

УДК: 524.74

СВОЙСТВА ОН-МЕГАМАЗЕРНЫХ ГАЛАКТИК В РАДИОКОНТИНУУМЕ. II. АНАЛИЗ ДАННЫХ

Р.А.КАНДАЛЯН

Поступила 21 июля 2004

Принята к печати 17 января 2005

Обсуждаются свойства ОН-мегамазерных галактик в радиоконтинууме. Многие радиоисточники в ОН-мегамазерных галактиках показывают относительно плоские ($\alpha \geq -0.5$) радиоспектры между частотами 1.49 и 8.44 ГГц, а также высокие яркостные температуры ($T_b \geq 10^4$ К). В этих галактиках плотности потоков в линии и радиоконтинууме не коррелированы. Радиоизлучение в континууме у ОН-мегамазеров, в основном, является нетепловым и связано либо с активностью ядра, либо с компактным звездообразованием. В этих галактиках тепловым компонентом радиоизлучения можно пренебречь. Наблюдаемые плоские радиоспектры и высокие яркостные температуры предполагают наличие активного ядра в этих галактиках, хотя часть мегамазеров может быть связана с компактным звездообразованием.

1. *Введение.* Мегамазерное излучение гидроксила (ОН) обнаружено среди мощных инфракрасных галактик. Галактики с мегамазерным излучением имеют либо активное ядро (AGN), либо высокую степень активности звездообразования (SB) в центральной части галактики. Активное ядро и активное звездообразование могут производить излучения во всем спектре электромагнитных волн. Оба источника энергии могут существовать в одной и той же галактике. Однако только на основе качественного анализа можно заключить, какой источник энергии является основным в той или иной галактике. Кондон и др. [1] полагают, что радио и инфракрасное излучения этих галактик можно объяснить с помощью компактного звездообразования. Однако Сандерс и др. [2] полагают, что активное ядро может быть ответственным за инфракрасное излучение этих галактик. Яркостные температуры AGN и SB галактик в радиодиапазоне различны. Максимальная яркостная температура SB галактик составляет 10^5 К ([1], см. также раздел 5). Свойства ОН-мегамазерных галактик в радиоконтинууме были исследованы в работах [3-5], однако радиоданные, использованные в этих работах, были получены с помощью радионаблюдений с невысоким угловым разрешением. В этой связи основной целью данной работы является исследование свойств ОН-мегамазерных галактик в радиоконтинууме, основанных на наблюдениях с высоким разрешением ($\sim 1''$). В частности, нас интересуют спектральные индексы и яркостные температуры этих галактик, а также механизмы радиоизлучения. Какова роль AGN или SB в этих галактиках? Вопросы связи

радио-FIR и радиоконтинуум-мазерное излучение также будут обсуждаться. Настоящая работа является первой попыткой исследовать свойства мегамазеров в радиоконтинууме, основанных на радионаблюдениях с высоким разрешением. В первой части этой работы [6] были приведены результаты VLA-A наблюдений 30 ОН-мегамазеров на частоте 1.49 ГГц. Эти результаты, наряду с другими данными, будут использованы в нашем дальнейшем анализе.

В разделе 2 мы обсудим спектральные индексы ОН-мегамазеров. В разделе 3 обсуждается связь радио-инфракрасное излучение. Раздел 4 посвящен анализу связи мазерной радиолинии и радиоконтинуума. В разделе 5 обсуждаются результаты анализа спектральных индексов и яркостных температур, а также вопросы механизмов радиоизлучения.

2. Спектральные индексы. Для ОН-мегамазеров (см. [6], табл.1) средний спектральный индекс между частотами 1.49 и 8.44 ГГц составляет -0.35 ± 0.06 , а между частотами 1.49 и 5 ГГц он равен -0.38 ± 0.06 . Видно, что эти спектральные индексы мало отличаются, поэтому мы можем рассмотреть измеренные спектральные индексы мегамазеров вместе со средним значением $\langle \alpha \rangle = -0.36 \pm 0.04$ ($N=22$). Для выборки 13 ОН-мегамазеров средний спектральный индекс составляет -0.4 [1], что очень близко к нашему результату.

Многие ОН-мегамазеры имеют относительно плоские спектры ($\alpha \geq -0.5$) [6] между частотами 1.49 и 8.44 ГГц. Доля галактик с плоским или крутым ($\alpha < -0.5$) спектром среди AGN и SB групп почти одинакова, хотя число галактик в каждой группе недостаточно для достоверной статистики. Среди AGN ($S1+S2+L$) доля галактик с $\alpha \geq -0.5$ составляет $9/13 = 0.69$, а среди SB-галактик она составляет $6/8 = 0.75$. Среди AGN доля галактик с $\alpha < -0.5$ составляет $4/13 = 0.31$, а среди SB - $2/8 = 0.25$. В этой статистике 4 галактики CNS типа и 2 галактики без спектральной классификации были равномерно разделены между группами AGN и SB, а галактика IRAS 16399-0937 была включена в SB-группу. Спектральный индекс оптически тонкого синхротронного излучения может стать плоским за счет свободно-свободного поглощения или за счет синхротронного само-поглощения. В мощных инфракрасных галактиках яркостная температура теплового источника не может превосходить 300 К на частоте 8.44 ГГц [1]. Поэтому можно предполагать, что в мегамазерных галактиках тепловой компонент радиоизлучения на частотах $\nu \leq 8.44$ ГГц незначителен и синхротронное излучение доминирует (см. также раздел 5).

3. Радио-инфракрасная связь. Многие авторы [1] рассматривают параметр " q ", который представляет отношение инфракрасного излучения к радиоизлучению, как параметр, по которому можно отделить AGN от SB-галактик. Так, например, считается, что для AGN-галактик $q < 2.34$, а для SB-галактик $q \geq 2.34$. Низкое значение параметра q подразумевает,

что AGN с меньшей эффективностью производят инфракрасное излучение, чем радиоизлучение, а высокое значение q подразумевает обратное. В нашем дальнейшем анализе мы будем использовать разновидность параметра q , так называемый q' , который учитывает только плотность инфракрасного IRAS-потока на волне $60\mu\text{m}$, а не интегральную плотность потока [5]. Эта разновидность q параметра в нашем случае более подходящая, т.к. мы можем сравнить наши результаты с результатами работы [5], авторы которой довольно подробно исследовали некоторые свойства ОН-мегамазеров. Для нашей выборки 30 мегамазеров [6] связь между q и q' имеет следующий вид: $\langle q - q' \rangle = 0.17 \pm 0.01$. Среднее значение q' параметра составляет $\langle q' \rangle = 2.49 \pm 0.05$. Для Аресибо ОН обзора [5] $\langle q' \rangle = 2.19 \pm 0.03$. Видно, что разница между этими значениями существенна ($\sim 5\sigma$), что является следствием того, что авторы работы [5] использовали VLA-D радиоданные, а в наших расчетах мы использовали VLA-A радиоданные. Известно, что за счет ширины диаграммы направленности радиопотоки, измеренные с помощью VLA-D, намного превосходят потоки, измеренные с помощью VLA-A. В работе [5] граница раздела между AGN и SB-галактиками была определена как $q'_b = 2.11$, т.е. для AGN $q' < 2.11$, а для SB-галактик $q' \geq 2.11$. Анализ нашей выборки мегамазеров показывает, что все объекты, за исключением четырех источников (IRAS 02483+4302, 09320+6134, 12540+5708 и 17526+3253), превосходят, а большинство из них намного, граничное значение 2.11. Даже хорошо известная галактика с активным ядром IRAS 12540+5708 (Mkn 231) по значению q' мало отличается от 2.11. Эти результаты не согласуются с теми выводами, которые получены на основе анализа спектральных индексов и яркостных температур (см. раздел 5). В нашем дальнейшем анализе мы покажем, что параметр q' (или q) не является подходящим параметром для разделения AGN и SB-галактик.

Обычно считают, что отношение потоков (или светимостей) не зависит от красного смещения (расстояния), что не всегда верно. На самом деле отношение потоков также может быть предметом эффекта Малмквиста, т.е. может зависеть от красного смещения ввиду того, что разные астрономические обзоры имеют разные пороги чувствительности. Предположим, что F_1 и F_2 представляют плотности потоков на частотах ν_1 и ν_2 соответственно. Предположим также, что из-за эффекта Малмквиста $F_1 \propto z^m$ и $F_2 \propto z^n$, где z -красное смещение. Тогда $(F_1/F_2) \propto z^{m-n}$ зависит от красного смещения, и только если $m=n$, то это отношение не будет зависеть от z . Однако условие $m=n$ может быть действительным, если два разных обзора на разных частотах имеют одинаковые пороги чувствительности, что не всегда имеет место. Так, например, обычно радиообзоры имеют более высокую чувствительность, чем другие обзоры (IR, X-ray и

др.). Поэтому перед тем, как рассматривать отношение потоков на разных частотах для статистического анализа, необходимо удостовериться, что оно не зависит от красного смещения. Когда ν_1 и ν_2 принадлежат к одному и тому же диапазону частот, скажем, радиодиапазону, то отношение потоков может слабо зависеть от красного смещения, т.к. почти все современные радиообзоры имеют примерно одинаковые пределы чувствительности.

Возвращаясь к параметру q' , необходимо отметить, что для выборки 30 мегамазеров q' не зависит от z . Однако, если рассмотреть более полную выборку ОН-мегамазеров, для объектов которой плотность потока в линии и полуширины линии опубликованы в литературе ($N=87$) [5,7-10], то q' и z коррелированы, а, именно, коэффициент корреляции $r=-0.44$ и его значимость $p=10^{-5}$ (p - вероятность того, что корреляция между двумя переменными случайная). Эта отрицательная корреляция подразумевает, что при увеличении красного смещения q' уменьшается, т.е. на больших расстояниях радиоизлучение доминирует над инфракрасным излучением. Этот абсолютно неверный вывод полностью обусловлен эффектом Малмквиста. Кроме этого, существует и другой эффект, который может внести дополнительную неопределенность в параметр q' , а именно, отличие между разрешающими способностями инфракрасных и радионаблюдений. Вследствие этого параметр q' может представлять отношение потоков от разных областей. Исходя из вышесказанного, можно заключить, что параметр q' (или q) не является подходящим параметром для разделения галактик по типу активности, по крайней мере для выборки ОН-мегамазеров. В том случае, когда при определении параметра q' используются также данные о верхних пределах потоков, то он в меньшей степени зависит от красного смещения, в противном случае можно получить неверный результат. Любой параметр, который показывает "нестабильное" поведение даже в пределах одной и той же выборки, не может быть использован для описания свойств этой выборки. Поэтому мы не рассмотрим параметр q' в нашем дальнейшем анализе.

4. *Связь радиолинии и радиоконтинуума.* Корреляции между светимостями в разных диапазонах длин волн для ОН-мегамазеров были рассмотрены в работах [3,5,11], включая хорошо известную связь между инфракрасным и радиоизлучением. В частности, было показано, что светимости в ОН-линии и радиоконтинууме не коррелируют [3]. Поэтому в настоящей работе мы рассмотрим связь плотностей потоков ОН-линии и радиоконтинуума для выборки 87 галактик, что почти в три раза больше выборки, рассмотренной в работе [3].

На рис.1 показана связь между потоками в ОН-линии ($F_{ОН}$, в мЯн) и радиоконтинууме (F_{L49} , в мЯн) для 87 галактик. Данные радиоконтинуума

были взяты из работ [3,6,12]. Данные радиолинии были собраны из работ [3,5,7,8]. Из рис.1 видно, что плотности потоков в линии и радиоконтинууме практически не коррелированы ($r=0.32$, $p=0.07$). Однако следует отметить, что для более корректного анализа необходимо сравнивать поток линии с потоком радиоконтинуума того компонента радиоисточника, который

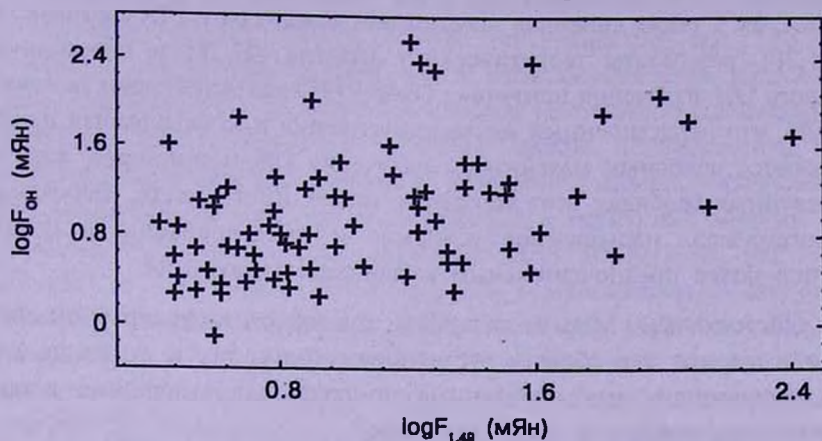


Рис.1. Связь между потоками в линии ОН и радиоконтинууме для 87 мегамазерных галактик.

окружен ОН молекулярным облаком. К сожалению, лишь небольшое число мегамазеров было исследовано с помощью VLBI [13-24]. Эти исследования показали, что радиолиния состоит из компактного (несколько пк) и протяженного (несколько десятков пк) компонентов. Кроме этого, обычно излучение радиолинии пространственно не совпадает с компонентом радиоконтинуума (исключение составляют мегамазер Mkn 273 [16] и, вероятно, Agr 220 [21]). Отсутствие радиоконтинуума в молекулярном облаке предполагает, что коэффициент усиления мазерного излучения должен быть весьма высок (более 100). Это обстоятельство указывает на насыщенный механизм усиления. Отметим, что в галактике Mkn 231 мазерное излучение имеет только протяженный компонент [18,19,22] и оно может иметь ненасыщенное усиление. Лонсдейл и др. [22] предполагают, что отсутствие компактного компонента ОН-излучения может быть связано с активностью ядра, выбросы которого разрушают компактный компонент и оставляют только протяженный компонент. Заметим, что Mkn 231 показывает не только необычное мегамазерное излучение, эта галактика также уникальна в других диапазонах спектра.

Дарлинг и Джованелли [5] показали, что объекты с высоким инфракрасным излучением являются более вероятными источниками ОН-излучения, независимо от особенностей радиоизлучения. Такая особенность мегамазеров согласуется с насыщенным механизмом усиления. В галактиках с высоким инфракрасным излучением присутствие или мощность ядерного радио-

компонента (VLBI) не коррелируют с интегральной мощностью радиоизлучения [25]. Более того, радиоизлучение ядра либо не коррелирует, либо слабо коррелирует с такими характеристиками, как инфракрасная светимость, спектральный индекс, масса молекулярного газа и т.д. [25].

Результаты настоящего раздела и вышеперечисленные особенности мегамазеров, а также линейная зависимость между ОН и FIR светимостями [3,5,11,26], результаты теоретического анализа [27,28] и переменность мазерного ОН-излучения источника IRAS 21272+2514 [29] дают основание полагать, что ненасыщенный механизм усиления и инфракрасная накачка не являются основным механизмом излучения ОН-мегамазеров, хотя при определенных условиях этот механизм может иметь место. Вероятно, в ОН-мегамазерах насыщенное усиление и столкновительная накачка являются более предпочтительным механизмом излучения.

5. Обсуждение. Многие галактики с высокой инфракрасной светимостью содержат как области звездообразования, так и активное ядро. Были предприняты многочисленные попытки для выяснения вопроса об источнике энергии в этих галактиках.

Максимально возможная яркостная температура (thermal bremsstrahlung), обусловленная звездообразованием, дается формулой [1]

$$T_b(\text{max}) \leq T_e \left[1 + 10 \left(\frac{\nu}{1.49 \text{ GHz}} \right)^{0.1-\alpha} \right].$$

Принимая электронную температуру $T_e = 10^4 \text{ K}$, а спектральный индекс $\alpha = 0.7$ [25], получаем $T_b(\text{max}) \leq 10^5 \text{ K}$. Многие мегамазеры нашей выборки [6] по яркостной температуре очень близки к этому пределу, а некоторые из них даже превосходят. Поэтому в этих галактиках активное ядро может быть доминирующим (IRAS 09320+6134, 12540+5708 и 15327+2340, см., также [1,22,25]). Среди AGN (S1+S2+L) доля галактик с $T_b \geq 10^{4.5} \text{ K}$ составляет $9/16 = 0.56$, а для SB-галактик она составляет $2/11 = 0.18$. В этой статистике 6 галактик типа CNS были равномерно разделены между AGN и SB группами, а галактика IRAS 16399-0937 была включена в группу SB объектов. Ввиду того, что вычисленные яркостные температуры являются минимальными значениями истинных яркостных температур ядерных компонентов, следует ожидать, что многие источники будут существенно превосходить максимальное значение 10^5 K (так, например, IRAS 01418+1651, 11257+5850, 12243-0036, 15107+0724, 17208-0014 и др., [6], табл.1). Хорошо известно, что AGN-галактики имеют либо плоские, либо инвертированные спектральные индексы, а также высокие яркостные температуры. В связи с тем, что принципом отбора галактик настоящей выборки является ее мегамазерная активность и многие из них имеют относительно плоские спектральные индексы и

высокие яркостные температуры, можно предположить, что мегамазерная и ядерная активности взаимосвязаны.

В галактиках с $T_b \leq 10^4$ K (IRAS 13097-1531, 16399-0937, 17526+3253 и 23135+2517) могут доминировать процессы компактного звездообразования.

Наблюдения в радиоконтинууме (VLBI) ОН-мегамазерных галактик Мкп 231 и UGC 5101 показали, что в масштабе ~ 100 пк радиоизлучение этих объектов связано с AGN, а не со звездообразованием [22]. Радиоизлучение за пределами ~ 100 пк может быть обусловлено звездообразованием. Согласно [4], 74% ОН-мегамазеров показывают радиоизлучение, характерное для SB-галактик. Поэтому можно предположить, что в галактиках с высоким инфракрасным излучением мазерное излучение ОН может возникать независимо от центрального источника энергии.

Слабые радиокомпоненты галактик IRAS 10039-3338, 11257+5850, 13097-1531 и 17526+3253 [6] не связаны с мегамазерным излучением.

Оптическая классификация ОН-мегамазеров [4,30] показала, что активные (S1, S2, L) и SB-галактики доминируют в этих объектах. Доля мегамазеров, показывающих какую-либо активность ядра, составляет почти 70% [4], в то время как для ОН выборки Аресибо доля мегамазеров не зависит от спектрального типа [30]. Более того, особенности мегамазерного излучения не зависят от спектрального типа ядра [30].

Наличие высокой яркостной температуры у ряда мегамазеров подтверждает присутствие активного ядра в этих галактиках. Это обстоятельство снижает вероятность того, что определенная часть радиоизлучения в этих галактиках может состоять из теплового свободно-свободного излучения. В противном случае рентгеновское излучение мегамазеров могло быть очень высоким, что на самом деле не наблюдается [27]. Кондон и др. [1] утверждают, что у галактик с высоким инфракрасным излучением тепловое свободно-свободное излучение может составить до 12% радиоизлучения на частоте 1.49 ГГц. Следуя работе [31], мы покажем, что такая высокая доля теплового излучения маловероятна у большинства ОН-мегамазеров. Коэффициент теплового свободно-свободного излучения дается следующим выражением [31]:

$$\epsilon_\nu \sim g(\nu, T) \exp(-h\nu/kT),$$

где $g(\nu, T)$ является фактором Гаунта, табулированным в работе [32], h - постоянная Планка, а k - постоянная Больцмана. Коэффициент излучения ϵ_ν зависит от других параметров также, но эти параметры не зависят от частоты. Если предположить, что температура плазмы $T \sim 10^8$ K, то на частоте 1.49 ГГц экспоненциальный член в ϵ_ν близок к 1, а гаунт фактор ~ 10 . На рентгеновской частоте 1 кэВ экспоненциальный член составляет ~ 0.9 , а гаунт фактор ~ 1.2 . Поэтому рентгеновская светимость на 1 кэВ будет 0.11 часть радиосветимости на частоте 1.49 ГГц. Для

выборки 87 мегамазеров средняя радиосветимость на частоте 1.49 ГГц составляет 10^{30} эрг с^{-1} ГГц $^{-1}$. Если примерно 10% этого излучения обусловлено тепловым излучением, то ожидаемая монохроматическая светимость на 1 кэВ будет 10^{28} эрг с^{-1} ГГц $^{-1}$ (10^{27} эрг с^{-1} ГГц $^{-1}$ на 6 кэВ). Однако наблюдаемая рентгеновская светимость на 1 кэВ для мегамазеров на несколько порядков (более 3) ниже, чем 10^{28} эрг с^{-1} ГГц $^{-1}$ [27]. Поэтому маловероятно, что в ОН-мегамазерах примерно 10% радиоизлучения имеет тепловую природу. Водородные облака высокой поверхностной плотности ($N_H > 10^{24}$ см $^{-2}$) могут поглощать рентгеновское излучение ядра галактики, однако в галактиках с высоким инфракрасным излучением подобные плотные облака не наблюдались [33]. Кроме этого, возможное поглощение рентгеновского излучения на частоте 6 кэВ существенно ниже, чем на 1 кэВ. Настоящий анализ показывает, что в ОН-мегамазерных галактиках радиоизлучение, в основном, является нетепловым, обусловленным либо компактным звездообразованием (нетепловое радиоизлучение исходит от остатков сверхновых, связанных со звездообразованием [25]), либо активностью ядра, и тепловым компонентом радиоизлучения можно пренебречь.

6. Заключение. Многие радиоисточники в ОН-мегамазерных галактиках показывают относительно плоские ($\alpha \geq -0.5$) радиоспектры между частотами 1.49 и 8.44 ГГц, а также высокие яркостные температуры ($T_b \geq 10^4$ К). В этих галактиках не наблюдается существенная корреляция между плотностями потоков в линии и радиоконтинууме. Наблюдаемые плоские радиоспектры и высокие яркостные температуры предполагают наличие активного ядра в этих галактиках, хотя часть мегамазеров может быть связана с активным звездообразованием. Радиоизлучение в континууме у ОН-мегамазеров, в основном, является нетепловым и связано либо с активностью ядра, либо с активностью звездообразования. В этих галактиках тепловым компонентом радиоизлучения можно пренебречь.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения: e-mail: kandalyan@yahoo.com

Институт астрономии и космических наук университета Ал Ал-Бейт,
Иордания

PROPERTIES OF THE OH MEGAMASER GALAXIES IN THE RADIO CONTINUUM. II. DATA ANALYSIS

R.A.KANDALYAN

The radio continuum properties of the OH megamaser galaxies are discussed. Most of the radio sources in megamaser galaxies have comparable flat ($\alpha \geq -0.5$) radio spectra between 1.49 and 8.44 GHz, and high brightness temperature ($T_b \geq 10^4$ K). The OH line and radio continuum flux densities are uncorrelated. In OH megamaser galaxies the radio continuum is predominantly non-thermal, powered either by compact starburst or AGN. The thermal radio emission can be neglected in these galaxies. The observed flat radio spectra, high brightness temperatures imply the presence of an AGN in these galaxies, although some megamasers may be powered by compact starburst.

Key words: *Galaxies:megamaser - galaxies:radiocontinuum*

ЛИТЕРАТУРА

1. J.J.Condon, Z.-P.Huang, Q.F.Yin, T.X.Thuan, *Astrophys. J.*, **378**, 65, 1991.
2. D.B.Sanders, B.T.Soifer, J.H.Elias et al., *Astrophys. J.*, **325**, 74, 1988.
3. Р.А.Кандалян, *Астрофизика*, **39**, 417, 1996.
4. W.A.Baan, J.J.Salzer, R.D.LeWinter, *Astrophys. J.*, **509**, 633, 1998.
5. J.Darling, R.Giovanelli, *Astron. J.*, **124**, 100, 2002.
6. Р.А.Кандалян, *Астрофизика*, **48**, 125, 2005.
7. J.-M.Martin, PhD thesis, University de Paris VII, France, 1989.
8. J.-M.Martin, L.Bottinelli, M.Dennefeld et al., *C.R. Acad. Sci. Paris*, **308(II)**, 287, 1989.
9. J.Darling, R.Giovanelli, *Astron. J.*, **119**, 3003, 2000.
10. J.Darling, R.Giovanelli, *Astron. J.*, **121**, 1278, 2001.
11. Р.А.Кандалян, *Астрофизика*, **42**, 23, 1999.
12. J.J.Condon, W.D.Cotton, E.W.Greisen et al., *Astron. J.*, **115**, 1693, 1998.
13. A.S.Trotter, J.M.Moran, L.J.Greenhill, X.Zheng, C.R.Gwinn, *Astrophys. J.*, **485**, L79, 1997.
14. C.J.Lonsdale, P.J.Diamond, H.E.Smith, C.J.Lonsdale, *Astrophys. J.*, **493**, L13, 1998.
15. P.J.Diamond, C.J.Lonsdale, C.J.Lonsdale, H.E.Smith, *Astrophys. J.*, **511**, 178, 1999.
16. J.A.Yates, A.M.S.Richards, M.M.Wright et al., *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **317**, 28, 2000.

17. *Y.M.Pihlstrom, J.E.Conway, R.S.Booth, P.J.Diamond, A.G.Polatidis*, *Astron. Astrophys.*, **377**, 413, 2001.
18. *A.M.S.Richards, R.J.Cohen, G.H.Cole et al.*, in "Galaxies and their Constituents at the Highest Angular Resolutions", *Proc. of IAU Symp.*, **205**, 2001, ed. R.T.Schilizzi, (Manchester, UK), 212.
19. *H.R.Klockner, W.A.Baan, M.A.Garrett*, *Nature*, **421**, 821, 2003.
20. *E.Rovilos, P.J.Diamond, C.J.Lonsdale, C.J.Lonsdale, H.E.Smith*, in "The 6th European VLBI Network Symposium", 2002, eds. E.Ros, R.W.Porcas, A.P.Lobanov, J.A.Zensus, (Bonn, Germany), 179.
21. *E.Rovilos, P.J.Diamond, C.J.Lonsdale, C.J.Lonsdale, H.E.Smith*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **342**, 373, 2003.
22. *C.J.Lonsdale, C.J.Lonsdale, H.E.Smith, P.J.Diamond*, *Astrophys. J.*, **592**, 804, 2003.
23. *Y.M.Pihlstrom, W.A.Baan, J.Darling, H.R.Klockner*, *AAS Meeting*, **203**, 146.02, 2003.
24. *H.R.Klockner, W.A.Baan*, *Astron. Astrophys.*, **419**, 887, 2004.
25. *H.E.Smith, C.J.Lonsdale, C.J.Lonsdale*, *Astrophys. J.*, **492**, 137, 1998.
26. *Yu.Zhi-yao*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **338**, 745, 2003.
27. *R.A.Kandalyan*, *Astron. Astrophys.*, **404**, 513, 2003.
28. *Р.А.Кандалян*, *Астрофизика*, **47**, 87, 2004.
29. *J.Darling, R.Giovanelli*, *Astrophys. J.*, **569**, L87, 2002.
30. *J.Darling*, PhD thesis, Cornell University, USA, 2002.
31. *H.Falcke, N.M.Nagar, A.S.Wilson, J.S.Ulvestad*, *Astrophys. J.*, **542**, 197, 2000.
32. *W.J.Karzas, R.Latter*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **6**, 167, 1961.
33. *A.Ptak, T.Heckman, D.Strickland, N.A.Levenson, K.Weaver*, *Astrophys. J.*, **592**, 782, 2003.