

УДК: 524.45

## СТРУКТУРА СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК А 999, А 1016 И А 1142

Е.Г.НИКОГОСЯН

Поступила 24 сентября 1999

Принята к печати 1 ноября 1999

Исследуется иерархическая структура скоплений галактик А999, А1016 и А1142, входящих в одно сверхскопление. С помощью метода NTee определено, что скопления А999 и А1016 представляют собой единую, динамически связанную систему, состоящую из двух «ядер» и общего поля галактик. В состав «ядер» входят практически все Е и S0 галактики, функция светимости которых очень близка к гауссовской. Установлено также, что скопление А1142 как по распределению плотности, так и по радиальной скорости имеет неоднородную структуру. Расположение максимумов плотности и распределения радиальной скорости коррелируется с галактиками, которые являются источниками радио и рентгеновского излучения.

1. *Введение.* Еще Эйблом было отмечено, что скопления неравномерно распределены на небесной сфере и образуют сверхскопления [1]. В дальнейшем, используя 2D корреляционную функцию, ряд авторов подтвердили данное предположение [2-6]. Применение 3D-мерной корреляционной функции подтвердило этот результат с еще большей достоверностью [7-9].

В частности, используя предшествующие работы, авторы статей [10-12] с большой вероятностью определили, что 4 скопления: А999 ( $z=0.0318$ ), А1016 ( $z=0.0321$ ), А1139 ( $z=0.0388$ ) и А1142 ( $z=0.0353$ ) образуют одно сверхскопление. Причем, скопления А999 и А1016 находятся в непосредственной близости друг от друга. Проекционное расстояние между их эйбловскими центрами меньше  $1^\circ$ .

М.Вест и др. [13], на примере 7 богатых скоплений, обратили внимание на тот факт, что взаимное расположение подструктур в скоплении связано с направлением до ближайшего соседнего скопления. Аналогичную структуру имеет также сверхскопление Coma [14].

Сами скопления, как показывают исследования, по «клочковатому» распределению поверхностной плотности, распределению радиальной плотности и мультипиковой структуре рентгеновского излучения, далеки от состояния динамического равновесия [15].

Современные исследования показывают, что ~50% скоплений имеют мультикомпонентную структуру [13,16,17], причем с ростом числа данных и развитием техники исследования структуры скоплений, этот процент растет

[18]. Особенно хорошо исследованы «богатые» скопления [17]. Применение статистических методов к «бедным» скоплениям затруднено из-за немногочисленности членов. Однако подструктура обнаружена и у них [19].

Данная работа состоит из двух частей. В первой части (во втором разделе) работы исследуется иерархическая структура скоплений A999 и A1016 по отдельности, затем эта система рассматривается как одно «сверхскопление». Во второй части (в третьем разделе) рассматривается структура скопления A1142.

К сожалению, малочисленность данных (лишь 11 галактик определены как члены скопления) не позволяет применить статистические методы к скоплению A1139.

## 2. Скопления галактик A999 и A1016. 2.1. Общие данные.

Скопления галактик A999 и A1016 по внешнему виду классифицированы как «линейные» скопления [20]. По Баутцу и Моргану для A999 определен тип I-III [20].

В работе [21] приводятся оптические данные: координаты за 1950г., позиционные углы,  $R$  звездные величины и радиальные скорости для 36 (A999) и 40 (A1016) галактик, расположенных в области с радиусом  $30'$  вокруг эйбловских центров каждого из скоплений. Центры скоплений A999 и A1016 имеют координаты  $\alpha = 10^{\text{h}} 20^{\text{m}} 46^{\text{s}}$ ;  $\delta = 13^{\circ} 13'$  и  $\alpha = 10^{\text{h}} 24^{\text{m}} 25^{\text{s}}$ ;  $\delta = 11^{\circ} 17'$  соответственно. Выборка для скопления A999 полная до звездной величины  $R = 16.2$  и до  $R = 15.5$  для A1016.

Авторами работы [21] определено, что из общего числа галактик членами скоплений A999 и A1016 являются только 20 и 22 соответственно, для которых:  $R^* = 14.0$ ,  $\langle V_r \rangle = 9700$  км/с,  $sd = 261$  км/с (A999) и  $R^* = 14.5$ ,  $\langle V_r \rangle = 9820$  км/с,  $sd = 251$  км/с (A1016). Авторы получили, что A999 в отличие от A1016 имеет сферическую, а не линейную структуру. Ни у одной из галактик из списка не обнаружено аномального радио или рентгеновского излучений. Однако в непосредственной близости от рассматриваемой области A999, в зоне, в которой отсутствует полнота выборки оптических данных, расположена IRAS 10232+1257 галактика, которая является радио и рентгеновским источником с радиальной скоростью 9731 км/с [22].

## 2.2. Иерархическая структура скоплений A999 и A1016.

В [21] авторы высказывают предположение, что скопления A999 и A1016 динамически связаны и образуют небольшое сверхскопление.

Для проверки этого предположения автором настоящей статьи используется иерархический кластерный метод (НТгее), описанный в работе [23]. Этот метод сортирует объекты (в данном случае галактики) в зависимости от их энергии связанности, которая представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий. Такой анализ был последовательно применен к каждому скоплению отдельно, затем к двум вместе.

2.2.а. *Исследование структуры скоплений галактик A999 и A1016 по отдельности.* НТгее-метод применен к 36 и 40 галактикам скоплений A999 и A1016, соответственно, из работы [21], для которых определены как радиальная скорость, так и звездная величина.

По результатам кластерного анализа для скопления A999 можно сделать следующее заключение:

- 21 галактика определена как член скопления, радиальная скорость имеет диапазон от 8890 до 10200 км/с;

- система имеет «ядро» из 6 членов (эти галактики имеют самый высокий уровень связанности) и содержит «триплет» галактик.

В табл.1 приводятся средние радиальные скорости и их дисперсии для всего скопления и его подгрупп.

Таблица 1

### НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК A999 И A1016

Скопление	A999			A1016
	Все скопление	Ядро	Триплет	Все скопление
Число членов	21	6	3	22
$\langle V_r \rangle$ (км/с)	9637	9555	9580	9666
$sd$ (км/с)	309	276	216	251

В работе [21] диапазон лучевой скорости начинается с 9300 км/с и в результате для 20 членов  $\langle V_r \rangle$  больше, а ее дисперсия меньше. С другой стороны, в работе [24] лучевые скорости для 24 галактик, определенных как члены скопления, находятся в интервале от 7600 до 10200 км/с, в результате  $\langle V_r \rangle = 9568$  км/с и ее дисперсия намного больше  $sd = 404$  км/с. Те три галактики (спирали, по своему морфологическому типу), которые не вошли в нашу выборку, на дендограмме кластерного анализа имеют низкий уровень связанности со скоплением в целом.

Скопление A1016, в отличие от A999, не имеет никакой подструктуры. Оно содержит 22 галактики в интервале радиальной скорости от 9100 до 10200 км/с. Средняя лучевая скорость и ее дисперсия представлены в табл.1. Отметим, что средние радиальные скорости двух скоплений практически одинаковы, дисперсия A999 несколько больше, чем у A1016, что, по-видимому, обусловлено наличием подструктуры.

По распределению плотности радиальной скорости, построенной с помощью «wavelet» анализа [25], оба скопления далеки от равновесного состояния.

На рис. 1 представлено распределение локальной плотности скоплений, определенной по методу Дресслера [26]. Как видно по рисунку, распределение локальной плотности в скоплении A999 имеет вытянутость, направленную к A1016. Два слабовыраженных пика по координатам

совпадают с «ядром» и «триплетом». Отметим также, что «ядро» расположено не в центре скопления, а на периферии, в направлении скопления A1016.

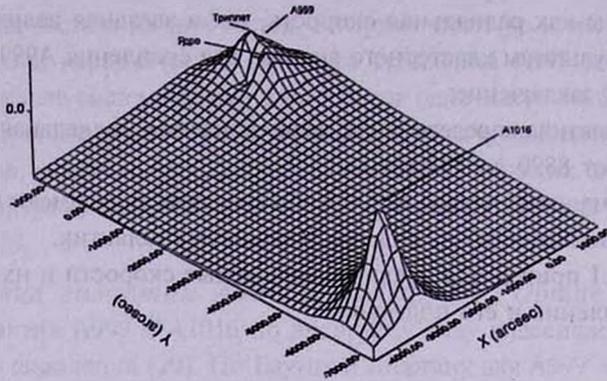


Рис.1. Распределения локальной плотности в скоплениях галактик A999 и A1016.

В работе [27] проводилось исследование профиля плотности скоплений по предложенной Кингом формуле [28]:

$$\sigma(r) = \sigma_0 \left[ 1 + (r/R_c)^2 \right]^{-\alpha},$$

которая, как известно, соответствует гидростатическому, изотермическому случаю. В работе [27] получено, что скопление A999, при  $R_c = 0.13$  Мпк, соответствует модели Кинга лишь с вероятностью 17%. Для A1016, при  $R_c = 0.08$  Мпк, вероятность больше, ~50%.

Дискретную структуру имеет и профиль дисперсии радиальной скорости (ПДРС) скопления A999, представленный в работе [29], в то время как ПДРС A1016 возрастает до радиуса ~300кпк, затем остается постоянным вдоль всего радиуса скопления.

**2.2.6. Иерархическая структура «сверхскопления» A999+A1016.** По дендограмме иерархической структуры скоплений A999+A1016, построенной по методу NTree [23], можно заключить следующее: система содержит две основные подгруппы, в которые входят:

- галактики скопления A1016, которые в дальнейшем будут называться группой A1016;
- галактики скопления A999, группа A999.

Эти группы представляют собой два «ядра» сверхскопления, с примыкающим к ним общим полем галактик, в которое входят как члены скопления A999, так и A1016. В дальнейшем эта группа будет называться «общей».

В качестве примера можно привести дендограмму скопления A151, представленную в работе [23], которая имеет ту же структуру (две основные подгруппы + общие галактики), что и в нашем случае. Проведем параллель между системой A999+A1016 и бимодальными скоплениями A548, A1631,

A2151, A3716 в работе [30], у которых разница между средними радиальными скоростями каждой подсистемы больше, чем 1000 км/с. Возможно предположить, что в последнем случае подсистемы расположены вдоль луча зрения на определенном расстоянии друг от друга.

В табл.2 представлены средние радиальные скорости и их дисперсии для всей системы в целом, для групп A999 и A1016 и для «общей» группы. Отметим, что средняя радиальная скорость группы A999, куда входят «ядро» и «триплет» этого скопления, несколько отличается от средних радиальных скоростей группы A1016 и «общей» группы.

Таблица 2

## НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ «СВЕРХСКОПЛЕНИЯ» A999+A1016

Система	Все галактики	A1016	A999	«Общая» группа
Число членов	43	16	12	15
$\langle V \rangle$ (км/с)	9662	9699	9562	9702
$sd$ (км/с)	276	232	213	354

2.2.в. *Функция светимости и распределение галактик различных морфологических типов в «сверхскоплении» A999+A1016.* На рис.2 представлена функция светимости для групп A999, A1016 и для «общей» группы. Обратим внимание на тот факт, что в «ядра» системы

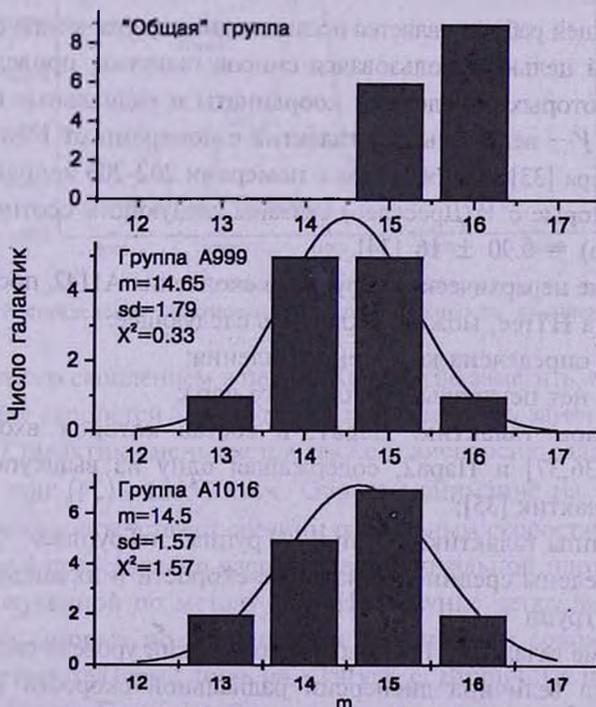


Рис.2. Функция светимости галактик «ядер» A999 и A1016 и «общей» группы

входят все яркие галактики до 14.5 звездной величины и практически отсутствуют объекты слабее 15.5. Важно отметить, что функция светимости «ядер» очень хорошо коррелирует с гауссовским распределением.

Наблюдается также различие в распределении галактик различных морфологических типов в подгруппах. Если в обоих скоплениях содержится 10-Е, 7-*S*0 и 26-*S* галактик, то в группы А999 и А1016 входят 8-Е, 6-*S*0 и 14-*S*, т.е. почти все эллиптические и линзовидные галактики входят в «ядра» системы.

3. Скопление галактик А1142. 3.1. Общие данные. Эйблловский центр скопления галактик А1142 (Zw 058.6+10149) имеет координаты  $\alpha = 10^{\text{h}} 58^{\text{m}}.3$ ,  $\delta = 10^{\circ}49'$ , класс богатства 0 [31] и тип *c*7 [32]. По морфологии галактик этот объект относится к богатому спиралями [33].

В работе [34] приводится список 67 галактик, локализованных в области с площадью  $\sim 2$  кв.градусов вокруг центра с координатами  $\alpha = 10^{\text{h}} 57^{\text{m}}.9$ ,  $\delta = 10^{\circ}47'$ , что отстоит от центра, определенного Эйбллом, на  $16'$ . Для объектов с  $V < 16.5$  выборка полная. Скопление имеет интенсивное рентгеновское излучение [35], источником которого являются две сейфертовские галактики. Одна галактика является довольно мощным радиоисточником [36,37].

3.2. Структура скопления А1142. В работе [38] показано, что с вероятностью  $\sim 90\%$  в скоплении присутствуют три подгруппы. С другой стороны, авторы работы [34] утверждают, что это лишь результат наложения фоновых галактик.

Задачей настоящей работы является исследование иерархической структуры скопления. С этой целью использовался список галактик, приведенный в работе [34], для которых определены координаты и радиальные скорости. Всего 64 объекта.  $V$  – величины для галактик с номерами от 1 до 70 взяты из работы Дресслера [33], для объектов с номерами 202-206 использовались величины  $m_{2\sigma}$ , которые с  $V$  (Дресслер) связаны следующим соотношением:  $m_{2\sigma} - V$  (Дресслер) =  $0.90 \pm 16$  [34].

По дендограмме иерархической структуры скопления А1142, построенной с помощью метода НТее, можно заключить следующее:

- 41 галактика определена как член скопления;
- в скоплении нет центрального плотного ядра;
- есть две пары галактик: Пара1, в состав которой входит Е/Д радиогалактика [36,37] и Пара2, содержащая одну из вышеупомянутых сейфертовских галактик [35];
- есть три группы галактик: Группа1, Группа2 и Группа3.

В табл.3 приведены средние радиальные скорости и их дисперсии для вышеозначенных групп.

На дендограмме галактики Группы3 имеют низкий уровень связанности, достаточно велика величина дисперсии радиальной скорости и среднее межгалактическое расстояние между членами группы. Скорее всего, она не

Таблица 3

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОПЛЕНИЯ  
ГАЛАКТИК A1142

Система	Число членов	$\langle V_r \rangle$ (км/с)	$sd$ (км/с)
Пара1	2	10985	21
Пара2	2	10335	121
Группа1	4	10705	65
Группа2	3	9848	488
Группа3	3	12136	693
Все скопление	41	10603	720

является динамически связанным триплетом. По всей видимости, объединяет их в одну подгруппу низкий уровень связанности со скоплением в целом.

На рис.3 представлено распределение плотности радиальной скорости, построенной по методу [25], для двух случаев: 1 - для 41 галактики и 2 - для 37 членов скопления. Те 4 объекта (Группа3 + 1 галактика), которые исключены в последнем случае, на дендограмме имеют низкий уровень

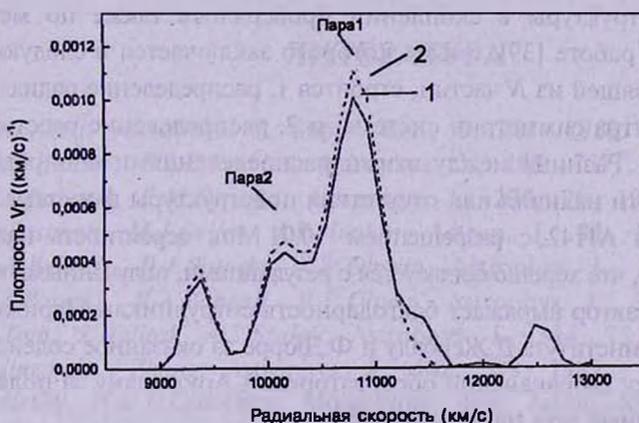


Рис.3. Распределение плотности радиальной скорости скопления галактик A1142.

связанности со скоплением в целом. Как можно заметить, в области больших радиальных скоростей между двумя кривыми есть заметная разница. Для данных 37 галактик уменьшается также и дисперсия радиальной скорости 554 км/с, при  $\langle V_r \rangle = 10455$  км/с. Обратим внимание на тот факт, что два пика графика соответствуют средним радиальным скоростям Пары1 и Пары2.

На рис.4 представлено распределение локальной плотности скопления A1142, полученной по методу [33]. На рисунке четко выражено два таха, первый из которых по координатам практически совпадает с Парой1, а другой отстает от Пары2 лишь на  $\sim 250$  угл. с. Вторичные пики расположены также в области Групп 1 и 2.

Как видим, скопление A1142 имеет неоднородную структуру как по распределению плотности, так и по радиальной скорости. В вышеупомянутой работе [27], где для 90 скоплений проводилось исследование профиля плотности по формуле Кинга [28], было показано, что скопление A1142 очень далеко от изотермического и гидростатического состояний.

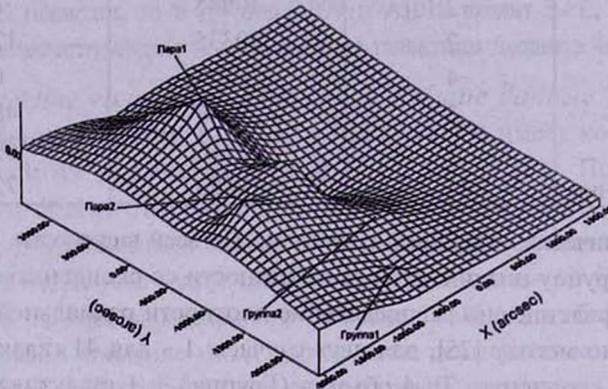


Рис.4. Распределение локальной плотности в скоплении галактик A1142.

Наличие подструктуры в скоплении проверялось также по методу, предложенному в работе [39], смысл которого заключается в следующем: для системы, состоящей из  $N$  частиц, строится 1. распределение радиальных расстояний от центра симметрии системы и 2. распределение расстояний между частицами. Разница между этими распределениями и определяет степень вероятности наличия или отсутствия подструктуры в системе.

Для скопления A1142 с разрешением  $\sim 0.01$  Мпк вероятность наличия подструктуры  $>98\%$ , что хорошо согласуется с результатами, полученными выше.

В заключение автор выражает благодарность сотрудникам Парижского астрофизического института Д.Жербалу и Ф.Дюрре за оказанное содействие, а также сотруднику Бюраканской обсерватории А.Арутюняну за полезные замечания, сделанные при написании статьи.

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

THE STRUCTURE OF THE CLUSTERS OF GALAXIES  
A 999, A 1016 AND A 1142

E.H.NIKOGOSSIAN

In the present paper the hierarchical structure of clusters of galaxies A999, A1016 and A1142, included in the same supercluster is investigated. With the help of a method HTree is determined, that the clusters A999 and A1016 represent uniform, dynamically connected system consisting of two "nuclei" and a common field of galaxies. Structure of "nuclei" includes practically all of E and S0 galaxies, and their luminosity function is very close to gauss distribution. It was determined also, that the cluster A1142 both for distribution of density, and radial velocity has non-uniform structure. The location of maximum of density and peaks of distribution of radial velocities are correlated with galaxies, possessing radio and X-ray radiation.

## ЛИТЕРАТУРА

1. G.O.Abell, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **3**, 211, 1958.
2. M.G.Hauser, P.J.E.Peebles, *Astrophys. J.*, **185**, 757, 1973.
3. N.A.Bahcall, R.M.Soneria, *Astrophys. J.*, **270**, 20, 1983.
4. M.Postman, M.J.Geller, J.P.Huchra, *Astron. J.*, **91**, 1267, 1986.
5. N.A.Bahcall, D.J.Batuski, R.P.Olowin, *Astrophys. J.*, **333**, L13, 1988.
6. D.J.Batuski, N.A.Bahcall, R.P.Oliwin, *Astrophys. J.*, **341**, 599, 1989.
7. G.Toth, J.Hollosi, A.S.Szalay, *Astrophys. J.*, **344**, 75, 1989.
8. Y.Jingand, J.Zhang, *Astrophys. J.*, **342**, 639, 1989.
9. C.McGill, H.M.D.Couchman, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **236**, 51, 1989.
10. A.Cappi, S.Maurogordato, *Astron. Astrophys.*, **259**, 423, 1992.
11. D.J.Batuski, J.O.Burns, H.V.Newberry, et al, *Astron. J.*, **101**, 1983, 1991.
12. M.Postman, J.P.Huchra, M.J.Geller, *Astrophys. J.*, **384**, 423, 1992.
13. M.J.West, C.Jones, W.Forman, *Astrophys. J.*, **451**, L5, 1995.
14. D.S.Gerbal, F.Durret, E.H.Nikogossian et al, in «A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices», 1997, p.50.
15. J.R.Kreissler, T.C.Beers, *Astron. J.*, **113**, 80, 1997.
16. C.Bird, *Astron. J.*, **107**, 1637, 1994.
17. E.Escalera, A.Biviano, M.Girardi et al, *Astrophys. J.*, **423**, 539, 1994.
18. B.Maccagni, M.Girardi, D.Fadda, *Astrophys. J.*, **482**, 41, 1997.
19. E.Nikogossian, F.Durret, D.Gerbal et al, *Astron. Astrophys.*, **349**, 97, 1999.
20. M.F.Struble, C.Fiadas, *Astron. J.*, **108**, 1, 1994.
21. G.N.F.Chapman, M.J.Geller, J.P.Huchra, *Astron. J.*, **94**, 571, 1987.

22. *M.P.Haynes, R.Giovanelli, et. al*, *Astron. J.*, **113**, 1197, 1997.
23. *A.Serna, D.Gerbal*, *Astron. Astrophys.*, **309**, 65, 1996.
24. *A.I.Zabludoff, J.P.Huchra, M.Geller*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **74**, 1, 1990.
25. *D.Fadda, E.Slezak, A.Biviano*, *Astron. Astrophys.*, **127**, 335, 1998.
26. *A.Dressler*, *Astrophys. J.*, **236**, 351, 1980.
27. *M.Girardi, A.Biviano, G.Giuricin et al*, *Astrophys. J.*, **438**, 527, 1995.
28. *I.R.King*, *Astron. J.*, **67**, 471, 1962.
29. *D.Fadda, M.Girardi, G.Giuricin et al*, *Astrophys. J.*, **473**, 670, 1996.
30. *E.Escalera, A.Biviano, M.Girardi et al*, *Astrophys. J.*, **423**, 539, 1994.
31. *G.O.Abell, H.G.Corwin, H.P.Olowin*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **70**, 1989.
32. *M.E.Struble, H.J.Rood*, *Astron. J.*, **87**, 7, 1982.
33. *A.Dressler*, *Astroph. J. Suppj. Ser.*, **42**, 565, 1980.
34. *M.J.Geller, T.C.Beers, G.D.Bathum et al*, *Astron. J.*, **89**, 319, 1984.
35. *D.A.White, C.Jones, W.Forman*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **292**, 419, 1997.
36. *M.J.Ledlow, F.N.Owen*, *Astron. J.*, **109**, 853, 1995.
37. *F.N.Owen, M.J.Ledlow*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **108**, 41, 1995.
38. *J.R.Kreissler, T.C.Beers*, *Astron. J.*, **113**, 80, 1997.
39. *E.Salvador-Sole, M.Sanroma, G.Gonzalez-Casado*, *Astrophys. J.*, **402**, 398, 1993