

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 10

ФЕВРАЛЬ, 1974

ВЫПУСК 1

О РАДИОИЗЛУЧЕНИИ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

Г. М. ТОВМАСЯН, М. С. ШИРБАКЯН

Поступила 3 ноября 1973

Показано, что радиоизлучение в 6—7 раз более часто наблюдается от тех скоплений галактик, в составе которых имеются выделяющиеся по яркости галактики типов сD, компактные, пекулярные или тесные двойные, по сравнению с теми скоплениями, в составе которых или нет выделяющихся по яркости галактик, или же таковыми являются обычные эллиптические галактики. В первой группе скоплений галактик радиоизлучателями являются галактики указанных типов, в которых радиоизлучающая фаза длится в течение приблизительно 2/3 их жизни. Показано также, что процент радиоизлучающих скоплений галактик увеличивается с ростом количества членов скоплений. По своей радиосветимости обнаруженные радионисточники относятся к слабым радиогалактикам.

В работе [1] было показано, что присутствие в скоплении галактик доминирующей по яркости галактики, главным образом типа сD или компактной, занимающей центральное положение в скоплении, в 2—3 раза повышает вероятность обнаружения радиоизлучения от данного скопления. Выводы [1] основаны на просмотре на картах Паломарского атласа 136 скоплений галактик из каталога Эйбелла [2]. Все 136 скоплений галактик, находящихся на приблизительно одинаковом расстоянии от нас (они относятся к 5-й группе расстояний каталога Эйбелла), были наблюдаемы на частоте 1420 МГц одним радиотелескопом, и радиоизлучение с плотностью потока, превышающей 0.2 ед. потока (1 ед. потока = 10^{-26} ватт м⁻² ц⁻¹), было обнаружено от 26 из них [3].

В настоящее время имеется более обширный и однородный материал, охватывающий наблюдения 355 скоплений галактик той же 5-й группы расстояний. Результаты наблюдений 111 скоплений галактик опубликованы в [4], а результаты наблюдений остальных 244

скоплений галактик были любезно предоставлены в наше распоряжение до их опубликования Ф. Оуэном. Все 355 скоплений галактик наблюдаются на частоте 1400 МГц с помощью радиотелескопа НРАО в Грин Бэнке (США) с диаметром в 91.4 м. Радиоизлучение с плотностью потока, превышающей 0.1 ед. потока , обнаружено от 95 из них. Как и ранее, полагалось, что обнаруженный радиоисточник отождествляется с соответствующим скоплением галактик, если он находится в пределах $5'$ от центра скопления.

Все 355 скоплений галактик были просмотрены на картах Паломарского атласа с целью выявления в скоплениях каких-либо признаков, связанных с наличием у них радиоизлучения. Результаты просмотра показали следующее.

Из 95 скоплений галактик, от которых было обнаружено радиоизлучение, в 59 скоплениях, т. е. в 63% случаев имеется или доминирующая по яркости сверхгигантская галактика типа D, или же одна из двух-трех выделяющихся по яркости галактик скопления относится к типу cD или является компактной типа N, или же является тесной двойной, нередко заключенной в общую оболочку, или пекулярной эллиптической галактикой (пекулярность часто выражается наличием отростков, выбросов, неравномерным распределением яркости). Среди остальных же 37% скоплений галактик с радиоизлучением в трех скоплениях имеется доминирующая по яркости обычная эллиптическая галактика, в шести скоплениях имеются две-три выделяющиеся по яркости эллиптические галактики, а в 27 скоплениях вообще нет выделяющихся по яркости членов.

Следовательно, можно сделать вывод, что среди скоплений галактик с радиоизлучением в два-три раза более часто встречаются такие скопления, которые содержат в своем составе яркую галактику одного из указанных выше типов (cD, тесная двойная или пекулярная).

Большой интерес представляет, однако, рассмотрение не только тех групп скоплений галактик, от которых обнаружено радиоизлучение, но и тех, от которых радиоизлучение не обнаружено. Ведь и те, и другие скопления галактик находятся от нас практически на одинаковом расстоянии, и в этом случае наличие или отсутствие радиоизлучения от них является их объективной характеристикой. Среди 355 скоплений галактик имелось 27 таких, т. е. всего около 8% , у которых в центральной области находится доминирующая по яркости сверхгигантская галактика типа D. В своей классификации скоплений галактик Баутц и Морган [5] отнесли такие скопления к типу I. От 18 таких скоплений было обнаружено радиоизлучение. Следовательно,

67% скоплений галактик со сверхгигантской D-галактикой в центре имеют измеримое радиоизлучение.

В четырех скоплениях были обнаружены доминирующие по яркости компактные галактики, напоминающие галактики типа N. Радиоизлучение обнаружено от двух из них, т. е. 50% таких скоплений обладает радиоизлучением.

51 скопление, т. е. около 14% из исследованных, имеет в своем составе или яркую тесную двойную галактику, нередко в общей оболочке, или яркую галактику, обладающую какой-либо пекулярностью, или же две-три, заметно более яркие, чем остальные члены скопления, галактики, одна из которых является галактикой указанных выше типов. Радиоизлучением обладают 39, т. е. 76% таких скоплений галактик.

Положение заметным образом меняется при переходе к скоплениям галактик, в которых нет доминирующих по яркости галактик типов cD, компактных, двойных или пекулярных галактик. Так, среди исследованных 355 скоплений галактик имеется 33 ($\sim 9\%$) таких, в которых доминирующей по яркости галактикой является одна обычная эллиптическая галактика, и из них радиоизлучение обнаружено только у трех скоплений, т. е. всего в 9% случаев.

В 45 скоплениях галактик (15%) имеются две-три выделяющиеся, примерно равные по яркости, E-галактики. Радиоизлучением из них обладают 6, т. е. только 13% скоплений галактик.

Наиболее многочисленными среди исследованных скоплений галактик являются такие, в которых нет доминирующей яркой галактики и в которых имеется довольно плавное уменьшение яркости от ярких членов к слабым (тип III по Баутц и Моргану [5]). Такими являются 195, т. е. 55% из 355 скоплений галактик. И лишь в положении 27 таких скоплений галактик, т. е. у 14% из них были обнаружены радиоисточники.

Здесь следует иметь в виду и то, что какое-то количество обнаруженных радиоисточников могло лишь случайным образом оказаться в положении рассмотренных скоплений галактик. В работе [4] показано, что математическое ожидание случайного проектирования радиоисточника с плотностью потока, превышающей 0.1 ед. потока, на центральную область (диаметром в $10'$) скопления галактик равно 1 при наблюдении примерно 22 скоплений галактик.

В группе галактик с доминирующей cD-галактикой из 18 отождествлений ложными могут быть один-два отождествления. И небезинтересно заметить, что только в одном случае (A 2245) из 18 обнаруженный в центральной области скопления радиоисточник не отождествляется с доминирующей cD-галактикой этого скопления. В 17 случаях радиоисточник, в пределах ошибок определения его координат,

нат (обычно порядка $1'-2'$), непосредственно отождествляется с соответствующей сD-галактикой. В случае немногочисленной группы скоплений галактик с доминирующей компактной галактикой оба радиоисточника отождествляются с компактными галактиками в соответствующих скоплениях. Математическое ожидание числа случайного совпадения положений радиоисточников и скоплений галактик в группе скоплений галактик с пекулярной, тесной двойной, сD- или компактной галактикой равно 3. В этой группе скоплений галактик из 39 радиоисточников с конкретными яркими членами скоплений не отождествляются 4 (A 705, 1863, 1939 и 2559). В двух случаях (A 1066, 1684) в этой группе скоплений радиоизлучающими являются две яркие галактики. В группе скоплений с доминирующими E-галактиками в положении исследованных 33 скоплений случайным образом могут оказаться один-два радиоисточника. Из обнаруженных трех радиоисточников один (A 2345) не отождествляется с доминирующей E-галактикой скопления. В группе скоплений галактик с 2—3 яркими эллиптическими галактиками в двух случаях (A 1517, 1852) из шести радиоисточники не отождествляются ни с одним из двух-трех ярких членов скопления, а математическое ожидание числа случайного совпадения положений радиоисточников и скоплений галактик равно именно 2.

Такое поразительное совпадение во всех рассмотренных группах скоплений галактик математического ожидания случайной ассоциации радиоисточников и скоплений галактик с числом случаев, когда радиоисточник, обнаруженный в центральной области скопления, не отождествляется с наиболее ярким или одним из наиболее ярких членов скопления, рассматриваемым как возможный радиоизлучатель в данном скоплении, не является, очевидно, случайным.

В группе скоплений галактик без выделяющихся по яркости членов трудно указать галактику, которая может быть вероятным радиоизлучателем соответствующего скопления. Здесь на центральные области скоплений галактик могли случайно быть спроектированными 9 радиоисточников, т. е. треть отождествлений в этой группе галактик может быть ложной.

Недавно Баутц [6] классифицировала некоторые скопления галактик из каталога Эйбелла. В ее списке имеется 6 скоплений галактик (A 750, 1437, 1940, 1990, 2100 и 2694), просмотренных также и нами. В пяти случаях тип скоплений галактик, определенных Баутц, совпадает с нашим описанием. Только в случае A 1940 имеется некоторое расхождение. Это скопление отнесено Баутц к типу II (по Баутц и Моргану), причем не уверенно, и в пояснении сказано, что в области скопления имеются 4 очень яркие эллиптические галактики,

принадлежащие, по всей вероятности, фону. Нами же это скопление было отнесено к скоплениям с доминирующей по яркости сверхгигантской D-галактикой, что означает, что скопление относится к типу I. Дополнительный просмотр скопления показал, что сD- галактика, с которой отождествляется радиоисточник, находится в области центрального сгущения скопления, тогда как остальные три компактные эллиптические галактики, по всей видимости, как и полагает Баутц, не связаны со скоплением А 1940 и составляют более близкую группировку галактик. Таким образом, скопление А 1940 скорее всего принадлежит типу I.

Сводка полученных нами результатов приведена в табл. 1. В строке, представляющей количества скоплений галактик различных групп с обнаруженным радиоизлучением, в скобках приведены математические ожидания случайного проектирования радиоисточников на скопления в соответствующей группе.

Отношения N_r/N для каждой группы рассчитаны с вычетом математического ожидания из числа скоплений галактик с обнаруженным радиоизлучением.

Таким образом, радиоизлучение встречается около 7—8 раз чаще в тех скоплениях галактик, в составе которых имеется яркая тесная двойная, пекулярная, сD или компактная галактика, по сравнению с теми скоплениями, в которых доминирующей является обычная E-галактика или нет выделяющихся по яркости членов.

Следовательно, по одному лишь виду скопления, в зависимости от того, есть ли в нем выделяющиеся по яркости галактики указанных выше типов или нет, с большой степенью вероятности можно заключить о наличии радиоизлучения у данного скопления.

При этом радиоизлучателем скопления является, по всей вероятности, именно наиболее яркая галактика скопления, занимающая в нем центральное положение, или одна из двух-трех ярких галактик. На это указывает также и то обстоятельство, что, за редкими исключениями, радиоисточники, обнаруженные в положении скоплений галактик, являются неразрешенными по наблюдениям с диаграммой направленности радиотелескопа, равной $10'$. Это означает, что диаметры радиоисточников не превышают 2—3 угловых минут, тогда как диаметры исследованных скоплений этой группы расстояний равны в среднем $25'$. Следовательно, как это указано в [4], наблюдаемое от скопления радиоизлучение является не суммарным излучением всех или многих членов скопления, а скорее всего исходит от какой-либо

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСМОТРА ИССЛЕДОВАННЫХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

	Скопления галактик с доминирующей по яркости cD-галактикой	Скопления галактик с доминирующей по яркости компактной галактикой	Скопления галактик с 2—3 яркими членами, один из которых является тесной двойной, пекулярной, cD- или компактной галактикой	Скопления галактик с доминирующей по яркости E-галактикой	Скопления галактик с несколькими яркими E-галактиками	Скопления галактик без выделяющихся по яркости членов	Всего
Количество (N) скоплений галактик	27	4	51	33	45	195	355
	82			273			
Количество (N_r) скоплений галактик с радиоизлучением	18(1-2)	2(0)	39(3)	3(1-2)	6(2)	27(9)	95 (16)
	59(4-5)			36(12-13)			
N_r/N (%)	63	50	70	10	9	9	22
	67			9			

одной галактики скопления. Из того обстоятельства, что радиоизлучение наблюдается от приблизительно 70% скоплений галактик с выделяющимися по яркости галактиками типов cD, компактных, тесных двойных и пекулярных, и что радиоизлучателями являются именно эти галактики, следует, что *радиоизлучающая фаза у таких галактик длится в течение большей части их жизни (около 2/3)*. Если же не все галактики проходят радиоизлучающую фазу, то последняя у галактик с радиоизлучением может длиться дольше. Подчеркнем, что выше речь идет о той части жизни галактики, в течение которой галактика является компактной или тесной двойной или пекулярной, или же относится к типу cD. И поскольку обычно радиоизлучение галактики связано с активностью ее ядра, то это означает, что галактики указанных типов обладают довольно активными ядрами.

Длительность радиоизлучающей фазы у галактик в скоплениях галактик с яркими эллиптическими галактиками или без выдающихся по яркости членов составляет не менее 10% времени их жизни.

Тот факт, что все обнаруженные радиоисточники находятся на одинаковом расстоянии от нас, позволяет провести сравнение между мощностью радиоизлучения различных радиоизлучателей в скоплениях галактик. Средняя плотность потока для скоплений, в которых имеются яркие галактики типа cD, компактные, пекулярные или тесные двойные, равна 0.36 со среднеквадратичной дисперсией в 0.38. Средняя же плотность потока для остальных скоплений без выдающихся членов лишь незначительно уступает первой группе скоплений и равна 0.29 со среднеквадратичной дисперсией в 0.20. Следовательно, хотя радиоизлучение встречается в первой группе скоплений галактик заметно более часто по сравнению со второй группой, мощности радиоизлучения у них в среднем практически одинаковы. Это лишний раз подтверждает, что радиоизлучение галактики связано с ее ядром, активность которого может проявиться иногда и в ничем с виду не примечательной галактике.

Радиосветимость обнаруженных радиоисточников в среднем приблизительно равна $10^{25} \text{ ватт } \mu\text{--}^1$ на 1400 $M\mu$, что вообще характерно для радиогалактик невысокой радиосветимости, таких, как NGC 4486. Радиосветимости рассчитаны при постоянной Хаббла, равной 75 км/сек Мпс, и среднем значении красного смещения для скоплений галактик пятой группы расстояний, приведенном в [2].

Ранее, на основе сравнения пространственных плотностей ярких эллиптических галактик и радиогалактик, Шмидт [7] рассмотрел вопрос времени радиожизни радиогалактик. Согласно Шмидту, длительность радиоизлучающей фазы радиогалактик сильно зависит от мощности радиоизлучения: время жизни радиоизлучения уменьшается

приблизительно на порядок с ростом на порядок мощности радиоизлучения. Поскольку по нашим данным длительность радиоизлучения у ничем не выделяющихся галактик скоплений типа III может быть почти на порядок (7—8 раз) меньше, чем у ярчайших галактик типов cD или компактных, пекулярных и тесных двойных галактик с даже несколько более мощным радиоизлучением, то мы можем заключить, что длительность радиоизлучающей фазы радиогалактик не зависит от мощности их радиоизлучения. Но вполне возможно, что не во всех скоплениях галактик с ничем не примечательными яркими эллиптическими галактиками или же вообще не содержащими в своем составе выдающихся по яркости членов должны появиться в процессе их эволюции радиогалактики. Тогда длительность радиоизлучающей фазы у радиогалактик, имеющих только у небольшой части таких скоплений, может быть больше. И можно, по-видимому, считать, что радиоизлучение у радиогалактик не эпизодическое явление, а присуще им в течение почти всей их жизни, что согласуется с выводами Шмидта для слабых радиогалактик.

В работе [4] на основе наблюдений 111 скоплений галактик был замечен некоторый небольшой рост процента радиоизлучающих скоплений галактик в зависимости от количества членов скоплений. Однако, поскольку в третьей группе богатства было всего 3 скопления галактик, причем во всех трех были обнаружены радиоисточники, а в первых двух группах различие процента радиоизлучающих галактик было небольшое, то был сделан вывод об отсутствии определенной зависимости наличия у скопления радиоизлучения от количества его членов.

Таблица 2

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВА РАДИОИЗЛУЧАЮЩИХ СКОПЛЕНИЙ
ГАЛАКТИК В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ БОГАТСТВА

Группа богатства	0 (34—49 галактик)	1 (50—79 галактик)	2 (80—129 галактик)	3 (130—199 галактик)	4 (200—299 галактик)
N_r — число скоплений галактик с радиоизлучением	25	51	15	3	1
N_{nr} — число скоплений без радиоизлучения	82	145	28	5	—
$\frac{N_r}{N_r + N_{nr}}$ (%)	23	26	35	38	100

Здесь у нас есть возможность проверить это заключение, поскольку имеются данные по наблюдениям 355 скоплений галактик. В табл. 2 приведены количества скоплений галактик с радиоизлучением и без такового по различным группам богатства. Рассмотрение таблицы указывает, что *относительное количество скоплений галактик с радиоизлучением растет в зависимости от количества членов скоплений*. И, независимо от количества членов скопления, ответственной за радиоизлучение в скоплении, как мы видели, является обычно одна центральная яркая галактика скопления. Этот факт связан, по-видимому, с космогонической активностью центральной яркой, радиоизлучающей галактики скопления.

В заключение авторы выражают признательность академику В. А. Амбарцумяну за полезное обсуждение результатов работы и Ф. Оуэну за предоставление результатов наблюдений скоплений галактик до их публикации.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON RADIO EMISSION OF CLUSTERS OF GALAXIES

H. M. TOVMASSIAN, M. S. SHIRBAKIAN

It has been shown that radio emission occurs from 6 to 7 times more often in clusters of galaxies which contain bright galaxies of cD-type or compact, peculiar or close double galaxies in comparison with clusters which do not contain outstanding bright galaxies or when bright galaxies are usually ellipticals. In the first group of clusters of galaxies the radio emitters are galaxies of the mentioned types, the radio emitting phase of which lasts for about $2/3$ of their lives. It has also been shown that the percentage of radio emitting clusters of galaxies increases with the number of cluster members. Radio luminosities of detected radio sources are of the order of weak radio galaxies.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г. М. Товмасын, Р. Г. Мнацаканян. Сообщ. Бюраканской обс., 40, 46, 1969.
2. G. O. Abell, Ap. J. Suppl., 3, 211, 1958.
3. H. M. Tovmassian, I. G. Moiseev, Austr. J. Phys., 20, 715, 1967.
4. Г. М. Товмасын, Астрофизика, 9, 177, 1973.
5. L. P. Bautz, W. W. Morgan, Ap. J., 162, L149, 1970.
6. L. P. Bautz, A. J., 77, 1, 1972.
7. М. Шмидт, в сб. „Нестационарные явления в галактиках“, АН Арм.ССР, 1968, стр. 169; Ap. J., 146, 7, 1966.