(\nu)}.$$

В этом случае вместо неравенства (13) будем иметь

$$\left(\int_0^{\infty} \nu e^{-\nu t} f(\nu) d\nu \right)^2 \leq \int_0^{\infty} \nu^2 e^{-\nu t} f(\nu) \cdot \int_0^{\infty} e^{-\nu t} f(\nu) d\nu. \quad (14)$$

Умножая обе части этого неравенства на t^2 , получим

$$p_1^2 \leq 2p_0 p_2. \quad (15)$$

Из (15), после умножения на N^2 , получим

$$\bar{n}_0 \geq \frac{n_1^{-2}}{2n_2}. \quad (16)$$

Таким образом, применяя формулу (11), справедливую для случая одинаковых средних частот вспышек, мы на самом деле получаем в общем случае нижнюю границу для математического ожидания числа звезд, у которых вспышки еще не зарегистрированы.

Для того, чтобы получить представление о том, насколько значение \bar{n}_0 может отклоняться в результате наличия дисперсии средних частот от полученного выше нижнего предела, рассмотрим другой воображаемый частный случай, когда

$$f(\nu) = \frac{1}{b} e^{-b\nu}. \quad (17)$$

Применяя формулу (2), легко получить, что в этом случае

$$\bar{n}_0 = \frac{n_1^{-2}}{n_2}, \quad (18)$$

т. е. получаем *ровно вдвое большее значение, чем* (11).

С другой стороны, уменьшая значение b , мы получаем в пределе при законе (17) равное распределение всех частот. Таким образом, может показаться, что как бы ни была велика дисперсия частот, \bar{n}_0 не может превзойти указанного удвоенного значения.

Однако это неправильно, так как можно представить себе такое распределение, которое имеет сильный максимум или стремится к бесконечности около частоты $\nu = 0$. Этот случай резко отличается от случая (17). И хотя этот воображаемый случай на первый взгляд кажется искусственным, он имеет глубокое физическое значение. Звезды, у которых частота вспышек близка к нулю, мы практически не сможем обнаруживать. Все яркие звезды Плеяд, у которых вспышки, как известно, не наблюдались, можно условно считать „вспыхивающими звездами“ с частотой, близкой к нулю.

Таким образом, неравенство (16) может быть весьма усилено, если в число вспыхивающих включать и такие, практически не вспыхивающие звезды. Однако на данном этапе исследования такое причисление ярких звезд к числу вспыхивающих не представляет интереса, ибо нашей первой задачей является выявление той совокупности звезд, которая показывает вспышки за практически возможные значения длительности наблюдений (не более нескольких тысяч часов).

Если, исходя из этого, исключить из наших расчетов возможный максимум функции $f(\nu)$ близь $\nu = 0$, то, по-видимому, значение (18) является практически верхней границей для числа всех невспыхнувших звезд.

Таким образом, окончательно имеем

$$\frac{\bar{n}_1}{2n_2} \leq \bar{n}_0 \leq \frac{\bar{n}_1}{n_2}. \quad (19)$$

Следовательно можно считать, что полное число вспыхивающих звезд в Плеядах, которые могут наблюдаться телескопами средних размеров (с диаметром от 20 до 30 дюймов), заключено где-то между шестьюстами и тысячей.

Выше мы указали, что вычисленные нами значения \bar{n}_0 являются лишь нижними границами действительных значений. Положение может усугубиться в связи со следующим обстоятельством. Вспышечная активность может у части звезд меняться со временем, подобно тому, как она меняется у Солнца. Для простоты представим, что в течение нескольких лет часть звезд вовсе не проявляет вспышечной активности. Поскольку наблюдения вспышек в Плеядах охватывают только одно десятилетие, то вполне возможно, что большая группа вспыхивающих звезд может выпасть из наших расчетов. Иными словами, следует учитывать возможность медленных изменений частоты ν со временем у отдельно взятой звезды. В результате этого неравенство (16) может еще более усилиться.

7. *Представление наблюдений как наложений пуассоновских распределений с двумя частотами.* Как мы видели, число звезд Плеяд, у которых наблюдались повторные вспышки, очень мало. В связи с этим возможности определения функции $f(\nu)$ очень ограничены. Наблюденное число ($n_2 = 16$) таково, что его отклонение от истинного значения может легко достигать 25% и более. Тем самым и значение $\bar{n}_0 = \bar{n}_1 / 2n_2$ тоже должно определяться с такой относительной ошибкой. При таком недостатке информации лучшее, что можно сделать, это попытаться представить все наблюдаемые значения n_k

посредством сложения двух распределений Пуассона с различными частотами.

Оказывается, что, например, наблюдения очень хорошо можно представить, допустив, что мы имеем две группы звезд: одну — многочисленную, с полным числом звезд $N_1 = 615$ и вторую — крайне мало-численную с $N_2 = 7$, причем соответствующие частоты ν_1 и ν_2 таковы, что $\nu_1 t = 0.26$ и $\nu_2 t = 6$, где t — суммарное эффективное время наблюдений.

Действительно, при этом условии мы будем иметь табл. 4 математических ожиданий числа звезд, у которых наблюдено n_k вспышек, вычисленную на основе формулы

$$n_k = N_1 \frac{e^{-\nu_1 t} (\nu_1 t)^k}{k!} + N_2 \frac{e^{-\nu_2 t} (\nu_2 t)^k}{k!}. \quad (20)$$

В третьем столбце табл. 4 приведены наблюдаемые значения n_k .

Таблица 4

k	n_k	n_k (набл.)
0	474	?
1	123	123
2	16	16
3	2	2
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	0
8	0.5	0
9	0.3	1

Конечно, такое хорошее совпадение наблюдений с вычисленными математическими ожиданиями является результатом того, что мы имели возможность выбрать значение четырех параметров (N_1 , N_2 , $\nu_1 t$, $\nu_2 t$) для представления сравнительно короткой таблицы наблюдаемых чисел.

Следует отметить, что принятие для общего числа вспыхивающих звезд в Плеядах значения $N = N_1 + N_2 = 622$, несколько превышающего полученное в предыдущем разделе с применением формулы (11) значение $N = 618$, вполне законно. Как было показано выше, формула (11) справедлива для случая одинаковых средних частот

вспышек и дает нижнюю границу для математического ожидания числа звезд, у которых вспышки еще не зарегистрированы в общем случае, когда в системе имеются звезды с разными средними частотами вспышек.

К сказанному надо прибавить два замечания:

1. Хотя дальнейшие наблюдения, приведя к новым значениям чисел n_k , могут заставить нас несколько изменить значения выбранных параметров N_1 , N_2 , $\nu_1 t$, $\nu_2 t$, все же несомненно, что в Плеядах наряду с основной массой звезд, испытывающих относительно редкие вспышки ($\nu_1^{-1} \cong 2900$ часов), существует небольшая группа звезд, испытывающая частые вспышки ($\nu_2^{-1} \cong 120$ часов).

2. Группа звезд, испытывающая редкие вспышки, может на самом деле иметь довольно широкий спектр частот. Однако в настоящее время нет данных для суждения о ширине полосы частот, так как при любой введенной дисперсии частот можно также хорошо представить наблюдения, как это мы сделали, допустив только одно значение ν_1 . Что касается группы из 7 звезд, показывающих большую частоту, то, по-видимому, все они, или во всяком случае большая часть их, уже обнаружены. По всей вероятности, четыре звезды, показавшие более трех вспышек, входят в эту группу. Вместе с тем, вполне возможно, что хотя бы один или два представителя этой группы находятся среди 16 звезд, показавших двойные вспышки.

8. *Распределение вспышек по амплитудам.* Для статистики вспыхивающих звезд важно знание распределения вспышек по амплитудам. Наблюдаемое распределение вспышек по амплитудам соответствует реальному распределению лишь в том случае, если имеется уверенность в том, что зарегистрированы все вспышки, начиная с некоторой пороговой амплитуды. Для массовых грубых фотографических наблюдений, используемых в данном случае, такой пороговой амплитудой может считаться $A = 0.^m6$. Однако это справедливо только для более ярких вспыхивающих звезд.

Поэтому для вывода распределения вспышек по амплитудам мы использовали только те вспыхивающие звезды, блеск которых в минимуме не слабее $17.^m5$ в фотографических лучах. Общее число таких звезд в полном списке оказалось 80, а общее число их вспышек—112. Однако 30 из указанных вспышек имеют амплитуду меньше $1.^m$ в ультрафиолете. Но не все такие вспышки должны были быть зарегистрированы использованными телескопами, в особенности для наиболее слабых из выбранных звезд. По этой причине мы решили заняться статистикой амплитуд, имеющих $A \geq 1.^m0$ в ультрафиолетовых лучах.

Использование амплитуд в ультрафиолете обусловлено тем, что большинство вспышек было открыто в этих лучах. Для вспышек, открытых в фотографических лучах, включенных в нашу статистику, для определения амплитуд в ультрафиолете введены приближенные поправки. При этом для упрощения расчетов было принято, что у всех вспыхивающих звезд цвет $U - V = +1^m$ в минимуме, а цвет вспышки $U - V = -1^m$.

Все 82 использованные вспышки были разделены на две равные группы по блеску соответствующих звезд в фотографических лучах:* $14^m.2 - 16^m.0$, $16^m.1 - 17^m.5$. Распределение амплитуд для этих звезд представлено в табл. 5.

Таблица 5

Δm_U	Число вспышек	
	$14^m.2 - 16^m.0$	$16^m.1 - 17^m.5$
$1^m.0 - 1^m.9$	19	6
$2.0 - 2.9$	13	21
$3.0 - 3.9$	7	5
$4.0 - 4.9$	2	6
$5.0 - 5.9$	0	3

Рассмотрение табл. 5 показывает, что полученные для вспыхивающих звезд разного блеска распределения значительно отличаются. А именно, для более ярких звезд (I группа) максимальное число вспышек имеет амплитуды в интервале $1^m.0 - 1^m.9$, в то время как для второй группы этот максимум приходится на следующий интервал. Создается впечатление, что более слабые звезды чаще показывают вспышки с большими амплитудами.

Об этом свидетельствует и следующий факт. Из всех зарегистрированных вспышек в Плеядах 157 имеют амплитуду $\geq 1^m.0$ в ультрафиолете. Из них 42 имеют амплитуду $\geq 5^m.0$. Между тем, наиболее

* Фотографические величины вспыхивающих звезд, содержащихся в каталоге Гердшпрунга и сотрудников [21], взяты из этого каталога. В остальных случаях использованы величины, определенные открывателями. В некоторых случаях, когда рядом со звездной величиной стоял знак $>$ или $($, звездные величины оценены по картам Паломарского атласа.

яркая звезда, у которой зарегистрирована такая большая вспышка, имеет блеск $16^m.7$. Из вышеупомянутых 157 вспышек 51 наблюдалась у звезд ярче $16^m.7$, остальные — у более слабых звезд. Таким образом, из 52 вспышек у ярких звезд с амплитудой $\geq 1^m$, включая указанную с величиной $16^m.7$, только одна имеет амплитуду $\geq 5^m.0$, в то время как из 105 вспышек у более слабых звезд такую большую амплитуду имеет 41. Очевидно, что по условиям наблюдений вспышки с малой амплитудой у слабых звезд (например с амплитудой 2^m у звезд с 20^m) не могли наблюдаться. Но можно полагать, что процент потерянных вспышек не может быть много больше 50. Поэтому, даже считая, что у более слабых звезд должно было бы наблюдаться за то же время 210 вспышек, все же получается, что одна из пяти вспышек имеет амплитуду $\geq 5^m.0$. Несомненно, это не может быть результатом случайных флуктуаций и указывает на реальное возрастание средних амплитуд вспышек с уменьшением блеска.

Наблюдаемое возрастание амплитуд с уменьшением блеска, по-видимому, можно считать указанием в пользу того, что среднее значение энергии, освобождаемой при каждой вспышке, мало зависит от светимости вспыхивающих звезд*.

9. *Зависимость частоты вспышек от яркости вспыхивающих звезд.* Как было показано в разделе 7, наблюдаемое распределение вспышек вспыхивающих звезд, у которых наблюдалось n_k вспышек ($k = 1, 2, \text{ и т. д.}$), очень хорошо представляется суммой двух пуассоновских распределений с различными частотами. Уже одно это означает, что вспыхивающие звезды в Плеядах имеют разные частоты вспышек. При этом весьма важно то обстоятельство, что звезды, вспыхивающие относительно чаще, являются наиболее яркими объектами. Это является некоторым указанием на то, что частота вспышек зависит от яркости. В связи с этим мы попытались прямо получить частоты вспышек у звезд разной яркости на основе имеющегося в нашем распоряжении материала. С этой целью все известные вспыхивающие звезды Плеяд были разделены на три примерно равные группы по блеску: $14^m.2 - 16^m.7$, $16^m.8 - 18^m.2$, $18^m.3 - > 21^m.5$. Используя формулы (11) и (12), мы отдельно для каждой группы вычислили общее число вспыхивающих звезд (N) и vt . Далее, имея в виду, что почти все наблюдения области Плеяд, послужившие для открытия вспыхивающих звезд, были выполнены на широкоугольных камерах Шмидта, мы приняли эффективное время наблю-

* Этим замечанием мы обязаны В. С. Осканяну.

дений одинаковым (около 750 часов) для всех трех групп и определили среднюю частоту вспышек. Результаты вычислений приводятся в табл. 6.

Таблица 6.

m_{pg}	n	n_1	n_2	$n_{n \geq 3}$	n_0	N	νt	ν^{-1} (часы)
14 ^m 2—16 ^m 7	50	37	9	4	76	126	0.487	1540
16.8—18.2	50	45	3	2	338	388	0.133	5640
18.3—>21.5	45	41	4	—	210	255	0.195	3850

Хотя вычисленные значения N и ν^{-1} , приведенные во второй и третьей строках табл. 6, должны быть отягощены большими ошибками, происходящими от малости соответствующих значений n_2 , тем не менее можно считать совершенно реальным более высокое значение средней частоты вспышек для наиболее ярких звезд, приведенное в первой строке таблицы. Этот факт заслуживает большого внимания, и мы вернемся к нему в следующем разделе. С другой стороны, несомненно, что в случае слабых звезд (это особенно относится к третьей строке табл. 6) значительная часть вспышек, а именно вспышки с малой амплитудой, теряется для наблюдателей. Поэтому значения ν^{-1} , приведенные в различных строках табл. 6, несравнимы между собой.

Данные табл. 6 подтверждаются аналогичными данными, приведенными в табл. 7. Они относятся к трем группам звезд, находящихся на различных расстояниях от центра агрегата в проекции на небесную сферу. Группы выбраны так, чтобы иметь почти одинаковое количество звезд в каждой из них. В первом столбце приводятся пределы расстояния от центра (в угловых минутах), а во втором—средняя фотографическая звездная величина вспыхивающих звезд данной группы.

Таблица 7.

r'	$\overline{m_{pg}}$	n	n_1	n_2	$n_{k \geq 3}$	n_0	N	νt	ν^{-1} (часы)
0—46.6	17.2	49	34	10	5	58	107	0.596	1280
46.7—85.1	17.5	48	45	3	—	337	385	0.134	5600
85.2—155.7	17.8	48	44	3	1	323	371	0.136	5520

Сравнение первых двух столбцов табл. 7 показывает, что между средними расстояниями до центра и средними звездными величинами имеется определенная зависимость. Поэтому данные этой таблицы

можно также рассматривать как подтверждение наблюдаемой зависимости частот вспышек от яркостей вспыхивающих звезд.

Мы видим, что суммарное число вспыхивающих звезд по данным таблиц 6 и 7 значительно больше значения $N = 618$, полученного в разделе 6. Нам кажется, что здесь мы имеем еще одно свидетельство в пользу того, что значения N и ν^{-1} , полученные прямо по суммарным данным на основе применения формул (11) и (12), являются на самом деле лишь нижними границами значений искомым величин.

Мы не входим в более подробную дискуссию наблюдаемой зависимости частоты вспышек от звездной величины в минимуме по следующей причине. Серьезное значение могут иметь лишь выводы, основанные на сопоставлении сравнимых между собой величин. Если речь идет о сравнении частот вспышек, находящихся в данном интервале амплитуд, то, очевидно, что недостатком рассматриваемого материала будет значительный недоучет вспышек с малой амплитудой у слабых звезд. С другой стороны, если нас интересуют вспышки, для которых энерговыделение заключено в определенных пределах, то следует учитывать, что вспышка с амплитудой в одну величину для звезд 14^m примерно равнозначна вспышке в пять величин у звезд $18^m.5$. Если мы не регистрируем у звезд 14^m вспышки меньше 0.7 величины, то не должны считать вспышек с амплитудой, меньшей четырех величин у звезд $18^m.5$.

Поэтому, прежде чем заниматься сравнением частот у звезд разной яркости, мы должны условиться о том, сравнение каких совокупностей вспышек у звезд разной величины нас интересует.

10. *Звезды, близкие к стадии прекращения вспышечной активности.* Наблюдательные данные указывают на значительную вспышечную активность у наиболее ярких вспыхивающих звезд. Обратим внимание на видимые величины 4 звезд, испытавших не менее четырех вспышек (табл. 8).

Таблица 8

№	Н II	m_V	$\overline{\Delta m_U}$	Sp	Число вспышек	Литература
8	357	13.46	1.3	K6Ve	9	[8, 18, 19]
14	906	15.24	2.1	K7-M0Ve	6	[18, 19]
17	1306	13.39	1.2	dK5(e)	5	[18, 22]
21	1653	13.31	0.9	K4.5e	4	[18, 19]

Мы видим, что все четыре звезды принадлежат к группе наиболее ярких вспыхивающих звезд, а три из них находятся у самой гра-

ницы ($V = 13.30$), отделяющей область вспыхивающих звезд от невспыхивающих на оси визуальных звездных величин. Хотя можно возразить, что открытие вспышек у более ярких звезд несколько легче, чем у более слабых, однако наблюдательная селекция совершенно не может объяснить столь разительный результат.

Обратим внимание также на средние значения амплитуд у трех наиболее ярких звезд, которые также приведены в табл. 8. Эти средние амплитуды настолько малы по сравнению со средними значениями амплитуд для звезд, вспыхивающих один или два раза (3^m3 и 2^m3 , соответственно), что становится весьма вероятным следующее заключение: у вспыхивающих звезд, находящихся вблизи указанной границы между вспыхивающими и невспыхивающими объектами, т. е. у вспыхивающих звезд, у которых вспышечная деятельность находится накануне прекращения, средняя амплитуда уменьшается.

Такое заключение означает, что прекращение наблюдаемой вспышечной активности сводится к постепенному уменьшению амплитуды. Благодаря этому на звезды, которые не показывают вспышек заметной амплитуды, мы можем смотреть как на объекты, у которых амплитуда вспышек находится ниже того предела, который обнаруживается применяемым грубым фотографическим методом (например, меньше 0^m4 в U). Поэтому было бы очень интересно проследить с помощью более точных методов за поведением звезд с $V = 13.25$ или немного ярче для обнаружения малых вспышек.

Для выяснения того, что происходит со звездой непосредственно перед прекращением вспышечной активности, поступим следующим образом. Составим список звезд Плеяд в порядке убывающих визуальных яркостей в соответствии с фотометрическими измерениями Джонсона и Митчелла [22]. В табл. 9 приведены 10 последовательных звезд этого списка*, расположенных по обе стороны границы, разделяющей вспыхивающие звезды от невспыхивающих. В третьем столбце таблицы даны числа наблюденных вспышек у соответствующих звезд, а в четвертом — средние амплитуды вспышек в U .

Из этой таблицы можно сделать два вывода:

1. Между вспыхивающими и невспыхивающими звездами (конечно, речь идет о вспышках с амплитудами не менее 0.5 величины) существует резкое разграничение по звездной величине.

2. Если бы вспыхивающие звезды, заканчивающие свою деятельность, имели бы частоту вспышек, близкую для всего агрегата, то мы

* Из этого числа ярких звезд мы исключили III 1794 и III 1805, составляющие двойную систему с интегральной величиной $V = 13.36$ [22].

должны были бы обнаруживать вспышки только у одной из каждой четырех. На самом деле у всех пяти заканчивающих вспышечную карьеру звезд вспышки наблюдались. Это означает, что у этих объектов частота вспышек повышенная.

Таблица 9

НП	V	n	НП	V	n	Δm_{\odot}
2588	13.10	0	1531	13.30	2	0.6
3187	13.12	0	1653	13.31	4	0.9
380	13.19	0	1306	13.39	5	1.2
451	13.25	0	3104	13.41	1	4.0
945	13.29	0	3019	13.45	1	1.0

11. *О возможной коррекции динамической массы Плеяд.* Мы видели выше, что Плеяды должны содержать не менее 600, в большинстве слабых, вспыхивающих звезд. С другой стороны, существуют яркие невспыхивающие члены Плеяд, суммарная масса которых довольно значительна.

Наблюдения показывают, что ни одна звезда в Плеядах с $V < 13.30$ не вспыхивала. Суммарная масса всех ярких звезд Плеяд до $V = 13.30$ равна приблизительно $260 M_{\odot}$ [16]. Между тем, динамическая масса Плеяд, определенная на основе теоремы о вириале, оценена в $400 M_{\odot}$ [23, 24]. Даже если учесть возможность ошибок в определении среднего квадрата скоростей, все же можно думать, что она не превосходит $450 M_{\odot}$.

Таким образом, на долю всех вспыхивающих звезд остается суммарная масса в пределах от 140 до 190 солнечных масс. Вместе с тем, легко на основе абсолютных величин вспыхивающих звезд и посредством соотношения масса — светимость определить их среднюю массу. Она получается близкой к $1/3 M_{\odot}$. Поэтому *нижней границей* суммарной массы всех вспыхивающих звезд в Плеядах следует считать $200 M_{\odot}$.

На самом деле во всех наших расчетах не учитывались те вспыхивающие звезды, которые даже при больших вспышках недоступны для телескопов средних размеров. Следовательно, вероятно, что полная масса всех вспыхивающих звезд гораздо больше, чем $200 M_{\odot}$. Поэтому, если в [16] мы считали, что вспыхивающие звезды укладываются в суммарную массу Плеяд, определенную динамическим путем, то теперь приходится сомневаться в такой возможности.

Однако нетрудно видеть, что суммарная масса, определенная путем применения теоремы вириала к совокупности членов скопления, выделенных из каталога Герцшпрунга и др. [21], не включает массу сферического слоя, расположенного вне радиуса в 1° вокруг Альционы. Между тем, в этом сферическом слое находится не менее половины обнаруженных до сих пор вспыхивающих звезд. Притяжение этого слоя при его сферической симметрии не может оказать никакого влияния на движение герцшпрунговских членов, занимающих сферический объем с радиусом в 1 квадратный градус.

Таким образом, практически нам нужно вместить в динамическую массу Плеяд только лишь половину и даже несколько меньше половины суммарной массы вспыхивающих звезд. Иными словами, никакого противоречия со значением динамической массы не получается. Однако определявшаяся до сих пор динамическая масса не представляет полной массы Плеяд. Чтобы получить полную массу, мы должны к динамической массе прибавить суммарную массу примерно половины всех вспыхивающих звезд, т. е. не менее $100 M_{\odot}$.

12. *Заключение.* В настоящем исследовании на основе статистического анализа вспышек 145 звезд в Плеядах, в том числе 85 звезд, открытых в последнее время, получены следующие выводы.

1. Плеяды содержат более 600 вспыхивающих звезд-карликов. Их видимые визуальные величины больше 13^m25 .

2. Существует резкая граница на оси визуальных величин между вспыхивающими звездами и звездами, у которых вспышки не наблюдаются. Все или почти все члены Плеяд, для которых $V \geq 13.29$, являются вспыхивающими. У звезд, для которых $V < 13.29$, вспышек не наблюдалось. Однако следует учитывать, что применяемый фотографический метод является грубым и практически позволяет регистрировать лишь вспышки с $A > 0^m5$. Вполне возможно, что применение более точных методов к „пограничным звездам“, т. е. регистрация вспышек с малыми амплитудами приведет к смещению указанной границы в сторону более ярких звезд.

8. Средняя частота регистрируемых вспышек для подавляющего большинства звезд — порядка 0.0004 час^{-1} . Она одного порядка как в Плеядах, так и в ассоциации Ориона. В Плеядах те вспыхивающие звезды, которые по своему блеску близки к границе $V = 13.29$, имеют в несколько раз более высокую частоту. При этом средняя амплитуда меньше, чем у других вспыхивающих звезд.

Следует учесть, что оценки частот в известной мере условны и зависят от чувствительности метода наблюдений. Можно быть уве-

ренным, что если бы нам удавалось регистрировать вспышки с $A = 0^{m}1$, то значения средних частот сильно увеличились бы.

4. Истинная суммарная масса всех звезд Плеяд должна быть несколько больше динамической массы, определенной из теоремы вириала, поскольку часть слабых вспыхивающих звезд образует внешнюю сферическую оболочку, не оказывающую никакого действия на движения находящихся внутри более ярких звезд, по которым определяется динамическая масса. Поправка к динамической массе может достигать $100 M_{\odot}$.

Авторы благодарны проф. Г. Аро, проф. Л. Розино, проф. Л. Детре, а также Д. А. Рожковскому за предоставление данных о новых вспыхивающих звездах до их опубликования. Мы также обязаны проф. Г. Аро за ряд критических замечаний, которые мы постарались по возможности учесть при составлении окончательного текста статьи. Увеличение за последний год числа зарегистрированных вспышек является по-существу результатом тесной международной кооперации по обсуждаемой проблеме.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

FLARE STARS IN PLEIADES

V. A. AMBARTSUMIAN, L. V. MIRZOYAN, E. S. PARSAMIAN,
H. S. CHAVUSHIAN, L. K. ERASTOVA

The data on 46 new flare stars in Pleiades, discovered mainly during the observational season 1968—69 at the Observatories Tonantzintla, Asiago, Byurakan, Budapest and Alma-Ata, are compiled in the Table I. Together with the 100 flare stars from the previous Tonantzintla lists, the total number of observed flare stars in Pleiades amounts now to 146. One of them (HII 2411) belongs to Hyades. From the remaining 145 stars 123 have been observed in flare only once, 16 twice and 6 more than two times.

A statistical study of flare stars is given. It is shown, that the total number of flare stars in Pleiades should be greater than 600. The distribution of flare stars according to the number of observed flares is well represented by the sum of two Poisson distributions with different mean frequencies.

All, or almost all of members of Pleiades with $V \leq 13.3$ are flare stars. At $V = 13.29$ there is a sharp border between the photographically observable flare stars and the non flaring ones. The mean frequency

of large flares ($A > 0^m6$) for the majority of stars is of the order of $4 \cdot 10^{-4} h^{-1}$.

The total mass of Pleiades is larger than the value determined by usual dynamical methods ($400 M_{\odot}$). The difference is due to the outer shell of low luminosity (mostly-flare) stars.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Г. С. Саакян, С. К. Всехсвятский, В. В. Казютинский, Проблемы современной космогонии, Наука, М., 1969.
2. М. Шварцшильд, Строение и эволюция звезд, ИЛ, М., 1961.
3. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, АН АрмССР, Ереван, 1947.
4. В. А. Амбарцумян, Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд на VIII съезде МАС, АН СССР, М., 1952.
5. В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюр. обс., 13, 1953.
6. G. Haro, Symposium on Stellar Evolution, ed. J. Sahade, Astr. Obs. Nat. Univ. of La Plata, La Plata, 1962, p. 37.
7. G. Haro, E. Chavira, Vistas in Astronomy, Vol. 8, ed. A. Beer and K. Aa. Strand, Pergamon Press, London, 1964, p. 89.
8. L. Rosino et al., Contr. Asiago Obs., No. 69, 1956; No. 125, 1962; No. 127, 1964; No. 189, 1966.
9. Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, П. З., 15, 470, 1965.
10. Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян, Сообщ. Бюр. обс., 39, 3, 1968.
11. Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, Н. Л. Каллолян, Сообщ. Бюр. обс., 40, 31, 1969.
12. L. V. Mirzoyan, E. S. Parsamian, Non-Periodic Phenomena in Variable Stars, ed. L. Detre, Hungarian Academic Press, Budapest, 1969.
13. G. Haro, E. S. Parsamian, Bol. Obs. Tonantzintla, 5, No. 31, 41, 1969.
14. E. S. Molina, Poission's Exponential Binomial Limit, New York, D. Van Nostrand Company, 1943.
15. Г. Бейтмен, А. Эрдейн, Таблицы интегральных преобразований, том I, Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина, Наука, М., 1969.
16. В. А. Амбарцумян, Звезды туманности, галактики (Труды Бюраканского симпозиума), АН АрмССР, Ереван, 1969, стр. 283.
17. G. Haro, Stars and Stellar Systems, Vol. 7, ed. B. M. Middlehurst and L. H. Aller, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1968, p. 141.
18. G. Haro, E. Chavira, Bol. Obs. Tonantzintla, 5, No. 31, 23, 1969.
19. E. S. Parsamian, E. Chavira, Bol. Obs. Tonantzintla, 5, No. 31, 35, 1969.
20. L. Rosino, New Flare Stars Observed at Asiago in 1968—69, private communication 1969.
21. E. Hertzsprung, C. Sanders, C. J. Koorman et al., Ann. Leiden Obs., 19, No. IA, 1947.
22. H. L. Johnson, R. I. Mitchell, Ap. J., 128, 31, 1958.
23. B. J. Bok, Sky and Telescope, 10, 213, 1951.
24. B. J. Bok, Ten Lectures on the Kinematics and Dynamics of our Galaxy, Stony Brook University, Long Island, 1968, p. 184.