

УДК: 524.45-7

ОН МЕГАМАЗЕРНЫЕ ГАЛАКТИКИ

Р.А.КАНДАЛЯН

Поступила 8 апреля 1996

Принята к печати 10 мая 1996

Приведен анализ выборки ОН мегамазерных галактик. Показано, что зависимость L_{OH} от L_{IR} не является квадратичной, как принималось раньше, а более близка к линейной. В мегамазерных галактиках $L_c - L_{FIR} \leq 1$. Анализ данных также показал, что с уменьшением ширины линии излучения ОН абсолютные значения эффективности накачки и коэффициента мазерного усиления растут. В этих галактиках радиосветимость центрального компонента радиоизлучения увеличивается с уменьшением отношения L_{FIR} / L_c , в то время как FIR светимость остается неизменной. Эти результаты по всей вероятности требуют пересмотра вопросов накачки и механизмов мазерного излучения в мегамазерных галактиках.

1. *Введение.* Разными авторами в общей сложности было обнаружено около 50 галактик с мегамазерным излучением ОН ([1-9], ссылки же в них). Галактика Агр 220 была первой галактикой, у которой было обнаружено мегамазерное излучение ОН [10]. Основные особенности мегамазеров ОН таковы: а) Галактики с мегамазерным излучением богаты молекулярным газом ($M_{H_2} \sim 5 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^{10} M_\odot$) и имеют высокую IR светимость ($L_{FIR} \sim 10^{10} - 10^{13} L_\odot$). Область мазерного излучения имеет размер < 1 пк, а плотность молекулярного газа составляет $> 10^5 \text{ см}^{-3}$; б) Мегамазерные галактики показывают активность ядра и высокий темп звездообразования в ядерной области. Вообще для возникновения мегамазерного излучения ОН наличие в галактике одновременно интенсивного звездообразования и активности ядра (с сильным радиоcontinuumом) являются необходимыми условиями. Поэтому исследование этих объектов может пролить свет на связь активность ядра-звездообразование в центре галактики; в) Эти галактики имеют крутой IR спектр в диапазоне 12-25 мкм и пологий спектр в диапазоне 60 - 100 мкм. Кроме этого, изотропная ОН светимость пропорциональна квадрату FIR светимости (см. §4); г) Профили линии ОН часто показывают широкие крылья, смещенные в голубую сторону от пика на частоте 1667 МГц, что свидетельствует о наличии выбросов газа из ядерной области галактики. Наблюдения мегамазерных галактик показали, что плотности потоков радиоизлучения (continuum) и в линии ОН примерно одинаковы. С другой стороны, хотя число наблюдений с высоким разрешением ($\ll 1''$) невелико (всего 4 галактики: Агр 220, Мкп 273, ИИЗв 35, IRAS 17208-0014) [11-17], они показывают, что излучающее облако ОН наложено на источник радиоcontinuumа. Эти факты указывают на то, что в мегамазерных источниках осуществляется слабое усиление

излучения радиоконтинуума ядра в ненасыщенном режиме [11]. Инверсия уровней молекулы OH происходит под воздействием мощного IR излучения галактики [18-21].

Мегамазерное излучение OH методом VLBI исследовалось только у Aгр 220 [14, 22]. Согласно работе [22] основное излучение исходит из области с размером < 10 пк, а максимум линии излучает область с размером < 1 пк. Примерно 70% интегрального излучения линии исходит от области < 10 пк, т.е. мазерное облако занимает объем $< 10^3$ пк³. Оценки показали, что мегамазер в Aгр 220 накачивается компактным (< 30 пк) и теплым ($T > 150$ K) IR источником, окруженным холодной пылью с размером > 100 пк, а эффективность накачки > 0.01 . Высокий процент эффективности накачки свидетельствует о том, что в Aгр 220 основное излучение OH исходит от компактного ядра, а не от протяженной области звездообразования вокруг ядра [22]. Мартен и др. [23] показали, что оптическая толщина линии OH уменьшается с увеличением ширины линии и увеличивается с ростом IR светимости. Таким образом, при фиксированном значении IR светимости с уменьшением ширины линии OH светимость растёт.

2. *Эффект Малмквиста*. В астрономии очень важное значение имеет сравнение наблюдательных данных, полученных в разных диапазонах спектра, так как оно позволяет иметь представление о физических процессах, протекающих в космических объектах. В качестве параметра сравнения часто выбирается светимость излучения. Однако в связи с тем, что почти все астрономические обзоры подвержены эффекту Малмквиста (Malmquist) (вычисленные параметры выборки сильно зависят от расстояний объектов, так как на больших расстояниях обнаруживаются только те объекты, светимость которых превосходит предельное значение чувствительности приемной системы), часто при сравнении параметров выборки в разных диапазонах спектра возникает искусственная связь между ними. В тех случаях, когда в действительности существует реальная связь между параметрами выборки, этот эффект приводит к увеличению коэффициента корреляции между ними, что в свою очередь является причиной увеличения наклона линии регрессии. Поэтому в подобных случаях необходимо учитывать эффект Малмквиста, иначе его влияние может привести к неправильной трактовке результатов наблюдений.

Способы коррекции эффекта Малмквиста обсуждались в ряде работ (см., например, [24,25]). В настоящей работе мы воспользуемся методом частных коэффициентов корреляции [24,26]. В работе [25] используется метод взвешенных коэффициентов корреляции.

Допустим, мы рассматриваем связь между тремя переменными x , y , z .

Частный коэффициент корреляции между переменными x и y дается

следующей формулой в предположении, что существует определенная связь между (x, z) , (y, z) :

$$R_{xy,z} = (R_{xy} - R_x \cdot R_y) / [(1 - R_x^2) \cdot (1 - R_y^2)]^{0.5}, \quad (1)$$

где R_{xy} - коэффициент корреляции между переменными x, y при фиксированных значениях переменной z , R_{xy} - коэффициент корреляции между x, y в общем случае. R_x и R_y - коэффициенты корреляции между соответствующими переменными. Уровень значимости частного коэффициента корреляции дается следующей формулой [24]:

$$S_R = 0.5 \cdot (N - 4)^{0.5} \cdot \ln[(1 + R_{xy,z}) / (1 - R_{xy,z})], \quad (2)$$

где N - размер выборки. S_R имеет нормальное распределение с нулевым средним и единичным средним квадратичным отклонением. В частности если $S_R \geq 3$, то уровень значимости коэффициента корреляции больше 3σ ($\geq 99.7\%$).

Недавно в работе [27] метод частных коэффициентов корреляции был распространен на случай, когда при анализе используются также верхние пределы значений наблюдательных параметров (censored data). Разные аспекты эффекта Малмквиста подробно рассмотрены в [25].

3. *Выборка мегамазерных галактик.* По нашим данным в настоящее время известны 49 галактик с мегамазерным излучением ОН (табл. 1). В табл. 1 последовательно приведены: IRAS название галактики; расстояние (D); светимости в FIR ($\lg L_{FIR}$), ОН ($\lg L_{OH}$) и радиоконтинууме ($\lg L_C$); отношение плотности потока в линии ОН на частоте 1667 МГц к плотностям потоков на волнах 60 мкм ($\lg F_1 / F_{60}$) и в радиоконтинууме на 18 см. В последнем столбце табл. 1 приведена ссылка на литературу. Первая ссылка в каждой строке относится к литературе, откуда были взяты параметры D, L_{FIR}, L_{OH} и F_1 , а вторая ссылка относится к литературе, где приведены данные радиоконтинуума [6,28-37]. Значения плотностей потоков на 60 мкм брались из каталога IRAS. Мы включили в наш анализ только результаты тех радионаблюдений в континууме, которые были проведены с помощью VLA с высоким разрешением ($\leq 5''$), за исключением 6 галактик (IRAS 04332+0209, 04454-4838, 13097-1531, 16399-0937, 20100-4156 и 20550+1656). Эти галактики наблюдались на частоте 5 ГГц с разрешением $\sim 4''$ с помощью ATNF CA [6]. Радиосветимости объектов в континууме были рассчитаны для диапазона 10 ГГц от плотности потока на частоте 1.5 ГГц, принимая спектральный индекс радиоизлучения 0.75. В наших расчетах постоянная Хаббла принята равной $75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$.

Коэффициенты корреляции между (D, L_{FIR}) , (D, L_{OH}) , (D, L_C) составляют 0.67, 0.72 и 0.55 соответственно. Это указывает на то, что параметры выборки действительно зависят от расстояний объектов.

IRAS	D Мпк	$\lg L_{\text{IR}}$ L_{\odot}	$\lg L_{\text{OH}}$ L_{\odot}	$\lg L_c$ L_{\odot}	$\lg F_1$ / F_{60}	$\lg F_1$ / F_c	Литер.
00057+4021	179	11.3	1.9	5.8	-2.64	0.25	1, 28
00335 -2732	268	11.9	2.6	6.5	-2.28	0.23	2, 29
00509+1225	235	11.8	1.8	5.8	-2.66	0.15	2, 30
01364 -1042	187	11.7	2.0	6.3	-2.75	-0.14	3, 31
01418+1651	109	11.5	2.7	6.2	-1.77	0.78	4, 31
02483+4302	208	11.8	2.5	6.4	-2.17	0.20	5, 32
03056+2034	108	11.2	1.3		-2.77		2
03260 -1422	172	11.5	2.0		-2.39		5
04332+0209	48	10.4	0.4	4.8	-2.76	-0.15	4, 6
04454 -4838	212	11.6	2.8	6.4	-1.45	1.10	6, 6
05100 -2425	133	11.3	2.0	6.1	-2.18	0.07	4, 33
05414+5840	65	11.3	0.8	6.1	-3.45	-1.22	4, 34
06206 -3646	454	12.0	3.3		-2.18		7
08071+0509	208	11.5	2.2	6.5	-2.50	-0.21	3, 32
09320+6134	164	11.9	1.6	7.1	-3.23	-1.29	4, 31
10039 -3338	135	11.4	2.8	6.0	-1.46	1.32	6, 35
10173+0828	194	11.7	2.7	6.0	-1.47	1.37	4, 31
10378+1109	562	12.1	3.2	6.9	-2.16	0.33	7, 32
10485 -1447	500	12.3	2.9		-2.16		2
11010+4107	142	11.5	2.0	6.3	-2.62	-0.27	4, 31
11257+5850	48	11.7	1.3	6.7	-3.72	-1.49	4, 31
11506 -3851	41	11.2	1.5	5.6	-2.58	0.08	4, 35
12018+1941	702	12.4	2.7		-3.02		4
12112+0305	292	12.2	3.3	6.8	-2.24	0.35	4, 31
12243 -0036	34	11.0	-0.1	5.1	-4.43	-1.35	4, 31
12540+5708	173	12.4	2.9	7.4	-2.80	-0.63	4, 31
13097 -1531	91	11.4	1.1	6.0	-3.49	-1.00	4, 6
13254+4754	243	11.6	1.9		-2.72		4
13428+5608	157	12.0	2.7	7.0	-2.45	-0.17	4, 31
14070+0525	883	12.2	4.1		-1.31		8
15065 -1107	30	10.4	0.1		-3.24		9
15107+0724	52	11.1	1.0	5.6	-3.18	-0.46	4, 31
15179+3956	188	11.6	1.8		-2.76		3
15247 -0945	160	11.5	2.1		-2.37		5
15250+3609	219	11.9	2.6	6.3	-2.19	0.60	4, 31
15327+2340	78	12.1	2.7	6.8	-2.41	0.15	4, 31
16145+4231	375	11.9	3.0		-1.68		2
16399 -0937	107	11.4	1.6	6.0	-2.65	-0.13	4, 6
17208 -0014	171	12.3	3.0	7.0	-2.45	0.09	4, 36
17526+3253	100	11.1	1.0	6.0	-3.18	-1.15	4, 37
18544 -3718	297	11.7	2.3		-1.68		7
20100 -4156	516	12.5	4.0	7.2	-1.34	1.14	6, 6
20491+1846	118	10.9	1.1		-2.87		3
20550+1656	145	11.8	2.1	6.3	-2.63	0.05	4, 6
22025+4205	59	11.0	0.7	5.5	-3.25	-0.74	4, 36
22088 -1832	708	12.3	3.2		-2.02		7
22491 -1808	302	12.0	2.4	6.2	-2.78	0.21	4, 31
23135+2516	111	11.4	0.8	6.0	-3.49	-0.90	4, 31
23365+3604	248	12.1	2.4	6.7	-2.66	-0.13	2, 32

4. Связь между OH и FIR светимостями. Теперь перейдем к обсуждению связи $L_{\text{OH}} \sim L_{\text{FIR}}^2$ [38,19]. Эта связь в рамках ненасыщенного мазерного излучения интерпретируется следующим образом. С одной стороны, число инвертированных OH молекул (следовательно и OH

светимость) пропорционально IR светимости [21,39], а с другой стороны предполагается, что IR светимость пропорциональна радиосветимости галактики в континууме ($L_{\text{FR}} \sim L_{\text{C}}$), и тогда $L_{\text{OH}} \sim L_{\text{FR}} \cdot L_{\text{C}} \sim L_{\text{FR}}^2$. Однако, как покажет наш дальнейший анализ, при выводе статистической зависимости $L_{\text{OH}} \sim L_{\text{FR}}^2$ не были учтены эффект Малмквиста и тот факт, что IR и радио светимости необязательно должны быть связаны линейно [40]. На рис. 1 приведена зависимость L_{OH} от L_{FR} для выборки 49 мегамазерных галактик. Сплошная линия представляет линию регрессии с наклоном 1.66 и коэффициентом корреляции 0.85. При учете эффекта Малмквиста наклон линии составляет 1.38 (пунктирная линия), а коэффициент корреляции 0.70. Этот наклон становится еще меньше (~ 1) если из выборки ОН галактик исключить объекты IRAS 04332+0209, 12243-0036, 14070+0525, 15065-1107 и 20100-4156, которые имеют экстремальные значения L_{OH} . Таким образом зависимость между L_{OH} и L_{FR} не является квадратичной, как принималось раньше.

Таблица 2

ДАННЫЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

(x, y)	R	dR	S	dS	I	dI	$S_R(\sigma)$
$L_{\text{FR}}, L_{\text{OH}}$	0.70	0.07	1.38	0.14	-14.02	1.66	5.86
$L_{\text{FR}}, L_{\text{C}}$	0.85	0.05	0.99	0.06	-5.31	0.67	6.69
$L_{\text{C}}, L_{\text{FR}}/L_{\text{C}}$	-0.72	0.08	-0.33	0.04	7.44	0.24	-4.87
$L_{\text{OH}}/L_{\text{FR}}, dV$	-0.43	0.14	-0.20	0.07	0.22	0.63	-2.50
$L_{\text{OH}}/L_{\text{C}}, dV$	-0.66	0.10	-0.29	0.04	0.90	0.19	-4.31
$F_1/F_{60}, F_1/F_{\text{C}}$	0.92	0.03	1.05	0.03	2.59	0.18	8.50

Результаты статистического анализа для выборки мегамазерных галактик с учетом эффекта Малмквиста приведены в табл. 2, где последовательно приведены: коэффициент корреляции (R) между переменными x, y ; dR - среднее квадратичное отклонение R ; наклон линии регрессии (S) и его среднее квадратичное отклонение (dS); интерсепт линии регрессии (I) и его среднее квадратичное отклонение (dI); S_R - уровень значимости коэффициента корреляции. Линия регрессии имеет следующую форму: $y = Sx + I$, а коэффициенты S и I связаны с коэффициентом корреляции следующим образом: $S = R \cdot (s_y/s_x)$; $I = M_y - S M_x$, где s_x, s_y - средние квадратичные отклонения переменных x, y , а M_x, M_y - их средние значения. В табл. 2 переменные x и y следует рассмотреть в логарифмической форме, так, например, $\lg L_{\text{OH}} = 1.38 \lg L_{\text{FR}} - 14.02$. В этой таблице dV представляет ширину линии лучения ОН на уровне половинной интенсивности в км/с.

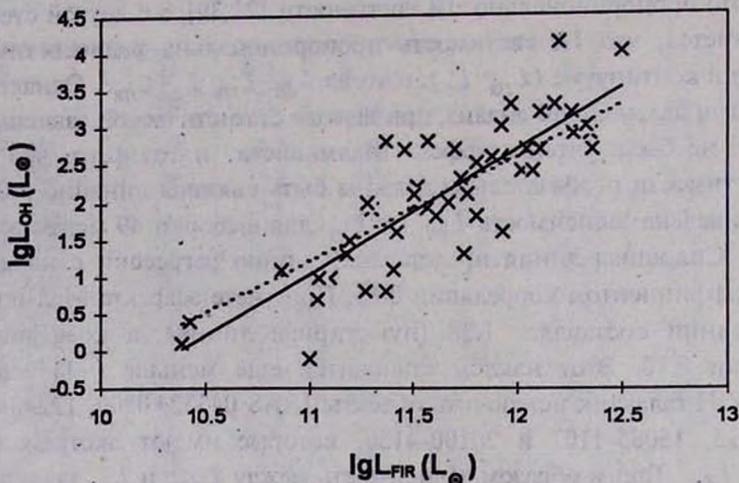


Рис. 1. Зависимость между L_{OH} и L_{FIR} для 49 ОН мегамазерных галактик. Сплошная линия представляет линию регрессии с наклоном 1.66, а пунктирная (наклон 1.38) - линию регрессии после учета эффекта Малмквиста.

5. *Связь FIR - радиоконтинуум в мегамазерных галактиках.* Мы также исследовали связь между L_{FIR} и L_C для этой выборки мегамазеров (см. табл. 2). Из 49 объектов для 35 галактик известны данные наблюдений с высоким разрешением в радиоконтинууме. Анализ этих данных показал, что IR и радиосветимости центральных компонент связаны соотношением $L_C \sim L_{FIR}^{0.99}$ (пунктирная линия, коэффициент корреляции 0.85) (см. табл. 2 и рис. 2). Сплошная линия представляет линию регрессии без коррекции эффекта Малмквиста (наклон 1.12, коэффициент корреляции 0.89). С другой стороны, согласно (см., например, [32,40-42]), IR - радиосвязь в различных частях галактики различна. Эта связь намного сильнее в ядерной области галактики, чем в области диска. Однако в ядерной области, в масштабе миллисекунды дуги, согласно [42], эта связь вовсе отсутствует. Лонсдейл и др. [42] опубликовали результаты VLBI наблюдений 31 галактики с мощным IR излучением. Из этого списка 13 объектов являются также мегамазерными галактиками. Наши оценки показали, что для 13 галактик, на самом деле, корреляция между IR и радиосветимостями существует ($L_C \sim L_{FIR}^{0.8}$, коэффициент корреляции 0.6), а для остальных 18 галактик без ОН излучения эта связь действительно отсутствует. Таким образом, складывается следующая картина: во-первых, связь между L_{OH} и L_{FIR} не является квадратичной и, во-вторых, нельзя принимать, что L_C и L_{FIR} всегда связаны линейно.

Мы получили практически те же результаты, когда использовали метод коррекции эффекта Малмквиста, предложенный в [25].

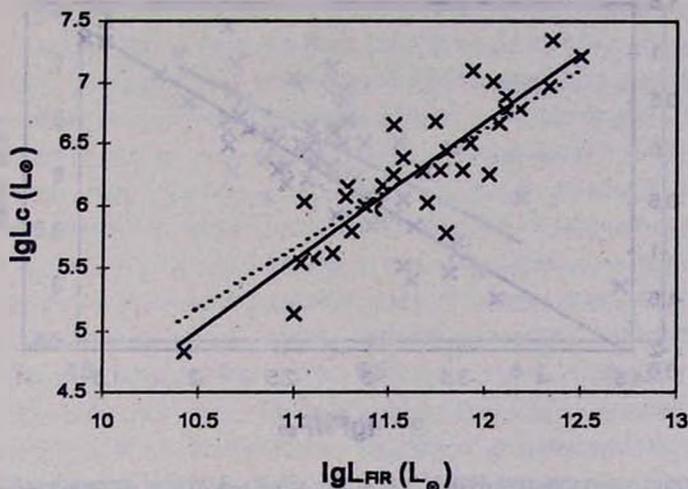


Рис. 2. Зависимость между L_c и L_{OH} для 35 ОН мегамазерных галактик. Сплошная линия представляет линию регрессии с наклоном 1.12, а пунктирная (наклон 0.99) - линию регрессии после учета эффекта Малмквиста.

6. *Обсуждение.* На рис. 3 приведена зависимость коэффициента мазерного усиления линии ОН (F_l / F_c) от эффективности накачки (F_l / F_{60}) для 35 галактик. Прямая линия представляет линию линейной регрессии (табл. 2). Видно, что между этими величинами существует тесная корреляция. Эта зависимость для 15 галактик исследовалась в работе [17] и наши результаты хорошо согласуются с результатами указанной работы.

Обычно у мегамазерных галактик эффективность накачки < 0.1 . Максимальное значение эффективности накачки (0.049) наблюдается у галактики IRAS 14070+0525, а минимальное значение ($3.7 \cdot 10^{-5}$) - у IRAS 12243-0036. У 8 галактик из 49 $F_l / F_{60} > 0.01$, а среднее значение $F_l / F_{60} = 0.008 \pm 0.002$ для всей выборки. Коэффициент мазерного усиления для 49 галактик меняется от 0.03 (IRAS 11257+5850) до 23.71 (IRAS 10173+0828) со средним значением 3.15 ± 1.02 . Из 49 галактик у 17 объектов этот коэффициент больше единицы. В рамках ненасыщенного усиления мазерного излучения значение коэффициента усиления близко к единице [11]. Следовательно для тех объектов, у которых $F_l / F_c \gg 1$, ненасыщенный механизм излучения мало вероятен. Согласно [22] у Агр 220 в пределах 10пк коэффициент усиления ≥ 60 .

В табл. 2 также приведены зависимости L_{OH} / L_{FR} и L_{OH} / L_c от полуширины линии излучения. Видно, что абсолютное значение эффективности накачки с уменьшением ширины линии ОН растет. Абсолютное значение мазерного усиления растет еще сильнее с уменьшением ширины

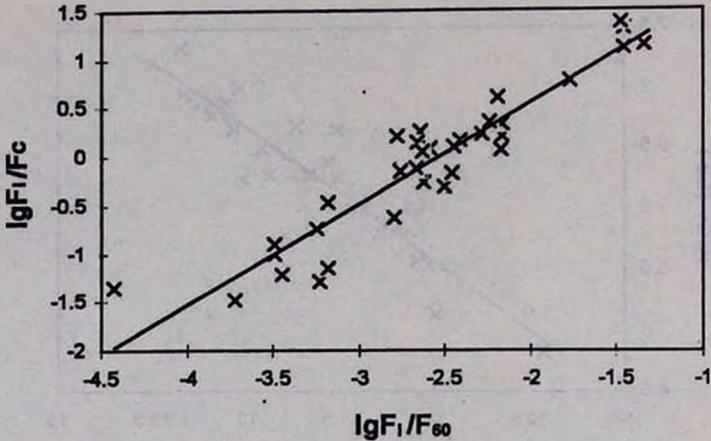


Рис. 3. Зависимость между F_1/F_c и F_1/F_{60} для 35 ОН мегамазерных галактик. Прямая линия представляет линию регрессии.

линии. Теперь перейдем к обсуждению связи FIR - радиоконтинуум для мегамазерных галактик.

Радиоизлучение галактики состоит из двух компонентов: теплового и нетеплового. Нетепловой компонент обусловлен синхротронным излучением, а тепловой компонент представляет свободно-свободное излучение от областей ионизированного водорода. Вклад этих компонентов в интегральное излучение зависит от частоты и типа галактики. Так, например, тепловой компонент растет с частотой, в то время как нетепловой компонент слабеет. В спокойных галактиках тепловой компонент практически отсутствует и радиоизлучение характеризуется синхротронным излучением. В галактиках со вспышкой звездообразования тепловой компонент растет, особенно на высоких частотах ($>10\text{ГГц}$).

Связь между IR и радиоизлучениями галактик исследовалась во многих работах (см., например, [42-45]). Было установлено, что IR - радиосвязь является универсальной зависимостью. Она наблюдается от нормальных до активных галактик и покрывает широкий диапазон светимостей ($\sim 10^4$). Часто наблюдается линейная связь между ними. Возникает естественный вопрос: почему эта связь универсальна и какие процессы ответственны за ее существование? Так как связь $L_C - L_{\text{FIR}}$ существует также для нормальных галактик, где активность ядра невелика, то естественно, что не ядро галактики играет главную роль в существовании этой связи. Хотя это не означает, что в активных галактиках ядро не влияет на эту связь, однако этот вопрос мало исследован. Процесс звездообразования протекает во всех галактиках, вследствие чего возникают тепловое и нетепловое излучения. Поэтому, многие справедливо

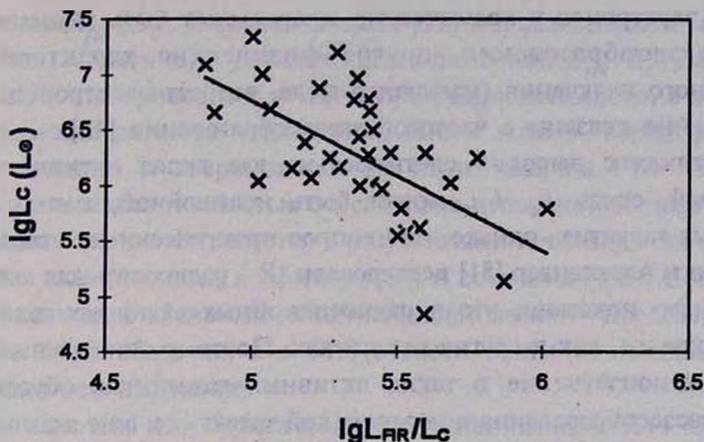


Рис. 4. Зависимость между L_c и L_{MR} / L_c для 35 ОН мегамазерных галактик. Прямая линия представляет линию регрессии.

считают, что корреляция между IR (тепловое излучение) и радио (тепловое + нетепловое) излучениями является следствием звездообразования в галактиках. Предполагается, что во время звездообразования, помимо ионизирующего излучения, возникает также поток космических лучей. Ионизированный газ излучает тепловое радиоизлучение, а электроны космических лучей, взаимодействуя с магнитным полем, излучают синхротронное радиоизлучение. Поэтому в галактиках мы наблюдаем тесную линейную связь между IR и радиоизлучениями, и причиной этой зависимости является звездообразование.

Другой важной задачей является выяснение причин, которые иногда приводят к отклонению указанной зависимости от линейной. К нелинейности могут приводить те компоненты IR и радиоизлучений, которые не являются следствием звездообразования в галактике. В частности, если холодный компонент IR излучения связан с пылью, нагретой старыми звездами, то его вклад в L_{MR} приводит к увеличению наклона (> 1) между $L_c - L_{MR}$ [45, 46]. Часть космических лучей может покидать галактику посредством диффузии и не будет участвовать в указанной корреляции [47, 48]. Эти эффекты могут проявляться, в основном, в галактиках с низкой светимостью. Вопрос линейризации исследовался также в [43, 49, 50]. Вообще, наблюдения показывают, что на высоких частотах, где вклад теплового радиокомпонента излучения выше, чем синхротронного, наклон зависимости $L_c - L_{MR}$ близок к единице, а на низких частотах этот наклон больше единицы (1.1-1.3), так как на этих частотах вклад синхротронного радиоизлучения больше, чем теплового радиокомпонента. Нелинейность зависимости $L_c - L_{MR}$ для синхротронного излучения объясняется тем, что

хотя число электронов в космических лучах может быть зависимым от частоты звездообразования, другие физические характеристики синхротронного излучения (магнитное поле, возраст электронов) могут быть нелинейно связаны с частотой звездообразования [43].

В галактиках с высокой светимостью, где вклад активного ядра существенный, связь $L_c - L_{IR}$ может быть нелинейной, как в случае мегамазерных галактик, однако этот вопрос практически не исследован. Недавно Сопп и Александер [51] исследовали IR - радиосвязь для активных галактик. Было показано, что в радиоспокойных активных галактиках эта связь такая же, как в других галактиках. Поэтому они предполагали, что IR и радиоизлучение в таких активных галактиках обусловлено вспышкой звездообразования в материнской галактике, а не активностью ядра. Этот вопрос более подробно исследован в [52]. В частности, используя модель непрерывного звездообразования, авторы работы [53] получили, что вспышка звездообразования вполне может объяснить IR - радиосвязь в радиоспокойных активных галактиках с $5.3 < \lg(L_{IR}/L_c) < 6.6$ без привлечения активного ядра. Однако чистая модель вспышки звездообразования не в состоянии объяснить IR - радиосвязь для тех радиоспокойных активных галактик, которые имеют $4.5 < \lg(L_{IR}/L_c) < 5.3$. В этом случае радиоизлучение галактики обусловлено активным ядром. Вспышка звездообразования также не в состоянии объяснить IR - радиосвязь в радиомощных активных галактиках (радиогалактики, радиоактивные квазары). В этих системах доминирующую роль играет активное ядро. Перес-Олея и Колина [53] предложили более полную эволюционную модель сверхвспышки звездообразования [41] в галактиках. Согласно этой модели в околоядерной области галактики, вследствие мгновенной вспышки звездообразования, образуется скопление звезд с массой $5 \cdot 10^5 M_\odot$ (компактная или сверхвспышка звездообразования [41]). В дальнейшем наложение отдельных мгновенных вспышек приводит к непрерывной вспышке звездообразования. В рамках этой модели, первые 6 млн лет вспышки, когда звезды еще не достигли главной последовательности, вся энергия скопления ионизирует газ. Поэтому в этот период доминирует тепловое радиоизлучение (спектральный индекс 0.1). Далее звезды с массой $> 8 M_\odot$ начинают вспыхивать как сверхновые II типа и этот процесс продолжается около 40 млн лет. В этот период доминирует нетепловое радиоизлучение (спектральный индекс (0.5-0.7)).

В ряде работ было показано, что в мощных IR галактиках отношение L_{IR}/L_c не зависит от IR светимости [29, 40]. Между тем, согласно [40], радиосветимость центрального компонента мощных IR галактик обратно пропорциональна L_{IR}/L_c . На рис. 4 приведена зависимость L_c от L_{IR}/L_c для 35 мегамазерных галактик. Прямая линия представляет линию регрессии (табл. 2). Между тем для этих же галактик L_{IR} не зависит от

отношения L_{FIR}/L_C . В рамках модели [52] эти зависимости можно легко объяснить. А именно, с уменьшением отношения L_{FIR}/L_C увеличивается вклад ядра, что приводит к увеличению радиосветимости, в то время как IR светимость остается неизменной. Иначе говоря, вероятно, активное ядро в мощных и сверхмощных IR галактиках на FIR излучение не влияет и последнее полностью обусловлено вспышкой звездообразования. Это предположение согласуется с результатами исследований IR спектров активных галактик (см., например, [54] и ссылки в ней). Согласно этим исследованиям, в активных галактиках ядро вносит определенный вклад в NIR и MIR областях, а в FIR области вспышка звездообразования определяет это излучение.

Нам кажется, что практически линейная зависимость между L_{OH} и L_{FIR} требует пересмотра вопросов накачки и механизмов мазерного излучения галактик. Не исключено, что во время звездообразования в окооядерной области галактики, молекулы OH образуются в инвертированном состоянии и усиливают радиоизлучение ядра галактики.

7. *Заключение.* На основе выборки 49 мегамазерных галактик было получено: а) Связь L_{OH} от L_{FIR} более близка к линейной зависимости, чем квадратичной. б) В мегамазерных галактиках $L_C \sim L_{FIR} \leq 1$. в) С уменьшением ширины линии OH абсолютные значения эффективности накачки и коэффициента мазерного усиления растут. г) Радиосветимость центрального компонента обратно пропорциональна L_{FIR}/L_C , между тем светимость инфракрасного излучения не зависит от этого отношения.

Автор выражает благодарность доктору М.А. Страуссу (M.A. Strauss) за предоставление результатов наблюдений на VLA до публикации. Автор также признателен сотруднику Бюраканской обсерватории доктору В.Г. Малумяну за проявленный интерес к работе и полезные замечания.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория, Армения

OH MEGAMASER GALAXIES

R.A.KANDALIAN

The analysis of the sample of 49 OH megamaser galaxies is presented. It is shown that the dependence L_{OH} from L_{FIR} is not quadratic as was adopted before and it is close to linear. The power of the dependence of radio continuum luminosity from infrared luminosity is ≤ 1 . Data analysis also shows that when linewidth of OH line is decreasing the absolute values of pumping

efficiency and maser gain are increasing. In megamaser galaxies radio luminosity of the central component is increasing when L_{FR}/L_c ratio is decreasing while the FIR luminosity is independent of this ratio. According to these results it seems likely that it will be necessary to revise pumping and amplifying mechanisms of OH emission in megamaser galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. *I.Kazes, I.F.Mirabel, F.Combes*, IAU Circ., 4629, 1988.
2. *L.Bottinelli, L.Gouguenheim, A.M.Le Squeren, M.Dennefeld, J.-M. Martin, G.Paturel*, IAU Circ., 4977, 1990.
3. *L.Bottinelli, L.Gouguenheim, A.M.Le Squeren, M.Dennefeld, J.-M. Martin, G.Paturel*, IAU Circ., 4928, 1989.
4. *J.-M.Martin*, Ph.D. Thesis, Univ. of Paris, 1989.
5. *I.Kazes, I.F.Mirabel, F.Combes*, IAU Circ., 4856, 1989.
6. *L.Staveley-Smith, R.P.Norris, J.M.Chapman, D.A.Allen, J.B.Whiteoak, A.L.Roy*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 258, 725, 1992.
7. *I.Kazes, W.A.Baan*, Astron.Astrophys., 248, L15, 1991.
8. *W.A.Baan, J.Rhoads, K.Fisher, D.A.Altshuler, A.Haschick*, Astrophys.J., 396, L99, 1992.
9. *W.A.Baan, A.Haschick, C.Henkel*, Astron.J., 103, 728, 1992.
10. *W.A.Baan, P.A.D.Wood, A.D.Haschick*, Astrophys.J., 260, L49, 1982.
11. *W.A.Baan, A.D.Haschick*, Astrophys.J., 279, 541, 1984.
12. *R.P.Norris, W.A.Baan, A.D.Haschick, P.J.Diamond, R.S.Booth*, Mon.Notic. Roy.Astron.Soc., 213, 821, 1985.
13. *J.T.Schmelz, W.A.Baan, A.D.Haschick*, Astrophys.J., 321, 225, 1987.
14. *P.J.Diamond, R.P.Norris, W.A.Baan, R.S.Booth*, Astrophys.J., 340, L49, 1989.
15. *J.-M.Martin, L.Bottinelli, M.Dennefeld, L.Gouguenheim, A.M.Le Squeren*, Astron.Astrophys., 208, 39, 1989.
16. *W.A.Baan, A.D.Haschick*, Astrophys.J., 364, 65, 1990.
17. *J.M.Chapman, L.Staveley-Smith, D.J.Axon, S.W.Unger, R.J.Cohen, A.Pedlar, R.D.Davies*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 244, 281, 1990.
18. *C.Henkel, W.A.Baan, R.Mauersberger*, Astron.Astrophys.Rcv., 3, 47, 1991.
19. *W.A.Baan*, Astrophys.J., 338, 804, 1989.
20. *C.Henkel, T.L.Wilson*, Astron.Astrophys., 229, 431, 1990.
21. *V.V.Burdyuzha, K.A.Vikulov*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 244, 86, 1990.
22. *C.J.Lonsdale, P.J.Diamond, H.E.Smith, C.J.Lonsdale*, Nature, 370, 117, 1994.
23. *J.-M.Martin, L.Bottinelli, L.Gouguenheim, A.M.Le Squeren, E.Gerard, M.Dennefeld*, Annales de Phys., Colloq. No.3, Suppl., 16, 49, 1991.
24. *J.T. Macklin*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 119, 1119, 1982.
25. *F.Verter*, Astrophys.J., 402, 141, 1993.

26. *M.G.Kendall, A.Stuart*, The Advanced Theory of Statistics, vol. 2, Statistical Inference and Statistical Relationship, Griffin, 1967.
27. *M.G.Akritas, J.Siebert*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 278, 919, 1996.
28. *H. Sopp, P. Alexander*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 259, 425, 1992.
29. *S.W.Unger, R.D.Wolstencroft, A.Pedlar, A.Savage, R.G.Clowes, S.K.Leggett, Q.A.Parker*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 236, 425, 1989.
30. *K.I.Kellerman, R.Sramek, M.Schmidt, D.B.Shaffer, R.Green*, Astron.J., 98, 1195, 1989.
31. *J.J.Condon, G.Helou, D.B.Sanders, B.T.Soifer*, Astrophys.J.Suppl.Ser., 73, 359, 1990.
32. *T.Crawford, J.Marr, B.Partridge, M.A.Strauss*, Astrophys.J., 460, 225, 1996.
33. *R.P.Norris, D.A.Allen, P.F.Roche*, Mon. Notic. Roy.Astron.Soc., 234, 773, 1988.
34. *J.J.Condon, D.T.Frayer, J.J.Broderick*, Astron.J., 101, 362, 1991.
35. *W.van Driel, A.C.den Broek, T.de Jong*, Astron.Astrophys.Suppl.Ser., 90, 55, 1991.
36. *J.J.Condon, G.Helou, D.B.Sanders, B.T.Soifer*, Astrophys.J.Suppl.Ser., 103, 81, 1996.
37. *S.A.Eales, C.G.Wynn-Williams, C.A.Beichman*, Astrophys.J., 328, 530, 1988.
38. *J.-M.Martin, L.Bottinelli, M.Dennefeld, L.Gouguenheim, A.M.Le Squeren*, Astron.Astrophys., 201, L13, 1988.
39. *J.-M.Martin, L.Bottinelli, M.Dennefeld, L.Gouguenheim, A.M.Le Squeren, G.Paturel*, C.R.Acad.Sci., Paris, T.308, Ser. II, 287, 1989.
40. *Р.А.Кандалян*, Астрофизика, 37, 383, 1994.
41. *J.J.Condon, Z.-P.Huang, Q.E.Yin, T.X.Thuan*, Astrophys.J., 378, 65, 1991.
42. *C.J.Lonsdale, H.E.Smith, C.J.Lonsdale*, Astrophys.J., 405, L9, 1993.
43. *R.Price, N.Duric*, Astrophys.J., 401, 81, 1992.
44. *J.J.Condon, M.L.Anderson, G.Helou*, Astrophys.J., 376, 95, 1991.
45. *A.J.Fitt, P.Alexander, M.J.Cox*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 233, 907, 1988.
46. *N.A.Devereux, S.A.Eales*, Astrophys.J., 340, 708, 1989.
47. *X.Chi, A.W.Wolfendale*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 245, 101, 1990.
48. *M.D.Bicaş, G.Helou*, Astrophys.J., 362, 59, 1990.
49. *C.Xu, U.Lisenfeld, H.J.Volk, E.Wunderlich*, Astron.Astrophys., 282, 19, 1994.
50. *C.Xu, U.Lisenfeld, H.J.Volk*, Astron.Astrophys., 285, 19, 1994.
51. *H.M.Sopp, P.Alexander*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 251, 14, 1991.
52. *L.Colina, D.Perez-Olea*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 277, 845, 1995.
53. *D.Perez-Olea, L.Colina*, Mon.Notic.Roy.Astron.Soc., 277, 857, 1995.
54. *L.K.Hunt*, Astrophys.J., 370, 511, 1991.