

УДК: 524.74-76

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК С ПЕРЕМЫЧКОЙ. III. СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИКА SB И SA ГАЛАКТИК В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

Р.А.КАНДАЛЯН, А.Т.КАЛЛОГЛЯН

Поступила 1 мая 1998

Сопоставлены характеристики галактик с перемычкой и без перемычки в инфракрасном диапазоне, используя для этой цели составленные нами две полные выборки. Полученные данные показывают, что звездообразовательный процесс более активно протекает в галактиках с перемычкой, чем в галактиках без перемычки, что естественно считать следствием присутствия самой перемычки.

1. *Введение.* В части II этой серии [1], на основе составленного нами Каталога галактик с перемычкой [2], были представлены характеристики SB-галактик в оптике и проведено сопоставление полученных данных с аналогичными характеристиками для галактик без перемычки. При этом был использован также составленный нами список галактик без перемычки, содержащий около 450 объектов.

В [1] было установлено, что по ряду параметров и свойств, как, например, по активности ядер и степени концентрации в группах, галактики с перемычкой и без перемычки почти не отличаются друг от друга. Однако процесс звездообразования, по-видимому, более эффективно протекает в галактиках с перемычкой. Имея это в виду, в настоящей работе мы исследуем особенности обоих типов галактик в инфракрасной области спектра, поскольку именно в этой области более целесообразно исследование вопросов звездообразования в галактиках. Здесь обычно используются отношение светимостей в инфракрасной и оптической областях $L_{\text{FIR}}/L_{\text{B}}$ и отношения плотности потоков S на длинах волн 12, 25, 60 и 100 μm [3].

Разные авторы используют различные вариации инфракрасных показателей цвета. Так, Пакслей и др. [4] считают, что галактики с $\lg(S_{12}/S_{25}) < -0.35$ содержат области звездообразования. Эскридж и Погге [5] допускают, что значение $\lg(S_{60}/S_{100}) \approx -0.35$ является тем пределом, выше которого значительная часть далекого инфракрасного излучения обусловлена звездообразованием. В [6] авторы считают, что отношение S_{25}/S_{100} является наилучшим параметром для выявления следов недавнего

звздообразования. Найдено, что в нормальных галактиках это отношение в среднем равняется -1.30 , между тем для лайнеров и вспышек звездообразования оно соответственно равно -1.15 и -0.75 .

Хуанг и др. [3] используют отношение $\lg(S_{25}/S_{12})$. В этой работе авторы показали, что яркие в инфракрасной области SB-галактики в среднем имеют значительно более высокие значения отношений L_{FIR}/L_B и S_{25}/S_{12} , чем галактики без перемычки. При этом этот эффект более нагляден в случае сопоставления инфракрасных цветов. К тому же, по данным авторов, указанный эффект более ярко выражается у ранних типов SB-галактик (в подтипах SB0/a - SBbc), а в промежуточном типе SAB - не наблюдается вовсе. С другой стороны, для галактик с $L_{\text{FIR}}/L_B < 0.1$, это же отношение ниже в случае галактик с перемычкой, чем без перемычки.

В работе [7] Мартине и Фридли исследовали выборку из 32 невзаимодействующих галактик с перемычкой и пришли, в частности, к выводу, что все галактики, показывающие высокую активность звездообразования, имеют мощные и более длинные перемычки. Однако не все подобные перемычки содействуют активному звездообразованию. С другой стороны, в галактиках со слабыми и короткими перемычками не наблюдается заметной активности звездообразования. Заметим, что в работе [7] за индикатор активности звездообразования использовано отношение $\lg(S_{25}/S_{100})$.

Влияние перемычки обнаруживается также в распределении НII-областей вдоль перемычек и в околядерных областях галактик с перемычкой [8,9]. Мартин и Рой [8] различают три типа SB-галактик: галактики, в которых НII-области сосредоточены в перемычках, наблюдаются как в перемычках, так и в околядерных областях и, наконец, встречаются, в основном, в ядерных или околядерных областях.

Таким образом, имеющиеся данные свидетельствуют о важной роли перемычек в звездообразовательной активности галактик. Однако отметим, что имеется и противоположная точка зрения, и дискуссия по вопросу о роли перемычек в звездообразовательном процессе продолжается.

В настоящей статье приводятся результаты статистического анализа данных в инфракрасной области спектра как для галактик с перемычкой из Каталога [2], так и для галактик без перемычки из составленного нами списка (не опубликован).

2. *Использованные данные.* Каталог [2] содержит 690 галактик с перемычкой типов SB и SAB с $B_T \leq 13''.5$ и $\delta \geq -10^\circ$. До этой звездной величины Каталог является полным. В нем приводятся данные, определенные в оптических лучах, в том числе морфологические подтипы

и классы активности. Из приведенных в Каталоге данных в настоящей работе использованы интегральные звездные величины B_T , радиальные скорости V_r для определения светимостей и морфологические подтипы галактик.

Потоки в инфракрасных лучах на волнах 12, 25, 60 и 100 μm брались из каталогов IRAS. При этом были вычислены инфракрасные светимости L_{FIR} по следующей формуле:

$$\lg L_{\text{FIR}} = 5.595 + 2\lg D + \lg(2.58 S_{60} + S_{100}),$$

где S_{60} и S_{100} - плотность потоков на 60 μm и 100 μm в Янских, D - расстояние в Мпк.

Оптические светимости L_B были вычислены по формуле:

$$\lg L_B = 12.164 + 2\lg D - 0.4 B_T^*.$$

При вычислении обеих светимостей для постоянной Хаббла принято значение $H = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$. Значения светимостей приведены в единицах солнечной светимости.

Помимо отношения L_{FIR}/L_B , мы вычислили также отношения плотности потоков S_{12}/S_{25} и S_{60}/S_{100} .

Перечисленные параметры были определены для галактик с перемычкой из Каталога [2] и для галактик без перемычки из составленного нами списка, содержащего около 450 объектов с $B_T \leq 13^m.5$ и $\delta \geq +30^\circ$.

Использованная нами выборка галактик совершенно отличается от той, которая использована Хуангом и др. [3]. У этих авторов выборка галактик с перемычкой включает те из них, для которых плотность потока на 60 μm больше или равняется 5.4 Ян, т.е. заведомо являются яркими в инфракрасной области.

3. *Результаты статистики.* Для начала мы построили распределение галактик с перемычкой по параметру L_{FIR}/L_B . На рис.1 это распределение приводится в логарифмической шкале. Приведенная кривая представляет нормальное распределение. В построении

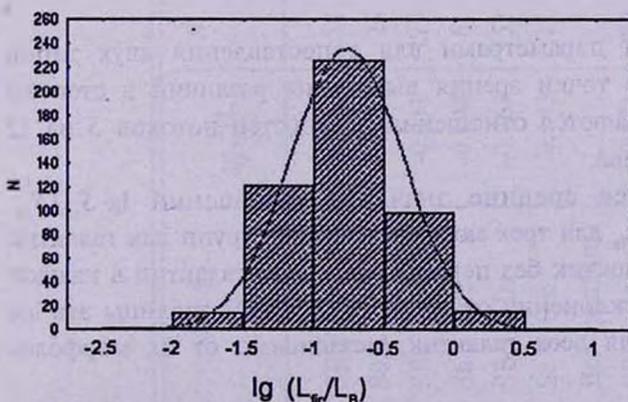


Рис.1. Распределение галактик с перемычкой по отношению L_{FIR}/L_B . Кривая представляет нормальное распределение.

гистограммы использованы 477 галактик с перемычкой. Как видно из рисунка, гистограмма хорошо аппроксимируется кривой нормального распределения.

Функция светимости в инфракрасной области была построена как для галактик с перемычкой, так и для галактик без перемычки. На рис.2 по оси абсцисс отложены логарифмы светимостей на волне $60 \mu\text{m}$, а по оси ординат - логарифм пространственной плотности галактик в единичном интервале звездных величин. Функция FIR светимости

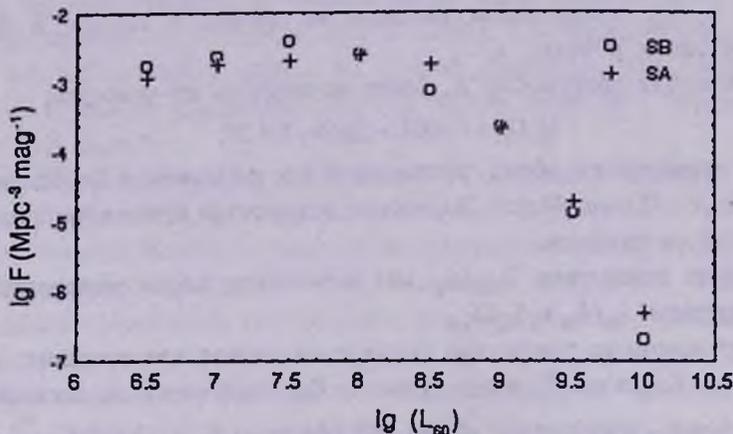


Рис.2. Инфракрасная функция светимости галактик с перемычкой (кружки) и без перемычки (крестики).

была вычислена с использованием оптической функции светимости [1].

Из рис.2 видно, что нет каких-либо различий между функциями светимости галактик с перемычкой и без перемычки. Напомним, что в работе [1] были получены некоторые различия в функциях светимости двух выборок в оптике.

Не были получены различия также в распределениях по L_{FIR}/L_B для галактик с перемычкой и без перемычки (в данной работе эти кривые не приводятся).

Более подходящими параметрами для сопоставления двух типов спиральных галактик, с точки зрения выявления различий в степени формирования звезд, являются отношения плотностей потоков S на 12 и $25 \mu\text{m}$ и на 60 и $100 \mu\text{m}$.

В табл.1 приводятся средние значения отношений $\lg S_{12}/S_{25}$, $\lg S_{60}/S_{100}$, $\lg L_{\text{FIR}}/L_B$ и $\lg L_{\text{FIR}}$ для трех морфологических групп как галактик с перемычкой, так и галактик без перемычки, число галактик в каждой группе и стандартные отклонения от среднего. В конце таблицы эти же величины приведены для всех галактик, независимо от их морфологических подтипов.

Таблица 1

ДАННЫЕ СТАТИСТИКИ

Морф. тип	$\lg \frac{S_{12}}{S_{25}}$	N	σ_n	$\lg \frac{S_{60}}{S_{100}}$	N	σ_n	$\lg \frac{L_{FIR}}{L_B}$	N	σ_n	$\lg L_{FIR}$	N	σ_n
SB0/a - SBa	-0.310	58	0.033	-0.404	94	0.019	-0.724	94	0.051	9.442	94	0.079
S0/a - Sa	-0.206	26	0.037	-0.438	45	0.026	-0.658	45	0.078	9.425	45	0.102
SBb - SBc?	-0.211	179	0.014	-0.464	252	0.009	-0.697	251	0.023	9.701	251	0.036
Sb - Sc?	-0.144	61	0.019	-0.501	93	0.018	-0.682	93	0.036	9.696	93	0.067
SBc - Iгг	-0.267	52	0.033	-0.433	132	0.011	-0.939	132	0.032	8.887	132	0.060
Sc - Sm	-0.143	11	0.039	-0.504	25	0.027	-0.951	25	0.087	8.937	25	0.177
Все подтипы												
SB + SAB	-0.241	289	0.013	-0.443	478	0.007	-0.769	477	0.019	9.425	477	0.034
SA	-0.161	98	0.016	-0.484	163	0.013	-0.717	163	0.033	9.504	163	0.058

Из данных табл.1 видно, что во всех морфологических группах для галактик с перемычкой отношение S_{17}/S_{25} меньше, а отношение S_{60}/S_{100} - больше, чем для галактик без перемычки. Это свидетельствует о том, что звездообразовательная активность в галактиках с перемычкой выражена сильнее. Отметим также, что при рассмотрении всех морфологических подтипов вместе, отношение L_{FIR}/L_B меньше у галактик с перемычкой, однако это различие незначимо.

Для иллюстрации на рис.3 приведено распределение галактик ранних подтипов по параметру $\lg S_{17}/S_{25}$. По оси ординат отложены кумулятивные доли галактик в процентах.

Как видим из рис.3, галактики с перемычкой довольно сильно отличаются от галактик без перемычки. Отметим, что это утверждение справедливо и для поздних морфологических подтипов. В отличие от этого, по параметру $\lg S_{60}/S_{100}$ галактики с перемычкой отличаются от

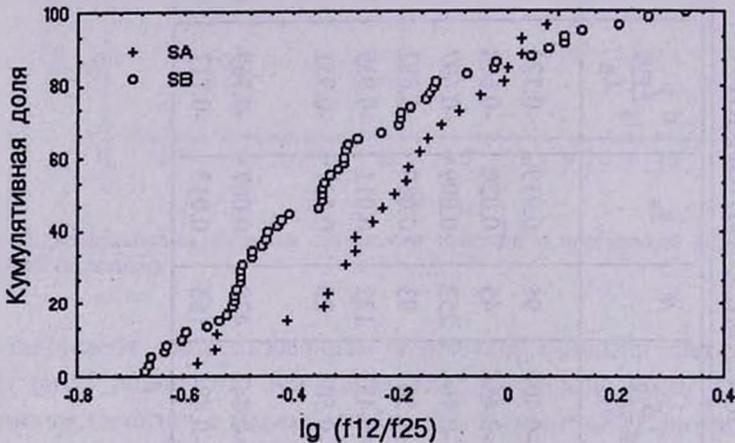


Рис.3. Кумулятивное распределение ранних типов ($0 = T \leq 2$) галактик с перемычкой (кружки) и без перемычки (крестики) по параметру $\lg S_{17}/S_{25}$.

галактик без перемычки только в более поздних, чем Sc подтипах (рис.4).

На рис.5 приводится зависимость между $\lg S_{12}/S_{25}$ и $\lg S_{60}/S_{100}$ для галактик с перемычкой и без перемычки. Эти зависимости хорошо аппроксимируются отрезками прямых, уравнения которых, полученные методом наименьших квадратов, следующие:

$$\lg S_{12}/S_{25} = -0.60 - 1.04 \lg S_{60}/S_{100} \quad \text{для SB-галактик,} \\ \pm 0.04$$

$$\lg S_{12}/S_{25} = -0.50 - 0.82 \lg S_{60}/S_{100} \quad \text{для SA-галактик.} \\ \pm 0.07$$

Различие в угловых коэффициентах прямых значимо на уровне < 0.01 .

Таким образом, имеется определенное различие между SB- и SA-галактиками на диаграммах зависимостей $\lg S_{17}/S_{25}$ и $\lg S_{60}/S_{100}$.

Теперь рассмотрим поведение галактик с перемычкой разных морфоло-

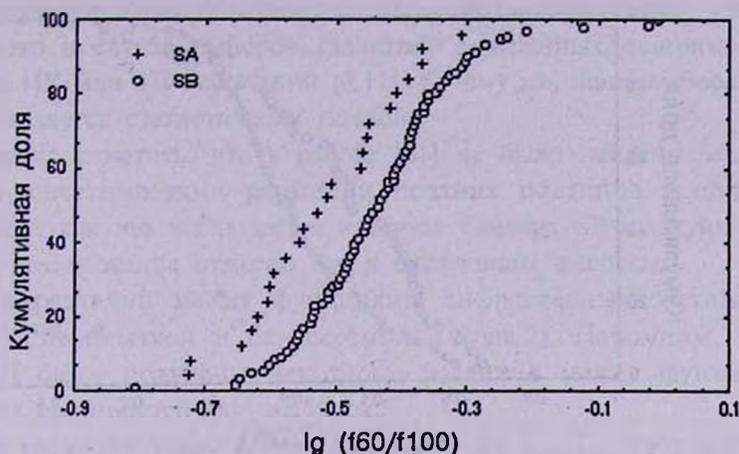


Рис.4. Кумулятивное распределение по параметру $\lg S_{60}/S_{100}$ для поздних типов ($5 < T \leq 10$) галактик с перемычкой (кружки) и без перемычки (крестики).

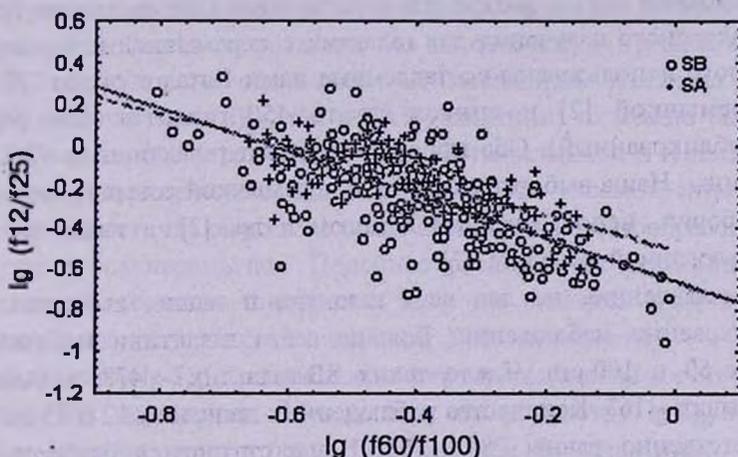


Рис.5. Зависимость $\lg S_{12}/S_{25}$ от $\lg S_{60}/S_{100}$ для галактик с перемычкой и без перемычки. Представлены также линии регрессии (сплошная - SB, пунктирная - SA).

гических подтипов. На рис.6 приведено распределение галактик с перемычкой по параметру $\lg S_{12}/S_{25}$ для ранних и средних подтипов. Как видим, галактики средних подтипов более активны по звездообразованию, чем галактики ранних подтипов (см. также табл.1). Это различие в распределениях наблюдается также по параметру $\lg S_{60}/S_{100}$.

4. *Обсуждение.* Как было сказано во Введении, есть веские аргументы в пользу связи активности звездообразования с наличием перемычки в галактиках. Более того, активность звездообразования по некоторым данным зависит также от морфологии самих перемычек, от, так называемой, мощности и относительной длины перемычки [7].

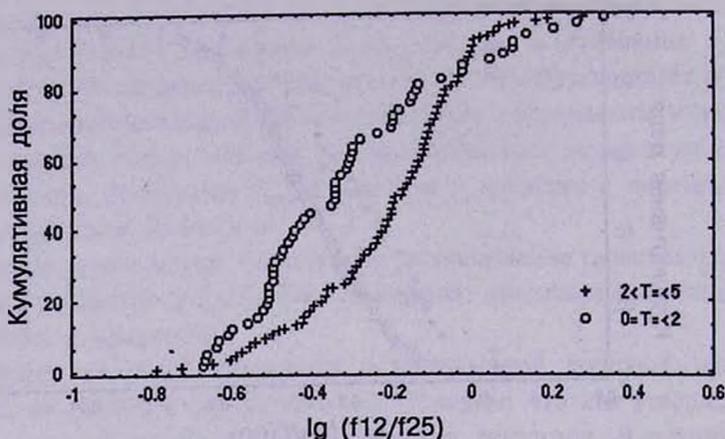


Рис.6. Кумулятивное распределение галактик с перемычкой по $\lg S_D/S_B$. Кружки соответствуют ранним типам ($0 = T \leq 2$), крестики - промежуточным типам ($2 < T \leq 5$).

Основной целью настоящей работы было сопоставление параметров инфракрасного излучения для галактик с перемычкой и без перемычки. Для этого использованы составленные нами Каталог около 700 галактик с перемычкой [2] и список около 450 галактик без перемычки (неопубликованный). Обе выборки содержат галактики до 13.5 звездной величины. Наша выборка галактик с перемычкой совершенно отличается от выборки, использованной Хуангом и др. [3], а также от выборки, использованной в работе [7].

К сожалению, не для всех галактик в наших выборках имеются инфракрасные наблюдения. Больше всего галактики наблюдались на волнах 60 и 100 μm . Число таких SB-галактик - 478, а галактик без перемычки - 163. Количество наблюдаемых на волнах 12 и 25 μm галактик соответственно равны 289 и 98. Наша статистика основана на этих данных.

Во Введении отмечалось, что, согласно [3], влияние перемычки на процесс звездообразования более ярко выражается у ранних типов (до SBbc). Такой же результат получен в работе [10] на основе данных наблюдений в линии H_α . По нашим же данным, SB-галактики более активны по темпу звездообразования, чем галактики без перемычки во всех подтипах. Следует также отметить, что, согласно [10], поздние подтипы SB-галактик все же более активны по темпу звездообразования, чем галактики без перемычки тех же подтипов. Однако значимость этого различия невелика.

Нам кажется, что результаты нашей работы, а также данные работы [10] более точно отражают свойства галактик с перемычкой, так как обе выборки составлены на основе оптических данных и не смещены в

сторону экстремальных объектов по темпу звездообразования, как это имеет место в случае выборок галактик, отобранных, например, по мощности ИК или УФ излучений [3,11]. К тому же, наша выборка SB-галактик является статистически полной.

Интересно отметить, что в работе [11] не было найдено различие между H_α -свестимостями ранних и поздних подтипов галактик с перемычкой, как это наблюдается в случае близких SB-галактик [10].

Наше исследование привело нас к следующим выводам.

1. Нет различий между функциями инфракрасных светимостей галактик с перемычкой и без перемычки (рис.2). Напомним, что в работе [1] были получены некоторые различия между функциями оптических светимостей двух выборок.

2. Нет различий также в распределениях по L_{FIR}/L_B . Этот результат мог быть интерпретирован тем, что это отношение не является удобным параметром для исследования активности звездообразования. Однако, согласно Хуангу и др. [3], по этому же параметру галактики с перемычкой существенно отличаются от галактик без перемычки, а промежуточные типы SAB, наоборот, не отличаются от последних. Поскольку наш Каталог [2] включает как SB-, так и SAB-галактики, то можно было бы подумать, что имеющиеся различия между SB-галактиками и галактиками без перемычки вуалируются. Однако раздельное рассмотрение SAB-галактик показывает, что они также более активны по звездообразанию, чем галактики без перемычки. Подобное расхождение результатов по SAB-галактикам, вероятно, связано с тем, что выборка Хуанга и др. [3] заведомо включает галактики высокой FIR светимости.

3. По параметру $\lg S_{12}/S_{25}$ галактики с перемычкой сильно отличаются от галактик без перемычки. Между тем, по параметру $\lg S_{60}/S_{100}$ это различие замечается лишь в более поздних, чем Sc галактиках.

В зависимости между $\lg S_{12}/S_{25}$ и $\lg S_{60}/S_{100}$ имеется определенное различие между двумя выборками галактик. Наблюдаемое различие в угловых коэффициентах, значимое на уровне < 0.01 , показывает, что зависимость является более крутой для галактик с перемычкой.

4. Среди SB-галактик объекты средних подтипов более активны по звездообразанию, чем объекты ранних подтипов.

Таким образом, по полученным в настоящей работе данным имеются определенные различия между инфракрасными показателями цвета галактик с перемычкой и без перемычки. Полученные различия свидетельствуют о том, что процесс звездообразования протекает более активно в галактиках с перемычкой. Естественно думать, что этому содействует наличие самой перемычки.

В следующих работах этой серии мы рассмотрим радио, рентгеновские и близкого ИК свойства галактик с перемычкой.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения

INVESTIGATION OF BARRED GALAXIES. III. A COMPARATIVE STATISTICS OF SB AND SA GALAXIES IN INFRARED

R.A.KANDALYAN, A.T.KALLOGHLYAN

The infrared characteristics of galaxies with and without bars have been compared in two complete samples compiled by authors. The obtained results show that the star forming activity is higher in barred galaxies rather than in galaxies without bars. This result should simply be a consequence of existence of the bars themselves.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Т.Каллоглян, Р.А.Кандалян, *Астрофизика*, 41, 185, 1998.
2. Р.А.Кандалян, А.Т.Каллоглян, *Астрофизика*, 41, 5, 1998.
3. J.H.Huang, Q.S.Gu, H.J.Su, T.G.Hawarden, X.H.Liao, G.X.Wu, *Astron. Astrophys.*, 313, 13, 1996.
4. P.J.Puxley, T.G.Hawarden, C.M.Mountain, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 231, 465, 1988.
5. P.B.Eskridge, R.W.Pogge, *Astron. J.*, 101, 2056, 1991.
6. D.Dultzin-Nacyan, J.Masegosa, M.Moles, *Astron. Astrophys.*, 238, 28, 1990.
7. L.Martinet, D.Friedli, *Astron. Astrophys.*, 323, 363, 1997.
8. P.Martin, J.-R. Roy, *Astrophys. J.*, 445, 161, 1995.
9. P.Martin, D.Friedli, *Astron. Astrophys.*, 326, 449, 1997.
10. L.C.Хо, A.V.Filippenko, W.L.W.Sargent, *Astrophys. J.*, 487, 591, 1997.
11. T.Contini, S.Considere, E.Davoust, *Astron. Astrophys.*, Suppl. 130, №2, 1998.