

УДК: 524.76

## О СВЯЗИ ИНФРАКРАСНОГО И РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИК ТИПА ЛАЙНЕРОВ

В.Г.МАЛУМЯН, В.Г.ПАНАДЖЯН

Поступила 21 марта 2001

Принята к печати 15 июля 2001

Исследованы зависимости между монохроматической светимостью на частотах 0.408, 1.4 и 4.85 ГГц и интегральной светимостью в далекой инфракрасной (ИК) области галактик типа лайнеров. На всех частотах существует тесная корреляция между радиосветимостью и ИК-светимостью лайнеров. Характер зависимости между радио- и ИК-светимостью спиральных лайнеров отличается от таковой для спиральных нормальных и спиральных сейфертовских галактик. У последних эта зависимость в широком интервале частот радиоизлучения линейная. У спиральных лайнеров она возможно имеет нелинейный характер. Разброс (стандартное отклонение) вокруг линии регрессии зависимости радио- и ИК-светимостей у спиральных лайнеров заметно больше. По отношению потоков излучения в далекой ИК-области и в радиодиапазоне спиральные лайнеры в среднем превосходят спиральные нормальные и сейфертовские галактики.

1. *Введение.* Известно, что наклон зависимости между монохроматической светимостью на какой-нибудь частоте радиоизлучения ( $L$ ) и интегральной светимостью в далекой инфракрасной (ИК) области ( $L_{IR}$ ) галактик  $L_r \sim L_{IR}^m$  (величина  $m$ ) зависит от физических процессов, происходящих в них [1]. Они могут протекать по-разному в галактиках разных классов и типов. Поэтому интересно исследовать связь между радио- и ИК-излучением для галактик разных классов и типов в отдельности.

Для спиральных галактик вышеупомянутая связь исследовалась во многих работах [2-11]. В работе [11] одного из авторов показано, что существует тесная зависимость между светимостью на ряде радиочастот и светимостью в далекой ИК-области спиральных галактик. Показано также, что наклоны зависимостей  $L_r \sim L_{IR}^m$  на этих радиочастотах меньше единицы, хотя в пределах ошибок они мало отличаются от нее. Тесная корреляция существует также между потоками радиоизлучения и излучения в далекой ИК-области. Она остается тесной и после учета связи между массой и потоками излучения галактик, а также эффекта селекции.

Для сейфертовских галактик связь между  $L_r$  и  $L_{IR}$  рассматривалась в работах [12-14]. Для галактик Маркаряна - в [15,16].

В работе [14] показано, что на частотах радиоизлучения 0.408, 1.49 и 4.85 ГГц связь  $L_r \sim L_{IR}^m$  для галактик Сейферта линейная.

В связи с этим представляет интерес и исследование вышеупомянутой зависимости для лайнеров. В спектрах центральных областей галактик

этого типа присутствуют сильные эмиссионные линии химических элементов с низкой степенью ионизации. Предполагается, что причиной ионизации в центральной части лайнеров может быть высокочастотное излучение незвездного происхождения [17-19].

В настоящей работе приводятся результаты исследований связи радио- и ИК-излучения лайнеров на трех радиочастотах. Приводятся также результаты сравнения параметров этой связи для нормальных спиральных галактик, сейфертовских галактик и лайнеров.

2. Зависимость  $L_r \sim L_{FR}^m$  лайнеров. С целью исследования связи радио- и ИК-излучения лайнеров мы составили выборку из 47 галактик этого типа, большинство которых спиральные.

Галактики типа лайнеров брались из NED. Обычно сравнивают радиосветимость на какой-нибудь частоте и интегральную светимость в далекой ИК-области. Морфологические типы, красные смещения, плотности ИК-потоков на 60 и 100 мкм и радиоизлучения на 0.408, 1.49 и 4.85 ГГц лайнеров также брались из NED. Если плотности потоков на этих радиочастотах там отсутствовали, использовались данные из [20-26].

Интегральные плотности потоков в диапазоне 40-120 мкм  $S_{FR}$  вычислялись, согласно [27], как

$$S_{FR} = 1.26 \times 10^{-14} (2.58 S_{60} + S_{100}) \text{ Вт м}^{-2},$$

где  $S_{60}$  и  $S_{100}$  - плотности потоков на 60 и 100 мкм. Интегральные плотности потоков излучения галактик в этом диапазоне нечувствительны к коррекциям, обусловленным разницей цветов галактик, которые надо вводить в ИК-потоки, измеренные с помощью IRAS.

Угловые коэффициенты  $m$  (наклоны) линейной регрессии зависимости  $\log L_r \sim m \log L_{FR}$  с их среднеквадратическими ошибками, коэффициенты корреляции  $r$ , их уровни значимости  $p$  и величины рассеяния вокруг среднего (стандартные отклонения)  $SD$  на частотах 0.408, 1.49 и 4.85 ГГц даны в табл.1.

Из табл.1 следует, что у лайнеров существует тесная корреляция между радиосветимостью и интегральной светимостью в далекой ИК-области. Хорошо коррелируют между собой также плотности потоков радиоизлучения и в далекой ИК-области. Например, на частоте 1.4 ГГц для связи  $\log S_r \sim m \log S_{FR}$

Таблица 1

### ЗАВИСИМОСТЬ $\log L_r \sim m \log L_{FR}$ ЛАЙНЕРОВ НА РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Частота (ГГц)	$m$	$r$	$p\%$	$SD$
0.408	0.97±0.09	0.86	<0.01	0.55
1.4	1.02 0.09	0.86	<0.01	0.56
4.85	0.96 0.11	0.80	<0.01	0.66

( $S_r$  - плотность потока радиоизлучения) имеем  $m = 0.72 \pm 0.12$ ,  $r = 0.67$ ,  $p < 0.01\%$ ,  $SD = 0.58$ . Эта зависимость представлена на рис.1.

Как видно из рис.1 и 2, пять объектов из 47 довольно сильно выделяются. На рисунках они отмечены цифрами. Из этих пяти объектов, согласно данным NED, только NGC 6500 спиральная галактика. Остальные объекты морфологических типов E или S0. Согласно некоторым источникам (например, [25]), NGC 6500 также галактика морфологического типа L, а не спиральная.

Таким образом, выделяющиеся на рисунках из общей группы лайнеры - это галактики морфологических типов E или S0. Параметры связи  $\log L_r \sim m \log L_{Fr}$  не выделяющихся из общей группы 42 объектов указаны в табл.2. Среди них, согласно NED, только NGC 6240 не спиральная галактика.

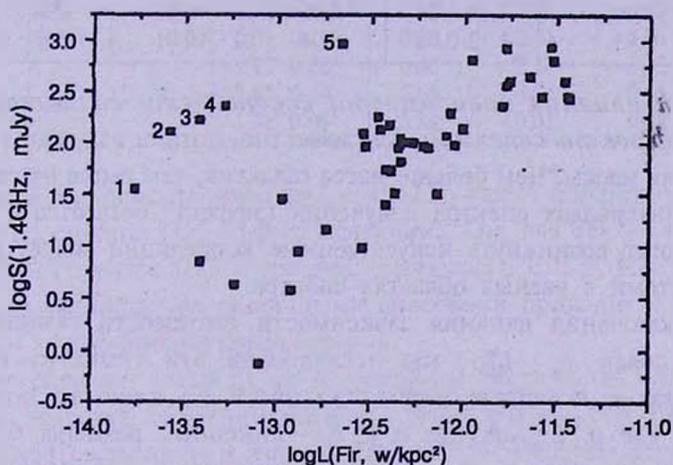


Рис.1. Зависимость плотностей потоков излучения на частоте 1.4 ГГц и в далекой ИК-области лайнеров ( $m = 0.72$ ,  $r = 0.67$ ,  $SD = 0.58$ ,  $p < 0.01\%$ ). Цифрами здесь и на рис.2 обозначены сильно отклоняющиеся от общей группы объекты. 1 - NGC 4589, 2 - NGC 3998, 3 - NGC 5675, 4 - NGC 6500, 5 - NGC 1052.

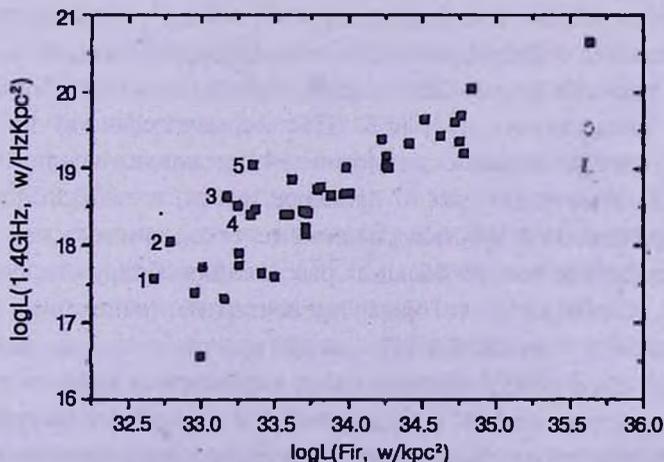


Рис.2. Зависимость нормализованных по площади поверхности галактик светимостей на 1.4 ГГц и в далекой ИК-области лайнеров ( $m = 0.91$ ,  $r = 0.74$ ,  $SD = 0.56$ ,  $p < 0.01\%$ ).

Остальные - спиральные галактики. Поэтому данные табл.2 можно считать относящимися к спиральным галактикам типа лайнеров.

Как видно из табл.1 и 2, зависимости между радио- и ИК-светимостями тесные. Если для всех 47 лайнеров они на всех трех радиочастотах практически линейные, то в отдельности для спиральных лайнеров, как следует из данных табл.2, они могут быть нелинейными.

Таблица 2

ЗАВИСИМОСТИ  $\log L_r \sim m \log L_{r_0}$  ДЛЯ 42 ЛАЙНЕРОВ

Частота (ГГц)	$m$	$r$	$\rho\%$	$SD$
0.408	$1.09 \pm 0.07$	0.93	<0.01	0.42
1.4	$1.16 \pm 0.06$	0.96	<0.01	0.34
4.85	$1.12 \pm 0.06$	0.94	<0.01	0.37

3. Учет влияния зависимости светимости галактик от их массы и эффекта селекции. Как известно, потоки излучения галактик зависят от их массы. Чем больше масса галактик, тем выше их светимость в разных интервалах спектра излучения (эффект "богатства"). По этой причине могут возникнуть искусственные корреляции между потоками и светимостями в разных областях спектра.

Для исключения влияния зависимости светимости галактик от их массы на связь  $L_r \sim L_{r_0}^m$ , мы исследовали эти связи на всех трех радиочастотах с помощью нормализованной по площади поверхности галактик  $L_r/ab$  и  $L_{r_0}/ab$ , где  $a$  и  $b$  - линейные размеры больших и малых осей галактик в кпк. Для определения  $a$  и  $b$  использовались угловые размеры осей галактик, указанных в NED.

Параметры нормализованных по площади поверхности зависимостей  $\log L_r/ab \sim m \log L_{r_0}/ab$  приведены в табл.3. Для каждой радиочастоты в первых строках указаны параметры, относящиеся ко всем 47 объектам, во вторых строках - только к спиральным галактикам. Нормализованная по площади поверхности галактик зависимость между светимостью на 1.4 ГГц и в далекой ИК-области представлена на рис.2. (Для нормализованной по площади поверхности галактик зависимости плотностей потоков излучения на 1.4 ГГц и в далекой ИК-области для всех 47 лайнеров имеем,  $m = 0.70 \pm 0.10$ ,  $r = 0.73$ ).

Из-за ограниченной чувствительности телескопов имеет место эффект селекции, вследствие чего на больших расстояниях обнаруживаются только те объекты, светимость которых превосходит предельное значение чувствительности телескопа. По этой причине может возникнуть искусственная связь между исследуемыми параметрами выборок различных объектов, что, в свою очередь, может привести к повышению коэффициентов корреляций между этими параметрами. Существуют различные способы учета эффекта селекции [28]. Нами использован метод частных (или условных)

коэффициентов корреляций [29].

Частный коэффициент корреляции для нормализованной по площади поверхности зависимости  $\log L_r \sim m \log L_{Fr}$  для спиральных лайнеров на частоте 1.4 ГГц равен 0.88 с уровнем значимости меньше 0.01%. Мы вычислили также частный коэффициент корреляции второго порядка, когда одновременно

Таблица 3

НОРМАЛИЗОВАННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ  $\log L_r / ab \sim m \log L_{Fr} / ab$   
ЛАЙНЕРОВ

Частота (ГГц)	$m$	$r$	$p\%$	$SD$
0.408	0.76±0.16	0.59	<0.01	0.71
	1.03 0.10	0.85	<0.01	0.42
1.4	0.91 0.12	0.74	<0.01	0.56
	1.13 0.08	0.90	<0.01	0.35
4.85	0.82 0.14	0.65	<0.01	0.65
	1.08 0.09	0.88	<0.01	0.38

учитывается зависимость связи  $\log L_r \sim m \log L_{Fr}$  как от площади поверхности, так и от расстояния (т.е. эффект селекции). Он, для тех же объектов, на частоте 1.4 ГГц равен 0.87 с уровнем значимости 0.01%. Как видим, учет эффекта селекции двумя различными способами приводит к одинаковым величинам коэффициента корреляции.

Таким образом, после учета зависимости светимости галактик от их массы и эффекта селекции теснота связи светимости на 1.4 ГГц и интегральной светимости в далекой ИК-области спиральных лайнеров не ухудшается. Это имеет место и на частотах 0.408 и 4.85 ГГц, а также когда лайнеры различных морфологических типов рассматриваются вместе.

4. Сравнение со спиральными галактиками и с галактиками Сейферта. Из 61 спиральной галактики, рассмотренной в [11], 24 объекта, согласно данным NED, галактики Сейферта или лайнеры. После их исключения в выборке остаются 37 спиральных галактик, которые не являются ни лайнерами, ни сейфертовскими галактиками.

Параметры зависимостей  $\log L_r \sim m \log L_{Fr}$  для вышеупомянутой выборки из 37 нормальных спиральных галактик и выборки из 60 спиральных сейфертовских галактик (не являющихся лайнерами), рассмотренных в [14] на частотах 0.408; 1.4 и 4.85 ГГц, указаны в табл.4. На всех трех частотах радиоизлучения уровни значимости коэффициентов корреляций  $r$ , указанных в таблице как для нормальных спиральных галактик, так и для сейфертовских спиральных галактик, меньше 0.01%. Аналогичные данные для спиральных лайнеров уже приведены в табл.2.

Из сравнения данных табл.2 и 4 следует, что если у нормальных спиральных галактик и спиральных галактик Сейферта связь между радио- и ИК-светимостями

практически линейная, то у спиральных лайнеров она может быть нелинейной. Видно также, что на всех трех радиочастотах, по сравнению с нормальными спиральными и сейфертовскими галактиками, у спиральных лайнеров стандартные отклонения  $SD$  в зависимости  $\log L_r \sim m \log L_{Fr}$  заметно больше.

Логарифмы средних значений отношений ИК-потоков и потоков радиоизлучения на частоте 1.4 ГГц нормальных спиральных галактик,

Таблица 4

### ЗАВИСИМОСТИ РАДИО- И ИК-СВЕТИМОСТЕЙ НОРМАЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ И СПИРАЛЬНЫХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Частота (1.4 ГГц)	Нормальные спиральные галактики (37 объектов)			Спиральные галактики Сейферта (60 объектов)		
	$m$	$r$	$SD$	$m$	$r$	$SD$
0.408	1.03±0.08	0.90	0.23	1.00±0.06	0.91	0.28
1.4	0.95 0.08	0.90	0.22	0.97 0.05	0.93	0.24
4.85	0.88 0.08	0.89	0.22	0.97 0.06	0.92	0.26

спиральных сейфертовских галактик и спиральных лайнеров, вычисленные как [1,27]

$$q = \log S_{Fr} / 3.75 \times 10^{12} - \log S_r,$$

равны  $2.14 \pm 0.03$ ,  $2.11 \pm 0.03$  и  $2.31 \pm 0.05$  соответственно. Как видно, если у спиральных нормальных галактик и сейфертовских галактик отношения ИК и радиопотоков на 1.4 ГГц не отличаются, то спиральные лайнеры по этому отношению примерно в 1.5 раза превосходят спиральные нормальные и сейфертовские галактики. Уровень статистической значимости этой разницы меньше 1%. Разница сохраняется и на частотах 0.408 и 4.85 ГГц.

5. *Обсуждение результатов и выводы.* Результаты, полученные нами на основании анализа связи радио- и ИК-излучения галактик типа лайнеров, согласуются со сделанным ранее во многих работах заключением об универсальности этой связи [1,30-35].

Основные выводы настоящей работы следующие.

1. В широком интервале частот радиоизлучения имеется тесная корреляция между светимостью на этих частотах и светимостью в далекой ИК-области галактик типа лайнеров. Такая же тесная корреляция существует между потоками радиоизлучения и потоком излучения в далекой ИК-области. Корреляция остается тесной и после учета влияния связи между массой и светимостью галактик, а также эффекта селекции.

2. Характер зависимости  $L_r \sim L_{Fr}^m$  спиральных лайнеров, по-видимому, отличается от такового для спиральных нормальных и сейфертовских спиральных галактик. Если у последних зависимость  $L_r \sim L_{Fr}^m$  в широком интервале частот радиоизлучения линейная, то у спиральных лайнеров не исключено, что она имеет нелинейный характер. Разброс точек (стандартное отклонение) вокруг

линии регрессии зависимости  $\log L_r \sim m \log L_{FIR}$  у спиральных лайнеров также заметно больше.

3. По отношению интегральных потоков излучения в далекой ИК-области и монохроматических потоков радиоизлучения спиральные лайнеры в среднем превосходят нормальные и сейфертовские галактики того же морфологического типа.

Для более уверенных выводов относительно характера зависимости  $\log L_r \sim m \log L_{FIR}$  спиральных лайнеров необходимы дальнейшие исследования на основании большего статистического материала.

Результаты, полученные нами, по всей вероятности, свидетельствуют о том, что в спиральных лайнерах, наряду с другими физическими процессами, могут иметь место и такие, которые отличаются от физических процессов, протекающих в спиральных нормальных и сейфертовских галактиках.

В этой работе использованы данные из NASA/IPAC базы внегалактических данных (NED), функционируемой Лабораторией реактивных движений Калифорнийского Технологического института по контракту с Национальной Администрацией Аэронавтики и Космических Исследований.

Бюраканская астрофизическая обсерватория  
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

## ON THE RELATIONSHIP OF INFRARED AND RADIO EMISSION OF GALAXIES OF LINER TYPE

V.H.MALUMYAN, V.G.PANAJYAN

The dependence between monochromatic radio luminosities at frequencies 0.408, 1.4 and 4.85 GHz and integral luminosity in the far infrared (FIR) range of LINER type galaxies has been investigated. They show a tight correlation between radio luminosities and FIR luminosity. The character of dependence between radio and FIR luminosity of spiral LINERs probably differs from the same dependence of spiral normal and spiral Seyfert galaxies. This dependence for normal and Seyfert galaxies is linear in wide range of radio frequencies. Whereas it is possible that relationship between radio and FIR luminosities of spiral LINERs has non linear character. The scatter around the line of regression (standard deviation) of spiral LINERs is considerably greater as well.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *J.J. Condon*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **30**, 575, 1992.
2. *X. Chi, A.W. Wolfendale*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **245**, 101, 1990.
3. *R. Price, N. Duric*, *Astrophys. J.*, **401**, 81, 1992.
4. *G. Helou, M.D. Bica*, *Astrophys. J.*, **415**, 93, 1993.
5. *C. Xu, U. Lisenfeld, H. Volk*, *Astron. Astrophys.*, **285**, 19, 1994.
6. *C. Xu, U. Lisenfeld, H. Volk, E. Wunderlich*, *Astron. Astrophys.*, **306**, 677, 1996.
7. *J.M. Jioia, L. Gregorini, U. Klein*, *Astron. Astrophys.*, **116**, 164, 1982.
8. *T.K. Menon*, *Astrophys. J.*, **372**, 419, 1991.
9. *Р.А. Кандалян, А.Т. Каллоглян*, *Астрофизика*, **41**, 349, 1998.
10. *Р.А. Кандалян, А.Т. Каллоглян*, *Астрофизика*, **41**, 599, 1998.
11. *В.Г. Малумян*, *Астрофизика*, **43**, 33, 2000.
12. *A.L. Roy et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **301**, 1019, 1998.
13. *B. Rush, M.A. Malkan, R.A. Edelson*, *Astrophys. J.*, **473**, 130, 1996.
14. *В.Г. Малумян, В.Г. Панаджян*, *Астрофизика*, **43**, 549, 2000.
15. *M.D. Bica et al.*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **98**, 369, 1995.
16. *Ю.И. Изотов, И.Ю. Изотова*, *Астрофизика*, **30**, 312, 1989.
17. *T.M. Heckman*, *Astron. Astrophys.*, **87**, 152, 1980.
18. *L. Ho, A.V. Filippenko, W.L.W. Sargent*, *Astrophys. J.*, **417**, 63, 1993.
19. *S. Vellieux, D.E. Osterbrok*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **63**, 295, 1987.
20. *J.J. Condon*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **65**, 485, 1987.
21. *J.J. Condon, Q.F. Yin*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **65**, 543, 1987.
22. *F.P. Israel, J.M. van der Hulst*, *Astron. J.*, **88**, 1736, 1983.
23. *J.M. Jioia, L. Gregorini*, *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, **41**, 329, 1980.
24. *J.J. Haenet*, *Austr. J. Phys.*, **35**, 321, 1982.
25. *J. Pfeleiderer*, *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, **28**, 313, 1977.
26. *R. Sramek*, *Astron. J.*, **80**, 771, 1975.
27. *G. Helou et al.*, *Astrophys. J.*, **298**, L7, 1985.
28. *F. Verter*, *Astrophys. J.*, **402**, 141, 1993.
29. *В. Иванов и др.*, *Математическая статистика, Высшая школа, М.*, 1975.
30. *S. Niklas*, *MPIFR prep. N686*, 1996.
31. *H.M. Sopp, P. Alexander*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **251**, 14p, 1991.
32. *S. Niklas et al.*, *Astron. Astrophys.*, **293**, 56, 1995.
33. *H. Volk*, *Astron. Astrophys.*, **218**, 67, 1989.
34. *A. Fitt, P. Alexander, M. Cox*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **233**, 907, 1988.
35. *E. Hummel*, *Astron. Astrophys.*, **160**, L4, 1986.