АСТРОФИЗИКА

ТОМ 53 АВГУСТ, 2010 ВЫПУСК 3

# ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ МАЗЕРНЫЕ ИСТОЧНИКИ $H_2O$ И ИХ СВОЙСТВА

Р.А.КАНДАЛЯН[1,2], М.М.АЛ-ЗЮТ[2]

Поступила 25 марта 2010
Принята к печати 25 мая 2010

Обсуждаются свойства выборки внегалактических $H_2O$ мазерных источников в широком диапазоне спектра. На основе выборки 81 мазерной галактики показанно, что мега и киломазеры показывают совершенно разные свойства. В частности, для мегамазеров наиболее сильные взаимосвязи наблюдаются между параметрами линии $H_2O$ и массой ядра галактики, а параметры линии не коррелированы с рентгеновским, инфракрасным и радиоизлучениями. Наблюдается слабая корреляция между мегамазерным излучением и поверхностной плотностью водорода. Что касается киломазеров, то $H_2O$-светимость слабо зависит от рентгеновского излучения, хотя в случае мягких рентгеновских лучей эта зависимость значима. $H_2O$ светимость у киломазеров показывает умеренную корреляцию со светимостями в инфракрасных лучах и радиоконтинууме, а параметры линии не зависят от массы ядра и поверхностной плотности водорода.

Ключевые слова: *мазеры - галактики:активные галактики:галактики с активным звездообразованием*

1. *Введение*. Внегалактическое мазерное излучение на волне 1.35 см было обнаружено в галактике M33 в 1976г. [1]. К настоящему времени это излучение обнаружено блоее чем у 105 галактик, в основном у галактик с активным ядром (см., например, [2,3] и там же ссылки). Внегалактические мазерные источники делятся на две группы. Галактики со светимостью $L_{H_2O} < 10\,L_\odot$ относятся к группе киломазеров, а объекты со светимостью $L_{H_2O} \geq 10\,L_\odot$ - к группе мегамазеров. Такое разделение обусловленно тем, что киломазеры, в основном, связаны с галактиками с активным звездообразованием, а мегамазеры - с галактиками с активным ядром. Кроме этого, мегамазеры наблюдаются в галактиках, у которых поверхностная плотность (column density) водорода в центральной части очень высока ($N_H > 10^{24}$ см$^{-2}$) [2,4,5]. Согласно [6], рентгеновское излучение центральной части галактики может нагреть околоядерное молекулярное облако и стимулировать мазерное излучение воды. В этом случае можно ожидать взаимосвязи между мазерным и рентгеновским излучениями. Кроме того, если мегамазерное излучение связано с активностьюю ядра, то корреляция между мазерным излучением и массой ядра галактики ожидаемая [7,8].

Мазерное излучение исходит из центральной части галактики с размером 1 пк и меньше. Морфологически мегамазеры разделены на три основные

группы: a) дискообразные мазеры (disk-masers), где очаги излучения образуют предполагаемый аккреционный диск (например, NGC 4258); b) мазеры, которые расположены вдоль струи, исходящей из центра галактики (jet-masers, например, Mrk 348); c) мазеры, которые расположены вдоль выбросов из ядра (outflow-masers, например, Circinus). Подобное морфологическое разделение основано, в первую очередь, на результатах *VLBI*-наблюдений (см., более подробно [9] и там же ссылки), а также на основе спектральных особенностей мазерного излучения. Незначительная корреляция была обнаружена между мазерным и рентгеновским излучениями [7]. Если мазерное излучение возникает в аккреционном диске, то взаимосвязь между мазерным и рентгеновским излучениями должна существовать, так как аккреционный диск является мощным источником рентгеновского излучения, поэтому этот вопрос представляет определенный интерес. Исследование взаимосвязи мазерного излучения с радиоконтинуумом поможет выяснить механизм мазерного излучения. В работе [10] обнаружена корреляция между мазерным и инфракрасным излучениями. Очень важным вопросом является исследование взаимосвязи мазерного излучения с массой ядра галактики. Согласно [8], существует положительная корреляция между мазерным излучением и массой черной дыры. Слабая корреляция обнаружена между светимостью мазерного излучения и поверхностной плотностью водорода [4].

Целью настоящей работы является более детальное исследование вышеперечисленных особенностей мазерного излучения на основе большой выборки галактик с применением непараметрических мотодов математической статистики. Применение непараметрических мотодов статистики позволяет более корректный анализ данных наблюдений, с учетом возможных эффектов селекции, в частности, эффекта Малмквиста и роль аномальных данных в оценке коэффициентов корреляции и регрессии. В разделе 2 будет обсуждаться выборка внегалактических мазеров. В разделе 3 приведен метод непараметрической линейной регрессии, который был использован в нашем анализе. В разделе 4 приведены результаты анализа. В разделе 5 обсуждаются результаты настоящей работы.

2. *Выборка $H_2O$ мазеров*. Как было указано во *Введении*, у более чем 105 галактик было обнаружено мазерное излучение. Однако параметры мазерного излучения не всех галактик (плотность потока и ширина линии излучения) приведены в литературе. Поэтому в наш список мазерных галалтик мы включили те объекты, для которых плотности потоков опубликованы (март 2010) (табл.1). В тех случаях, когда в литературе отсутствуют ширины линии излучения, мы их определяли из опубликованных спектров [3]. В табл.1 приведены данные 81 галактики. В этот список мы не включили только одну удаленную галактику J0804+3607

*Таблица 1*

## ВЫБОРКА 81 $H_2O$ МАЗЕРНЫХ ГАЛАКТИК

| | Галактика[7] | $Z$[a] | $\log L_{11.8}$[b] $L_\odot$ | $\log W$ км с$^{-1}$ | $\log L_{8.5\text{-}20\,\text{кпк}}$ $L_\odot$ | $\log L_{2\text{-}10\,\text{кпк}}$ $L_\odot$ | $\log L_{\text{Вакуум}}$[b] $L_\odot$ | $\log L_{1.4\,\text{ГГц}}$[b] $L_\odot$ | $\log M_s$ $M_\odot$ | $\log N_H$ см$^{-2}$ | Ссылки X-ray | $M_s$ | $N_H$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | NGC 23 | 0.02 | 2.20 | 1.57[b] | | | 10.72 | 5.08 | | | | | |
| 2 | IC10(SE)$_{\alpha}$ | 0.001 | -0.80 | 0.10 | 3.62 | 4.84 | | 2.16 | | 21.78 | 16 | | 4 |
| 3 | NGC 235A | 0.02 | 2.00 | 0.94[b] | 7.84 | | | 5.15 | | | 4 | | |
| 4 | NGC 253$_{\alpha}$ | 0.001 | -0.30 | 1.28 | 4.95 | 5.81 | 10.17 | 4.07 | 7.07 | 21.53 | 17,18 | 19 | 20 |
| 5 | Mrk 348 | 0.02 | 2.61 | 2.12 | 6.93 | 8.9 | 9.65 | 5.69 | 7.99 | 23.20 | 21,7 | 22 | 4 |
| 6 | ESO 013-G012 | 0.02 | 2.70[b] | 1.58 | 5.44 | 7.65 | 10.09 | | | | e | | |
| 7 | Mrk 1 | 0.02 | 1.81 | 0.46 | 5.90 | 8.11 | 10.21 | 5.14 | 7.16 | | e | 23 | |
| 8 | M33(IC133)$_{\alpha}$ | 0.001 | -0.50[b] | 0.18 | 1.42 | 5.62 | 6.91 | 2.85 | 5.14 | 21.23 | 24,25 | 22 | 4 |
| 9 | NGC 520$_{\alpha}$ | 0.01 | 0.60 | 0.04 | 5.02 | 6.45 | 10.66 | 4.85 | | | e | | |
| 10 | NGC 591 | 0.02 | 1.40 | 0.30[b] | 7.02 | 9.57 | 10.06 | 4.73 | 6.83 | 23.38 | 26 | 8 | 27 |
| 11 | NGC 613 | 0.005 | 1.45 | 1.57 | 5.62 | 7.83 | 10.14 | 4.40 | 7.31 | | e | 22 | |
| 12 | IC 0184 | 0.02 | 1.40 | 1.15[b] | 7.59 | | 9.49 | 3.86 | | | 4 | | |
| 13 | NGC 1052 | 0.01 | 2.33 | 1.93 | 6.64 | 7.5 | 8.75 | 5.22 | 8.31 | 23.11 | 28,7 | 22 | 29 |
| 14 | NGC 1068 | 0.004 | 2.16 | 0.70[b] | 7.87 | 9.6 | 10.81 | 5.65 | 7.60 | 24 | 30,7 | 22 | 27 |
| 15 | NGC 1106$_{\alpha}$ | 0.01 | 0.86 | 0.00 | | | 9.82 | 5.29 | | | | | |
| 16 | Mrk 1066 | 0.01 | 1.76 | 0.08 | 7.01 | 9 | 10.60 | 5.01 | 7.01 | 23.38 | 26,7 | 23 | 27 |
| 17 | 0335+0104 | 0.04 | 2.70[b] | 1.54[b] | | | 10.36 | 5.47 | | | | | |
| 18 | NGC 1386 | 0.003 | 2.08 | 0.58 | 6.88 | 8.4 | 9.10 | 3.35 | 8.01 | 23.29 | 31,7 | 22 | 27 |
| 19 | IC 342$_{\alpha}$ | 0.0001 | -1.83 | -0.27 | 3.26 | 5.9 | 9.06 | 3.63 | 6.46 | 21.58 | e,32 | 22 | 20 |
| 20 | UGC3193 | 0.01 | 2.40 | 1.10[b] | | | 10.16 | 4.43 | | | | | |
| 21 | UGC 3255 | 0.02 | 1.20 | 0.92[b] | 7.81 | | 10.00 | 4.94 | | | 4 | | |
| 22 | Mrk 3 | 0.01 | 1.04 | 0.40[b] | 7.76 | 9.6 | 10.29 | 6.15 | | 23.68 | 33,7 | | 27 |
| 23 | NGC 2146$_{\alpha}$ | 0.003 | 0.92 | 1.85 | 6.59 | 6.87 | 10.69 | 5.00 | | 21.30 | 34,35 | | 4 |
| 24 | VII Zw 073 | 0.04 | 2.20 | 0.65[b] | 8.50 | | 10.87 | 5.14 | | | 4 | | |
| 25 | NGC 2273$_{\alpha}$ | 0.01 | 0.83 | 1.53 | 6.36 | 8.1 | 9.78 | 4.22 | 7.30 | 23.64 | 31,7 | 23 | 27 |
| 26 | UGC 3789 | 0.01 | 2.53 | 0.78[b] | | | 9.71 | 4.16 | | | | | |
| 27 | Mrk 78 | 0.04 | 1.53 | 0.00[b] | 7.11 | 9.32 | 10.59 | | 7.15 | | e | 22 | |
| 28 | Mrk 1210 | 0.01 | 1.99 | 0.43 | 7.38 | 9.3 | 9.94 | 5.16 | 7.15 | 23.33 | 36,7 | 37 | 4 |
| 29 | He 2-10$_{\alpha}$ | 0.003 | -0.17 | 2.06 | 5.91 | 5.49 | | | | 21.09 | 38 | | 38 |
| 30 | 0836+3327 | 0.05 | 3.40[b] | 0.85[b] | | | | | | | | | |
| 31 | NGC 2639 | 0.01 | 1.85 | 0.65 | 6.82 | 7 | 9.78 | 4.99 | 8.02 | 23.60 | 29,7 | 22 | 4 |
| 32 | NGC 2782 | 0.01 | 1.08 | 0.08[b] | 5.64 | 7.6 | 10.22 | 4.80 | 7.60 | 20.85 | 4,7 | 22 | 39 |
| 33 | NGC 2824 | 0.01 | 2.70[b] | 2.18 | 7.11 | | 9.34 | 3.73 | 7.27 | | 4 | 22 | |
| 34 | 0927+493 | 0.03 | 2.70[b] | 1.49[b] | | | 10.68 | | | | | | |
| 35 | UGC 5101 | 0.04 | 3.17 | 2.43 | 6.97 | 8.8 | 11.67 | 6.16 | | 24.13 | 29,7 | | 4 |
| 36 | Mrk 1419 | 0.02 | 2.64 | 1.93[b] | 5.59 | 8.38 | 9.72 | 4.13 | | | e | | |
| 37 | NGC 2979 | 0.01 | 2.10[b] | 0.81[b] | 7.08 | | 9.47 | | 7.12 | | 4 | 37 | |
| 38 | NGC 2989 | 0.01 | 1.54 | 1.15[b] | | | 9.91 | | | | | | |
| 39 | M 82$_{\alpha}$ | 0.001 | 0.24 | 0.79 | 6.75 | 6.81 | 10.50 | 4.59 | | 21.08 | 40 | | 4 |
| 40 | NGC 3079 | 0.004 | 2.76 | 0.90[b] | 6.28 | 8.4 | 10.28 | 4.96 | 7.63 | 25.00 | 30,7 | 22 | 30 |
| 41 | IC 2560 | 0.01 | 2.12 | 1.39 | 6.34 | 8.3 | 9.79 | | 7.56 | 24.48 | 41,42,7 | 37 | 4 |
| 42 | Mrk 34 | 0.05 | 2.49 | 1.56 | 7.05 | 9.84 | 10.72 | | 7.96 | | e | 8 | |
| 43 | NGC 3359$_{\alpha}$ | 0.003 | -0.21 | 0.23[b] | 5.67 | | 9.28 | 3.63 | | | f | | |
| 44 | NGC 3393 | 0.01 | 2.61 | 1.38 | 7.53 | 8.5 | 9.94 | | 7.98 | 24.64 | 31,7 | 22 | 4 |

*Таблица 1 (окончание)*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | NGC 3556$_{(k)}$ | 0.002 | 0.04 | 1.00 | 4.13 | 5.56 | 9.29 | 4.26 | | 21.48 | 43 | | 4 |
| 46 | Arp 299 | 0.01 | 2.40 | 2.42 | 6.72 | 8.2 | | 5.72 | | 24.40 | 29,7 | | 4 |
| 47 | NGC 3735 | 0.01 | 1.21 | 0.45 | 5.20 | 7.41 | 10.13 | 4.69 | | | e | | |
| 48 | NGC4038/39$_{(k)}$ | 0.01 | 0.91 | 0.85 | 6.98 | | 10.45 | | | | f | | |
| 49 | NGC 4051$_{(k)}$ | 0.002 | 0.30 | 0.30$^{(k)}$ | 7.17 | 7.6 | 9.22 | 3.62 | 6.70 | 21.00 | 30,7 | 23 | 4 |
| 50 | NGC 4151$_{(k)}$ | 0.003 | -0.15 | 0.18 | 7.23 | 9.40 | 9.27 | 4.46 | 7.93 | 23.30 | 30,44 | 22 | 4 |
| 51 | NGC 4214$_{(k)}$ | 0.001 | -1.56 | 1.32 | 3.78 | 4.96 | 8.37 | 0.77 | | 21.28 | 45 | | 45 |
| 52 | NGC 4258 | 0.001 | 1.98 | 0.70$^{(k)}$ | 5.74 | 7 | 9.25 | 4.05 | 7.82 | 21.54 | 30,7 | 22 | 20 |
| 53 | NGC 4293$_{(k)}$ | 0.003 | 0.62 | 0.65$^{(k)}$ | 6.40 | | 9.17 | 3.37 | | | 4 | | |
| 54 | NGC 4388 | 0.01 | 1.10 | 0.18$^{(k)}$ | 6.90 | 8.7 | 10.27 | 4.83 | 7.22 | 23.6 | 30,7 | 22 | 27 |
| 55 | NGC 4527$_{(k)}$ | 0.01 | 0.57 | 0.26$^{(k)}$ | | | 10.42 | 4.65 | | | | | |
| 56 | ESO 269-G012 | 0.02 | 3.00$^{(d)}$ | 0.40$^{(k)}$ | 6.18 | 7.04 | | | 7.75 | | 26 | 37 | |
| 57 | NGC 4922 | 0.02 | 2.29 | 1.43$^{(k)}$ | | | 10.94 | 5.19 | 7.65 | | | 8 | |
| 58 | NGC 4945 | 0.002 | 1.77 | 0.41 | 5.82 | 9.1 | 10.20 | | 7.43 | 21.76 | 46,7 | 19 | 20 |
| 59 | M 51$_{(k)}$ | 0.002 | -0.10 | 1.11 | 5.99 | 7.7 | 9.81 | 4.47 | 7.13 | 21.36 | 30,7 | 22 | 20 |
| 60 | NGC 5256 | 0.03 | 1.49 | 0.04$^{(k)}$ | 6.99 | 9.3 | 11.15 | 5.94 | 6.92 | 22.34 | 29,7 | 8 | 29 |
| 61 | NGC 5253$_{(k)}$ | 0.001 | -1.68 | 0.08 | 2.90 | 4.98 | 8.71 | 2.60 | | 22.00 | 38 | | 38 |
| 62 | NGC 5347 | 0.01 | 1.51 | 1.18 | 6.19 | 8.1 | 9.33 | 3.37 | 6.97 | 23.38 | 27,7 | 22 | 27 |
| 63 | NGC 5495 | 0.02 | 2.30 | 1.15$^{(k)}$ | 8.05 | | 10.25 | | | | 4 | | |
| 64 | Circinus | 0.001 | 1.57 | 0.00 | 5.65 | 7.5 | 9.92 | 4.02 | 7.83 | 22.07 | 47,7 | 8 | 20 |
| 65 | NGC 5506 | 0.01 | 1.79 | -0.15 | 7.88 | 8.9 | 9.92 | 4.99 | 6.88 | 22.48 | 27,7 | 37 | 27 |
| 66 | NGC 5643 | 0.004 | 1.40$^{(d)}$ | 0.54$^{(k)}$ | 6.24 | 7.6 | 9.98 | 4.35 | 6.79 | 23.26 | 48,7 | 37 | 27 |
| 67 | NGC 5728 | 0.01 | 1.94 | 0.54$^{(k)}$ | 6.60 | 8.7 | 10.28 | | 8.18 | 23.86 | 27,7 | 22 | 27 |
| 68 | UGC 9618B | 0.03 | 3.20$^{(d)}$ | 1.54$^{(k)}$ | | | | | | | | | |
| 69 | NGC 5793 | 0.01 | 2.29 | 1.15 | 5.29 | 7.31 | 10.35 | 6.01 | | | g | | |
| 70 | NGC 6240 | 0.02 | 1.98 | 0.66 | 7.74 | 9.8 | 11.53 | 6.25 | | 23.7 | 49,7 | | 29 |
| 71 | NGC 6264 | 0.03 | 3.10$^{(d)}$ | 1.15$^{(k)}$ | | | | | | | | | |
| 72 | NGC 6323 | 0.03 | 2.68 | 0.30$^{(k)}$ | 5.28 | 7.49 | 9.69 | 4.17 | | | e | | |
| 73 | NGC 6300$_{(k)}$ | 0.004 | 0.50$^{(d)}$ | 0.54$^{(k)}$ | 5.40 | 8.1 | 9.77 | | 6.92 | 23.38 | 50,7 | 37 | 4 |
| 74 | ESO 103-G35 | 0.01 | 2.56 | 0.92 | 6.70 | 9.1 | 10.01 | | 7.15 | 23.31 | 51,7 | 37 | 4 |
| 75 | 1937-0131 | 0.02 | 2.20$^{(d)}$ | 1.48$^{(k)}$ | 8.01 | | 10.39 | | | | 4 | | |
| 76 | 3C403 | 0.06 | 3.30$^{(d)}$ | 1.67$^{(k)}$ | 7.41 | 9.6 | 10.58 | 8.14 | | | 52,7 | | |
| 77 | NGC 6926 | 0.02 | 2.70$^{(d)}$ | 1.30$^{(k)}$ | 7.81 | | 10.85 | 5.52 | | | 4 | | |
| 78 | 2158-380 | 0.03 | 2.70 | 1.36$^{(k)}$ | 7.60 | | 9.95 | 7.05 | | | f | | |
| 79 | TXS 2226-18 | 0.03 | 3.80$^{(d)}$ | 1.88$^{(k)}$ | 8.13 | 8.77 | 9.68 | | | | 4 | | |
| 80 | NGC 7479 | 0.01 | 1.22 | 0.48$^{(k)}$ | 5.46 | 7.68 | 10.37 | 4.68 | 7.07 | | e | 22 | |
| 81 | IC 1481 | 0.02 | 2.51 | 0.32 | 6.30 | 8.52 | 10.17 | 5.03 | | | 4 | | |

Примечания к табл.1: * Галактика с индексом к) принадлежит к группе киломазеров; a) Данные взяты из: NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) [53]; b) Список известных внегалактических мазеров и данные литературы приведены в [3]; c) Настоящая работа; d) Работа [54]; e) Рентгеновские наблюдения взяты из X-ray Multi-Mirror Mission - Newton (XMM-Newton); f) Рентгеновские наблюдения взяты из The Roentgen SATellite (ROSAT); g) Рентгеновские наблюдения взяты из Chandra X-ray Observatory (CXO).

($z=0.66$), которая принадлежит к группе гегамазеров и по светимости во всем спектре излучения существенно отличается от других мазерных галактик. В столбцах табл.1 последовательно даны: 1. Название галактики. Индекс *k*

указывает, что данная галактика принадлежит к группе киломазеров. 2. Красное смещение, $z$. 3. Светимость мазерного излучения, $L_{H_2O}$, в солнечных единицах. В тех случаях, когда светимость излучения была взята из литературы, соответствующая литература указана. В остальных случаях светимости были вычислены нами. 4. Ширина FWHM линии в системе покоя галактики, $W$, в км с$^{-1}$. 5. Рентгеновская светимость в диапазоне 0.5-2 кэВ, $L_{0.5\text{-}2\text{кэВ}}$, в солнечных единицах. 6. Рентгеновская светимость в диапазоне 2-10 кэВ, $L_{2\text{-}10\text{кэВ}}$, в солнечных единицах. 7. Инфракрасная светимость на волне 60 микрон, $L_{60\text{микрон}}$, в солнечных единицах. 8. Радиосветимость на частоте 1.4 ГГц, $L_{1.4\text{ГГц}}$, в солнечных единицах. 9. Масса предполагаемой черной дыры, $M_c$, в солнечных единицах. 10. Поверхностная плотность водорода, $N_H$, в см$^{-2}$, определенная по поглощению рентгеновского излучения. 11. Ссылки на рентгеновские наблюдения. 12. Ссылки на массы черной дыры. 13. Ссылки на поверхностные плотности. Светимости были вычислены согласно формулам, приведенным в работе [11]. Постоянная Хаббла принята $H_0 = 75$ км с$^{-1}$ Мпк$^{-1}$. Обозначения a, b, c, d, e и f пояснены в конце табл.1. Если галактика была наблюдена с помощью нескольких рентгеновских телескопов, то предпочтение было дано телескопу Chandra, а потом XMM-Newton и затем остальным телескопам, так как телескоп Chandra имеет более высокое угловое разрешение. Кроме этого, мы старались использовать более поздние результаты наблюдений, используя данные архива HEASARC [12].

3. *Непараметрический метод линейной регрессии.* Регрессионный анализ предназначен для выявления возможной зависимости между двумя (или более) переменными, которые были получены в результате наблюдений. Очень часто для анализа результатов наблюдений используется параметрический метод линейной регрессии, а именно $y_i = a_0 + a_1 x_i + e_i$, где $i = 1, 2, ..., n$ - число наблюдений; $x_i$ - независимая переменная и считается, что она была определена "точно", без ошибок; $y_i$ - зависимая переменная, которая имеет нормальное распределение; $e_i$ - остаточная ошибка, которая также имеет нормальное распределение. Более того, считается что результаты наблюдений не зависят друг от друга. Параметрический метод линейной регрессии имеет ряд недостатков, которые могут существенно искажать реальную зависимость между переменными. Рассмотрим некоторые основные недостатки. а) Распределение $y_i$ не является нормальным (так, например, асимметричное распределение). Этот недостаток является существенным, если размер выборки невелик ($n < 30$). Однако иногда, когда $n > 30$ распределение выборки может не являться нормальным. Поэтому в каждом конкретном случае нужно проверить - является ли распределение нормальным или нет. б) Среди наблюдательных данных есть такие измерения, которые резко отличаются от остальных данных (так называемые выбросы

или аномальные точки). Так как параметрический метод линейной регрессии использует средние значения переменных $x_i$, $y_i$ и их стандартные отклонения, то включение аномальных точек в статистику может существенно искажать реальную линию регрессии, делая ее наклон либо крутым, либо пологим. Исключение же аномальных точек из анализа, во-первых, уменьшит размер выборки, во-вторых, такие точки могут быть не случайными выбросами, а действительными результатами наблюдений и могут отражать конкретный физический процесс. Поэтому для подобных выборок данных более целесообразно использование непараметрических методов линейной регрессии и корреляции. Ниже мы вкратце рассмотрим непараметрический метод линейной регрессии Кендалла-Теила, который использует метод медиан.

Предположим, что мы имеем следующие пары случайных переменных ($X_i$, $Y_i$), тогда уравнение линейной регрессии является $Y_i = a_0 + a_1 X_i + e_i$, $i = 1, 2, ..., n$, где $X_i$ - независимая переменная, $Y_i$ - зависимая переменная, $e_i$ - остаточная ошибка, или неопределенность определения $Y_i$, $a_0$ - точка пересечения с ординатой, $a_1$ - наклон линии (тангенс угла между линией регрессии и абсциссой). Мы считаем, что распределения переменных $X_i$ и $Y_i$ - произвольные. Наклон линии определяется как медианное значение между парами по следующим формулам:

$$a_{ij} = \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i}, \quad a_1 = \text{median}\left[a_{ij}\right],$$

где $i = 1, 2, ..., (n-1)$, $j = 2, 3, ..., n$, $i < j$, $X_j \neq X_i$. Общее число возможных пар наклонов равно $n(n-1)/2$. Так, например, если $n = 10$, то общее число возможных наклонов, которые мы должны вычислить, будет 45. После вычисления всех значений наклонов, мы их располагаем по нарастающей последовательности и определяем ее медианное значение. Это значение медианы и принимается как наклон линии регрессии. Если общее число парных наклонов является нечетным, то центральный член последовательности и является медианой. Если же общее число парных наклонов является четным, то в качестве медианы последовательности берется среднее значение двух центральных членов. Оценка точки пересечения вычисляется по следующей формуле:

$a_0 = Y_m - a_1 X_m$, где $X_m$ - медиана независимой переменной, $Y_m$ - медиана зависимой переменной. Непараметрический медот Кендалла-Теила рассмотрен в ряде работ (см., например, [13]).

Компьютерная программа метода Кендалла-Теила приведена в [14]. Мы в наших расчетах использовали эту программу, которая очень удобна и полезна для анализа данных. Ниже мы вкратце перечислим основные преимущества непараметрической линейной регрессии. а) Наличие нормального распределения не обязательно. б) Можно использовать для анализа малых выборок. в) Аномальные точки выборки не влияют на результаты

вычислений, так как средние значения переменных и их стандартные отклонения не привлечены в расчетах.

4. *Анализ результатов*. Согласно статистике Колмогорова-Смирнова, практически все параметры, приведенные в табл.1, имеют распределения отличные от нормального распределения. Поэтому в случае нашей выборки мазеров применение непараметрических методов регрессии и корреляции вполне оправдано. В первую очередь мы вычислили ранковые коэффициенты корреляции Спирмана [15] между параметрами, приведенными в табл.1, включая красное смещение. В тех случаях, когда переменные какой-то пары также зависят от красного смещения (так называеный эффект Малмквиста), мы использовали частные коэффициенты корреляции Спирмана, чтобы исключить эффект Малмквиста из рассмотриваемой корреляции. После такого анализа мы выделили те пары переменных, которые показывают значимые коэффициенты корреляции после учета эффекта Малмквиста (под значимостью корреляции мы подразумеваем, что вероятность случайной корреляции между переменными $P \leq 0.05$). Вышеуказанный анализ мы проводили для мегамазеров и киломазеров отдельно, а также для всех мазеров.

В табл.2 приведены основные статистические данные (число галактик $N$, среднее значение и ее стандартная ошибка) всех параметров, приведенных в табл.1.

*Таблица 2*

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРЕХ ВЫБОРОК

| Параметр | Мегамазеры | | | Киломазеры | | | Все мазеры | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N$ | Сред. | Станд. ош. | $N$ | Сред. | Станд. ош. | $N$ | Сред. | Станд. ош. |
| $z$ | 60 | 0.018 | 0.002 | 21 | 0.0034 | 0.0007 | 81 | 0.014 | 0.001 |
| $\log W$ | 60 | 0.98 | 0.08 | 21 | 0.67 | 0.14 | 81 | 0.90 | 0.07 |
| $\log L_{H_2O}$ | 60 | 2.18 | 0.08 | 21 | -0.04 | 0.18 | 81 | 1.60 | 0.13 |
| $\log L_{0.5-2}$ | 50 | 6.79 | 0.13 | 19 | 5.24 | 0.38 | 69 | 6.36 | 0.16 |
| $\log L_{2-10}$ | 40 | 8.44 | 0.13 | 16 | 6.51 | 0.34 | 56 | 7.89 | 0.18 |
| $\log L_{60}$ | 54 | 10.15 | 0.08 | 19 | 9.54 | 0.21 | 73 | 9.99 | 0.08 |
| $\log L_{1.4}$ | 42 | 5.04 | 0.14 | 18 | 3.80 | 0.27 | 60 | 4.67 | 0.15 |
| $\log M_c$ | 31 | 7.46 | 0.08 | 8 | 6.83 | 0.29 | 39 | 7.33 | 0.09 |
| $\log N_H$ | 26 | 23.28 | 0.19 | 15 | 21.80 | 0.23 | 41 | 22.75 | 0.19 |

В табл.3 приведены результаты статистического анализа, где указаны наиболее значимые частные корреляции Спирмана $\rho$, с учетом эффекта Малмквиста. Пары переменных, для которых коэффициенты корреляции Спирмана мало значимы, не приведены в табл.3. Там же приведены результаты линейной регрессии Кендалла-Теила (наклон, $S$; точка

пересечения, $I$; 95% доверительный интервал наклона и медианное отклонение, $d$). Если медианное отклонение $d$ близко к нулю, то линейная регрессия является подходящим приближением. В табл.3 $\log L_{H_2O}$ и $\log W$ являются зависимыми переменными, а остальные параметры - независимыми. В частности, линия регрессии между $\log L_{H_2O}$ и $\log M_c$ для мегамазеров имеет следующий вид: $\log L_{H_2O} = 0.6\log M_c - 2.52$.

*Таблица 3*

## КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИЙ И РЕГРЕССИИ ТРЕХ ВЫБОРОК

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Мегамазеры** | | | | |
| | $\log M_c$ | $\log N_H$ | $\log M_c$ | $\log N_H$ |
| $\log L_{H_2O}$ | $N=31$<br>$\rho=0.52$<br>$P=0.002$ | $N=26$<br>$\rho=0.39$<br>$P=0.05$ | $S=0.60$<br>$I=-2.52$<br>$0.17 \le S \le 0.98$<br>$D=-0.14$ | $S=0.28$<br>$I=-4.47$<br>$-0.006 \le S \le 0.48$<br>$d=0.007$ |
| $\log W$ | $N=31$<br>$\rho=0.41$<br>$P=0.02$ | $N=26$<br>$\rho=0.47$<br>$P=0.01$ | $S=0.55$<br>$I=-3.47$<br>$0.03 \le S \le 1.14$<br>$D=0.03$ | $S=0.32$<br>$I=-6.94$<br>$0.06 \le S \le 0.61$<br>$d=-0.02$ |
| **Киломазеры** | | | | |
| | $\log L_{(0.5\text{-}2)keV}$ | $\log L_{(2\text{-}10)keV}$ | $\log L_{60micron}$ | $\log L_{1.4GHz}$ |
| $\log L_{H_2O}$ | $N=19$<br>$\rho=0.59$<br>$P=0.01$<br>$S=0.34$<br>$I=-2.05$<br>$0.14 \le S \le 0.61$<br>$d=0.005$ | $N=16$<br>$\rho=0.48$<br>$P=0.08$<br>$S=0.40$<br>$I=-2.59$<br>$0.09 \le S \le 0.80$<br>$d=-0.14$ | $N=19$<br>$\rho=0.56$<br>$P=0.02$<br>$S=0.59$<br>$I=-5.49$<br>$0.17 \le S \le 1.31$<br>$d=-0.05$ | $N=18$<br>$\rho=0.53$<br>$P=0.03$<br>$S=0.55$<br>$I=-2.30$<br>$0.37 \le S \le 0.95$<br>$d=0.24$ |
| **Все мазеры** | | | | |
| | $\log M_c$ | $\log N_H$ | $\log M_c$ | $\log N_H$ |
| $\log L_{H_2O}$ | $N=39$<br>$\rho=0.59$<br>$P=7\cdot10^{-5}$ | $N=41$<br>$\rho=0.35$<br>$P=0.02$ | $S=0.94$<br>$I=-5.07$<br>$0.55 \le S \le 1.42$<br>$d=-0.13$ | $S=0.63$<br>$I=-13.13$<br>$0.37 \le S \le 0.88$<br>$d=0.15$ |
| $\log W$ | $N=39$<br>$c=0.42$<br>$P=8\cdot10^{-3}$ | Корреляция отсутствует | $S=0.44$<br>$I=-2.69$<br>$0.11 \le S \le 0.94$<br>$d=0.01$ | |

Мы не обнаружили существенных корреляций между параметрами линии $H_2O$ излучения ($L_{H_2O}$ и $W$) со светимостями $L_{05.\text{-}2кэВ}$, $L_{2\text{-}10кэВ}$, $L_{60микрон}$, $L_{1.4ГГц}$ для мегамазеров. Так, например, $\rho(L_{H_2O}, L_{2\text{-}10кэВ}) = 0.02$

($N=40$, $P=0.91$).

Что касается киломазеров, то наиболее значимые корреляции и соответствующие параметры регрессии приведены в табл.3. Там же приведены данные для всех мазеров.

Из табл.3 видно, что излучения мега и киломазеров показывают совершенно разные зависимости от других параметров галактик. Это еще раз подчеркивает то обстоятельство, что эти мазерные источники связаны с разными процессами, протекающими в галактиках. Что же касается всех мазеров, то они, практически, повторяют поведение мегамазеров, за исключением зависимости между $\log W$ и $\log N_H$.

5. *Обсуждение*. Как уже отмечалось, в мегамазерных галактиках мазерное и рентгеновское излучения образуются в околоядерной области. Поэтому, как результат активности ядра можно ожидать, что мазерное излучение должно зависеть от массы ядра галактики. Массу ядра можно оценить, если предположить, что в центре галактики находится аккреционный диск и черная дыра. К сожалению, другие предположения о ядре галактики не позволяют оценить массу ядра. На рис.1 приведена зависимость $\log L_{H_2O}$ от $\log M_c$ для мегамазеров, где указана линия регрессии Кендалла-Теила.

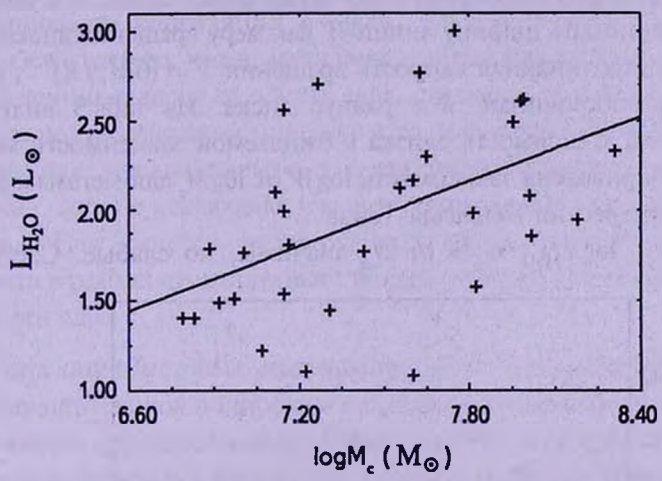


Рис.1. Связь между мегамазерным излучением и массой ядра. Линия регрессии также указана (см., табл.3).

Согласно [6], рентгеновское излучение аккреционного диска в мегамазерах может стимулировать столкновительную накачку мазерного уровня излучения $H_2O$ посредством нагрева молекулярного облака. В этом случае мы должны ожидать положительную корреляцию между мазерным и рентгеновским излучениями. В рамках этой же теории жесткое рентгеновское излучение должно быть прямопропорционально массе ядра [7], а мазерное излучение растет как квадрат массы ядра [8]. Однако до сих пор в

мегамазерах корреляция между мазерным и рентгеновским излучениями достоверно не обнаружена (см., [6] и табл. 3). Согласно нашему анализу, корреляция рентгеновского излучения с массой ядра также отсутствует. Что касается взаимосвязи между $L_{H_2O}$ и $M_c$, то она существует (см., табл.3, $L_{H_2O} \sim M_c^{0.6}$), но не является квадратичной, как это следует из теории [6,8]. В работе [8] отмечается, что $L_{H_2O} \sim M_c^{3.6}$. Однако наши данные не подтверждают такую зависимость. Более того, на основе результатов наблюдений, приведенных в работе [8], наш анализ не обнаружил такую зависимость между $L_{H_2O}$ и $M_c$. Согласно [8], $M_c \sim L_{H_2O}^{0.28}$, и нам кажется, что авторы указанной работы из последней зависимости определили, что $L_{H_2O} \sim M_c^{1/0.28} = M_c^{3.6}$. Если это так, то такая процедура не верна, так как зависимость между $L_{H_2O}$ и $M_c$ - статистическая и нельзя определить обратную взаимосвязь таким образом. Результаты табл.3 показывают, что для мегамазеров наиболее сильные взаимосвязи наблюдаются между параметрами линии $H_2O$ и массой ядра галактики.

Профиль линии $H_2O$ - излучения является результатом распределения и кинематики газа. Уширение линии является либо следствием дисперсии скоростей между отдельными облаками, либо вращением центральной части галактики. Их одновременное присутствие также может привести к уширению линии. Если принимать ширину линии $W$ как меру вращения диска вокруг ядра галактики, то линейная скорость вращения $V = (GM_c/R)^{0.5}$, где $G$ - гравитационная постоянная, $R$ - радиус диска. Из табл.3 видно, что $W \sim M_c^{0.55}$, и эта зависимость близка к ожидаемой зависимости между $V$ и $M_c$. На рис.2 приведена зависимость $\log W$ от $\log M_c$ для мегамазеров, где указана линия регрессии Кендалла-Теила.

Зависимости $\log L_{H_2O}$ и $W$ от $N_H$ значимы, но слабые. Светимость

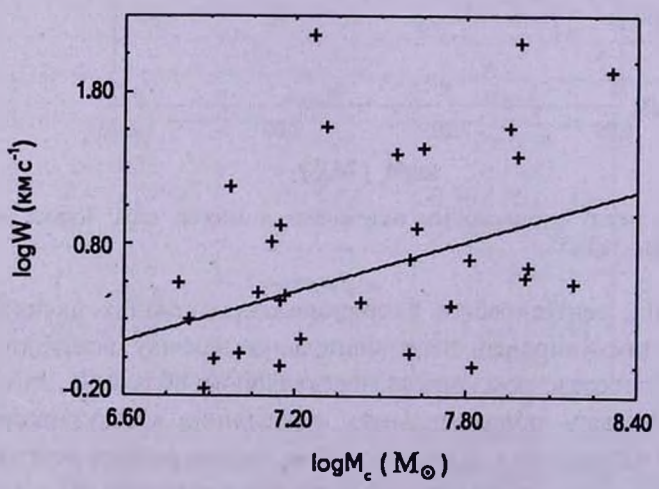


Рис.2. Связь между шириной линии мегамазерного излучения и массой ядра. Линия регрессии также указана (см., табл.3).

мазерного излучения растет экспоненциально с поверхностной плотностью молекул, если излучение является ненасыщенным. Если же излучение является насыщенным, то в присутствии градиента скоростей $L_{H_2O} \sim N_H^2$.

Согласно табл.3, совершенно иная картина наблюдается для киломазеров. Изотропная светимость $H_2O$ слабо зависит от рентгеновского излучения, хотя в случае мягких рентгеновских лучей эта зависимость значима. В то же время $L_{H_2O}$ светимость показывает умеренную корреляцию со светимостями в далеких инфракрасных лучах и радиоконтинууме. Параметры радиолинии не зависят от массы ядра (хотя следует отметить, что в этом случае число галактик с известными $M_c$ не велико для достоверной статистики, $N=8$) и поверхностной плотности водорода. Такое поведение мазерного излучения трудно однозначно объяснить. Хотя, если придерживаться точки зрения, что в киломазерах основным фактором, определяющим свойства галактики, является активность звездообразования, а не активность ядра, то зависимость $L_{H_2O}$ от вышеуказанных светимостей является ожидаемой.

Мы также анализировали галактики, которые принадлежат к морфологической группе дискообразных мегамазеров ($N=52$). Свойства этой выборки мало чем отличаются от свойств выборки мегамазеров. Так, например, для дискообразных мегамазеров $\log L_{H_2O} = 0.56 \log M_c - 2.17$ с коэффициентом корреляции $\rho = 0.48$, $P=0.01$, $N=25$.

То обстоятельсто, что в мегамазерах светимость мазерного излучения и ширина линии зависят от массы ядра, следует, что молекулярное облако находится под воздействием активного ядра. Наши результаты не подтверждают теоретическое предположение о связи мегамазерного и рентгеновского излучений, хотя не исключено, что этот вопрос нуждается в дополнительном изучении. Нам кажется, что результаты настоящей работы невозможно объяснить в рамках существующих теорий о связии мазерного излучения от активности ядра.

6. *Заключение*. Мы исследовали выборку внегалактических $H_2O$ мезерных источников в широком диапазоне спектра. В нашем анализе мы использовали непараметрический метод линейной регрессии и корреляции. Перечислим основные результаты нашей работы: 1) Мега и киломазеры показывают совершенно разные свойства. В частности, для мегамазеров наиболее сильные взаимосвязи наблюдаются между параметрами линии $H_2O$ и массой ядра галактики ($L_{H_2O} \sim M_c^{0.6}$, $W \sim M_c^{0.55}$), а параметры линии не коррелированы с рентгеновским, инфракрасным и радиоизлучениями. Наблюдается слабая корреляция между мегамазерным излучением и поверхностной плотностью водорода. 2) Для киломазеров $H_2O$ светимость слабо зависит от рентгеновского излучения, хотя в случае мягких рентгеновских лучей эта зависимость значима. $H_2O$ светимость у киломазеров показывает умеренную корреляцию со светимостями в инфракрасных лучах

и радиоконтинууме, а параметры линии не зависят от массы ядра и поверхностной плотности водорода. 3) То обстоятельство, что в мегамазерах светимость мазерного излучения и ширина линии зависят от массы ядра, следует, что в этих галактиках мазерное облако находится под воздействием ядра галактики и активное ядро определяет основные свойства галактики. В киломазерах основным фактором, определяющим свойства галактики, является активность звездообразования, а не активность ядра.

[1] Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения,
[2] Институт астрономии и космических наук университета Ал Ал-Бейт, Иордания, e-mail: kandalyan@yahoo.com kandalyan@aabu.edu.jo

# EXTRA-GALACTIC $H_2O$ MASER SOURCES AND THEIR PROPERTIES

R.A.KANDALYAN[1,2], M.M.Al-ZYOUT[2]

The broad band properties of a sample of extra-galactic $H_2O$ maser sources are discussed. Based on a sample of 81 maser galaxies it is shown that mega and kilomasers show completely different properties. In particular, for megamasers most tight relationships are observed between the $H_2O$ line parameters and core's mass of galaxy and the line parameters are uncorrelated with X-ray, infrared and radio continuum. The megamaser emission is weakly correlated with column density of hydrogen. As for kilomasers the $H_2O$-luminosity is weakly correlated with X-ray, although in the case of soft X-ray the correlation is significant. The $H_2O$-luminosity of kilomasers is moderately correlated with infrared and radio continuum luminosities, but the line parameters are uncorrelated with both core's mass and column density of hydrogen.

Key words: *maser-galaxies:active galaxies:galaxies with active star formation*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *E.Churchwell, A.Witzel, W.Huchtmeier et al.*, Astron. Astrophys, **54**, 969, 1977.
2. *J.S.Zhang, C.Henkel, Q.Gue et al.*, Astrophys. J., **708**, 1528, 2010.
3. *J.A.Braatz*, http://wiki.gb.nrao.edu/bin/view/Main/WaterMaserList, 2009.

4. *J.S.Zhang, C.Henkel, M.Kadler et al.*, Astron. Astrophys., **450**, 933, 2006.
5. *L.J.Greenhill, A.Tilak, G.Madejski*, Astrophys. J., **686**, L13, 2008.
6. *D.A.Neufeld, P.R.Maloney, S.Conger*, Astrophys. J., **436**, L127, 1994.
7. *P.T.Kondratko, L.J.Greenhill, J.M.Moran*, Astrophys. J., **652**, 136, 2006.
8. *J.B.Su, J.S.Zhang, J.H.Fan*, Chin. J. Astron. Astrophys., **8**, 547, 2008.
9. *L.J.Greenhill, P.T.Kondratko, J.M.Moran, A.Tilak*, Astrophys. J., **707**, 787, 2009.
10. *C.Henkel, A.B.Peck, A.Tarchi et al.*, Astron. Astrophys., **436**, 75, 2005.
11. *R.A.Kandalyan*, Astron. Astrophys., **404**, 513, 2003.
12. *HEASARC*, http://heasarc.gsfc.nasa.gov/db-perl/W3Browse/w3browse.pl, 2010.
13. *W.L.Conover*, Practical Non-parametric Statistics, 2nd Ed., New York, John Wiley and Sons, 1980.
14. *G.E.Granato*, http://pubs.usgs.gov/tm/2006/tm4a7/TM4A7/ktrlinedownloads.htm, 2010.
15. *R.A.Kandalyan*, Astrophysics, **39**, 417, 1996.
16. *F.E.Bauer, W.N.Brandt*, Astrophys. J., **601**, L67, 2004.
17. *R.Barnard, L.Shaw Greening, U.Kolb*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **388**, 849, 2008.
18. *K.A.Weaver, T.M.Heckman, D.K.Strickland, M.Dahlem*, Astrophys. J., **576**, L19, 2002.
19. *E.Oliva, L.Origlia, R.Mailino, A.F.M.Moorwood*, Astron. Astrophys., **350**, 9, 1999.
20. *L.M.Winter, R.F.Mushotzky, C.S.Reynlods*, Astrophys. J., **649**, 730, 2006.
21. *H.Awaki, S.Ueno, Y.Taniguchi, K.Weaver*, Astrophys. J., **542**, 175, 2000.
22. *D.B.McElroy*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **100**, 105, 1995.
23. *C.H.Nelson, M.Whittle*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **99**, 67, 1995.
24. *R.Tullmann, K.S.Long, T.G.Pannuti et al.*, Astrophys. J., **707**, 1361, 2009.
25. *L.Foschini, J.Rodrigues, Y.Fuchs et al.*, Astron. Astrophys., **416**, 529, 2004.
26. *M.Guainazzi, G.Matt, G.C.Perola*, Astron. Astrophys., **444**, 119, 2005.
27. *C.N.Cardamone, E.C.Moran, L.E.Kay*, Astron. J., **134**, 1263, 2007.
28. *L.W.Brenneman, K.A.Weaver, M.Kadler et al.*, Astrophys. J., **698**, 528, 2009.
29. *O.Gonzalez-Martin, J.Masegosa, I.Marquez, M.Guainazzi, E.Jimenez-Bailon*, Astron. Astrophys., **506**, 1107, 2009.
30. *M.Cappi, F.Panessa, L.Bassani* et al., Astron. Astrophys., **446**, 459, 2006.
31. *M.Guainazzi, A.C.Fabian, K.Iwasawa, G.Matt, F.Fiore*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **356**, 295, 2005.
32. *A.K.H.Kong*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **346**, 265, 2003.
33. *S.Bianchi, G.Miniutti, A.C.Fabian, K.Iwasawa*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **360**, 380, 2005.
34. *T.Inui, H.Matsumoto, T.G.Tsuru et al.*, Publ. Astron. Soc. Japan, **57**, 135, 2005.
35. *R.Della Ceca, R.E.Griffiths, T.M.Heckman, M.D.Lehnert, K.A.Weaver*, Astrophys. J., **514**, 772, 1999.
36. *M.Guainazzi, G.Matt, F.Fiore, G.C.Perola*, Astron. Astrophys., **388**, 787, 2002.
37. *R. Cid Fernandes, Q.Gu, J.Melnick et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **355**, 273, 2004.

38. *J.Ott, F.Walter, E.Brinks*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **358**, 1453, 2005.
39. *P.Tzanavaris, I.Georgantopoulos*, Astron. Astrophys., **468**, 129, 2007.
40. *P.Kaaret, M.G.Simet, C.C.Lang*, Astrophys. J., **646**, 174, 2006.
41. *K.Iwasawa, P.R.Maloney, A.C.Fabian*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **336**, L71, 2002.
42. *G.Madejski, C.Done, P.T.Zychi, L.Greenhill*, Astrophys. J., **636**, 75, 2006.
43. *Q.D.Wang, T.Chaves, J.A.Irwin*, Astrophys. J., **598**, 969, 2003.
44. *K.A.Weaver, J.Gelbord, T.Yaqoob*, Astrophys. J., **550**, 261, 2001.
45. *J.M.Hartwell, I.R.Stevens, D.K.Strickland, T.M.Heckman, L.K.Summers*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **348**, 406, 2004.
46. *M.Guainazzi, G.Matt, W.N.Brandt et al.*, Astron. Astrophys., **356**, 463, 2000.
47. *M.Guainazzi, G.Matt, L.A.Antonelli et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **310**, 10, 1999.
48. *M.Guainazzi, P.Rodriguez-Pascual, A.C.Fabian, K.Iwasawa, G.Matt*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **355**, 297, 2004.
49. *A.Ptak, T.Heckman, N.A.Levenson, K.Weaver, D.Strickland*, Astrophys. J., **592**, 782, 2003.
50. *C.Matsumoto, A.Nava, L.A.Maddox et al.*, Astrophys. J., **617**, 930, 2004.
51. *K.Noguchi, Y.Terashima, H.Awaki*, Astrophys. J., **705**, 454, 2009.
52. *R.P.Kraft, M.J.Hardcastle, D.M.Worral, S.S.Murray*, Astrophys. J., **622**, 149, 2005.
53. NASA/IPAC Extragalactic Database, http://nedwww.ipac.caltech.edu/, 2010.
54. *N.Bennert, R.Barvainis, C.Henkel, R.Antonucci*, Astrophys. J., **695**, 276, 2009.