

УДК 524.7—77

ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Р. А. КАНДАЛЯН

Поступила 14 декабря 1981

Принята к печати 27 июля 1982

На основе полной выборки сейфертовских галактик ярче 14^m2 построена их функция радиосветимости ($F(>P)$). Определены зависимости средней радиосветимости ($\bar{P}_{1.4}$) и функции радиосветимости от оптической светимости (L_p) галактик, которые оказались вида $\bar{P}_{1.4} \sim L_p^{1.2 \pm 0.3}$ и $F(>P) \sim L_p^{1.3 \pm 0.5}$. Предполагается, что вероятность галактики Sy1 быть радиоисточником со светимостью $\lg P_{1.4} > 23.0$ больше, чем у Sy 2.

1. *Введение.* В настоящее время немало сейфертовских (Sy) галактик исследованы в широком диапазоне радиочастот, что позволяет попытаться построить их функцию радиосветимости (ФРС) на основе полной выборки галактик. Ранее это не представлялось возможным, так как выборка Sy галактик не была достаточно полной как в оптическом, так и в радиодиапазонах.

В настоящей работе строится ФРС сейфертовских галактик ярче 14^m2 звездной величины. С этой целью образована выборка из 52 галактик, которая практически полностью (кроме одной галактики) наблюдалась в радиодиапазоне.

2. *Выборка сейфертовских галактик ярче 14^m2 .* При составлении выборки сейфертовских галактик мы рассматривали область неба, которая исследована в первых 14 списках обзора Маркаряна и сотрудников [1—3]. Эта область в первом приближении определяется условиями (1) и (2) работы [4], тем самым исключается вопрос о влиянии неодинаковой степени изученности областей неба. Следует отметить, что именно в работе [4] более детально исследована оптическая функция светимости и вопросы полноты сейфертовских галактик.

Список 52-х сейфертовских галактик, удовлетворяющих указанным выше условиям, представлен в табл. 1, где последовательно даны: наиме-

нование галактики; красное смещение; фотографическая видимая величина, исправленная за галактическое поглощение ($a_p = 0.24 \cos ec |b''|$); абсолютная фотографическая величина; логарифм радиосветимости на частоте 1.4 ГГц в единицах Вт/Гц, соответствующие $H_0 = 75$ км/с·Мпс; классификация Sy галактик. Данные о красных смещениях и типах Sy галактик взяты из работ [5—10], а результаты радионаблюдений брались из [11—16]. Во всех случаях, когда имеются измерения видимых величин у Цвикки и сотрудников [17—20], в таблице приведены эти значения. В остальных случаях даны значения видимых величин (отмечены скобками) согласно [1—3]. Скобками отмечены также значения логарифмов радиосветимостей тех галактик, потоки которых пересчитаны на частоту 1.4 ГГц с других частот со средним спектральным индексом $\alpha = 0.75$ ($S_\nu \sim \nu^{-\alpha}$). Из приведенных в табл. 1 галактик 35 относятся к классу Sy 1, а 17 — Sy 2. Среди 52 галактик 24 являются радиоисточниками, для 27 оценены верхние границы плотностей потоков, одна галактика в радиодиапазоне пока не наблюдалась (август 1981 г.).

Таблица 1

ВЫБОРКА СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Галактика	z	m_p	M_p	$\lg P_{1.4}$ (Вт/Гц)	Класс
1	2	3	4	5	6
Mkn 335	0.025	(13 ^m 6)	—21 ^m 4	< 22.0	1
Mkn 938	0.019	(13.8)	—20.7	<(21.8)	2
I Zw 1	0.061	14.0	—23.2	22.9	1
Mkn 993	0.017	13.5	—20.6	<(22.6)	2?
Mkn 1157	0.015	13.5	—20.5	(22.9)	2
Mkn 573	0.016	13.7	—20.3	<(22.6)	2
Mkn 590	0.027	13.7	—21.4	<(23.0)	1
Akn 79	0.020	12.9	—21.6	22.0	2
Mkn 1040	0.017	13.4	—20.8	<(22.6)	1
Mkn 1044	0.016	(14.2)	—19.9	<(23.0)	1
Mkn 1048	0.043	13.7	—22.5	<(23.8)	1
NGC 1068	0.0038	9.4	—21.5	23.2	2
Mkn 609	0.034	(14.2)	—21.3	<(23.2)	1
3C 120	0.033	13.7	—21.9	25.1	1
Mkn 618	0.035	(14.1)	—21.6	<(23.3)	1
Akn 120	0.033	13.9	—21.6	(23.7)	1
Mkn 3	0.014	13.2	—20.4	23.6	2
VII Zw 118	0.079	14.0	—23.5		1
Mkn 79	0.022	12.8	—22.0	22.2	1

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6
Mkn 10	0.029	13 ^m 5	-21 ^m 8	< 21.8	1
Mkn 622	0.023	14.0	-20.9	22.0	2
Mkn 391	0.013	13.5	-20.1	< 21.2	1
Mkn 705	0.028	13.5	-21.7	< 21.5	1
Mkn 1243	0.036	14.2	-21.7	< (23.3)	1
NGC 3227	0.0033	11.9	-18.7	21.3	2
NGC 3516	0.0093	11.9	-20.9	22.8	1
Mkn 744	0.010	13.3	-19.7	< (22.2)	1
NGC 4051	0.0024	11.2	-18.7	20.8	1
NGC 4151	0.0033	11.0	-19.6	22.0	1
NGC 4235	0.0077	12.9	-19.5	< (22.0)	1
Mkn 766	0.013	13.5	-20.1	22.1	1
Mkn 231	0.041	13.8	-22.3	23.8	1
Mkn 270	0.0090	14.0	-18.9	21.3	2
Mkn 279	0.032	14.2	-21.4	22.6	1
NGC 5548	0.017	12.9	-21.3	22.7	1
Mkn 673	0.036	14.0	-21.9	< (23.3)	2
Mkn 471	0.034	14.2	-21.4	22.1	1
Mkn 817	0.032	14.0	-21.6	22.3	1
Mkn 686	0.014	13.6	-20.1	< (22.5)	2
Mkn 841	0.036	(13.7)	-22.1	< 22.2	1
Mkn 509	0.035	(12.5)	-23.2	< (23.3)	1
ll Zw 136	0.062	13.8	-23.1	< (23.8)	1
Mkn 304	0.065	14.2	-22.9	< 22.5	1
Mkn 917	0.025	13.9	-21.1	(23.4)	2
Akn 564	0.025	13.8	-21.1	22.5	1
Mkn 309	0.043	14.2	-21.9	< (23.4)	2
Mkn 1126	0.010	(14.2)	-18.8	< (22.6)	2
Mkn 1127	0.025	13.9	-21.1	< (23.0)	2
NGC 7469	0.017	12.7	-21.5	23.5	1
Mkn 926	0.048	(14.2)	-22.2	< (23.5)	1
Mkn 530	0.029	14.1	-21.2	< (23.1)	1
Mkn 533	0.029	13.3	-22.0	23.6	2

Перейдем к рассмотрению вопроса полноты выборки сейфертовских галактик с $m_p \leq 14^m 2$. С этой целью в табл. 2 приведено распределение числа S_u галактик по видимым величинам, где N_u , N_o — соответственно наблюдаемое и ожидаемое число галактик.

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА СЕЙФЕРТОВСКИХ
ГАЛАКТИК ПО ВИДИМЫМ ВЕЛИЧИНАМ

m_p	N_n	N_0
12. ^m 0	5	2—3
12.5	6	5
13.0	11	10
13.5	21	20
14.0	41	40
14.2	52	52
14.3	53	60

Нетрудно убедиться, что если принимать $N_n(12^m) = 5$, то по формуле (П8) работы [4] фактор полноты S_y галактик с $m_p < 14^m2$ получается ~ 1 . Выборка S_y галактик до 14^m2 является практически полной и хорошо удовлетворяет закону $\lg N \sim 0.6 m_p$, если число объектов ярче 12^m0 уменьшить до 2—3 галактик, принимая, что остальные 2—3 галактики могут быть флуктуациями. Следует отметить, что небольшие флуктуации числа объектов ярче 12^m0 приводят к значительным изменениям ожидаемого числа галактик с $m_p > 12^m0$. Как видно из табл. 2, выборка является неполной (фактор полноты менее 90%), начиная с объектов $m_p \geq 14^m3$.

3. *Функция радиосветимости.* Существуют несколько методов построения функции светимости галактик. Из них более распространенным является метод максимальных объемов (метод Шмидта) [21]. Однако этот метод не использует информацию о верхних границах плотностей потоков. Кроме метода Шмидта в последнее время были предложены другие методы построения ФРС, в которых наряду с измеренными значениями плотностей потоков используются также значения верхних пределов. В настоящей работе мы будем пользоваться методом построения ФРС, предложенным в [22]. Ниже приведем формулу, по которой можно посчитать относительную долю объектов в определенном интервале радиосветимостей. Более подробно с этим методом можно познакомиться в вышеуказанной работе.

Относительную долю галактик в определенном интервале радиосветимостей можно посчитать по следующей рекуррентной формуле:

$$f_k = \frac{D_k}{N + \sum_{i=1}^k \frac{U_i}{1 - \sum_{j=0}^{i-1} f_j}}, \quad f_0 = 0, \quad (1)$$

где D_k — число объектов с измеренным радиоизлучением в k -ом интервале радиосветимостей; U_i — число объектов, для которых оценены значения верхних пределов плотностей потоков в i -ом интервале светимостей; N — полное число объектов. В табл. 3 приведена интегральная форма функции радиосветимости сейфертовских галактик для двух интервалов абсолютных величин и $\Delta \lg P_{1.4} = 0.4$. Выбор подобного разделения по M_p обусловлен тем, чтобы каждый интервал содержал примерно одинаковое число галактик. В скобках указано число (n) объектов с измеренным радиоизлучением для данного интервала светимостей. Ошибка определения ФРС пропорциональна $n^{-1/2}$.

Таблица 3

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ
СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

$M_p < -21.4$	$M_p > -21.4$	$\lg P_{1.4}$ (Вт/Гц)
0.04 ± 0.04 (1)		25.2
		24.8
		24.4
0.16 ± 0.08 (3)	0.04 ± 0.04 (1)	24.0
0.22 ± 0.10 (1)	0.08 ± 0.06 (1)	23.6
0.35 ± 0.13 (2)	0.18 ± 0.09 (2)	23.2
0.42 ± 0.15 (1)	0.31 ± 0.13 (2)	22.8
0.75 ± 0.22 (4)	0.54 ± 0.19 (3)	22.4
< 1.0 (0)	< 1.0 (0)	22.0
< 1.0 (0)	0.77 ± 0.25 (2)	21.6
	1.00 ± 0.34 (1)	21.2
		20.8

Зависимость логарифма интегральной функции радиосветимости ($F(\geq P)$) галактик для $M_p \leq -21.4$ и $M_p > -21.4$ от $\lg P_{1.4}$ приве-

дена на рис. 1. На рис. 2 представлена подобная зависимость для сейфертовских галактик 1-го типа. Вероятность того, что для значений $\lg P_{1.4} \geq 23.0$ точки ФРС оптически ярких ($M_p \leq -21.5$) и слабых ($M_p > -21.5$) галактик попадут в область перекрытия ошибок, меньше 0.05.

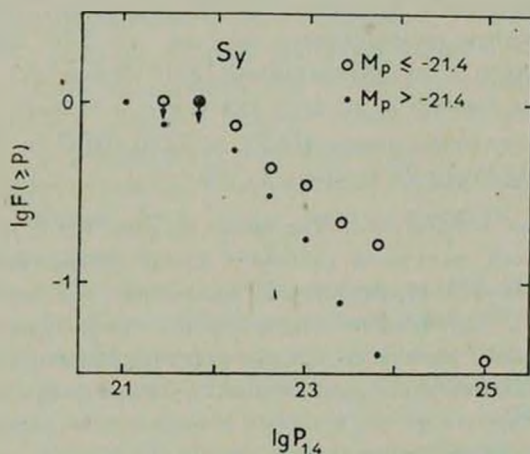


Рис. 1. Интегральная функция радиосветимости Sy галактик.

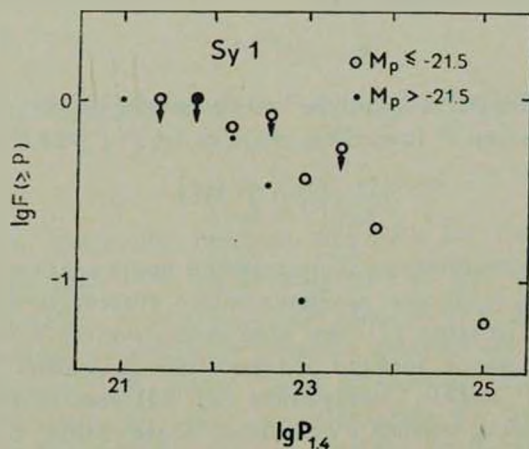


Рис. 2. Интегральная функция радиосветимости Sy 1 галактик.

Поэтому для того, чтобы не усложнять рисунки, на них не приведены ошибки определения ФРС. В данной выборке число Sy 2 галактик невелико, и для них ошибки определения ФРС могут быть большими. По этой причине мы не приводим ФРС для этих объектов.

В используемом методе построения ФРС очень важно, чтобы пересчет плотностей потоков и верхних границ с других частот на частоту 1.4 ГГц не приводил к их недооценке. В противном случае объекты с низкой радиосветимостью могут попасть в интервал высоких светимостей, что недопустимо в приведенном методе построения ФРС. В нашем случае пересчет плотностей потоков на частоту 1.4 ГГц осуществлялся с $\nu > 1.4$ ГГц со средним значением спектрального индекса $\alpha = 0.75$, что является характерным значением α для *Sy* галактик [23]. Переоценка же плотностей потоков и верхних границ не исказит вид ФРС, а только сделает более плоским наклон слабого конца ($\lg P_{1.4} < 23.0$) ФРС и более крутым наклон яркого ($\lg P_{1.4} > 23.0$) (рис. 1, 2).

4. *Обсуждение результатов.* Как видно из рис. 1 и 2, на слабом конце функции светимости оптически слабые и яркие сейфертовские галактики примерно с одинаковой вероятностью являются радиоисточниками. На ярком конце ФРС вероятность сейфертовской галактики быть радиоисточником больше у оптически ярких галактик. Можно получить аналитическое представление этого заключения, а также связь между светимостями сейфертовских галактик в радио и оптическом диапазонах. С этой целью, используя дифференциальную форму ФРС, мы оценили средние значения радиосветимостей для разных интервалов абсолютных величин и определили связь между радиосветимостью $\bar{P}_{1.4}$ и оптической светимостью L_p . Эта связь оказалась вида

$$\bar{P}_{1.4} \sim L_p^{1.2 \pm 0.3}. \quad (2)$$

Далее, зная зависимость функции светимости $F(\geq P)$ от M_p , при определенном значении P (см. табл. 3), для $\lg P_{1.4} > 23.0$ получаем

$$F(\geq P) \sim L_p^{1.3 \pm 0.5}. \quad (3)$$

Таким образом, соотношение (2) показывает, что в среднем оптически яркие сейфертовские галактики являются также относительно сильными радиоисточниками. Согласно (3), чем ярче сейфертовская галактика в оптическом диапазоне, тем с большей вероятностью она может быть радиоисточником с $\lg P \geq 23.0$. Соотношения (2), (3) выполняются также для *Sy* 1 галактик, правда, ошибки в степени L_p более велики. В работах [24—27] были получены подобные соотношения для нормальных спиральных, эллиптических и радиогалактик. Разница заключается только в значениях светимостей этих галактик как в радио, так и в оптическом диапазонах. По значениям светимостей сейфертовские галактики занимают промежуточное положение между нормальными галактиками и радиогалактиками.

Обратимся к применению основных выводов (соотношения (2) и (3)) данной работы относительно сейфертовских галактик двух типов, предполагая, что соотношения (2), (3) справедливы также для Sy 2 галактик (что весьма вероятно, так как Sy галактики по многим своим свойствам занимают промежуточное положение между нормальными галактиками и радиогалактиками, для которых, как было отмечено, выполняются подобные соотношения. Кроме этого, эти соотношения имеют место как для Sy, так и для Sy 1 галактик). С этой целью мы вычислили средние значения абсолютных величин Sy галактик 1 и 2 типов, которые оказались равными -21.4 ± 1.1 и -20.6 ± 1.1 соответственно. С точки зрения распределения Стьюдента расхождение этих двух средних с надежностью 98% можно считать неслучайным. Следовательно, можно предположить, что вероятность галактики Sy 1 быть радиоисточником со светимостью $\lg P_{1.4} \geq 23.0$ больше, чем у Sy 2.

В заключение следует отметить, что в данной выборке Sy галактик пространственный объем объектов высокой оптической светимости примерно в 10 раз превышает тот же объем для слабых объектов. Однако, с другой стороны, согласно [4], пространственная плотность галактик высокой светимости во столько же раз меньше, чем у слабых. Следовательно, использование разных пространственных объемов практически не внесет существенных искажений в распределение $F(> P)$.

Автор признателен рецензенту за полезные замечания.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

THE RADIO LUMINOSITY FUNCTION OF SEYFERT TYPE GALAXIES

R. A. KANDALIAN

The radio luminosity function ($F(> P)$) for Seyfert (Sy) type galaxies brighter than $14^m.2$ has been derived on the basis of the complete sample of galaxies. It is found that the average radio luminosity ($\bar{P}$) and the luminosity function of Seyfert galaxies are correlated with the optical luminosity ($\bar{P}_{1.4} \sim L_p^{1.2 \pm 0.3}$ and $F(> P) \sim L_p^{1.3 \pm 0.3}$). It is supposed that the probability of being a radio source for Sy 1 galaxy with the luminosity $\lg P_{1.4} \geq 23.0$ is higher than for Sy 2 galaxy.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967; 5, 443, 581, 1969.
2. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовский, *Астрофизика*, 7, 511, 1971; 8, 155, 1972; 9, 487, 1873; 10, 307, 1974; 12, 389, 657, 1976.

3. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, *Астрофизика*, 13, 225, 397, 1977; 15, 201, 363, 549, 1979.
4. В. Ю. Терещиж, *Астрофизика*, 16, 45, 1980.
5. D. W. Weedman, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 15, 69, 1977.
6. D. W. Weedman, *M. N.*, 184, 11, 1978.
7. В. А. Афанасьев, Э. К. Денисюк, В. А. Липовецкий, *Письма АЖ*, 5, 271, 1979.
8. D. Kunth, W. L. W. Sargent, *ESO Preprint No.* 35, 1978.
9. В. А. Афанасьев, В. А. Липовецкий, Б. Е. Маркарян, Дж. А. Степанян, *Астрофизика*, 16, 193, 1980.
10. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, *Астрофизика*, 16, 5, 609, 1980.
11. A. G. de Bruyn, A. S. Wilson, *Astron. Astrophys.*, 53, 93, 1976.
12. R. A. Sramek, H. M. Toumassian, *Ap. J.*, 196, 339, 1975.
13. E. S. A. Meurs, A. S. Wilson, *Astron. Astrophys., Supl. ser.*, 45, 99, 1981.
14. L. L. Dressel, J. J. Condon, *Ap. J. Suppl. ser.*, 36, 53, 1978.
15. В. А. Санамян, Р. А. Кандалян, *Астрофизика*, 15, 701, 1979; 16, 425, 1980.
16. В. А. Санамян, Р. А. Кандалян, Г. А. Оганян (в подготовке к печати).
17. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 1, 1961.
18. F. Zwicky, E. Herzog, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 2, 1963; vol. 3, 1966; vol. 4, 1968.
19. F. Zwicky, M. Karpowicz, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 5, 1965.
20. F. Zwicky, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, vol. 6, 1968.
21. M. Schmidt, *Ap. J.*, 151, 393, 1968.
22. Y. Avni, A. Soltan, H. Tananbaum, G. Zamorant, *Ap. J.*, 238, 800, 1980.
23. A. G. de Bruyn, A. S. Wilson, *Astron. Astrophys.*, 64, 433, 1978.
24. E. Hummel, *Astron. Astrophys.*, 93, 93, 1981.
25. I. M. Gioia, L. Gregorini, G. Vettolani, *Astron. Astrophys.*, 96, 58, 1981.
26. G. Gavazzi, G. Trinchieri, *Astron. Astrophys.*, 97, 128, 1981.
27. C. Auremma, G. C. Perola, R. Ekers, R. Fanti, C. Lari, W. J. Jaffe, M. H. Ulrich, *Astron. Astrophys.*, 57, 41, 1977.