АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 2 ДЕКАБРЬ, 1966 ВЫПУСК 4

О ЗАВИСИМОСТИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИК С ПЕРЕМЫЧКОЙ ОТ ВИДА ИХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ

Г. М. ТОВМАСЯН

Поступила 24 июня 1966

Сравнение результатов радио и оптического исследований 98 галактик с перемычкой показало, что интенсивное радиоизлучение имеет место в тех случаях, когда в галактиках имеются звездообразные ядра или когда в центральной части галактик имеются следы взрывных процессов.

Исследование центральных областей галактик с перемычкой (SB) показало, что имеются большие различия в их внешнем виде, так же как в яркости и резкости ядер [1 — 3]. Эти свойства центральных областей в известной степени коррелированы с морфологическим подтипом галактики. Оказалось, что в некоторых галактиках подтипов SBa и SBb, а иногда и SBc существуют довольно яркие, так называемые звездообразные ядра, которые по бюраканской классификации оцениваются баллами 5 и 4. Обычно же у большинства галактик SBa и SBb яркость *непрерывно* растет при приближении к центру, где и достигает максимума. Интересно, что такая ситуация имеется в центральной части всех исследованных нами галактик подтипа SB0. Все такие галактики оцениваются баллом 3. Если в этих галактиках и имеются звездообразные ядра, то их светимость настолько мала, что на наших снимках они не выделяются на фоне центрального сгущения. В галактиках, обозначаемых баллом 1, распределение яркости по перемычке является грубо говоря равномерным, или же имеется весьма пологий максимум. Галактики, у которых имеется заметная, но не резкая концентрация в центре, оцениваются баллом 2. На снимках с короткой экспозицией в центрах галактик этой группы наблюдается слабое сгущение неправильной формы. Оказалось что баллы 1 и 2 имеют

чаще всего галактики SBc. Наряду с этим были обнаружены галактики с расщепленными ядрами, которые мы обозначили через 2*s*.

Существующие различия внешнего вида и яркости ядер имеют, очевидно, эволюционное значение, и представлялось возможным, что некоторые фазы развития ядер могут сопровождаться интенсивным радиоизлучением. Для выяснения этого были предприняты радионаблюдения около сотни галактик с перемычкой. Результаты наблюдений изложены в [4]. Радиоизлучение с мощностью, превышающей $0.1 \cdot 10^{-26}$ *ватт м*^{2} *гц*$^{-1}$ на частоте 1410 *мгц* было обнаружено от 21 из исследованных 98 галактик. При этом примечательно, что источники радиоизлучения обычно заметно меньше оптических размеров соответствующих галактик и в пределах точности измерений ($\pm 1'.5$ или $\pm 1'.0$) совпадают с центрами этих галактик.

В настоящей работе производится сопоставление результатов исследований, выполненных радио и оптическими методами.

1. Рассмотрим распределение галактик с обнаруженным у них радиоизлучением по морфологическим подтипам галактик. В табл. 1 приведено распределение исследованных обоими методами 98 галактик по морфологическим подтипам с указанием количества галактик, от которых было обнаружено радиоизлучение. (Галактики подтипов SBc, SBd и SBm объединены в подтип SBc). Из рассмотрения этой таблицы следует, что галактики SB0 не обладают измеримым радиоизлучением и что радиоизлучение чаще всего встречается у галактик типа SBc. Однако такой вывод является несколько преждевременным, поскольку в приведенной таблице не учтены расстояния галактик, которые могут иметь определенное воздействие на полученное распределение. Для учета эффекта расстояния необходимо знание радиальных скоростей галактик, которые, к сожалению, известны толко у 58 из исследованных 98 галактик.

Таблица 1

	SB0	SBa	SBb	SBc
$N_г$	16	27	28	27
$N_{ри}$	0	5	4	12

На диаграмме рис. 1 проставлены галактики соответствующих подтипов с известным модулем расстояния*. Галактики, от которых обнаружено радиоизлучение, обозначены черными кружками, диаметр которых соответствует мощности радиоизлучения. Галактики без измеримого радиоизлучения обозначены белыми кружками. Рассмотрение диаграммы показывает, что отсутствие радиоизлучения у SB0 галактик реально и не является результатом избирательности наблюдательного материала. Часть же галактик SBc с радиоизлучением расположена ближе, чем, очевидно, и объясняется их бóльшая частота. В подтипах же SBb и особенно SBa галактики с обнаруженным радиоизлучением распределены по расстояниям почти одинаково с галактиками без радиоизлучения.

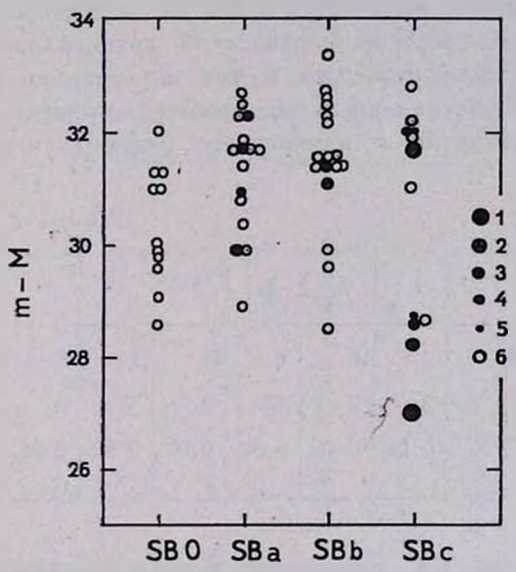

Рис. 1. Распределение галактик разных морфологических подтипов с наличием и отсутствием радиоизлучения в зависимости от модуля расстояния. Черными кружками обозначены галактики с обнаруженным радиоизлучением. Диаметры кружков обозначают интервалы радиовеличин в следующем порядке: 1. $11.5 < m_{21} < 12.0$, 2. $12.0 < m_{21} < 12.5$, 3. $12.5 < m_{21} < 13.0$, 4. $13.0 < m_{21} < 13.5$, и 5. $13.5 < m_{21} < 14.0$. Белыми кружками обозначены галактики без обнаруженного радиоизлучения с $m_{21} > 14.0$.

---

* За исключением двух близких галактик, NGC 55 и NGC 1313, модули расстояния всех остальных галактик рассчитаны по их известным красным смещениям при постоянной Хаббла, равной 75 *км/сек/мпс*. Для NGC 55 и NGC 1313 приняты значения модуля расстояния, приводимые де Вокулером [5, 6].

Таким образом с определенностью можно сказать, что если SB0 галактики и обладают радиоизлучением, то мощность этого радиоизлучения намного меньше, чем у галактик других морфологических подтипов. С другой стороны, если исключить из рассмотрения SB0 галактики и близко расположенные галактики других подтипов, скажем с модулем расстояния, меньшим 29, то можно заметить, что галактики с радиоизлучением почти в одинаковой мере встречаются среди галактик остальных подтипов SBa, SBb и SBc. Следовательно морфологический подтип галактики мало что говорит для объяснения наличия у нее радиоизлучения.

2. Исследуем теперь вопрос зависимости наличия радиоизлучения от вида центральных частей галактик.

В табл. 2 указаны количества галактик в группах по типам их центральных частей, согласно бюраканской пятибалльной классификации, а также количества галактик в тех же группах с измеренным радиоизлучением. В последней строке таблицы приведены относительные количества галактик с измеренным радиоизлучением в каждой группе.

Таблица 2

	1	2	2в	3	4	5
$N_г$	12	15	6	46	11	8
$N_{рн}$	2	7	5	0	5	2
$N_{рн}/N_г$	0.16	0.46	0.80	0.00	0.45	0.25

Из таблицы следует, что радиоизлучение наиболее часто встречается у галактик с расщепленными ядрами. Довольно часто оно имеется у галактик с оценками 4 и 5, обладающих звездообразными ядрами, и у галактик с оценкой 2. И примечательно, что радиоизлучение не обнаружено ни от одной из 46 галактик с оценкой 3.

В табл. 3 приведены средние интегральные фотографические величины галактик с наличием радиоизлучения и без него для различных групп галактик. В скобках указаны соответствующие количества галактик. Из табл. 3 можно видеть, что причиной отсутствия измеримого радиоизлучения у галактик с оценкой 3 не может являться их бо́льшая удаленность, поскольку галактики со звездообразными ядрами, обладающие радиоизлучением, имеют почти такое же среднее значение

интегральной фотографической величины. Согласно данным по всем 134 исследованным галактикам [3] средние значения интегральных величин галактик с оценками 3, 4 и 5 почти не отличаются друг от друга: $12^m.3$, $12^m.2$ и $12^m.4$ соответственно, что также указывает на отсутствие значительной селекции наблюдательных данных.

Таблица 3

Оценки	1	2	2s	3	4	5
$\bar{m}_{pg}$ (без р. и.)	12.5(10)	12.4(8)	11.0(1)	12.0(46)	12.3(6)	12.6(6)
$\bar{m}_{pg}$ (с р. и.)	10.4(2)	11.2(7)	11.0(5)	—	12.1(5)	11.9(2)

На рис. 2 представлена диаграмма, аналогичная диаграмме рис. 1 с тем, однако, отличием, что по оси абсцисс вместо морфологических

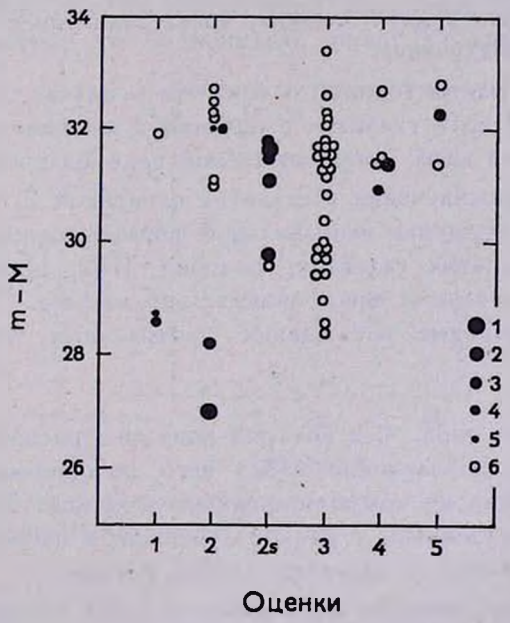

Рис. 2. Распределение галактик с наличием и отсутствием радиоизлучения и имеющих различную структуру центральных частей в зависимости от модуля расстояния. Обозначения те же, что и на рис. 1.

подтипов галактик проставлены оценки их центральных частей. Как и диаграмма рис. 1, эта диаграмма составлена при использовании только

58 из 98 исследованных галактик. Из диаграммы рис. 2 очевидно, что галактики с оценкой 3 расположены не дальше, чем, скажем, галактики групп с оценками 2*s*, 4 и 5. С другой стороны, галактики с оценкой 1 и часть галактик с оценкой 2, от которых обнаружено радиоизлучение, расположены заметно ближе других галактик. Это говорит о том, что радиоизлучение у последних слабое и оно обнаружено лишь из-за близости этих галактик.

Интересно, что бóльшая видимая фотографическая яркость галактик с расщепленными ядрами (см. табл. 3) не обусловлена их близостью. Очевидно это абсолютно несколько более яркие галактики.

Таким образом, мы приходим к выводу о том, что наличие радиоизлучения у галактик больше зависит от вида центральных частей галактик, чем от морфологического подтипа галактик.

Отсутствие радиоизлучения у SB0 галактик, имеющих исключительно оценки 3, так же, как и у многих SBa и SBb галактик с такой же оценкой объясняется, вероятно, тем, что в этих галактиках ядро очень слабо и ничем не проявляет себя. Точно так же радиоизлучение очень слабое у галактик с оценкой 1, где также не обнаруживается следов ядер. Только у двух близких, ярких галактик с такой оценкой обнаружено радиоизлучение.

Полученные факты говорят о том, что в случае звездообразных и расщепленных ядер и галактик с оценкой 2 мы имеем дело с активной фазой развития ядра, сопровождаемой радиоизлучением.

Наличие радиоизлучения у галактик с оценкой 2, в центре которых наблюдается сгущение неправильной формы позволяет предположить, что в ядрах этих галактик, подобно M 82, произошел взрыв. Однако, мощность взрыва здесь значительно меньше. Были бы очень интересны спектральные наблюдения центральных частей этих галактик.

3. Рассмотрим табл. 4, в которой показано распределение галактик с наличием радиоизлучения и без него по оценкам центральных частей галактик и по их морфологическому подтипу. В числителе показано количество галактик с радиоизлучением, а в знаменателе общее количество исследованных галактик данной группы.

Мы видим, что активная фаза развития ядра (присутствие радиоизлучения) мало зависит от морфологического подтипа галактики. Звездообразные и расщепленные ядра с радиоизлучением почти в одинаковой мере встречаются во всех галактиках от SBa до SBc. Активность ядра и его развитие происходит, по-видимому, самостоятельно, независимо от морфологического подтипа галактики.

Таблица 4

тип \ балл	1	2	2s	3	4	5
SB0	0/0	0/0	0/0	0/16	0/0	0/0
SBa	0/0	0/1	2/2	0/18	2/4	1/2
SBb	0/2	1/4	1/2	0/12	2/4	0/4
SBc	2/10	6/10	2/2	0/0	1/3	1/2

4. Уже из диаграммы рис. 2 можно было заключить, что имеются различия между радиоизлучательными способностями галактик с различной структурой их центральных частей. Например, галактики, имеющие звездообразные ядра с баллом 5, являются более мощными радиоизлучателями, чем галактики с баллом 1. Различие между радиоизлучательными способностями галактик различных групп становится более очевидным при рассматривании радиоиндексов ($R = m_i - m_{pg}$) галактик. Известно, что радиоиндекс имеет большие отрицательные

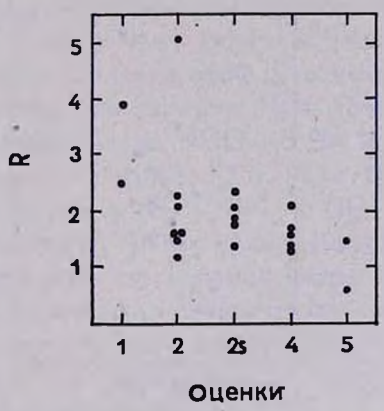

Рис. 3. Распределение радиоиндексов галактик с радиоизлучением в зависимости от вида их центральных частей.

значения (около 8 — 10) у радиогалактик и равен в среднем +3.0 на частоте 1410 *мгц* для нормальных галактик [7].

Радиоиндексы на частоте 1410 *мгц* для исследованных нами галактик определены в работе [4] и для галактик различных групп представлены на рис. 3. В табл. 5 приведены средние значения радиоиндексов для галактик различных групп. Для галактик с баллом 2 дано

среднее значение радиоиндекса для 6 галактик. Радиоиндекс седьмой галактики, NGC 55, равный + 5.1, сильно отличается от всех остальных и потому исключен при составлении таблицы.

Таблица 5

балл	1	2s	2	4	5
$\overline{R}$	3.2	1.9	1.7	1.6	1.0

Очевидно большое различие радиоиндексов. Если для галактик, обозначаемых баллом 1, радиоиндекс равен в среднем радиоиндексу обычных нормальных галактик, то для галактик с баллом 5, имеющих звездообразные ядра, средний радиоиндекс на две единицы меньше и, следовательно, мощность радиоизлучения у них на порядок больше. У галактик, обозначаемых баллами 4 и 2 и у галактик с расщепленными ядрами радиоиндекс имеет промежуточное значение.

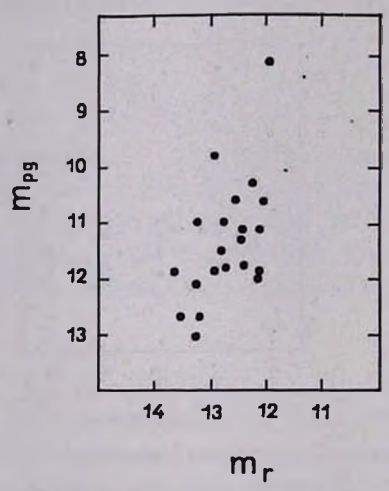

Рис. 4. Диаграмма зависимости мощности радиоизлучения от интегральной яркости галактик.

5. На рис. 4 по оси абсцисс отложены радиовеличины, а по оси ординат фотографические величины исследованных галактик. Рассмотрение рисунка показывает, что более яркие галактики обладают несколько более мощным радиоизлучением.

6. Спектральные индексы определены в основном только у галактик с оценками 1, 2 и 2*s*. Из галактик с оценками 4 и 5 только у двух имеются измеренные спектральные индексы [4]. Это сильно затрудняет проведение сравнения спектральных индексов между различными группами галактик. С большой оговоркой можно заключить, что средние спектральные индексы групп заметным образом не отличаются друг от друга. Существенно при этом, что в пределах каждой группы, по примеру групп с оценками 2 и 2*s*, имеется большой разброс значений спектральных индексов.

7. Для 30 из исследованных нами 98 галактик имеются данные об эмиссионных линиях в каталогах радиальных скоростей галактик [8, 9]. Из них только у четырех галактик, NGC 55, 1365, 1808 и 3351 имеются сильные эмиссионные линии. У трех из этих галактик обнаружено радиоизлучение. Из остальных 26 галактик без сильных эмиссионных линий только у NGC 1097 обнаружено радиоизлучение. Это галактика, у которой спектр не соответствует ее морфологическому подтипу — он более ранний, и цвет центральных частей более голубой, чем для обычных галактик того же типа [10]. Радиоизлучение этой галактики более подробно обсуждено в работе [11]. Детальное изучение спектра NGC 1097 [12], показало, что в нем имеются эмиссионные линии, образуемые именно в ядерной области этой галактики. В той же работе сообщается об эмиссионных линиях ядра NGC 1365. Об обнаружении сильных эмиссионных линий у ядра NGC 613, от которого обнаружено радиоизлучение, сообщается в работе [13]. Там же сообщается, что эмиссионные линии наблюдены у NGC 1300 и NGC 7479, от которых не обнаружено радиоизлучения. Очень слабые эмиссионные линии имеются у NGC 5921, радиоизлучение которой очень трудно было бы обнаружить, из-за очень близкого, сравнительно сильного источника радиоизлучения. Есть лишь очень слабые следы эмиссионных линий у NGC 1398 и их нет вовсе у NGC 4643 [13, 14]. Обе галактики не обладают измеримым радиоизлучением.

Таким образом можно сказать, что имеется вполне определенная корреляция между наличием ярких эмиссионных линий в спектрах ядерных областей галактик и их радиоизлучением.

8. *Заключение.* Проведенное исследование позволяет придти к следующим выводам. В центральных частях некоторых галактик SB имеются источники нетеплового радиоизлучения. Наличие радиоизлучения и его мощность определенным образом зависят от структуры центральных частей галактик и прежде всего от присутствия в галактиках ядер в той или иной фазе их развития. Интенсивное радиоизлу-

чение имеется: а) в случае ярких звездообразных ядер, б) в тех случаях, когда в ядрах галактик имели место, вероятно, взрывные процессы или же в) когда в результате активных процессов ядро галактики расщеплено на отдельные части. Интенсивное радиоизлучение отсутствует у тех SB галактик, ядро которых в оптических лучах неразличимо на фоне центральных частей галактики.

Тот факт, что случаи радиоизлучения встречаются во всех морфологических подтипах SB галактик (за исключением SB0 галактик) говорит о том, что прохождение ядра через фазу активности имеет место в каждом из морфологических подтипов галактик. Правда, формы активности ядра различны в различных подтипах. Звездообразные ядра чаще встречаются в подтипах SBa и SBb. Ситуации с оценкой 2, свидетельствующие о взрывах относительно малых масштабов в основном имеются в галактиках подтипа SBc.

Заметим, что средний радиоиндекс двух галактик подтипа SBa с расщепленными ядрами равен $+1.6$, а для таких же галактик подтипов SBb и SBc радиоиндекс в среднем на 0.5 больше. Создается такое впечатление, что имеющие место процессы в случае SBa галактик сопровождаются более мощным радиоизлучением.

Из восьми галактик с баллом 5 только в двух случаях зарегистрировано радиоизлучение. Это говорит, вероятно, о том, что в звездообразных ядрах активная фаза с радиоизлучением длится недолго. Радиоизлучение длится, по-видимому, дольше, причем с меньшей интенсивностью, в галактиках с баллами 4 и 2. Более долго радиоизлучение имеет место при расщеплении ядер. В семи случаях из восьми расщепленных ядер мы наблюдаем радиоизлучение. Следовательно, механизм, поддерживающий радиоизлучение здесь действует в течение всего процесса деления ядер.

Полученные факты, говорящие о том, что более мощные процессы происходят в звездообразных ядрах с баллом 5, позволяют предполагать, что такие ядра являются, по-видимому, более молодыми образованиями по сравнению с ядрами галактик типа 2. В последнем случае мощность активных процессов меньше и они длятся дольше. А поскольку галактики со звездообразными ядрами чаще встречаются в подтипе SBa, а галактики с баллом 2 в подтипе SBc, то можно думать, что это не случайно и что галактики SBa являются более молодыми системами по сравнению с SBc галактиками.

Интересно, что в случаях наблюдений активных фаз развития ядер галактик, сопровождаемых радиоизлучением, в спектрах ядер этих галактик довольно часто наблюдаются интенсивные эмиссионные линии. Примечательно, что в работе [13] для объяснения поведения спектральных линий при переходе от ядер галактик к их диску выска-

зывается предположение, что линии обусловлены, вероятно, нетепловым возбуждением.

В заключение автор считает своим долгом выразить признательность В. А. Амбарцумяну за большой интерес при выполнении настоящей работы и ценную дискуссию.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE CORRELATION OF THE RADIO EMISSION OF BARRED GALAXIES WITH THE APPEARANCE OF THEIR CENTRAL PARTS

H. M. TOVMASSIAN

The comparison of the optical and radio observations of 98 barred galaxies showed that the intense radio emission from galaxies is observed in cases of the presence of starlike nuclei in galaxies or in cases when there are evidences of explosions in the central parts of galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. Т. Каллоглян, Г. М. Товмасян*, Сообщ. Бюр. обс., 36, 31, 1964.
2. *Г. М. Товмасян*, Астрофизика, 1, 197, 1965.
3. *Г. М. Товмасян*, Астрофизика, 2, 317, 1966.
4. *H. M. Tovmassian*, Austr. J. Ph., 19, 1966, (в печати).
5. *G. de Vaucouleurs*, Ap. J., 133, 405, 1961.
6. *G. de Vaucouleurs*, Ap. J., 137, 720, 1963.
7. *D. S. Mathewson, J. M. Rome*, Austr. J. Ph., 16, 360, 1963.
8. *M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage*, A. J., 61, 97, 1956.
9. *N. U. Mayall, A. de Vaucouleurs*, A. J., 67. 363, 1962.
10. *Б. Е. Маркарян*, Сообщ. Бюр. обс., 34, 3, 1963.
11. *H. M. Tovmassian*, Austr. J. Ph., 19, 565, 1966.
12. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, Ap. J., 132, 30, 1960.
13. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, Ap. J., 135, 694, 1962.
14. *N. U. Mayall*, IAU Symposium № 5, Cambridge, 1958, p. 23.