

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 3

НОЯБРЬ, 1967

ВЫПУСК 4

О РАДИОИЗЛУЧЕНИИ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

Г. М. ТОВМАСЯН

Поступила 27 мая 1967

Исправлена 10 сентября 1967

Сравнение данных радио и оптического исследования центральных областей 251 галактики показывает, что интенсивное радиоизлучение у них имеет место в случае наличия оптических признаков активности их ядер. При этом в зависимости от типа ядер различны как частота встречаемости у них радиоизлучения, так и мощность радиоизлучения. Обнаружена также зависимость мощности радиоизлучения от светимости ядер.

Сравнение результатов оптического и радиоисследований центральных частей 98 спиральных галактик с перемычкой (SB) показало [1], что существует определенная корреляция между структурой ядерных областей галактик и их радиоизлучением. Повышенное радиоизлучение, возникающее в ядерных областях галактик, наблюдается только в тех случаях, когда имеются оптические признаки активности ядер соответствующих галактик. В то же время не было замечено какой-либо определенной зависимости радиоизлучательной способности галактик от их морфологического подтипа, за исключением того, что радиоизлучение вообще не наблюдается у SB0 галактик. В настоящее время в Бюракане классифицированы центральные части еще около 300 обычных спиральных галактик (S) [2, 3], для многих из которых известны результаты радионаблюдений [4—8]. В силу этого представляется возможным провести сравнение радиоизлучательных способностей большего количества галактик с их морфологическим подтипом и структурой центральных частей. С целью такого сравнения составлена табл. 1, в которой в числителях дано число галактик с радиоизлучением, а в знаменателях — общее число наблюдаемых радиометодами галактик данной группы. В таблице SB и S галактики объе-

Таблица 1

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЧИСЛА ГАЛАКТИК РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП С ОБНАРУЖЕННЫМ  
РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ

оценка подтип	1	2	2a	3	4	5	Все галактики
S0, SB0	0/0	0/2	0/1	2/28	0/1	0/0	2/32=0.06
Sa, SBa	0/0	0/1	2/2	2/35	4/10	2/4	10/52=0.19
Sb, SBb	0/2	2/6	1/2	6/38	7/18	3/11	19/77=0.25
Sc, SBc	3/15	10/38	3/6	0/0	9/24	2/7	27/90=0.30
Все галактики	3/17=0.18	12/47=0.26	6/11=0.55	10/101=0.10	20/53=0.38	7/22=0.32	58/251=0.23

динены вместе. Принята хаббловская классификация галактик. Для южных галактик данные взяты из [9]. При составлении таблицы использованы только те спиральные галактики, центральные части которых классифицированы в [2, 3, 10—12], а также галактики, классификация центральных частей которых приведена в табл. 2.

Таблица 2  
ОЦЕНКИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ  
НЕСКОЛЬКИХ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

NGC	Тип	Оценка
134	Sc	4
908	Sc	4
1302	Sa	3
1380	Sa	3
1385	Sc	2
4123	Sc	4
6769	Sa	3
6771	S:	3

Методика наблюдений и классификации описана в [10, 12]. За исключением NGC 4123 остальные галактики наблюдались 40" телескопом обсерватории Сайдинг Спринг (отделение обсерватории Маунт Стромло). Галактика NGC 4123 наблюдается 21" Шмидт-телескопом в Бюракане.

Вместе с нашими результатами радионаблюдений галактик [4, 13, 14] использованы также работы [5—8]. Чтобы сделать данные более однородными, принималось, что только те галактики из списка [6] имеют радиоизлучение, если последнее было измерено на частоте 1400 мгу и если расхождение прямых восхождений галактик и обнаруженных радиоисточников не превышало 2'. При составлении таблицы из наших списков, в силу возможной сомнительности, исключены очень слабые радиоисточники с потоками, меньше 0.2 ед. потока на 1410 мгу, отождествляемые с галактиками NGC 289, 3185, 3227, 5548 и 6814. Кроме того: а) не приняты во внимание галактики NGC 891, NGC 3079, NGC 3628 и NGC 4631, обозначенные баллом 1. Эти галактики сильно наклонены к лучу зрения (отношение  $D/d$  у них больше 5), и вполне возможно, что у них реальная структура центральной области маскируется как поглощающим слоем, так и наложением яркости периферии; б) по той же причине исключены из рассмотрения также

сильно наклоненные галактики с оценкой 2—NGC 55, NGC 5746, NGC 5907 и NGC 7462; в) из группы галактик с расщепленными ядрами (оценка 2s) исключена галактика NGC 7418, „расщепление“ ядра которой является, по всей видимости, ложным и вызвано, очевидно, очень сильным поглощающим слоем этой заметно наклоненной галактики ( $D/d = 2.9$ ).

Значения отношений  $D/d$  взяты из [15].

Из рассмотрения табл. 1 сразу можно видеть, что за исключением подтипа S0 процент галактик с радиоизлучением не сильно различается в остальных подтипах Sa, Sb и Sc.

Среди S0 галактик только две галактики (NGC 2911 и NGC 3593) имеют измеримое радиоизлучение. Причем обе они являются пекулярными (они относятся к подтипу S0p), и кроме того обе галактики включены Б. Е. Маркаряном [16] в список галактик с аномальным для их морфологического подтипа спектром и цветом центральных частей. Поэтому мы можем исключить эти две галактики из рассмотрения, поскольку они не являются обычными представителями своего морфологического подтипа. Следовательно, можно сказать, что среди подтипа S0, как и в случае SB0 галактик, нет галактик с радиоизлучением.

Таблица 3  
МОДУЛИ РАССТОЯНИЯ ГАЛАКТИК,  
ИМЕЮЩИХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ

	Sa	Sb	Sc
$\overline{m-M}$	30.9	30.0	29.9
Относительное число галактик с модулем <30.0	0.10	0.37	0.44

Частота встречаемости радиоизлучения у остальных подтипов мало отличается друг от друга. Заметно лишь некоторое небольшое систематическое увеличение количества галактик с радиоизлучением при переходе от подтипа Sa к Sc, что было отмечено и в работе [6]. Однако это обусловлено, по-видимому, тем, что по мере перехода к галактикам поздних типов, радиоизлучение обнаруживалось в среднем от более близких галактик. Действительно, из табл. 3 видно, что средний модуль расстояния у галактик с обнаруженным радиоизлучением убывает по мере перехода от Sa к Sc галактикам. Более наглядно это видно из второй строки таблицы, где представлены относительные количества галактик с радиоизлучением, имеющих модуль меньше 30.0 (использованы модули, приведенные в [17, 18], а для галактик, не

включенных в указанные списки, модули определены по радиальным скоростям при постоянной Хаббла в  $100 \text{ км/сек/мпс}$ .

Таким образом, с достаточной убежденностью можно говорить об отсутствии зависимости радиоизлучательной способности спиральных галактик от их морфологического подтипа, если, конечно, исключить из рассмотрения S0 и SB0 галактики, среди которых радиоизлучение встречается в очень редких, исключительных случаях.

Положение коренным образом меняется, когда мы рассматриваем группы галактик с различной структурой их центральных частей (см. табл. 1). Мы видим, что наиболее часто — в 55% случаев — радиоизлучение встречается у галактик с „расщепленными“ ядрами (оценка 2s).

Процент радиоизлучающих галактик несколько меньше, но все еще достаточно высок среди галактик со звездообразными и звездоподобными ядрами (оценки 5 и 4). Здесь измеримым радиоизлучением обладают в среднем 35% галактик. Следующей группой галактик, с относительным числом галактик с радиоизлучением (26%), большим, чем среднее по всем галактикам (23%), являются галактики с оценкой 2. Галактики первых трех групп обладают довольно примечательными ядрами, находящимися, вероятно, в активной фазе своего развития, а в последней группе ядра выражены несколько менее отчетливо.

Ядра галактик вообще не проявляют себя в группах галактик с оценками 1 и 3. Если в этих галактиках и имеются ядра, то они настолько слабы, что неразличимы на фоне центральных частей этих галактик. И примечательно, что среди таких галактик довольно низок процент радиоизлучающих галактик — 18% в группе с оценкой 1, и всего 10% в группе с оценкой 3, то есть относительное количество галактик с радиоизлучением здесь уже более 5 раз меньше, чем у галактик с „расщепленными“ ядрами. Однако и в галактиках с оценкой 3 радиоизлучение наблюдается в основном тогда, когда имеются признаки активности их ядер. Так, у 5 из 10 таких галактик с радиоизлучением (NGC 23, 2146, 2911, 3593 и 7576) аномальный для их морфологического подтипа спектр и цвет центральных частей свидетельствует о наличии дополнительного нетеплового излучения в ядерных областях этих галактик [16].

Различие радиоизлучательных способностей галактик в группах с различными оценками центральных частей галактик проявляется не только при рассмотрении частоты встречаемости у них радиоизлучения. Различна также и мощность радиоизлучения у них. Рассмотрим рис. 1, на котором по оси ординат отложены радиосветимости (в логарифмической шкале) для галактик с различными оценками их центральных частей. Радиосветимости подсчитаны по формуле:

$$L_R = 4\pi R^2 \int_{\nu_1}^{\nu_2} S_\nu d\nu,$$

где  $S_\nu \sim \nu^{-\alpha}$ ,  $\nu_1 = 10^7$  цу и  $\nu_2 = 10^{11}$  цу. Спектральный индекс  $\alpha$  известен для многих галактик. Для галактик же с неизвестным  $\alpha$  принято его значение, равное 0.7. Для галактик, измеренных в работе [6], вместо плотностей потоков использованы приводимые там значения пиковых отклонений  $D$ , которые, как показывают сравнения с другими данными [5, 7, 8], как правило, несколько меньше потоков.

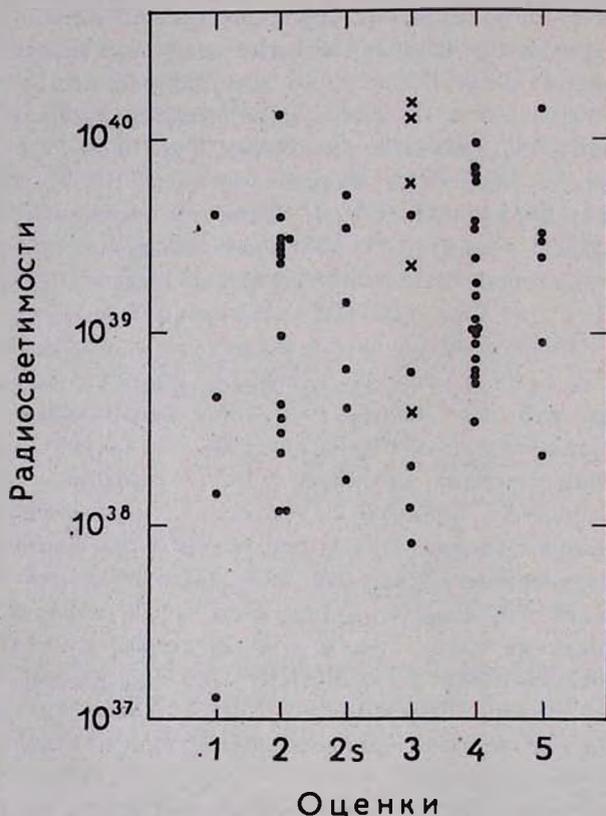


Рис. 1. Зависимость мощности радиоизлучения от типа ядерных областей галактик.

На рис. 1 галактики с аномальным спектром и цветом в группе галактик с оценкой 3 обозначены крестиками. Из рисунка сразу видно, что мощность радиоизлучения у галактик с оценкой 1 и у тех галактик с оценкой 3, у которых нет признаков активности их ядер, заметно уступает мощности радиоизлучения галактик с оценками 2,

2s, 4 и 5. Различие радиоизлучательных способностей галактик различных групп хорошо видно и из табл. 4, в которой представлены средние значения абсолютных радиовеличин  $M_{1410}$  и средние значения радиоиндексов  $R_{1410}$  на частоте 1410 мц. Заметим, что при составлении рис. 1 и табл. 4 опущены галактики, от которых не обнаружено радиоизлучение. Их добавление еще больше подчеркнуло бы различие радиоизлучательных способностей различных групп галактик.

Для подсчета  $M_{1410}$  и  $R_{1410}$  определены видимые радиовеличины  $M_{1400}$  по соотношению:

$$m_R = -53.45 - 2.5 \lg S,$$

введенному в [19]. При подсчете радиоиндексов видимые фотографические величины галактик были исправлены за поглощение в нашей Галактике по соотношению  $\Delta m = -0.25 \cos \delta$  и за поглощение в самих галактиках, согласно [20]. В табл. 4 представлены также средние значения спектральных индексов различных групп галактик. В таблице в скобках указано количество галактик, по которым проведено усреднение.

Таблица 4

СРЕДНИЕ АБСОЛЮТНЫЕ РАДИОВЕЛИЧИНЫ, РАДИОИНДЕКСЫ И  
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИНДЕКСЫ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

	1	2	2s	3	4	5
$-\bar{M}_{1400}$	15.7(3)	17.6(13)	17.9(6)	19.0*(5) 16.7 (5)	18.0(19)	18.2(7)
$\bar{R}_{1400}$	2.8(3)	1.7(13)	2.1(6)	0.5*(5) 2.4 (5)	1.8(19)	1.1(6)
$\bar{\alpha}$	0.4(3)	0.6(13)	0.7(6)	0.5(10)	0.6(16)	0.7(5)

\* Галактики с аномальным для своего морфологического подтипа спектром и цветом центральных частей.

Имеется также довольно отчетливая корреляция между абсолютной яркостью ядер и мощностью радиоизлучения у них. Это хорошо видно из рис. 2, на котором по координатным осям проставлены абсолютные фотографические величины и абсолютные радиовеличины ядер галактик с оценками 4 и 5. (Полагается, что наблюдаемое радиоизлучение у спиральных галактик возникает в их ядерных областях [4, 13, 14]). При составлении диаграммы использованы также данные о галактике M31. Значение оптической величины ядра M31 взято из [21], а значение радиовеличины — по недавним измерениям в Кембридже [22].

Таким образом, сравнение результатов оптического исследования ядерных областей более 250 спиральных галактик и данных об их радиоизлучении показывает, что у спиральных галактик радиоизлучение в подавляющем большинстве случаев наблюдается при наличии оптически видимых признаков активности их ядер, причем мощность радиоизлучения тем больше, чем больше оптическая яркость ядер. И поскольку природа радиоизлучения нетепловая, то это говорит о том, что в ядрах таких галактик происходят какие-то процессы, сопровождаемые выбросом релятивистских электронов. Следовательно, в этих галактиках ядра действительно находятся в активной фазе развития.

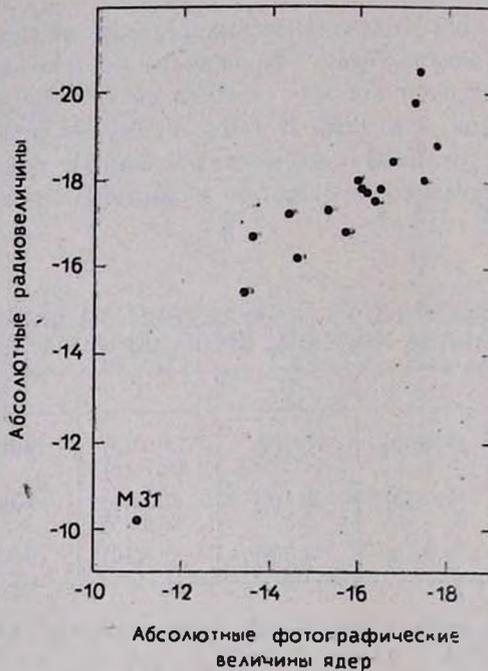


Рис. 2. Зависимость абсолютной радиовеличины от абсолютной фотографической величины ядер галактик.

При этом активная фаза развития ядра происходит, очевидно, независимо от морфологического подтипа галактики. Звездообразные ядра с оценками 4 и 5, а также галактики с оценкой 2 и с „расщепленными“ ядрами, имеющими повышенное радиоизлучение, встречаются почти в одинаковой мере во всех морфологических подтипах галактик. Исключение составляют лишь галактики подтипов S0 и SB0, где, как правило, не наблюдается фаза развития ядра, сопровождаемая радиоизлучением.

В тех же редких случаях, когда радиоизлучение наблюдается у галактик, не имеющих явных оптических признаков активности ядра, мощность радиоизлучения у них достаточно слабая. Возможные ядра в таких галактиках настолько слабы, что не выделяются на общем фоне центральных частей этих галактик. Вместе с этим, у них невелик и размах процессов, приводящих к радиоизлучению.

Автор благодарен проф. Б. Боку за предоставление возможности наблюдения галактик табл. 2 в Сайдинг Спринге (отделение обсерватории Маунт Стромло), а также сотрудницам Бюраканской обсерватории К. А. Саакян и С. Г. Искударян за сообщение их неопубликованных данных по классификации ядерных областей обычных спиральных галактик.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## ON RADIO EMISSION OF SPIRAL GALAXIES

H. M. TOVMASSIAN

The comparison of the data on radio and optical investigation of the nuclear regions of 251 spiral galaxies shows that intense radio emission occurs there, in cases when there are optical evidences of activity of their nuclei. At the same time there is no correlation between the morphological types of galaxies and their radio emission. Both the frequency of occurrence and the power of radio emission depend on the type of the nuclei of spiral galaxies. It has been revealed that intensity of radio emission depends on the brightness of the nuclei.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г. М. Товмассян, *Астрофизика*, 2, 419, 1966.
2. К. А. Саакян, *Астрофизика*, (в печати).
3. С. Г. Искударян, (в подготовке к печати).
4. H. M. Tovmassian, *Austr. J. Phys.*, (в печати).
5. D. S. Mathewson, J. M. Rome, *Austr. J. Phys.*, 16, 360, 1963.
6. D. S. Heeschen, C. M. Wade, A. J., 69, 277, 1964.
7. M. L. De Jong, *Ap. J.*, 142, 1333, 1965.
8. M. L. De Jong, *Ap. J.*, 144, 553, 1966.
9. G. de Vaucouleurs, *Memoirs of the Commonwealth obs.*, № 13, 1956.
10. А. Т. Каллоляян, Г. М. Товмассян, *Сообщ. Бюр. обс.*, 36, 31, 1964.
11. Г. М. Товмассян, *Астрофизика*, 1, 197, 1965.
12. Г. М. Товмассян, *Астрофизика*, 2, 317, 1966.
13. H. M. Tovmassian, *Austr. J. Phys.*, 19, 565, 1966.
14. H. M. Tovmassian, *Austr. J. Phys.*, 19, 883, 1966.

15. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs*, Reference Catalogue of Bright Galaxies, 1964.
16. *Б. Е. Маркарян*, Сообщ. Бюр. обс., 34, 3, 1963.
17. *G. de Vaucouleurs*, Stars and Stellar Systems, vol. 8, ch. 7.
18. *S. van den Berg*, Publ. David Dunlap obs., 2, 159, 1960.
19. *R. Hanbury Brown, C. Hazard*, M. N., 122, 479, 1961.
20. *E. Holmberg*, Medd. Lunds astr. obs. (2), № 136, 1957.
21. *A. Lallemand, M. Duchesne, M. Walker*, Publ. A. S. P., 72, 76, 1960.
22. *G. G. Pooley, S. Kenderdine*, Nature, 214, 1190, 1967.