

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

**ЗВЕЗДЫ, ТУМАННОСТИ,
ГАЛАКТИКИ**

(Труды Всесоюзного симпозиума, состоявшегося
в Бюракане 16 — 19 сентября 1968 года)

Отдельный оттиск

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН — 1969

ДОКЛАД

В. А. АМБАРЦУМЯНА

К СТАТИСТИКЕ ВСПЫХИВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

В. А. АМБАРЦУМЯН

Бюраканская астрофизическая обсерватория

В настоящем сообщении я хочу коснуться двух вопросов: один из них связан со статистикой вспышек красных карликов в звездных агрегатах, т. е. в скоплениях и ассоциациях, а второй относится к Сверхновым звездам, т. е. к объектам, вспышки которых не повторяются.

1. ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ В ПЛЕЯДАХ

Трудно переоценить значение работ Аро по изучению вспыхивающих звезд в звездных агрегатах. Фактически ему удалось установить, что если изменения блеска типа RW Возничего характеризуют раннюю молодость звезды (грубо говоря, возраст до 10^7 лет), то вспышки типа UV Ceti соответствуют молодости звезды в гораздо более широком смысле, когда возраст ее не превосходит величину порядка 10^8 лет.

Ярким примером этого являются Плеяды, где к настоящему времени уже открыто до 70 вспыхивающих звезд. Остановимся вкратце на этом примере.

Покажем прежде всего, как можно пытаться оценить полное число вспыхивающих звезд в каком-либо агрегате на основе наблюдений, которые далеко недостаточны для выявления всех вспыхивающих звезд.

Допустим, что наблюдения велись только некоторое время t , в течение которого выявлены все вспышки с амплитудой, большей, чем некоторая минимальная амплитуда ε , выраженная в звездных величинах. Разумеется, при этом речь идет о

наблюдениях с определенным инструментом, мощность которого ограничивает исследуемую совокупность звезд некоторой величиной m_0 .

На самом деле, некоторые из вспышек, происшедших за время наблюдений, могут остаться незамеченными, но мы можем ввести некоторое эффективное время, несколько меньшее, чем суммарная длина всех фотографических экспозиций. Точно так же предельная звездная величина различна для вспышек разной амплитуды, и при большой амплитуде могут получаться вспышки звезд, которые в минимуме не получаются на снимках даже при больших экспозициях. Тем не менее, можно говорить о какой-то эффективной предельной звездной величине в минимуме, слабее которой вспышки не обнаруживаются.

Сделаем еще два допущения: примем, что последовательность вспышек каждой звезды носит характер случайного стационарного потока событий, распределенного по оси времени согласно закону Пуассона, и что средняя частота вспышек для всех вспыхивающих звезд агрегата одна и та же.

Если N есть полное число всех вспыхивающих звезд в агрегате и ν — средняя частота вспышек у отдельной звезды, то при указанных условиях математические ожидания чисел звезд, не испытавших за время t ни одной вспышки, имевших по одной вспышке и по две вспышки за тот же промежуток времени, выразятся соответственно формулами:

$$n_0 = Ne^{-\nu t}, \quad (1)$$

$$n_1 = Ne^{-\nu t}\nu t, \quad (2)$$

$$n_2 = Ne^{-\nu t}\frac{\nu^2 t^2}{2}. \quad (3)$$

Деля (3) на (2), получаем

$$\nu t = 2 \frac{n_2}{n_1}. \quad (4)$$

и, деля (2) на (1),

$$\nu t = \frac{n_1}{n_0}, \quad (5)$$

Сравнивая (5) с (4), имеем:

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2}. \quad (6)$$

Формула (6) позволяет определить математическое ожидание числа не вспыхнувших звезд через м. о. чисел звезд, вспыхнувших по одному и два раза.

Заменяя *приблизженно* математические ожидания чисел звезд, вспыхнувших один и два раза, реально наблюдаемыми числами звезд, вспыхнувших соответственно по одному и два раза, мы получаем таким образом практическую *возможность найти число не вспыхнувших вспыхивающих звезд*, а прибавив сюда полное число всех обнаруженных за время t вспыхнувших звезд, мы получим оценку *полного числа вспыхивающих звезд*.

Согласно данным Аро [1], к 1966 году в Плеядах наблюдались вспышки у 60 различных звезд. Из них только по одной вспышке наблюдалось у 52 звезд, а по две вспышки наблюдалось у 5 звезд. Подставляя эти числа вместо n_1 и n_2 в (6), находим для числа вспыхивающих, у которых не наблюдалось ни одной вспышки, $n_0 = 260$. Прибавив сюда полное число звезд, у которых наблюдались вспышки, получаем для полного числа всех вспыхивающих звезд $N = 320$.

С другой стороны, можно принять, что все эти звезды должны иметь видимую визуальную величину в минимуме $V > 13.25$, так как самая яркая из обнаруженных вспыхивающих звезд имеет в минимуме $V = 13.30$. Число известных звезд Плеяд (включая и звезды, обозначенные Джонсоном и Митчеллом [2] как вероятные члены) ярче $V = 13.25$ равно 211. Так как они известны, их суммарная масса может быть подсчитана прямо на основании соотношения масса—светимость. Полная масса первых 211 более ярких членов Плеяд оказывается равной $262M_{\odot}$. Поскольку общая масса Плеяд из динамических соображений оценивается приблизительно в $400M_{\odot}$, то получается, что полная масса всех членов Плеяд слабее $V = 13.25$ должна быть порядка $140M_{\odot}$. Но в эти более слабые звезды должны входить все 320 вспыхивающих звезд.

С другой стороны, рассмотрим, какую среднюю массу следует приписать вспыхивающим звездам.

Для этого используем тот факт, что самая яркая из вспых-

нувших звезд имеет в минимуме видимую величину $V=13.3$, а наиболее слабая, для которой наблюдалась вспышка, $V=19.5$ (на самом деле имеется лишь оценка $m_{pg}=21.5$, что при $CI=2.0$ дает приведенное значение V). Это означает, что абсолютные визуальные величины обсуждаемых 320 вспыхивающих звезд в их минимуме заключены между 7.8 и 14.0, что соответствует интервалу значений масс от $0.60M_{\odot}$ до $0.12M_{\odot}$. Поскольку распределение вспыхивающих звезд по массам неизвестно, то трудно оценить среднее значение их массы. Однако арифметическое среднее приведенных предельных значений $0.36M_{\odot}$ не должно быть слишком завышенной оценкой, так как функция светимости Плеяд в этой области убывает.

В таком случае для суммарной массы всех вспыхивающих звезд мы должны иметь значение около $120M_{\odot}$. Сравнивая это число с полученной выше суммарной массой всех звезд слабее $V=13.25$ и учитывая, что вероятно имеются еще вспыхивающие звезды слабее, чем $V=19.5$ в минимуме, которые мы пока не наблюдаем и которые, очевидно, не входят в полученное число $N=320$, мы приходим к следующему заключению:

Все звезды слабее видимой величины $V=13.25$ в Плеядах или подавляющее большинство их являются вспыхивающими.

Этот вывод приобретает еще более твердую почву по следующим соображениям. Выше, при выводе формулы (6) мы считали, что вспышки всех звезд подчиняются закону Пуассона с одним и тем же значением параметра ν , т. е. с одной и той же средней частотой вспышек. На самом деле эти частоты должны быть различны, и можно представить некоторые данные в пользу того, что они на самом деле различны. Легко показать, что при наличии дисперсии значений ν формула (6) приведет к меньшему значению N , чем реальное число вспыхивающих звезд, у которых не наблюдалось ни одной вспышки.

Поэтому реальное число вспыхивающих звезд до $V=19.5$, вспышки которых еще не наблюдались, должно быть несколько больше, чем 260, а полное число их больше, чем 320.

Учитывая все это, вряд ли можно допустить, что больше, чем 10% всех членов Плеяд, более слабых, чем $V=13.25$, яв-

ляются не вспыхивающими. Вполне возможно, что не вспыхивающими являются только некоторые из более ярких звезд такого рода, например, часть тех, которые находятся в промежутке от $V=13.25$ до $V=14.00$.

2. ПРОБЛЕМЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ВСПЫХИВАЮЩИМ ЗВЕЗДАМ В ПЛЕЯДАХ

Из сказанного следует, что замечательные наблюдения Аро и его сотрудников не только установили наличие вспыхивающих звезд среди слабых членов Плеяд, но и позволяют сделать гораздо дальше идущее заключение: почти все, а может быть и все звезды Плеяд слабее $V=13.25$ являются вспыхивающими переменными.

Таким образом, вся задача дальнейшего изучения слабых звезд в Плеядах в известном смысле переворачивается. В дальнейшем мы не столько должны быть заинтересованы в подтверждении многочисленности вспыхивающих звезд, сколько в доказательстве существования слабых членов, которые вовсе не вспыхивают.

Казалось бы, сделанный нами вывод о том, что практически все «слабые» звезды Плеяд, т. е. у которых $V > 13.25$, являются вспыхивающими, является вполне естественным, ибо физическая природа всяких двух звезд в Плеядах, имеющих одинаковую светимость, должна быть одинакова и если одна из них вспыхивает, то должна вспыхивать и другая.

Однако на самом деле нельзя *a priori* отрицать возможность того, что вспышечная активность у звезд может носить сложный характер и быть периодической или неправильной функцией времени. Например, можно было бы представить себе, что активность замирает на период в несколько лет или десятков лет, а потом снова появляется на определенное время. Поскольку наблюдения вспышек ведутся всего несколько лет, то существование звезд с временно погасшей активностью сказалось бы в наших расчетах так же, как существование не вспыхивающих звезд. Сказанное выше заставляет думать, что либо такие промежутки замирания вспышечной активности отсутствуют, либо они кратковременны и поэтому мало влияют на статистику, либо же таким свойством обладает лишь небольшое число слабых звезд Плеяд.

Другая проблема, вытекающая также из исследований Аро, относящихся к ряду различных агрегатов, заключается в следующем. Из этих исследований следует, что на более ранней стадии жизни скопления вспыхивали и более яркие, чем $V=13.25$, звезды. Но как происходит прекращение больших вспышек? Становятся ли они более редкими или их средняя амплитуда уменьшается постепенно? Для ответа на этот вопрос необходимо сравнить статистику вспышек звезд, непосредственно примыкающих к пределу $V=13.25$, т. е. звезд в промежутке $13.25-14.25$, со статистикой вспышек более слабых звезд. Нам кажется, что это одна из важнейших проблем физики молодых звезд.

Наконец, отметим, что, применяя формулу (4), мы можем из отношения чисел звезд, у которых вспышки наблюдались дважды и однажды, определить νt и отсюда эффективную среднюю частоту вспышек, которая оказывается порядка 10^{-3} , т. е. средний промежуток между двумя последовательными вспышками одной и той же звезды порядка одной тысячи часов. Конечно, речь идет при этом о вспышках с большой амплитудой ($>0^m6$), которые только и могут обнаруживаться методом, примененным Аро (последовательные десяти-минутные экспозиции).

На самом деле, вероятно, частоты вспышек у звезд с разной массой различны. Вероятно, частота испытывает вековые изменения в связи с эволюцией звезды. Представляется очень важным выяснить характер этих изменений, что возможно лишь при сравнении звезд одинаковой массы, но разных возрастов. Для этого, очевидно, надо сравнить частоты вспышек в разных агрегатах.

Исходя из сказанного, мы можем утверждать, что возможно более полное исследование Плеяд в отношении вспыхивающих звезд, так же, как и вспышек в других агрегатах, является очень важной и актуальной задачей.

3. К СТАТИСТИКЕ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ

В случае Сверхновых имеются обстоятельства как облегчающие, так и более затрудняющие их статистическое изучение. Если не говорить о возможных вспышках Сверхновых в ядрах галактик, то вспышки в одной и той же галактике

происходят на больших расстояниях друг от друга, измеряемых обычно тысячами парсек. Поэтому можно принять их за совершенно независимые события. Это дает основание, даже несмотря на возможность повторения вспышек в какой-либо ассоциации*, утверждать, что *последовательность вспышек в каждой галактике должна представлять собой последовательность Пуассона*. Однако только на основе анализа наблюдений можно ответить на вопрос о том, насколько различны частоты вспышек *в разных галактиках*.

Согласно Цвикки, средняя частота вспышек для всей наблюдаемой совокупности галактик составляет одну вспышку в триста лет в одной галактике. По его мнению, эта частота мало меняется при переходе от одного морфологического типа к другому.

Между тем, имеются данные, на основе которых ряд авторов [3—5] пришел к выводу, что частота вспышек у галактик типа Sc высокой светимости гораздо выше, чем средняя по всем галактикам. Получаются цифры порядка одной вспышки в тридцать лет на галактику. Цвикки решительно возражает против этого вывода, утверждая, что лишь некоторые отдельные галактики, например, NGC 6946, где наблюдалось уже четыре Сверхновых, имеют особенно большую частоту вспышек. Действительно, наличие такой разновидности галактик может при поверхностном изучении вопроса создать впечатление, что у галактик Sc частота вспышек вообще очень велика.

Может быть, наиболее блестящее доказательство того, что среди галактик типа Sc встречаются объекты с особо большой частотой вспышек Сверхновых, было получено в Бюраканской обсерватории. Именно, в галактике NGC 2276 за период в $6\frac{1}{2}$ лет (1962—1968) было обнаружено три Сверхновых. При этом наблюдения совсем не производились в 1963 и 1965 гг., а если судить более строго, то получается, что сумма отрезков времени, покрытая бюраканскими снимками этой галактики, едва превышает один год с небольшим.

* Сверхновые второго типа вспыхивают преимущественно в спиральных ветвях. По крайней мере часть из них вспыхивает в ассоциациях. Нельзя *a priori* исключать возможность того, что на определенном этапе развития в одной ассоциации происходит несколько близких во времени друг к другу вспышек. В этом смысле некоторое нарушение независимости вспышек может иметь место.

Даже если допустить, что на одну галактику типа Sc за двадцать лет приходится в среднем одна Сверхновая, то вероятность обнаружения трех Сверхновых за полтора года в случайно взятой такой галактике будет $1/15.000$, а математическое ожидание числа таких галактик среди 200 галактик типа Sc с наибольшей видимой яркостью будет всего $1/75$. Учитывая, что NGC 2276 внесена Арпом в его Атлас пекулярных галактик и имеет действительно очень своеобразное строение, мы должны предпочесть предположение, что в NGC 2276 частота вспышек Сверхновых особенно велика. Заметим, что эта галактика является сверхгигантом, ее фотографическая величина равна -20.0 .

В силу сказанного становится правдоподобным предположение, что средняя частота Сверхновых может быть некоторой характеристикой каждой галактики, в известной степени независимой от морфологического типа. Мы подчеркиваем, лишь в известной степени независимой, так как приведенные аргументы все же не опровергают существующих прямых свидетельств в пользу того, что в гигантских Sc галактиках средняя частота вспышек относительно велика.

Точно так же средняя частота вспышек Сверхновых в данном *скоплении галактик* может оказываться важной новой характеристикой скопления. К сожалению, проведенные до сих пор наблюдения еще недостаточны для вывода значений указанного параметра как для скоплений, так, особенно, и для отдельных галактик. Что касается скоплений галактик, то для определения этого параметра у них требуется, вероятно, несколько десятков лет. Для отдельных же галактик эту работу, очевидно, придется вести главным образом в направлении выделения тех индивидуальных галактик и тех более узких морфологических типов, в которых частота вспышек относительно велика.

Наконец, остановимся на следующем вопросе: средняя частота вспышек для всей совокупности галактик, так же, как средняя частота вспышек для каждого морфологического типа могут считаться однозначно определенными величинами только в том случае, если условиться, о каких средних идет речь.

Мы можем, с одной стороны, говорить о совокупности галактик *до данной видимой величины*. Как известно, в

такой совокупности преобладают гигантские галактики. С другой стороны, мы можем говорить о совокупности всех галактик, находящихся в *определенном объеме метагалактического пространства*. Здесь будут преобладать карлики, и мы получим совсем другую среднюю частоту. Полученные до сих пор Цвикки оценки частоты, возможно, были ближе именно к первой из этих частот.

Что касается второй величины, то надо взять возможно больший объем, в котором неоднородностей нет, и это затрудняет дело. Но интересно, как предлагает Цвикки, оценить значение средней частоты вспышек и для Местной Группы галактик. Мы знаем, что за последние сто лет в МЗ1 вспыхнула по крайней мере одна Сверхновая. С другой стороны, за последние 50 лет во всей Местной Группе не вспыхнуло ни одной Сверхновой. Это означает, что средняя частота на одну галактику очень мала, порядка одной тысячной в год и даже меньше. В этом ничего удивительного нет, так как большинство галактик в Местной Группе карликовые. Как отмечает Цвикки, совершенно иначе будет обстоять дело, если мы отнесем к Местной Системе галактику NGC 6946, в которой за последние сто лет наблюдалось четыре вспышки. Поэтому прежде чем определять среднюю частоту, нужно точно определить границы данной группы или скопления.

Из этого примера видно также, насколько важно, чтобы слабые карликовые галактики вошли с малым весом. С этой точки зрения нам кажется, что практически более интересной величиной является *среднее число вспышек в год на единицу светимости* в данной группе, системы или в единице объема метагалактического пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. H. Haro, Stars and Stellar Systems, vol. 7, 141, 1968.
2. H. L. Johnson, R. I. Mitchell, Astrophys. J., 128, 31, 1958.
3. Б. В. Кукаркин, Астрофизика, 1, 465, 1965.
4. В. А. Амбарцумян, Астрофизика, 1, 473, 1965.
5. P. Katgert, J. H. Oort, Bull. Astron. Inst. Netherl, 19, 239, 1967.

После доклада состоялось чествование В. А. Амбарцумяна, во время которого представители многих научных учреждений нашей страны тепло поздравили и приветствовали его.