

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХНОВЫХ  
ТИПА Ib/c, II И ИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ГАЛАКТИК

А.А.АКОПЯН

Поступила 25 июля 2007

Принята к печати 18 ноября 2007

В статье представлено статистическое исследование свойств сверхновых типа Ib/c и II и интегральных параметров их спиральных родительских галактик. К выборке данных были применены методы одномерной и многомерной статистики. Сделан вывод, что SNe типа Ib/c, радиально более сконцентрированы к центру галактик, чем SNe типа II. Распределение радиальных расстояний  $R_{50}/R_{25}$  для SNe Ib/c и SNe II в активных галактиках показывает более высокую концентрацию к центру, чем для нормальных галактик. Этот эффект более силен для SNe Ib/c, чем для SNe II.

Ключевые слова: *сверхновые: спиральные галактики: активность: звездообразования: прародители*

1. *Введение.* Исследование сверхновых (SNe) и их родительских галактик (РГ) дает важные ключи к пониманию химической эволюции, кинематики межзвездной среды, происхождения космических лучей, истории формирования и последних этапов эволюции звезд, вероятной природы прародителей, эволюция которых приводит к вспышкам SNe разных типов. Для этих целей исследования SNe типа Ia (см., например, [1]) и SNe типа Ib/c, II (см., например, [2]) имеют разные предназначения. SNe типа Ib/c, II и их РГ представляют собой особый интерес и являются предметом настоящего исследования. Относительно этих объектов выполнено много работ (см., например, [3,4]). SNe типа II вспыхивают от коллапса ядра молодых, массивных звезд - красных сверхгигантов, в оболочках которых в большом количестве присутствует водород. SNe типа Ib/c также вспыхивают от коллапса ядра массивных звезд, вероятно от звезд Вольфа-Райе (см., например, [4]), но большая часть водородной оболочки этих звезд потеряна при эволюции в тесной двойной системе или каким-либо другим образом, что вероятно является причиной более высокой металличности прародителей SNe Ib/c (см., например, [3,5]). Обобщая выполненные до сих пор исследования связей свойств этих SNe и их РГ, можно отметить следующие существенные результаты, которые обоснованы в ряде важных работ (см., например, [3,6]).

Свойства SNe зависят от хаббловского морфологического типа

галактик, в которых они вспыхивали. SNe типа Ib/c и II были обнаружены только в спиральных галактиках, где в настоящее время продолжают образовываться звезды и присутствуют как старые звезды малой массы, так и молодые, массивные звезды. Не обнаружено значительного различия в распределениях SNe Ib/c и SNe II по морфологическому типу РГ. Это подтверждает, что оба класса SNe имели подобных прародителей (см., например, [7]). SNe Ib/c и SNe II одинаково явно сконцентрированы в спиральных рукавах и связаны с дисковым населением спиральных РГ (см., например, [8]). Те SNe, которые показывают корреляцию со спиральными рукавами, могут иметь разные наблюдаемые свойства по сравнению с SNe, которые не показывают корреляцию со спиральными рукавами. Различие в основном обусловлено существованием более плотного межзвездного газа в спиральных рукавах. Взаимодействие SNe с этим газом показывает различные проявления в спектрах этих объектов (см., например, [6]). Кроме того, SNe Ib/c и SNe II показывают тесную связь с HII областями или со скоплениями ярких голубых звезд - OB ассоциациями (см., например, [9]). Сходство, связывающее SNe Ib/c и SNe II с HII областями, также предполагает, что и SNe Ib/c и SNe II имели молодых прародителей в том же самом интервале масс (см., например, [8,10]).

Наблюдаемое отношение чисел SNe типа Ib/c и SNe типа II зависит от светимости и от металличности РГ. Отношение  $N_{Ib/c} / N_{II}$  увеличивается по мере роста светимости РГ (см., например, [2]).

Обнаружены различия в распределении SNe в нормальных и активных РГ [11,12]. Радиальное распределение SNe типа Ib/c в их РГ более центрально сконцентрировано, чем SNe типа II. Частота SNe типа Ia, Ib/c и II сильно зависит от показателя цвета ( $B-K$ ) РГ, т.е. от активности звездообразования [13].

Наблюдается связь между свойствами SNe и наклонами их РГ. Частота SNe в РГ морфологического типа Sc-Sd показывает пик в объектах с наклонами  $\sim 25^\circ$  или меньше [14].

Целью настоящей работы является исследование связи интегральных параметров РГ и свойств обнаруженных в них SNe типа Ib/c и II, с помощью которой можно определить природу прародителей SNe Ib/c и SNe II. Настоящее исследование основано на выборке спиральных галактик с лучевыми скоростями  $\leq 10000$  км с<sup>-1</sup>, наклонами диска  $\leq 50^\circ$  и выборке SNe Ib/c и SNe II, обнаруженных в этих галактиках до августа 2006г.

В разделе 2 представлены база данных настоящей работы и методы их обработки. Результаты и обсуждение даны в разделе 3. Заключение представлено в разделе 4. В статье для постоянной Хаббла принято

значение  $H_0 = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ .

2. *База данных и обработка.* Основным источником данных был электронный каталог сверхновых Асиаго, доступный в <http://web.pd.astro.it/supern/> [15]. В указанном каталоге, по возможности, представлены морфологические типы, логарифмы диаметров  $D_{25}$ , лучевые скорости, наклоны дисков, позиционные углы, звездные величины РГ в синем цвете (обычно от RC3 или от базы данных Leda), координаты SNe от центра РГ, типы SNe и т.д. В каталоге основным источником данных о SNe служат Циркуляры MAC. Для данного исследования выбраны только SNe подтипов Ib, Ic, Ib pec, Ic pec как общий тип SNe Ib/c и IIb, IIc, IIcL, IIcL, IIb-L, IIp, IIb-P, II pec как общий тип SNe II. Последняя SNe, включенная в исследование, была SN 2006er (дата открытия 30 августа 2006г.). Отобраны те SNe и их РГ, для которых в каталоге присутствуют следующие данные: (1) координаты SNe от центра РГ; (2) морфологический тип РГ (спиральные); (3) лучевая скорость РГ ( $\leq 10000 \text{ км с}^{-1}$ ); (4) наклон диска РГ; (5) позиционный угол РГ; (6) звездная величина РГ в синем цвете и (7) логарифм диаметра  $D_{25}$  ( $D_{25} = 2R_{25}$ ). Чтобы минимизировать эффекты поглощения и проектирования, РГ с  $i > 50^\circ$  были исключены. В результате от 3618 SNe, обнаруженных до августа 2006г. только 271 SNe в 243 РГ (68 SNe типа Ib/c и 203 SNe типа II) удовлетворяют этим условиям. В каждой из 221 РГ вспыхнули по одной из этих SNe, в каждой из 17 РГ - по две, в каждой из 4 РГ - по три и в одной РГ - четыре SNe. Радиус  $R_{25}$ , используемый в настоящем исследовании, это большая полуось РГ до расстояния с предельной яркостью 25 звездных величин с квадратной секунды дуги. Предполагалось, что все SNe Ib/c и SNe II вспыхивают в плоскостях диска РГ и радиальное расстояние  $R_{sw}$  от центров их РГ было вычислено с учетом наклона плоскости диска.

Источником данных для инфракрасных  $K$  (2.17 мкм) звездных величин РГ был электронный архив 2-х микронного обзора всего неба (2MASS), доступный в <http://irsa.ipac.caltech.edu/>. В этом архиве из 243 РГ только для 208 РГ были известны звездные величины  $K$ . Источником данных для звездных величин 192 РГ (из 243) на длине волны 21 см (1.42 ГГц) была база данных внегалактических объектов HyperLeda, доступная в <http://leda.univ-lyon1.fr/>. В итоге из 271 SNe и их 243 РГ, только для 175 SNe и их 161 РГ были доступны все вышеперечисленные данные.

В работе для определения класса активности РГ использовались данные от базы данных внегалактических объектов NASA/IPAC (NED), доступной в <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>. РГ в выборке считались активными, если 1) их ядра показывали различные уровни активности

(Sy1, Sy1.5, Sy2, LINER, LINER/НII и т.д.) и 2), если есть наличие бурного звездообразования (starburst, НII). Из выборки РГ, 42 (17%) являются активными, а 201 (83%) нормальными. В активных РГ в общей сложности 52 (19%) SNe (19 (7%) SNe Ib/c и 33 (12%) SNe II), в нормальных РГ в общей сложности 219 (81%) SNe (49 (18%) SNe Ib/c и 170 (63%) SNe II).

Для статистической обработки данных были применены методы одномерной и многомерной статистики, в частности, метод Многомерного Факторного Анализа (MFA). Статистический метод MFA используют для того, чтобы обнаружить корреляции среди ряда  $m$  начальных переменных, измеренные на  $n$ -объектах, и линейно независимых факторов  $F_1, F_2, \dots, F_k$  ( $k < m$ ). Главными целями MFA являются: 1) сокращение числа переменных (редукция данных), и 2) определение структуры взаимосвязей между переменными, т.е. классификация или группировка переменных. Этот метод использовался в астрономии несколькими авторами (см., например, [16-19]). Детальное описание метода MFA представлено в [20,21].

В ходе применения MFA целесообразно использовать две выборки начальных переменных. В первой выборке для 271 SNe и их 243 РГ использовались следующие начальные переменные: морфологический тип (Morph: S0 = -2, S0/a = -1, S = 0, Sa = 1, Sab = 2, Sb = 3, Sbc = 4, Sc = 5, Scd = 6, Sd = 7, Sdm = 8); параметр наличия бара (B: 0 - при отсутствии и 1 - при наличии баров в РГ); наклон диска ( $i$ ); абсолютная звездная величина РГ в синем цвете ( $M_B$ ); радиус  $R_{25}$  (кпк); параметр типа SNe (T: 0 - для типа Ib/c и 1 - для типа II); относительное радиальное расстояние  $R_{SN}/R_{25}$  от центра РГ с учетом наклона диска; параметр активности (A/SF: 0 - для нормальных и 1 - для активных РГ). Во второй выборке для 175 SNe и их 161 РГ к вышеперечисленным

Таблица 1

КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПЕРЕМЕННЫМИ И  
РАЗНЫМИ ФАКТОРАМИ ДЛЯ 271 СВЕРХНОВЫХ И ИХ 243  
РОДИТЕЛЬСКИХ ГАЛАКТИК

Переменная	$F_1$	$F_2$	$F_3$
Morph	0.414	0.042	0.396
B	-0.146	-0.025	0.554
$i$	0.093	0.102	0.686
$M_B$	0.899	0.092	-0.047
$R_{25}$ (кпк)	-0.833	0.066	0.082
T	-0.069	0.694	-0.002
$R_{SN}/R_{25}$	0.069	0.705	0.252
A/SF	-0.108	-0.571	0.438
Процент от общей дисп. (%)	21.6	16.6	15.0

переменным добавлены абсолютная звездная величина на длине волны 21 см ( $M_{21}$ ) и показатель цвета ( $B-K$ ) РГ.

3. *Результаты и обсуждение.* В выборке для всех 271 SNe отношение чисел SNe Ib/c и SNe II ( $N_{Ib/c}/N_{II}$ ) равно  $\sim 0.33$ . Теоретическая модель в [22] показывает, что  $N_{Ib/c}/N_{II}$  никогда не превышает  $\sim 0.2$ , что не соответствует наблюдениям (см., например, [2,23]). В [23] находят, что в нормальных галактиках  $N_{Ib/c}/N_{II} \sim 0.27$ , в то время как в [24] утверждается, что один из четырех SNe Ib/c и SNe II принадлежит типу Ib/c, т.е.  $N_{Ib/c}/N_{II} \sim 0.33$ . Эти данные находятся в соответствии с результатом настоящей работы.

В табл.1 представлены коэффициенты корреляции между переменными и разными факторами для 271 SNe и их 243 РГ, полученные согласно первой выборке. Чтобы упростить интерпретацию результатов, использовался особый метод вращения факторов. Этот тип вращения называется вращением, максимизирующим дисперсию (варимакс), так как цель вращения заключается в максимизации дисперсии (изменчивости) переменной (фактора) и минимизации разброса вокруг нее. В этом случае, принимая порог корреляции  $\sim 0.4$  для первого фактора,  $F_1$ , который объясняет  $\sim 21.6\%$  от общей дисперсии, получаем, что он группирует абсолютную звездную величину  $M_p$ , радиус  $R_{25}$  (кпк) и морфологический тип РГ. Эти связи не касаются свойств SNe, но известны в литературе - галактики с более высокими светимостями имеют большие линейные размеры и от галактик морфологического типа S0 к Sdm светимость систематически уменьшается (см., например, [25]). Фактор  $F_2$ , который

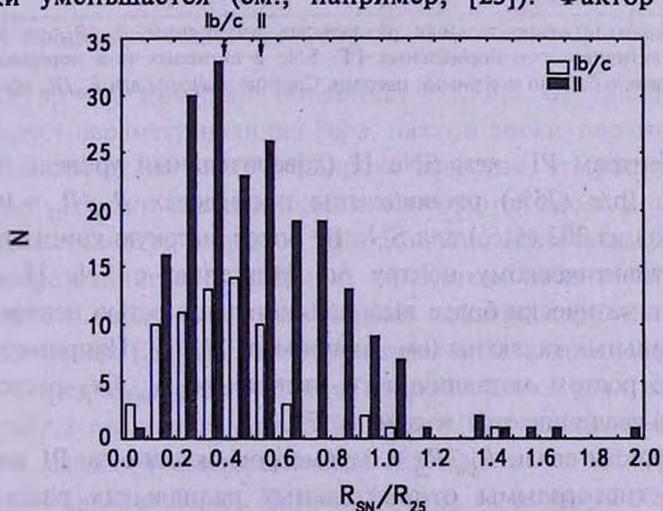


Рис.1. Гистограммы относительных радиальных расстояний  $R_{SN}/R_{25}$  от центров РГ для SNe типа Ib/c и II. На гистограммах SNe Ib/c и SNe II обозначены соответственно белыми и черными цветами. Средние значения для  $R_{SN}/R_{25}$  обозначены стрелками.

объясняет ~16.6% от общей дисперсии, группирует относительное радиальное расстояние  $R_{SN}/R_{25}$ , тип SNe и параметр активности ПГ. Эти связи указывают, что SNe типа II расположены дальше от центра ПГ, чем SNe типа Ib/c. Кроме этого, SNe обоих типов расположены дальше от центра нормальных ПГ по сравнению с SNe в активных ПГ.

Для наглядности связи  $R_{SN}/R_{25}$  с типами SNe Ib/c и SNe II на рис.1 представлены гистограммы относительных радиальных расстояний  $R_{SN}/R_{25}$  от центров ПГ. Средние относительные радиальные расстояния для SNe Ib/c и SNe II равняются, соответственно,  $0.39 \pm 0.04$  ( $N_{Ib/c} = 68$ ) и  $0.54 \pm 0.02$  ( $N_{II} = 203$ ). Это указывает, что SNe Ib/c более сконцент-

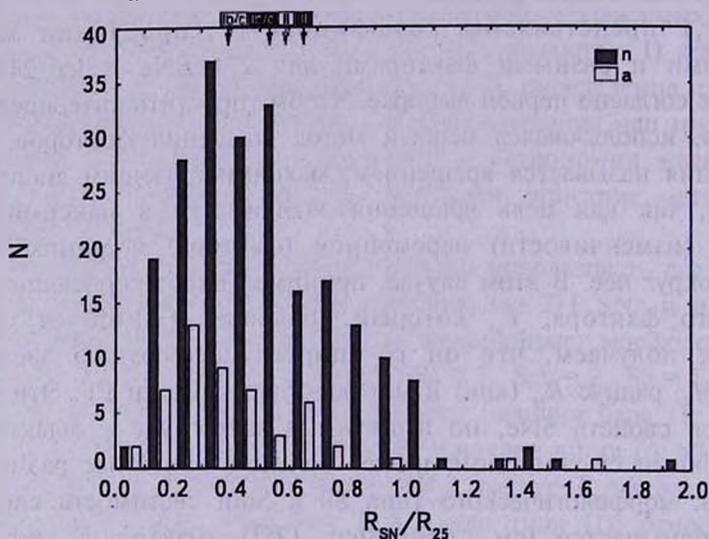


Рис.2. Гистограммы относительных радиальных расстояний  $R_{SN}/R_{25}$  от центров, обнаруженных в активных и в нормальных ПГ. SNe в активных и в нормальных ПГ отмечены соответственно белыми и черными цветами. Средние значения для  $R_{SN}/R_{25}$  обозначены стрелками.

рированы к центрам ПГ, чем SNe II (доверительный уровень 98.9%). 51 из 68 SNe Ib/c (75%) расположены в пределах  $R_{SN}/R_{25} = 0.5$ , по сравнению с 103 из 203 (51%) для SNe II. Более высокую концентрацию SNe Ib/c к галактическому центру по сравнению с SNe II можно объяснить систематически более высокой металличностью центральных областей спиральных галактик (см., например, [2,26]). Например, в [2] находят, что с ростом металличности отношение  $N_{Ib/c}/N_{II}$  растет, т.е. доля SNe Ib/c увеличивается к центру ПГ.

Для наглядности связи  $R_{SN}/R_{25}$  с параметром активности ПГ на рис.2 представлены гистограммы относительных радиальных расстояний  $R_{SN}/R_{25}$  от центров, обнаруженных в активных и в нормальных ПГ. Среднее значение для  $R_{SN}/R_{25}$  в активных и в нормальных ПГ равняется,

соответственно,  $0.42 \pm 0.04$  ( $N_{SN} = 52$ ) и  $0.52 \pm 0.02$  ( $N_{SN} = 219$ ). Это отношение для SNe Ib/c в активных и в нормальных РГ равняется, соответственно,  $0.29 \pm 0.07$  ( $N_{Ib/c}^a = 19$ ) и  $0.43 \pm 0.04$  ( $N_{Ib/c}^n = 49$ ), а для SNe II -  $0.49 \pm 0.05$  ( $N_{II}^a = 33$ ) и  $0.55 \pm 0.02$  ( $N_{II}^n = 170$ ). Более высокую концентрацию SNe к центру активных РГ (доверительный уровень 91.3%), можно объяснить более высокой металличностью центральных областей активных галактик по сравнению с нормальными (см., например, [27]), при этом, этот эффект более силен для SNe Ib/c, чем для SNe II. Например, в [23] находят, что в галактиках Сейферта отношение  $N_{Ib/c}/N_{II} \sim 1$ , т.е. доля SNe Ib/c увеличивается к центру активных РГ быстрее по сравнению с нормальными.

Таблица 2

### КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПЕРЕМЕННЫМИ И РАЗНЫМИ ФАКТОРАМИ ДЛЯ 175 СВЕРХНОВЫХ И ИХ 161 РОДИТЕЛЬСКИХ ГАЛАКТИК

Переменная	$F_1$	$F_2$	$F_3$
Morph	0.003	0.727	-0.151
$B$	0.191	0.081	0.120
$i$	0.092	0.512	0.228
$M_B$	0.818	-0.003	0.013
$R_{25}$ (кпк)	-0.890	-0.086	0.055
$T$	0.040	-0.146	0.653
$R_{SN}/R_{25}$	0.102	0.238	0.756
A/SF	0.140	0.096	-0.443
$M_{21}$	0.878	0.021	-0.142
$B-K$	-0.067	-0.714	0.121
Процент от общей дисп. (%)	23.1	14.0	13.2

Фактор  $F_3$ , который объясняет ~15.0% от общей дисперсии, группирует параметр наличия бара, наклон диска, параметр активности и морфологический тип РГ. Широко известно, что многие физические свойства галактик систематически изменяются вдоль морфологической последовательности типов от S0 к Sdm. Активность ядер и/или бурное звездообразование в спиральных галактиках наблюдается в основном в гигантских галактиках с баром более поздних морфологических типов (см., например, [25]). Кроме этого, галактики поздних морфологических типов в среднем имеют большие наклоны диска (см., например, [28]).

В табл.2 представлены коэффициенты корреляции между переменными и разными факторами для 175 SNe и их 161 РГ, полученные согласно второй выборке. Первый фактор,  $F_1$ , который объясняет ~23.1% от общей дисперсии, группирует абсолютную звездную величину  $M_B$ , радиус  $R_{25}$  (кпк) и абсолютную звездную величину РГ на длине волны

21 см. Отсюда виден другой известный результат, что в гигантских галактиках с высокой светимостью систематически выше содержание нейтрального водорода, излучающего на длине волны 21 см (см., например, [25]). Фактор  $F_2$ , который объясняет ~14.0% от общей дисперсии, группирует морфологический тип, наклон диска и показатель цвета ( $B - K$ ) PГ. Общеизвестно, что от морфологических типов S0 к Sdm цвет галактик становится более синим и, как было отмечено выше, наклон диска галактик увеличивается (см., например, [28]). Фактор  $F_3$ , который объясняет ~13.2% от общей дисперсии, группирует переменные примерно так, как фактор  $F_2$  в первой выборке.

4. *Заключение.* В настоящей работе исследована связь свойств SNe типа Ib/c и II с интегральными параметрами их родительских галактик. Получены следующие основные результаты:

- SNe типа Ib/c более сильно сконцентрированы к центру галактик, чем SNe типа II. Это находится в согласии с высокой металличностью центральных областей галактик.

- Радиальное распределение SNe типа Ib/c и II в активных галактиках показывает более высокую концентрацию к центру, чем в нормальных галактиках. Этот эффект более силен для SNe Ib/c, чем для SNe II, и является признаком высокого уровня звездообразования в окооядерных областях активных галактик.

Полученные данные совместимы с широко принятыми представлениями, что прародители SNe типа Ib/c и II связаны с молодым звездным населением галактик (см., например, [23,29]).

В работе использовались данные из каталога сверхновых Асиаго, базы данных внегалактических объектов Лион-Медон (HyperLeda), поддержанная группой LEDA в обсерватории CRAL в Лионе, архива инфракрасных данных NASA/IPAC и базы данных внегалактических объектов NASA/IPAC (NED), которым управляет Лаборатория реактивного движения, Калифорнийский технологический институт, согласно контракту с Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность А.Р.Петросяну за его предложения и критические комментарии, которые существенно улучшили статью. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Французского Правительства.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,  
Армения, e-mail: hakatur@rambler.ru

THE STATISTICAL INVESTIGATION OF TYPE Ib/c, II  
SUPERNOVAE AND THEIR HOST GALAXIES

А.А.НАКОВЯН

Statistical investigation of properties of supernovae type Ib/c and II and integral parameters of their spiral host galaxies is presented. The methods of one-dimensional and multivariate statistics have been applied to the constructed sample. It is concluded that: SNe type Ib/c are more concentrated to the center of the galaxies than SNe type II; both types of SNe are more concentrated to the center of active galaxies than in the normal ones. In comparison with SNe type II this effect is stronger for SNe Ib/c.

Key words: *supernovae:spiral galaxies:activity:star-formation:progenitors*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *M.Livio*, in *Supernovae and Gamma-Ray Bursts*, ed. M.Livio, N.Panagia, K.Sahu, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 334, 2001.
2. *N.Prantzos, S.Boisser*, *Astron. Astrophys.*, **406**, 259, 2003.
3. *M.Turatto*, "Classification of Supernovae", in *Supernovae and Gamma-Ray Bursters*, edited by K.Weiler, 2003, vol. 598 of *Lecture Notes in Physics*, Berlin Springer Verlag, pp.21-36.
4. *A.Pastorello, S.J.Smartt, S.Mattila et al.*, *Nature*, **447**, 829, 2007.
5. *A.V.Filippenko*, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, eds. W.Hillebrandt, B.Leibundgut, Berlin, Springer, p171, 2003.
6. *M.Turatto, S.Benetti, A.Pastorello*, in *Supernova 1987A: 20 Years After: Supernovae and Gamma-Ray Bursters*, New York, [astro-ph/0706.1086], 2007.
7. *S. van den Bergh, W.Li, A.V.Filippenko*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **117**, 773, 2005.
8. *O.S.Barnutov, D.Yu.Tsvetkov, I.V.Filimonova*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **106**, 1276, 1994.
9. *D.Yu.Tsvetkov, S.I.Blinnikov, N.N.Pavlyuk*, *Astron. Lett.*, **27**, 411, 2001.
10. *S.D. Van Dyk, M.Hamuy, A.V.Filippenko*, *Astron. J.*, **111**, 2017, 1996.
11. *M.Turatto, E.Cappellaro, A.R.Petrosian*, *Astron. Astrophys.*, **217**, 79, 1989.
12. *A.Petrosian, H.Navasardyan, E.Cappellaro et al.*, *Astron. J.*, **129**, 1369, 2005.
13. *F.Mannucci, M.Della Valle, N.Panagia et al.*, *Astron. Astrophys.*, **433**, 807, 2005.
14. *S. van den Bergh, R.D.McClure*, *Astrophys. J.*, **359**, 277, 1990.
15. *R.Barbon, V.Buondi, E.Cappellaro, M.Turatto*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **139**, 531, 1999.
16. *B.C.Whitmore*, *Astrophys. J.*, **278**, 61, 1984.

17. *J.P.Vader*, *Astrophys. J.*, **306**, 390, 1986.
18. *A.R.Petrosian, M.Turatto*, *Astron. Astrophys.*, **297**, 49, 1995.
19. *H.Navasardyan, A.R.Petrosian, M.Turatto, E.Cappellaro, J.Boulesteix*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **328**, 1181, 2001.
20. *H.H.Harman*, *Modern Factor Analysis*, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1967.
21. *A.A.Afifi, P.S.Azen*, *Statistical Analysis: A Computer Oriented Approach*. Academic Press, Chicago, 1979.
22. *A.Heger, C.L.Fryer, S.E.Woosley, N.Langer, D.H.Hartmann*, *Astrophys. J.*, **591**, 288, 2003a.
23. *A.Bressan, M.Della Valle, P.Marziani*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **331**, L25, 2002.
24. *М.Натиу*, in *Core Collapse of Massive Stars*, [astro-ph/0301006], 2003.
25. *Э.В.Кононович, В.И.Мороз*, *Общий курс астрономии*, Едиториал УРСС, М., 2004.
26. *S. van den Bergh*, *Astron. J.*, **113**, 197, 1997.
27. *R.B.C.Henry, G.Worthey*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **111**, 919, 1999.
28. *Q.Yuan, Ch.Zhu*, *Chinese Astron. Astrophys.*, **28**, 127, 2004.
29. *S.D. Van Dyk, W.D.Li, A.V.Filippenko*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **115**, 1, 2003.