

УДК: 524.7—7

ТРЕХМЕРНАЯ ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ПЕРВОГО ТИПА

Р. А. КАНДАЛЯН

Поступила 18 июля 1986

Принята к печати 25 декабря 1986

Построены двумерная (радио, рентген) и трехмерная (радио, рентген, оптика) логарифмические функции светимости сейфертовских галактик первого типа. На основе частных коэффициентов ранговой корреляции показано существование истинной корреляции между радио- и рентгеновским излучением галактик Sy 1.

1. *Введение.* Выполненные до сих пор наблюдения галактик с активными ядрами в рентгеновском диапазоне дали ряд интересных результатов (см., например, обзор Вильсона [1]). В частности выяснилось, что большинство сейфертовских галактик первого типа являются мощными источниками рентгеновского излучения (10^{41} — 10^{45} эрг/с), а среди Sy 2 изредка встречаются рентгеновские источники со светимостью более 10^{41} эрг/с. Существуют другие активные галактики, обладающие узкими эмиссионными линиями, которые по спектроскопическим характеристикам близки к Sy 2, но часто являются рентгеновскими источниками (10^{40} — 10^{43} эрг/с).

Рассматривалась также связь рентгеновского излучения со свойствами в других диапазонах электромагнитного спектра [1—4] и на этой основе выдвигались разные физические модели активности указанных галактик.

Часто при рассмотрении корреляции между светимостями в разных диапазонах, из-за эффекта селекции расстояний, обусловленного ограниченной чувствительностью наблюдений любого обзора, степень корреляции между этими величинами бывает переоценена. Рассмотрение же плотностей потоков в разных диапазонах для выявления корреляции между этими величинами может иногда привести к недооценке или потере истинной корреляции [5]. Рассмотрение корреляций на основе информации о светимостях предпочтительнее, однако при этом нужно учесть возможный эффект селекции расстояний.

В настоящей работе рассматриваются некоторые особенности сейфертовских галактик первого типа на основе их двумерной (радио, рентген)

и трехмерной (радио, рентген, оптика) локальных ($z < 0.1$) функций светимости, построенных для полной выборки Sy1 галактик ярче $14^m.2$ [6].

2. *Выборка сейфертовских галактик первого типа.* Выборка сейфертовских галактик ярче $14^m.2$ и метод построения двумерной (радио, оптика) функции светимости подробно описаны в [6], поэтому здесь мы приведем лишь список 35 Sy1 галактик (табл. 1). В табл. 1 последовательно даны: наименование галактики; красное смещение; фотографическая видимая величина; абсолютная фотографическая величина; логарифм радиосветимости на частоте 1.4 ГГц в единицах Вт/Гц; логарифм рентгеновской светимости в диапазоне 0.5—4.5 КэВ в единицах эрг/с (соответствующие $H_0 = 75$ км/с Мпк). Для галактик Маркарян 590, 1048, 618, 509, 926, 530, NGC 4235, II Zw 136, Аракелян 564 по сравнению с [6] использованы результаты новых наблюдений этих объектов на 1.4 ГГц [7]. Скобками отмечены значения логарифмов радиосветимостей тех галактик, потоки которых пересчитаны на 1.4 ГГц с других частот со средним спектральным индексом $\alpha = 0.75$ ($S, \sim \nu^{-\alpha}$). Данные рентгеновских наблюдений в диапазоне 0.5—4.5 КэВ приведены в работах [2, 8—10]. Для галактики Маркарян 1040 плотность потока для диапазона 0.5—4.5 КэВ пересчитана с диапазона 2—10 КэВ со средним спектральным индексом $\alpha = 0.5$.

Выборка галактик Sy1 полностью наблюдалась в радиодиапазоне, а в рентгеновском — только 23 объекта. При построении функции светимости, как и в [6], мы воспользовались методом, предложенным в [11], который наряду с измеренными значениями плотностей потоков использует также значения верхних пределов.

3. *Двумерная и трехмерная функции светимости.* В табл. 2, 3 приведены интегральные формы двумерной и трехмерной функций светимости соответственно. В скобках указано число объектов с измеренным радиоизлучением для данного интервала светимостей. На рис. 1, 2 представлены зависимости интегральной функции радиосветимости $F(> L_{1.4})$ от $\lg L_{1.4}$ соответственно в двумерном и трехмерном случаях. Чтобы не усложнять рисунки на них не приведены ошибки $F(> L_{1.4})$.

Из рис. 1 видно, что чем ярче сейфертовская галактика в рентгеновском диапазоне, тем с большей вероятностью она может быть радиоисточником с $\lg L_{1.4} > 22.5$. Отметим, что выборки $\lg L_x < 43.5$ и $\lg L_x \geq 43.5$ имеют примерно одинаковые средние значения красного смещения и абсолютной звездной величины. Разность вероятностей $\Delta F(> L_{1.4})$ относительно сильных ($\lg L_x \geq 43.5$) и слабых ($\lg L_x < 43.5$) объектов в рентгеновском диапазоне еще сильнее проявляется, когда рассматриваются только те объекты, которые ярче также в оптическом диапа-

Таблица 1

ВЫБОРКА СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Галактика	z	m_p	M_p	$\lg L_{1.4}$ (Вт/Гц)	$\lg L_r$ (эрг/с)
Марк 335	0.025	13. ^m 6	-21. ^m 4	< 22.0	43.7
I Zw 1	0.061	14.0	-23.2	22.9	43.9
Марк 590	0.027	13.7	-21.4	22.2	43.5
1040	0.017	13.4	-20.8	<(22.6)	43.1
1044	0.016	14.2	-19.9	<(23.0)	
1048	0.043	13.7	-22.5	22.8	
Марк 609	0.034	14.2	-21.3	<(23.2)	<43.9
3 C 120	0.033	13.7	-21.9	25.1	44.2
Марк 618	0.035	14.1	-21.6	22.6	43.3
Арак 120	0.033	13.9	-21.6	(23.7)	43.7
VII Zw 118	0.079	14.0	-23.5	<(24.3)	
Марк 79	0.022	12.8	-22.0	22.2	43.3
10	0.029	13.5	-21.8	< 21.8	<43.4
391	0.013	13.5	-20.1	< 21.2	
705	0.028	13.5	-21.7	< 21.5	<43.3
Марк 1243	0.036	14.2	-21.7	<(23.3)	
NGC 3516	0.0093	11.9	-20.9	22.8	
Марк 744	0.010	13.3	-19.7	<(22.2).	
NGC 4051	0.0024	11.2	-18.7	20.8	41.1
4151	0.0033	11.0	-19.6	22.0	42.3
NGC 4235	0.0077	12.9	-19.5	21.0	
Марк 766	0.013	13.5	-20.1	22.1	41.9
231	0.041	13.8	-22.3	23.8	<43.4
Марк 279	0.032	14.2	-21.4	22.6	43.8
NGC 5548	0.017	12.9	-21.3	22.7	43.2
Марк 471	0.034	14.2	-21.4	22.1	
817	0.032	14.0	-21.6	22.3	
841	0.036	13.7	-22.1	< 22.2	
Марк 509	0.035	12.5	-23.2	22.5	43.9
II Zw 136	0.062	13.8	-23.1	22.9	<44.6
Марк 304	0.065	14.2	-22.9	< 22.5	43.0
Арак 564	0.025	13.8	-21.1	22.5	
NGC 7469	0.017	12.7	-21.5	23.5	43.5
Марк 926	0.048	14.2	-22.2	23.2	44.6
Марк 530	0.029	14.1	-21.2	22.6	<43.7

Таблица 2

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ДВУМЕРНАЯ
ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ

$\lg L_x < 43.5$	$\lg L_x > 43.5$	$\lg L_{1,4}$
	0.08 ± 0.08 (1)	25.2
		24.8
		24.4
0.09 ± 0.09 (1)	0.16 ± 0.11 (1)	24.0
	0.33 ± 0.16 (2)	23.6
	0.52 ± 0.21 (2)	23.2
0.32 ± 0.18 (2)	0.80 ± 0.26 3	22.8
0.66 ± 0.27 (3)	0.89 ± 0.28 (1)	22.4
< 0.93 (0)	< 1 (0)	22.0
< 1 (0)		21.6
1.0 ± 0.43 (1)		21.2
		20.8

Таблица 3

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ТРЕХМЕРНАЯ ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ

$\lg L_x < 43.5$		$\lg L_x > 43.5$		$\lg L_{1.4}$
$M_p > -21.5$	$M_p < -21.5$	$M_p > -21.5$	$M_p < -21.5$	
			0.17 ± 0.17 (1)	25.2
				24.8
				24.4
	0.17 ± 0.17 (1)		0.34 ± 0.24 (1)	24.0
		0.17 ± 0.17 (1)	0.51 ± 0.29 (1)	23.6
		< 0.34 (0)	0.84 ± 0.37 (2)	23.2
0.25 ± 0.25 (1)	0.38 ± 0.27 (1)	0.59 ± 0.34 (2)	1.0 ± 0.41 (1)	22.8
0.75 ± 0.43 (2)	0.59 ± 0.34 (1)	0.80 ± 0.40 (1)		22.4
	< 0.92 (0)	< 1 (0)		22.0
	< 1 (0)			21.6
1.0 ± 0.5 (1)				21.2
				20.8

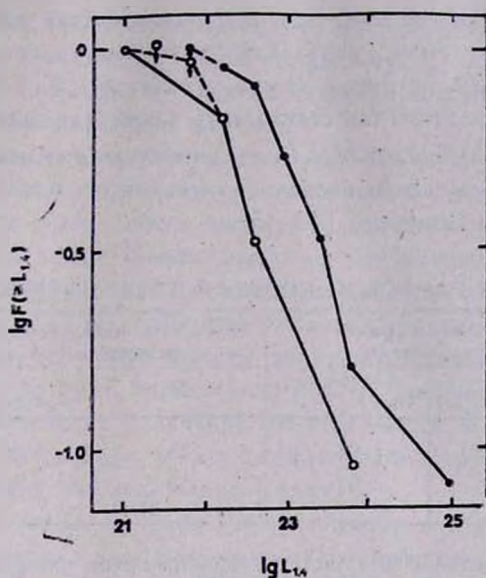


Рис. 1. Интегральная двумерная функция светимости сейфертовских галактик первого типа; ● — $\lg L_x \geq 43.5$; ○ — $\lg L_x < 43.5$.

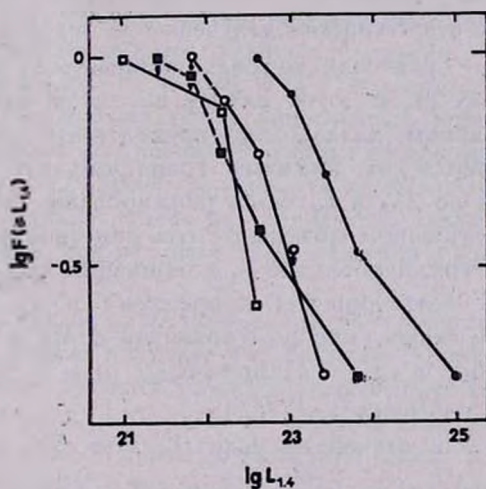


Рис. 2. Интегральная трехмерная функция светимости сейфертовских галактик первого типа; ● — $M_p < -21.5$, $\lg L_x \geq 43.5$; ○ — $M_p > -21.5$, $\lg L_x \geq 43.5$; ■ — $M_p < -21.5$, $\lg L_x < 43.5$; □ — $M_p > -21.5$, $\lg L_x < 43.5$.

зоне ($M_p < -21.5$) (рис. 2). Разница вероятностей для других пар незначима, как в случае $M_p < -21.5$. Таким образом, среди объектов с $M_p < -21.5$ и $\lg L_x \geq 43.5$ радиисточники с $\lg L_{1.4} > 22.5$ встречаются чаще, чем у других групп объектов.

Как было отмечено во введении, при рассмотрении взаимосвязи некоторых параметров в разных диапазонах спектра могут возникать эффекты селекции, искажающие истинные связи параметров. В настоящей работе для учета возможных эффектов селекции, а также для выяснения вопроса, какая из корреляций между M_p , $L_{1.4}$, L_x является основной для нашей выборки объектов, мы воспользовались методом частных коэффициентов ранговой корреляции Спирмана [12, 13].

Таблица 4

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ И ИХ ДОСТОВЕРНОСТИ

Объекты с обнаруженным радио- и рентгеновским излучением			Объекты, наблюдавшиеся в радио- и рентгеновском диапазоне		
n	$R_{L_x L_{1.4}(M_p)}$	Достоверность (%)	N	$R_{L_x L_{1.4}(M_p)}$	Достоверность (%)
14	0.61	96	23	0.32	84
7	0.85	97	12	0.40	73
$(M_p < -21.5)$			$(M_p < -21.5)$		

В табл. 4 приведены значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмана и их достоверности для объектов с обнаруженным радио- и рентгеновским излучением, а также наблюдавшихся в обоих диапазонах. Число наблюдавшихся галактик обозначено через N , а число галактик с обнаруженным радио- и рентгеновским излучением — через n . $R_{L_x L_{1.4}(M_p)}$ — частный коэффициент ранговой корреляции между L_x и $L_{1.4}$ при фиксированных значениях M_p и z . В случае объектов, наблюдавшихся в радио- и рентгеновском диапазоне, приведенные коэффициенты и достоверности являются их нижними границами, так как объекты с верхними границами по $L_{1.4}$ и L_x были ранжированы так, чтобы минимизировать соответствующие коэффициенты ранговой корреляции.

Для остальных групп объектов и комбинаций между M_p , L_x , $L_{1.4}$, z соответствующие коэффициенты корреляции и их достоверности незначимы. Отметим лишь, что для объектов с $M_p \geq -21.5$ доминируют связи $M_p - L_{1.4}$ и $M_p - L_x$ при $R_{M_p L_{1.4}(L_x)} = R_{M_p L_x(L_{1.4})} = 0.7$, хотя достоверность невысока ($\sim 77\%$).

Таким образом, для данной выборки галактик Sy1 связь $L_x - L_{1.4}$ является основной.

Неполнота наблюдений в рентгеновском диапазоне для данной выборки, вероятно, качественно мало изменит основные результаты, вытекающие из функции светимости, так как примерно для одинаковых чисел галактик из групп с $M_p < -21.5$ и $M_p \geq -21.5$ нет данных наблюдений в рентгеновском диапазоне. Кроме того, средние радио- и оптические характеристики галактик, не наблюдавшихся в рентгеновском диапазоне, мало отличаются от таковых для галактик, наблюдавшихся в этом диапазоне.

4. *Обсуждение.* Попытаемся на основе приведенных выше результатов, а также из ряда известных свойств сейфертовских галактик, представить модель ядер этих галактик, которая качественно в какой-то степени объяснит некоторые наблюдательные факты.

Предположим, что излучение ядерной области (несколько кпк) сейфертовской галактики, обусловленное активностью ядра, наряду с нетепловой составляющей имеет также тепловую составляющую излучения во всем диапазоне спектра. Правда, известно, что основная часть излучения сейфертовских галактик имеет нетепловую природу, хотя в случае галактик $Sy\ 2$ или им подобных объектов тепловая составляющая излучения в некоторых диапазонах может внести определенный вклад в интегральное излучение или даже быть определяющей (см., например, [14—16]).

В пользу разделения излучения сейфертовских галактик на тепловую и нетепловую составляющие, в частности, в радиодиапазоне, свидетельствуют также следующий наблюдательный факт.

Наблюдения ряда сейфертовских галактик в дециметровом и сантиметровом диапазонах с высоким угловым разрешением показали, что они (как, например, Маркарян 3, 6, 348, NGC 1068, 1275 и др.) наряду с ядерными компонентами имеют и протяженные компоненты [16—23]. Протяженные детали, особенно в галактиках $Sy\ 2$, хорошо совпадают с областями образований запрещенных линий, которые могут служить источниками теплового радиоизлучения этих галактик. Согласно теоретическим расчетам, приведенным в [16], на частоте 5 ГГц тепловой компонент радиоизлучения областей образования узких эмиссионных линий может достигать до 16% интегрального излучения. На более высоких частотах эта доля может быть еще выше. С другой стороны, эти же области на низких частотах могут поглощать синхротронное излучение ядер галактик, что проявляется в виде завалов в спектрах некоторых объектов $Sy\ 2$ (Маркарян 6, 463, NGC 1068 [20, 22, 23]).

Естественно, что более реальную картину процессов, протекающих в этих галактиках, можно получить только после многочастотных наблюдений этих галактик с высоким угловым разрешением ($\ll 1''$), когда будет возможным определить спектральные индексы отдельных радиоизлучающих деталей и их связь с окружающими объектами.

В рамках принятой нами модели излучения сейфертовских галактик можно предположить, что относительный вклад того или иного компонента (теплового или нетеплового) в интегральное излучение может проявляться в виде корреляции между наблюдаемыми величинами в разных диапазонах спектра. С этой точки зрения, положительная корреляция между рентгеновским и радиоизлучением для сейфертовских галактик первого типа, вероятно, свидетельствует о связи нетепловых компонентов излучения.

В заключение отметим, что недостаточное число галактик в отдельных группах по M_p , L_x , а также малочисленность спектроскопических, морфологических и других данных не позволяют проводить уверенные сравнения некоторых параметров для этих групп в различных диапазонах спектра.

5. Основные результаты и выводы. а) Построены двумерная (радио, рентген) и трехмерная (радио, рентген, оптика) локальные функции светимости сейфертовских галактик первого типа. Показано, что среди галактик Sy 1 с $M_p < -21.5$ и $\lg L_x \geq 43.5$ радиоисточники с $\lg L_{1.4} > 22.5$ встречаются относительно чаще, чем у более слабых объектов по M_p , L_x .

б) На основе частных коэффициентов ранговой корреляции Спирмана показано существование истинной корреляции между радио- и рентгеновским излучением галактик Sy 1.

в) Если предположить, что излучение ядерной области сейфертовской галактики, обусловленное активностью ядра, наряду с нетепловой составляющей имеет также тепловую составляющую во всем диапазоне спектра, то относительный вклад того или иного компонента в интегральное излучение может проявляться в виде корреляции между наблюдаемыми величинами в разных диапазонах спектра. С этой точки зрения, положительная корреляция между рентгеновским и радиоизлучением для сейфертовских галактик первого типа, вероятно, свидетельствует о связи нетепловых компонентов излучения в этих диапазонах.

Автор выражает благодарность А. Р. Петросяну за обсуждение результатов настоящей работы.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

THE TRIVARIATE LUMINOSITY FUNCTION OF SEYFERT TYPE 1 GALAXIES

R. A. KANDALIAN

The bivariate (radio, X-ray) and trivariate (radio, X-ray, optical) local luminosity functions for Seyfert type 1 galaxies has been derived. The existence of true correlation between radio and X-ray emission for Seyfert 1 galaxies has been shown on the basis of the partial rank correlation coefficients.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. S. Wilson, Proc. Roy. Soc. London A, 366, 461, 1979.
2. G. A. Kriss, C. R. Canizares, G. R. Rickker, Astrophys. J., 242, 492, 1980.
3. E. I. Meurs, A. S. Wilson, Astron. and Astrophys., 136, 206, 1984.
4. M. Whittle, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 213, 1, 33, 1985.
5. E. D. Feigelson, C. J. Berg, Astrophys. J., 269, 400, 1983.
6. Р. А. Кандалян, Астрофизика, 18, 580, 1982.
7. A. S. Wilson, E. J. A. Meurs, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 50, 217, 1982.
8. A. Lawrence, M. Elvis, Astrophys. J., 256, 410, 1982.
9. J. E. Steiner, Astrophys. J., 250, 459, 1981.
10. M. Elvis, T. Maccacaro, A. S. Wilson, M. J. Ward, M. V. Pentson, R. A. E. Fosbury, G. C. Perola, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 183, 129, 1978.
11. Y. Avni, A. Soltan, H. Tananbaum, G. Zamorani, Astrophys. J., 238, 800, 1980.
12. М. Дж. Кендалл, А. Стюарт, Статистические выводы и связи. Наука, М., 1973.
13. J. T. Macklin, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 199, 1119, 1982.
14. R. Terlevich, J. Melnick, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 213, 841, 1985.
15. G. H. Rieke, Astrophys. J., 226, 550, 1978.
16. J. S. Ulvestad, A. S. Wilson, R. A. Sramek, Astrophys. J., 247, 419, 1981.
17. J. S. Ulvestad, A. S. Wilson, Astrophys. J., 278, 544, 1984.
18. J. S. Ulvestad, A. S. Wilson, Astrophys. J., 285, 439, 1984.
19. R. V. Booler, A. Padlar, R. D. Davies, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 199, 229, 1982.
20. A. Padlar, R. V. Booler, R. E. Spencer, O. J. Stewart, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 202, 647, 1983.
21. S. G. Neff, A. S. de Bruyn, Astron. and Astrophys., 128, 318, 1983.
22. В. С. Артюх, Р. А. Кандалян, М. А. Оганнисян, В. А. Санамян, Астрофизика, 18, 215, 1982.
23. В. С. Артюх, Р. А. Кандалян, М. А. Оганнисян, В. А. Санамян, Астрофизика, 23, 29, 1985.