

Изучение подсистемы Сверхновых звезд

Г. В. Печерникова

Исследовалась подсистема Сверхновых звезд на основе данных о 139 объектах, опубликованных к июлю 1963 года. Выявлена возможность существования нового типа Сверхновых, промежуточного между Новыми и Сверхновыми. Исследование относительной частоты вспышек Сверхновых звезд в галактиках разных подтипов подтвердило выводы, сделанные ранее другими авторами. Сверхновые II типа показывают значительную концентрацию к спиральным ветвям галактики. Сверхновые I типа, против ожидания, показали такое же видимое распределение внутри галактик, как и Сверхновые II типа. Интересен факт появления Сверхновых на расстоянии, сравнимом с размером самой галактики.

The Study of the Supernovae Subsystem

by G. V. Pechernikova

Using the data on 139 objects published by June 1963, the subsystem of Supernovae was studied. The possibility of the existence of a new type of Supernovae which is an intermediate one between Novae and Supernovae is revealed. The investigation of the relative frequency of the flares of Supernovae in the galaxies of different subtypes speaks in favour of the conclusions obtained earlier by other authors. Supernovae of type II show a concentration to the spiral branches of galaxies. Supernovae of type I unexpectedly show such obvious distribution inside the galaxy as type II Supernovae. The appearance of Supernovae at the distance which can be compared with the dimension of the galaxy itself is an interesting fact.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время Сверхновые звезды привлекают все возрастающий интерес астрономов и физиков.

В начале двадцатых годов нашего века, когда внегалактические туманности были окончательно идентифицированы как изолированные звездные системы и были установлены расстояния до них, Сверхновые были выделены в особую группу в отличие от обычных Новых.

В 1936-1941 гг. Хюмасон и Минковский получили большую серию прекрасных спектров и показали, что Сверхновые по виду спектров делятся на две большие группы, которые сильно разнятся друг от друга, но внутри каждой группы спектры близки по своему виду и характеру развития. Спектры Сверхновых I типа показывают одинаковую последовательность изменений во времени, даже если абсолютные звездные величины Сверхновых довольно различны. Это дает возможность по виду спектра в момент открытия определить, сколько времени прошло от максимума блеска Сверхновой до ее открытия. Спектры Сверхновых II типа похожи на спектры обычных Новых, но показывают скорость расширения порядка 5000-10000 км/сек (скорость расширения Новых от 200 до 2000 км/сек).

Относительная частота Сверхновых по оценкам Цвикки для галактик ярче видимой звездной величины $m_p = 15^m$ составляет 1 Сверхновую в средней галактике за 457 лет. Однако, существуют спирали, в которых уже наблюдалось по несколько Сверхновых.

Обращает на себя внимание близкое сходство кривых блеска Сверхновых первого типа. Бааде установил, что "примерно через 100 дней после максимума уменьшение блеска (увеличение фотографической звездной величины) становится линейными с градиентом 0.0137 звездной величины в сутки". Кривые блеска Сверхновых II типа более нерегулярны.

Абсолютные звездные величины Сверхновых I типа в визуальной области могут достигать интегральной звездной величины галактик большой светимости, т.е. $M_v = -18^m \div -19^m$, в то время как Сверхновые II типа и других возможных типов имеют меньшую светимость порядка $-15^m \div -16^m$, а Новые $-6^m \div -8^m$. Ю. П. Псковский получил следующие средние фотографические величины Сверхновых в максимуме блеска:

$$\text{I тип} \quad M_{SN I} = -18^m.4 \pm 0.2 \text{ (8 Сверхновых)}$$

$$\text{II тип} \quad M_{SN II} = -15^m.8 \pm 0.5 \text{ (6 Сверхновых)}$$

Сверхновые I типа показывают ход по абсолютным величинам в максимуме блеска в зависимости от абсолютных интегральных величин галактик, в которых они вспыхивают.

Значения абсолютных звездных величин в максимуме блеска для различных Сверхновых охватывает область порядка 5-7 звездных величин. Однако, в настоящее время еще не известно, имеется ли непрерывный переход между Сверхновыми и обычными Новыми.

Сверхновые I типа характеризуются следующими свойствами:

1. Принадлежат к сферической составляющей населения галактик.
2. Обладают весьма сходными кривыми блеска.
3. Характеризуются высокой светимостью в максимуме

$$\bar{M}_{pg} = -13^m.4 \pm 0^m.2$$

4. Существует корреляция между абсолютной величиной Сверхновой в максимуме и светимостью галактики, в которой она вспыхнула.

$$M_{SNI} = -25^m.0 - 0.35 M_n$$

5. Спектр Сверхновых I типа характеризуется широкими эмиссионными полосами. На поздних стадиях появляются две полосы, отождествленные с [O I] λ 6300-6364. Ширины полос относительно невелики.
6. Скорость расширения оболочки, выброшенной при взрыве, порядка 1000 км/сек.
7. Вспышки в среднем одинаково часты в галактиках разных подтипов, в том числе и в неправильных.
8. Вспышки концентрируются к области галактических ядер.
9. E_K оболочки порядка 10^{48} эрг.
10. $\left(\frac{L_{\Phi}}{E_K}\right)_{\bar{I}} \sim 1.$

Сверхновые II типа характеризуются следующими свойствами:

1. Принадлежат к плоской составляющей населения галактик.
 2. Кривые блеска сходны с кривыми блеска Новых.
 3. Характеризуются меньшей светимостью в максимуме
- $$\bar{M}_{pg} = -15.8 \pm 0.5$$
4. Абсолютная величина Сверхновой II типа не зависит от светимости галактики, в которой она вспыхнула.
 5. В максимуме непрерывный спектр интенсивен в ультрафиолете ($T_{\text{цв}} \sim 40000^\circ$). Далее непрерывный спектр слабеет, но развиваются полосы поглощения и излучения, отождествленные с известными линиями (водородные слабы, запрещенные слабы или отсутствуют).
 6. Скорость расширения оболочки порядка 5000-10000 км/сек.
 7. Вспышки происходят преимущественно в спиральных ветвях высокой светимости Sb и Sc.
 8. Сверхновые концентрируются к спиральным ветвям.
 9. E_K оболочки порядка 10^{52} эрг.
 10. $\left(\frac{L_{\Phi}}{E_K}\right)_{\bar{II}} \sim 10^{-3}.$

Однако наблюдаются некоторые Сверхновые, которые аномально отклоняются от указанных закономерностей, что наводит на мысль о возможности существования других типов Сверхновых.

1. Определение абсолютных звездных величин Сверхновых звезд

Для исследования подсистемы Сверхновых звезд необходимо иметь их абсолютные звездные величины, определенные в одной системе. Однако, имеющийся материал оказался довольно разбросанным. Были использованы данные о 139 Сверхновых (вспыхнувших во внегалактических туманностях) опубликованные в работах [1-7] и других.

Разные авторы в разное время пользовались различными методами определения расстояний до внегалактических туманностей. В частности, при определении расстояния по красному смещению использовались различные значения постоянной Хаббла.

В данной работе за основу взята система В. П. Псковского [4], в которой расстояния до 38 внегалактических туманностей были определены по Сверхновым звездам. Сначала были рассчитаны расстояния до всех внегалактических туманностей списка, для которых известна величина красного смещения, с постоянной Хаббла = 75 км/сек на мпс. Затем для туманностей, включенных в список Псковского, для которых в то же время известна величина красного смещения, были вычислены разности $\Delta\rho = \rho_{VS} - \rho_{SN}$, где ρ_{VS} — модуль расстояния, определенный по красному смещению, ρ_{SN} — модуль расстояния, определенный по методу Псковского. Величина $\Delta\rho$ оказалась в зависимости от абсолютной величины туманности, полученной по ρ_{VS} (рис. 1). С помощью этой зависимости были приведены к системе Псковского модули расстояний до галактик с известным красным смещением.

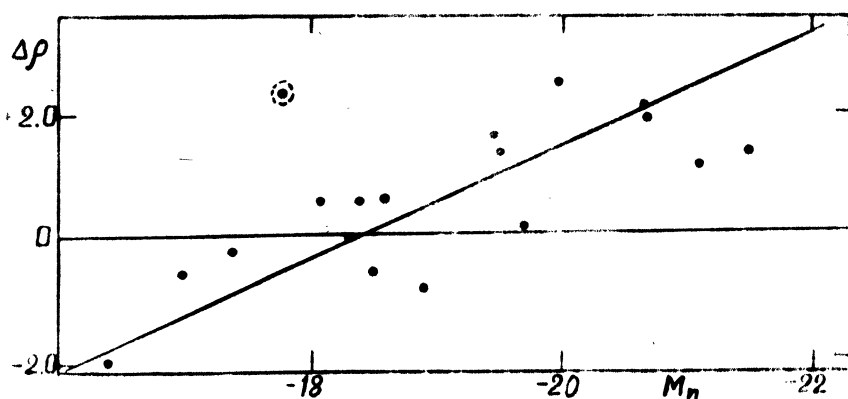


Рис. 1

До внегалактических туманностей, для которых еще не известны величины красного смещения, но известны видимые интегральные звездные величины, модули расстояний были оценены приближенно по $\Delta m = m_{SN_{max}} - m_n$ с помощью таблицы из работы [4].

Зная модули расстояний до внегалактических туманностей, определенные в одной системе, и видимые фотографические звездные величины Сверхновых звезд в максимуме, можно получить их абсолютные фотографические звездные величины.

II. Распределение Сверхновых звезд по абсолютным звездным величинам.

Распределение Сверхновых звезд по абсолютным звездным величинам с интервалом в одну звездную величину было рассмотрено на основе данных о 130 звездах.

Таблица 1.

M_{SN}	-10.0	-11.0	-12.0	-13.0	-14.0	-15.0	-16.0	-17.0	-18.0	-19.0	-20.0
число	-10.9	-11.9	-12.9	-13.9	-14.9	-15.9	-16.9	-17.9	-18.9	-19.9	-20.9
SN	1	4	4	0	2	29	8	33	41	7	1
N (M)	1	5	9	9	11	40	48	81	122	129	130
lg N (M)	0	0.699	0.954	0.954	1.041	1.602	1.681	1.909	2.086	2.111	2.114

Результаты этих подсчетов показаны в первой строке табл. 1 и на рис. 2.

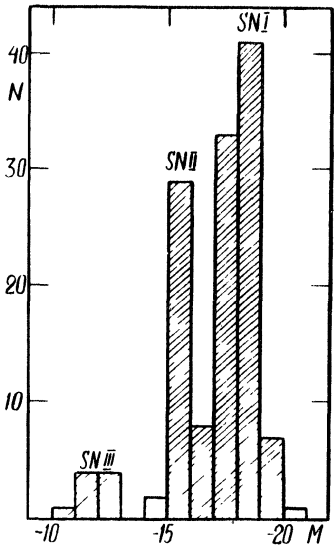


Рис. 2

Были проведены подсчеты числа звезд до данной абсолютной звездной величины $N(M)$ (вторая строка табл. 1). В третьей строке табл. 1 приведены величины $lg N(M)$. По ним построена кривая на рис. 3. На рис. 2 обращает на себя внимание небольшая группа звезд в области -10 -13 абсолютных звездных величин. Она нашла свое отражение и на

кривой рис. 3 в виде первой самой нижней ступеньки, в то время как вторая и третья — соответствуют группам Сверхновых второго и первого типов. В эту группу попало восемь звезд и, вследствие их малочисленности, их можно отнести за счет ошибок наблюдений. Однако в то же время малочисленность этой группы можно объяснить трудностью их наблюдения вследствие их низкой светимости и относительно малым объемом пространства, в котором их возможно обнаружить.

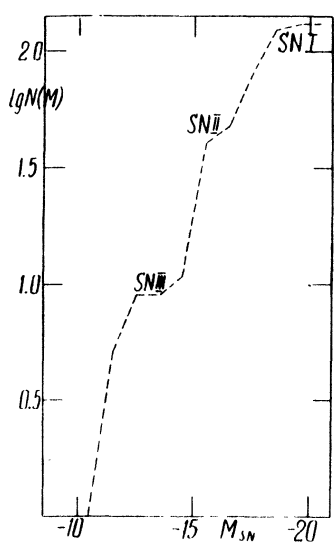


Рис. 3

Были вычислены средние расстояния, на которых наблюдались Сверхновые первого типа, второго типа и малой группы, которую условно назовем третьим типом. По средним расстояниям были вычислены отношения средних объемов, в которых наблюдались Сверхновые II и III типов, к среднему объему пространства, в котором наблюдались Сверхновые I типа.

	SN I	SN II	SN III
n	56	30	8
$\bar{\rho}$	32.1 ± 2.1	30.3 ± 1.6	27.9 ± 1.7
$\bar{R}$	$2.6 \cdot 10^7 \pm 1.09 \cdot 10^7$	$1.4 \cdot 10^7 \pm 0.45 \cdot 10^7$	$3.8 \cdot 10^6 \pm 1.29 \cdot 10^6$
$\bar{R}^3$	$17.58 \cdot 10^{21}$	$2.74 \cdot 10^{21}$	$54.9 \cdot 10^{18}$
V_2/V_1	1	0.16 ± 0.05	0.003 ± 0.001

Ошибки ρ вычислены по приближенной формуле для каждой группы:

$$\sigma_{\rho} = \frac{\sum_1^n \Delta \rho_i}{n}, \quad \text{где } \Delta \rho_i = |\rho_i - \bar{\rho}|$$

Ошибки $\bar{R}$ вычислены по формуле

$$\sigma_{\bar{R}} = \sigma_{\rho} \cdot \bar{R} \cdot \frac{1}{5} \quad \left(\lg R = \frac{\rho + 5}{5}; \quad 5dR = Rd\rho \right)$$

Ошибки отношения объемов вычислены по формуле

$$\sigma_{V_1/V_2} = \frac{R_2^3 3R_1^2 \sigma R_1 - R_1^3 3R_2^2 \sigma R_2}{R_2^6}$$

Оказалось, что средний объем, в котором наблюдались Сверхновые III типа, примерно в 100 раз меньше среднего объема, в котором наблюдались Сверхновые I типа. Следовательно, можно предположить, что группа Сверхновых III типа довольно многочисленна. Возможно, что эта группа звезд является промежуточной между обычными Новыми и Сверхновыми. Следует заметить, что самой многочисленной группой являются Новые, затем Сверхновые III типа, затем II и, наконец, наиболее редки Сверхновые I типа.

О том же говорит и относительная частота вспышек этих звезд:

Сверхновые I типа — 1 за 400 лет

Сверхновые II типа — 1 за 50 лет (в нашей Галактике) [17]

Новые — 30 за 1 год [16]

Из восьми звезд, составляющих группу Сверхновых III типа, две имеют спектры, по своему виду близкие к спектру Сверхновых I типа — это Сверхновые в NGC 4321 (февраль 1960 г.) и в NGC 253 (ноябрь 1940 г.). Три звезды вспыхнули в NGC 5236.

Вероятно, к этому же типу звезд относится вспыхнувшая в нашей Галактике в 1572 году Човая Тихо Браге. Ее кривая блеска подобна кривым блеска Сверхновых первого типа, ее остаток является источником радиоизлучения — признаки, характерные для Сверхновых. Однако ее абсолютная звездная величина близка к -12^m (И. С. Шкловский).

III. Относительные частоты вспышек Сверхновых звезд в галактиках разных подтипов.

По 127 Сверхновым проведены относительные и абсолютные подсчеты видимого распределения Сверхновых по галактикам различных подтипов.

Таблица 2.

Подтипы	Число галактик			SN I типа		SN II типа	
	до 15^m	в %	в % от чис- ла S_c -гал-к	Число SN I	Относит. частота	Число SN II	Относит. частота
E	54	16	43	16	31	0	0
SO + SBO	32	9		4		0	0
Sa + SBa	20	6	42	8	29	0	0
Sb + SBb	69	20	55	18	33	17	31
Sc + SBc	125	36	100	34	34	25	25
Irr	22	6	18	5	28	0	0
Все под- типы	322	93		85		42	

Данные во втором, третьем и четвертом столбцах таблицы (о распределении галактик) взяты из работы [4]. Проведенные подсчеты по более полному материалу подтверждают выводы, сделанные в работах [4] и [3]. Сверхновые I типа вспыхивают в среднем с одинаковой относительной частотой в галактиках разных подтипов, в то время как Сверхновые II типа появляются только в галактиках Sb и Sc подтипов (рис. 4).

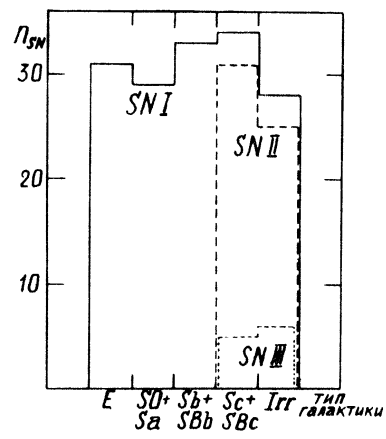


Рис. 4

В группе Сверхновых III типа две звезды имеют спектр, близкий к спектрам Сверхновых I типа, поэтому они отнесены в табл. 2 к Сверхновым I типа. Остальные 6 звезд отнесены к Сверхновым II типа по своим малым абсолютным звездным величинам. Однако, если их рассмотреть отдельно, то оказывается, что три из них вспыхнули в галактиках Sb и шесть в галактиках Sc.

Таблица 3.

	число галактик до 15.5	в % отно- сит. Sc	число SN III	относит. частота
Sb	69	55	3	5
Sc	125	100	6	6

IV. О местах вспышек Сверхновых звезд разных типов в спиральных галактиках.

Ван ден Берг отметил, что вспышки Сверхновой I типа одинаково часты в галактиках E и S подтипов, концентрируясь к области галактических ядер, в то же время как вспышки Сверхновых II типа происходят преимущественно в спиральных ветвях Sb и Sc галактик. Была предположена возможность предварительной классификации Сверхновых звезд по их местоположению в спиральной галактике.

Однако, результаты подсчетов, приведенные в табл. 4, показывают, что это не так.

Таблица 4.

тип SN	ядро	главное тело	спиральные ветви	пространство между ветвями	темное простран- ство вне галактики
SN I	1	1 (4)*	15	1	1
SN II	1	2 (3)	11	—	4
SN III	—	—	4	—	—

Оказалось, что Сверхновые I типа вспыхивают в среднем так же часто в спиральных ветвях, как и сверхновые II типа. Частично это можно объяснить возможностью проекции на спиральную ветвь звезды, расположенной в диске. Однако, при этом некоторое число звезд должно проектироваться на пространство между ветвями и на темное пространство вне галактики.

Неожиданностью явилась Сверхновая II типа, вспыхнувшая в ядре Sb галактики. Эта Сверхновая вспыхнула в NGC 5879 (скопление галактик в Большой Медведице) в сентябре 1954 г. Цвикки, Вильд, Берто и Ю. П. Псковский отнесли ее к Сверхновым II типа. Вспыхнула она в 0.2 SE от ядра (Берто), т.е. почти в ядре.

В сообщениях о наблюдении Сверхновой звезды обычно указываются ее координаты относительно ядра или центра галактики. По этим координатам с помощью карточного каталога внегалактических туманностей Б. А. Воронцова-Вельяминова и Паломарского атласа были установлены места вспышек Сверхновых звезд относительно тела галактик, в которых они вспыхивали.

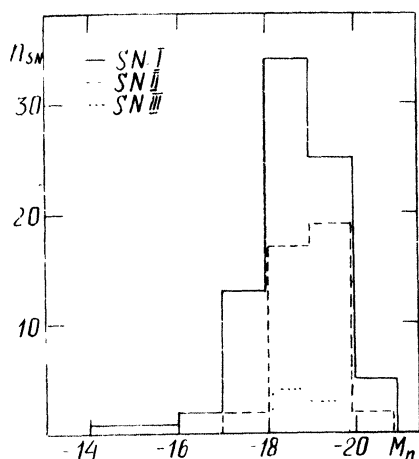
V. Распределение Сверхновых по интегральным абсолютным величинам галактик.

В табл. 5 приведены результаты подсчета Сверхновых звезд в зависимости от интегральной абсолютной величины галактик, в которых они вспыхивали.

Таблица 5.

M_n SN	-14.0	-15.0	-16.0	-17.0	-18.0	-19.0	-20.0	-21.0
		-15.9	-16.9	-17.9	-18.9	-19.9	-20.9	-21.9
SN I	1	1	2	13	34	25	5	—
SN II	—	—	—	2	17	19	2	—
SN III	—	—	—	—	4	3	—	—

*) — Сверхновая возможно расположена в начале спиральной ветви.



Данные табл. 5 (рис. 5) подтверждают вывод Ю. П. Псковского о том, что Сверхновые II типа вспыхивают преимущественно в галактиках высоких светимостей, в то время как Сверхновые I типа встречаются и в галактиках более низких светимостей.

Рис. 5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эта работа была проведена с помощью составленного автором, наиболее полного из опубликованных до сих пор, каталога Сверхновых звезд, в состав которого вошли 139 объектов.

Увеличение наблюдательного материала позволило сделать ряд новых выводов.

При изучении распределения Сверхновых звезд по их абсолютным звездным величинам выявилась возможность существования группы Сверхновых звезд, которые по своим свойствам являются промежуточными между Новыми и Сверхновыми. Интересным является тот факт, что в этой группе как бы пересекаются свойства Новых звезд и Сверхновых первого и второго типов. Абсолютная звездная величина как у ярких Новых, спектр подобен спектру Сверхновых первого типа, кривая блеска как у Сверхновых первого типа, но многие по своей абсолютной звездной величине отнесены к Сверхновым второго типа. Несмотря на возможную многочисленность этой группы, наблюдается еще очень мало подобных объектов, поэтому необходимо накопление наблюдательного материала для подтверждения существования Сверхновых звезд третьего типа и их дальнейшего изучения.

Исследование относительной частоты вспышек Сверхновых звезд в галактиках разных подтипов подтвердило выводы, сделанные ранее другими авторами.

При рассмотрении мест вспышек Сверхновых звезд разных типов в спиральных галактиках выяснилось, что Сверхновые второго типа, как и следует из их принадлежности к плоской составляющей населения галактики, показывают значительную концентрацию к спиральным ветвям галактики. Сверхновые первого типа, против ожидания, показали такое же видимое распределение внутри галактики, как и Сверхновые второго типа. Интересным также является и факт появления Сверхновых вне галактик на расстоянии, сравнимом с размером самой галактики. Такие Сверхновые наблюдались как в спиральных галактиках, так и в эллиптических.

В работе использованы данные о Сверхновых звездах, опубликованные до 25 декабря 1961 г.

В последнее время большая часть Сверхновых открыта в США на обсерваториях Маунт Вилсон и Маунт Паломар службой Сверхновых. Дальнейшее расширение сети службы Сверхновых, в которой с 1961 г. принял участие и Советский Союз, позволит произвести более глубокое изучение этих интересных объектов.

Литература:

1. П. Г. Куликовский, АЖ XXI №5, 211, 1944.
2. F. Zwicky, Handbuch der Physik, 51, 776, 1958.
3. Van den Berg, ZfAph, 49, 201, 1960.
4. Ю. П. Псковский, АЖ XXXVIII, №4, 656, 1961.
5. C. Bertaud, L'Astronomie, 63, 65, 1949.
6. Humason, PASP 73, 1961.
7. И. С. Шкловский, АЖ XXXVII, №3, 369, 1960.
8. C. Bertaud, L'Astronomie, 73, 453, 1959.
9. Humason, PASP 72, №425, 97, 1960.
10. P. Wild, PASP, 72, №426, 208, 1960.
11. W. Baade, F. Zwicky, ApJ 88, 285, 411, 1938.
12. D. Hoffleit, HB 910, 4, 1939.
13. П. П. Паренаго, ПЗ 7, 123, 1949.
14. R. Minkowski, PASP 52, №307, 206, 1940.
15. C. Bertaud, D'Astronomie, 70, 169, 1956.
16. A. Sandage, PASP 71, №419, 162, 1959.
17. Л. Х. Аллер, Астрофизика, 2, 1957 г. Москва.