

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

АВГУСТ, 1979

ВЫПУСК 3

УДК 523.841.1

О ЧАСТОТЕ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ

Р. Г. МНАЦАКАНЯН, А. В. ОСКАНЯН, М. ЛОВАШ

Поступила 4 апреля 1979

Предлагается новый метод обработки наблюдательного материала службы сверхновых, который позволяет определить среднюю частоту вспышек сверхновых двух типов отдельно. Показано, что средняя частота вспышек сверхновых II типа вдвое больше, чем у сверхновых I типа, а средняя частота вспышек сверхновых в галактиках типа Sc пропорциональна светимости галактики-родительницы.

Введение. Для понимания природы сверхновых звезд существенно знание частоты их вспышек в галактиках. Впервые Цвикки, а затем и другие исследователи организовали систематические поиски (патруль) этих объектов. К настоящему времени на многих обсерваториях накоплен богатый наблюдательный материал по службе сверхновых.

Были сделаны многочисленные попытки определить частоту вспышек сверхновых [1—7]. Однако полученные на основе этих данных значения средней частоты вспышек сверхновых, в зависимости от используемого материала и способа его обработки, точнее, от способа подсчета эффективного времени наблюдения, довольно сильно отличаются друг от друга. Для наглядности в табл. I приведены полученные разными авторами оценки среднего интервала между двумя последовательными вспышками, выраженные в годах.

Последние работы в этой области [3, 7, 8] позволили установить, что частота вспышек зависит как от морфологического типа галактики-родительницы, так и от ее светимости. Повышенной активностью обладают галактики Sb и Sc типов. Активность особенно велика у галактик Sc большой светимости, у которых в ряде случаев зарегистрированы две и более сверхновых [7]. Но до сих пор делались лишь отдельные попытки [3, 9] определить отдельно частоту вспышек для двух типов сверхновых, кото-

рые по своим физическим характеристикам сильно отличаются друг от друга.

Таблица 1

<i>T</i> (лет)	Автор
612	Цвикки [1]
357	Цвикки [2]
105	Псковский [3]
40	Катгерт и Оорт [4]
316	Барбон [5]
92	Розино и Туллио [6]
175	Таммани [7]

В настоящей работе предлагается новый метод обработки наблюдательного материала, который свободен от необходимости вычисления эффективного времени наблюдения, а следовательно, и всех неточностей, связанных с ним, и позволяет определить среднюю частоту вспышек сверхновых I и II типов отдельно.

Частота вспышек сверхновых. Для упрощения решения задачи сделаем следующие допущения:

1) Вспышки сверхновых в любой галактике распределены во времени по закону Пуассона.

2) Средняя частота вспышек каждого типа сверхновых пропорциональна приблизительно абсолютной яркости галактики и не зависит от ее морфологического типа. Следовательно

$$\nu = \nu_0 \cdot 10^{-0.4M_s}, \quad (1)$$

где ν_0 — средняя частота вспышек сверхновых в гипотетической галактике с $M_s = 0$. В тех случаях, когда рассматривается частота вспышек в галактиках определенного морфологического типа (например, Sc), надо допускать независимость ν_0 от подтипа.

3) Светимость всех сверхновых данного типа в максимуме блеска одинакова, а убывание блеска у них происходит по одному и тому же закону.

4) Каждые два последовательных наблюдения данной площадки неба отличаются во времени по меньшей мере настолько, что вероятность обна-

ружения на втором снимке сверхновой, уже имеющейся на первом снимке, мала по сравнению с единицей. Это предположение является как бы требованием, обуславливающим взаимную независимость результатов каждых двух наблюдений. Конечно, это условие на практике часто не выполняется. Однако ему можно удовлетворить путем исключения некоторой части снимков.

Допустим, что в галактике с модулем расстояния Δ , находящейся на галактической широте b_i и имеющей абсолютную интегральную яркость M_g , вспыхнула сверхновая. Убывая, ее абсолютная яркость M_{max} через некоторое время τ станет равной $M_0 = m_0 - 0.25 \cos b_i - \Delta$, где m_0 — видимая величина самой слабой сверхновой, которая еще может быть обнаружена на снимках данного инструмента.

Промежуток времени τ , за который блеск сверхновой уменьшится от M_{max} до M_0 , назовем периодом наблюдаемости сверхновой. Период наблюдаемости является функцией модуля расстояния Δ .

$$\tau = \tau(M_0 - \bar{M}_{max}) = \tau(m_0 - 0.25 \cos b_i - \Delta - \bar{M}_{max}). \quad (2)$$

До тех пор, пока абсолютная яркость сверхновой находится в интервале $M_g > M > M_{max}$, любое наблюдение позволит зарегистрировать эту вспышку.

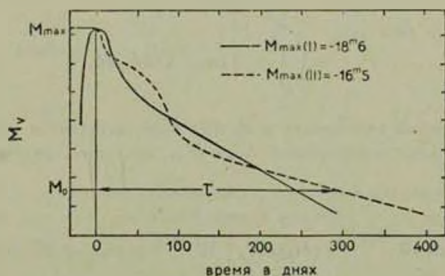


Рис. 1. Усредненные кривые блеска сверхновых I и II типов [13]. Каждому делению оси ординат соответствует 1^m .

Если сверхновые в этой галактике вспыхивают со средней частотой γ , то математическое ожидание количества наблюдаемых сверхновых в момент одного наблюдения будет пропорционально этой частоте и периоду наблюдаемости τ :

$$p = \gamma \cdot \tau.$$

Подставим значения γ из (1) и τ из (2):

$$p = \gamma_0 \cdot 10^{-0.4 M_{\varphi}} (m_0 - 0.25 \operatorname{cosec} b_1 - \Delta - \bar{M}_{\max}). \quad (3)$$

Каждая фотографическая пластинка, покрывающая площадь s_i на галактической широте b_1 , позволяет во время одного наблюдения следить не за одной, а за некоторым числом галактик.

Примем, что галактики распределены в пространстве равномерно. Тогда число галактик, имеющих яркость в интервале $m_x, m_x + dm_x$ и модули расстояния $\Delta, \Delta + d\Delta$, на единицу площади, выразится известной формулой [10]:

$$A(m_x, \Delta) dm_x d\Delta = c \cdot 10^{0.6 m_x} \cdot \vartheta_{m_x}(\Delta) dm_x d\Delta, \quad (4)$$

где $\vartheta_{m_x}(\Delta)$ есть функция распределения галактик в единичном интервале яркостей $m_x, m_x + 1$, по модулю расстояния Δ . Очевидно, что при фиксированном m_x функция $\vartheta_{m_x}(\Delta)$ зависит только от M_x :

$$\vartheta_{m_x}(\Delta) = \psi(M_x). \quad (5)$$

Математическое ожидание сверхновой за одно наблюдение площадки s_i тогда будет

$$P_i = s_i \int_{\Delta=0}^{\Delta_i} \int_{m_x=0}^{m_x} p_i A(m_x, \Delta) dm_x d\Delta. \quad (6)$$

Подставив значения вероятности p из (3) и числа галактик из (4), а также произведя замену переменной Δ на M_x , получим следующее выражение:

$$P_i = s_i \gamma_0 c \int_{\bar{M}_1}^{M_1} 10^{-0.4 M_x} \varphi(M_x) dM_x \int_0^{m_x} 10^{0.6 m_x} \varphi(m_0 - 0.25 \operatorname{cosec} b_1 - m_x + M_x - \bar{M}_{\max}) dm_x, \quad (7)$$

где верхний предел интегрирования по m_x определяется из условия, что функция φ отлична от нуля для положительных значений ее аргумента

$$m_x < m_0 - 0.25 \operatorname{cosec} b_1 + M_x - \bar{M}_{\max}.$$

С другой стороны, ту же величину можно оценить и из наблюдений. Пусть в площадке s_i за n_i независимых наблюдений было обнаружено N_i

сверхновых. Поэтому за одно наблюдение следует ожидать N_i/n_i сверхновых. При увеличении числа наблюдений n_i математическое ожидание N_i/n_i , вычисленное из наблюдений, стремится к математическому ожиданию P_i , определяемому формулой (7).

Сумма выражения (7) по всем k патрулируемым областям даст нам математическое ожидание сверхновых, для случая, когда все области нашей программы пронаблюдены по одному разу. Чтобы получить ожидаемое число сверхновых в одной галактике за одно наблюдение, следует разделить эту сумму на общее число галактик. Однако число галактик, охваченных данной программой, существенно отличается от среднего числа галактик, теоретически приходящихся на ту же площадь по закону равномерного распределения галактик в пространстве. Чем ярче галактики, тем больше это расхождение.

Поэтому для определения среднего числа ожидаемых сверхновых в одной случайно выбранной галактике из числа охваченных всей программой галактик, следует сумму левой части выражения (7) разделить на n_g (набл.) — число галактик до определенной видимой величины, наблюдавшихся в данной программе (подсчитываются по картам отождествления [11, 14]), а правую часть — на n_g (теор.) — теоретически подсчитанное число галактик, приходящихся на ту же площадь

$$\frac{\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{n_i}}{n_g (\text{набл.})} = \frac{c \sum_{i=1}^k s_i}{n_g (\text{теор.})} \int_{M_1}^{M_2} 10^{-0.4 M_g} \varphi(M_g) dM_g \times$$

$$\times \int_0^{m_g} 10^{0.6 m_g} \varphi(m_g - 0.25 \cos \epsilon b_i - m_g + M_g - \bar{M}_{\max}) dm_g, \quad (8)$$

откуда находим искомую среднюю частоту вспышек сверхновых γ_0 в гипотетической галактике нулевой абсолютной яркости:

$$\gamma_0 = \frac{n_g (\text{теор.})}{n_g (\text{набл.})} \frac{\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{n_i}}{Q} \text{лет}^{-1}, \quad (9)$$

где

$$Q = c \sum_{i=1}^k s_i \int_{M_1}^{M_2} 10^{-0.4 M_g} \varphi(M_g) dM_g \int_0^{m_g} 10^{0.6 m_g} \varphi(m_g - 0.25 \cos \epsilon b_i -$$

$$- m_g + M_g - \bar{M}_{\max}) dm_g.$$

Сверхновые по своим особенностям и характеру убывания блеска делятся на два типа. Поэтому подынтегральные функции и другие величины, входящие в выражение (9), следует строить и подсчитывать отдельно для двух типов сверхновых.

Функции $\varphi_1(M_s)$ и $\varphi_2(M_s)$ — распределения галактик по абсолютным яркостям в единичном интервале видимых величин — нами были построены на основе данных об абсолютных величинах галактик, видимый интегральный блеск которых заключен между $11^m 1 - 12^m 0$ [12].

Функции $\varphi_1(M_0 - \bar{M}_{\max}(I))$ и $\varphi_2(M_0 - \bar{M}_{\max}(II))$ были построены по усредненному кривым блеска, взятым из работы [13].

Подставляя результаты численного интегрирования интегралов и значения постоянных [14] в выражение (9) (постоянная Хаббла принята равной 100 км/с Мпс), для средней частоты вспышек сверхновых I и II типов получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} \nu_0(I) &= \frac{n_s(\text{теор.})}{n_s(\text{набл.})} \frac{10^{7.33}}{10^{0.6m}} \frac{\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{n_i}(I)}{\sum_{i=1}^k s_i \cdot 10^{-0.15 \cos \alpha_i \delta_i}} \text{лет}^{-1}, \\ \nu_0(II) &= \frac{n_s(\text{теор.})}{n_s(\text{набл.})} \frac{10^{4.82}}{10^{0.7m}} \frac{\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{n_i}(II)}{\sum_{i=1}^k s_i \cdot 10^{-0.15 \cos \alpha_i \delta_i}} \text{лет}^{-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Входящие в выражение (10) величины n_i представляют собой числа независимых наблюдений. При этом независимыми считаются два последовательных наблюдения, если промежутки времени между ними t больше среднего периода наблюдаемости сверхновых $\bar{\tau}$ [14].

Для определения числовых значений частоты вспышек нами был использован наблюдательный материал, полученный в период с января 1964 г. по апрель 1973 г. на телескопе системы Шмидта Будапештской обсерватории. За этот период было получено 3100 снимков 125 областей неба, покрывающих вместе площадь в 1830 кв. градусов. Основная часть снимков получена на пластинках Kodak 103aO без фильтра с экспозицией 15 минут. Предельная звездная величина равна 20^m .

На основе этого материала было обнаружено 13 сверхновых, из коих в окончательных подсчетах были использованы только 3 самые яркие сверхновые, сведения о которых приведены в табл. 2. При вычислении чисел последнего столбца этой таблицы использовались численные значения τ , полученные во второй части настоящей работы [14].

Таблица 2

№	СН	Тип СН	m	n_j
1	1967 _e	I	12 ^m .7	26
2	1968 _f	I	13.5	11
3	1970 _g	II	11.0	35

Это обусловлено тем, что уверенные данные можно получить лишь при использовании ярких сверхновых, для которых $m < 14$ [14].

Подставляя в выражение (10) все величины, подсчитанные для случая $m_0 = 14.0$, находим числовые значения ν_0 (I) и ν_0 (II):

$$\nu_0 \text{ (I)} = 1.8 \cdot 10^{-10} \text{ лет}^{-1},$$

$$\nu_0 \text{ (II)} = 3.6 \cdot 10^{-10} \text{ лет}^{-1}.$$

Следовательно, частота вспышек сверхновых II типа вдвое больше частоты вспышек сверхновых I типа.

Подставив значения ν_0 (I) и ν_0 (II) в формулу (1), окончательно находим зависимость частоты вспышек сверхновых от яркости галактики-родительницы:

$$\nu \text{ (I)} = 1.8 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{-0.4M_e} \text{ лет}^{-1},$$

$$\nu \text{ (II)} = 3.6 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{-0.4M_e} \text{ лет}^{-1}.$$

В табл. 3 приведены значения средних промежутков времени между двумя вспышками сверхновых $T = 1/\nu$ в годах для галактик различной абсолютной яркости.

Таблица 3

M_e	-15 ^m	-16 ^m	-17 ^m	-18 ^m	-19 ^m	-20 ^m	-21 ^m	-22 ^m
$T \text{ (I)}$	5600	2200	880	350	140	55	20	10
$T \text{ (II)}$	2800	1100	440	180	70	30	10	5

Обсуждение результатов. Полученные нами значения средних частот вспышек сверхновых для самых ярких галактик неплохо согласуются с данными Катгерта и Оорта [4] и Тамманна [7].

Однако вычисленные по ним математические ожидания сверхновых в ближайших галактиках M31, M33, NGC 6822, в нашей Галактике и других членах Местной группы, а также в ярчайших галактиках типа Sc, за кото-

рыми ведутся систематические наблюдения на Паломарской обсерватории [14—16], оказываются завышенным.

С другой стороны, ожидаемые числа сверхновых в ярчайших галактиках Sc I, видимых анфас [7], в которых наблюдались 2 и более сверхновых, в среднем, оказались вдвое меньше наблюдаемого числа сверхновых [14].

То, что в одном случае ожидаемые числа сверхновых получаются больше наблюдаемых, а в другом — меньше, позволяет надеяться, что полученные нами средние частоты вспыхек, хотя и определены с большими относительными ошибками, не очень отличаются от истинных средних значений частоты вспыхек.

Если же рассмотреть группу близких ($\Delta = 31.0$) галактик типа Sc, для которых ван ден Бергом были определены классы светимостей [17], то картина изменится. В табл. 4 приводятся данные об этих галактиках: средние абсолютные яркости галактик данного подкласса, число галактик в каждом подклассе и соответствующее ему эквивалентное число, показывающее, скольким галактикам с яркостью $M = 20^m$ равна суммарная светимость данного подкласса, число сверхновых, наблюдаемых в этих галактиках за 25 лет (с 1946 г. по 1970 г. [18]), и число сверхновых, ожидаемых в них за тот же период, средние числа сверхновых, вспыхнувших в одной галактике, и отношение числа наблюдаемых к числу ожидаемых сверхновых.

Таблица 4

Тип	M_s	N_s	$N_s(20)$	$CH_{набл.}$	$CH_{ожд.}$	$\frac{CH_{набл.}}{N_s}$	$\frac{CH_{ожд.}}{N_s(20)}$	$\frac{CH_{набл.}}{CH_{ожд.}}$
Sc I	$-20^m.4$	15	22	11	29	0.73	0.50	0.37
Sc I—II	-19.6	5	3	2	4	0.40	0.70	0.52
Sc II	-19.4	24	14	4	18	0.17	0.28	0.21
Sc II—III	-19.0	11	4	2	5	0.18	0.50	0.37
Sc III	-18.5	26	6	3	8	0.12	0.50	0.37
Sc III—IV	-18.3	7	2	3	3	0.43	1.50	1.11
Sc IV, S.IV	-17.4	24	2	2	3	0.08	1.00	0.74
Всего		112	53	28	70			
Среднее						0.24	0.51	0.39

Как видно из этой таблицы, наблюдаемые и ожидаемые числа сверхновых для этих классов неплохо согласуются. Удельная средняя частота вспыхек сверхновых (8 столбец) не зависит от класса светимости. Это позволяет думать, что сделанное в начале работы допущение о пропорциональности частоты вспыхек сверхновых абсолютной яркости галактики-родительницы в случае галактик типа Sc близко к действительности.

Предложенный метод позволяет определить средние частоты вспышек сверхновых как в галактиках любого морфологического типа [14], так и для двух типов сверхновых раздельно.

Для уточнения абсолютного значения средней частоты вспышек сверхновых требуется сделать пересчет с более полной статистикой (например, наблюдения сверхновых на Паломарской обсерватории, где за период с 1959 г. по 1975 г. было открыто 187 сверхновых [19]).

Авторы выражают благодарность дирекции Будапештской астрономической обсерватории за предоставленную им возможность использовать наблюдательный материал службы сверхновых, полученный, большей частью, одним из авторов (М. А.), проф. А. В. Мирзояну и М. А. Минасянцянц за ценные дискуссии, а Н. С. Варданян за помощь в вычислениях.

Авторы выражают глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за помощь в постановке задачи и ценные советы.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

Будапештская обсерватория им. Конколи
Венгерской АН

ON THE FREQUENCY OF SUPERNOVAE

R. G. MNATSAKIAN, A. V. OSKANIAN, M. LOVASH

A new method of processing the observational data of the service of supernovae is suggested. It permits to find the mean frequency for two types of supernovae separately.

It was shown that the supernovae II are two times more frequent than the supernovae I and the mean frequency of supernovae in Sc galaxies is proportional to the luminosity of the parent galaxy.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Zwicky, *Ap. J.*, 88, 529, 1939.
2. F. Zwicky, *Ap. J.*, 96, 28, 1942.
3. Ю. П. Псковский, *Астрон. ж.*, 38, 656, 1961.
4. P. Katgerl, *J. H. Oort Bull. Ast. Inst. Netherland*, 19, 239, 1967.
5. R. Barbon, *A. J.*, 73, 1016, 1968.
6. L. Rosino, G. D. Tullio, *Supernovae and Supernova Remnants*, Dordrecht-Holland/Boston-USA, 1974, p. 19.
7. G. A. Tammann, *Supernovae and Supernova Remnants*, Dordrecht-Holland Boston-USA, 1974, p. 155.
8. J. Maza, S. van den Bergh, *Ap. J.*, 204, 519, 1976.

9. W. Baade, Carnegie Inst. Washington Year Book, 40, 23, 1941.
10. П. Г. Куликовский, Звездная астрономия, Наука, М., 1978, стр. 113.
11. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, I—VI, 1961—1966.
12. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, RCBG, Texas, 1964.
13. G. A. Tammann, ESO Scientific Preprint, 4, 1977.
14. Р. Г. Мнацаканян, А. В. Осканян, М. Ловаш, Сообщ. Бюраканской обс. (в печати).
15. C. T. Kowal, W. L. W. Sargent, J. Huchra, P.A.S.P., 87, 401, 1975.
16. R. Barbon, F. Ciatti, L. Rosino, Astron. Astrophys., 25, 241, 1973.
17. S. van den Bergh, Pub. D. D. O., 11, 6, 1960.
18. C. T. Kowal, W. L. W. Sargent, A. J., 76, 756, 1971.
19. C. T. Kowal, J. Huchra, W. L. W. Sargent, P.A.S.P., 88, 521, 1976.