

УДК: 524.728

ОРИЕНТАЦИЯ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГАЛАКТИК, СВЯЗАННЫХ С НИМИ

Р.Р.АНДРЕАСЯН¹, Э.СОЛ²

Поступила 10 февраля 1999

Принята к печати 30 марта 1999

Используя данные для 271 объекта анализирована относительная ориентация оптических и радиоосей радиогалактик. Найдено, что радиооси коррелируют с малыми осями оптических галактик у более вытянутых радиогалактик ($K > 2.5$, где K — отношение размеров большой и малой осей радиоизображения) и у радиогалактик класса FR II, тогда как у менее вытянутых ($K < 2.5$) радиогалактик и радиогалактик класса FR I радиооси коррелируют с большими осями оптической галактики. В обоих случаях корреляция оказывается более значимой для классификации радиогалактик по их вытянутости, чем по критериям Фанарова-Рили. Следовательно, классификация по вытянутости радиоизображения может быть интересной для понимания глобальных проблем, связанных с механизмом образования и эволюции радиогалактик. Теоретическим обоснованием такой классификации может быть альтернативный механизм образования радиогалактик из релятивистской плазмы, выброшенной из центральной части оптической галактики и движущейся в ее крупномасштабном дипольном магнитном поле.

1. *Введение.* Изучение морфологических особенностей радиогалактик имеет очень важное значение для понимания механизма их образования и эволюции. Одной из важнейших особенностей радиоморфологии этих объектов является их двойная структура. В большинстве случаев оптическая эллиптическая галактика находится примерно на середине линии, соединяющей радиокомпоненты. Почти во всех теоретических моделях (см., например, [1-4]) принимается, что радиоисточники образуются из плазмоида, выброшенного из центральной части активной оптической галактики. Однако в одних моделях предполагается, что плазмоид выбрасывается в направлениях, близких к плоскости симметрии оптической галактики [1], в других моделях — в направлении малой оси или оси вращения галактики [2-3].

Для проверки этих предположений были сделаны и теперь делаются многочисленные работы (см. [4-17]), в которых использовались опубликованные радиокарты радиогалактик и данные о позиционных углах больших осей отождествленных с ними эллиптических галактик: Надо отметить, что до сих пор нет общепринятого мнения об ориентации радио и оптических изображений радиогалактик. Тогда как в некоторых работах [5-9] найдена более или менее

четкая корреляция между малыми осями оптических и большими осями радиоизображений, в других (см., например, [10-11]) такая корреляция либо вовсе отсутствует, либо очень слаба. В [4] найдена хорошая корреляция между малыми осями оптических и большими осями радиоизображений для хорошо вытянутых радиогалактик. Для менее вытянутых же радиогалактик получалась хорошая корреляция между большими осями радио и оптических изображений. В [18,19] найдена хорошая корреляция между радиоосями и нормалью к плоскости пылевой материи в тех случаях, когда в галактике обнаруживается пылевой компонент. В более поздних работах [12-14,17] найдено, что области с оптической эмиссией вытянуты в направлении радиоосей, а в работах [15,16] не найдено никакой корреляции.

В настоящей работе на основе анализа наиболее полной выборки данных изучается вопрос о корреляции радио и оптических осей в зависимости от классификации радиогалактик (классификация Фанарова-Рили (FR) [20] и классификация по вытянутостям радиоизображений, предложенная в [4]).

2. *Наблюдательные данные.* В работе использованы данные для 271 радиогалактики. Это, в основном, близкие объекты ярче 18 величины. Данные о позиционных углах оптических изображений этих эллиптических галактик, найденных в основном на Паломарских картах, взяты из работ [5-11]. Для большинства этих радиогалактик мы определили из литературы их FR классы.

По опубликованным радиокартам радиогалактики классифицировались также в зависимости от их вытянутостей. В основе этой классификации лежит механизм образования радиоисточников из облака релятивистских частиц, выброшенных из центра активной эллиптической галактики и движущегося в крупномасштабном дипольном магнитном поле галактики [4]. В зависимости от отношения плотности энергии в облаке релятивистских частиц к плотности энергии магнитного поля будут образовываться радиогалактики следующих морфологических типов.

а) Когда плотности энергии в облаке частиц больше плотности энергии магнитного поля, облако частиц продолжает двигаться в первоначальном направлении, увлекая за собой вмороженные силовые линии магнитного поля. Поскольку предполагается, что первоначальное направление выброса близко к оси диполя, а ось диполя совпадает с осью вращения галактики [21], то в этом случае направление выброса или, что то же самое, ось радиоисточника будут близки к малой оси оптической галактики. Здесь предполагается также, что эллиптические галактики, отождествленные с внегалактическими радиоисточниками, вращаются вокруг малой оси. В этом случае образующиеся радиоисточники будут иметь довольно вытянутую форму, а радиояркость будет расти в направлении от центра к внешней части радиоизлучающего облака, где оно взаимодействует с окружающей средой. Такие радиогалактики по классификации Фанарова-Рили относятся

к классу FR II. Таким образом, ожидается, что для радиогалактик FR II класса и для радиогалактик с более вытянутыми конфигурациями направления радиоосей должны коррелировать с малыми осями оптических галактик.

б) Когда плотность энергии в облаке релятивистских частиц меньше плотности энергии дипольного магнитного поля, частицы двигаются по направлению силовых линий дипольного поля и окажутся в магнитной ловушке. В результате все частицы, двигаясь по силовым линиям магнитного поля, будут колебаться около плоскости, перпендикулярной к оси диполя. В этом случае будут образовываться менее вытянутые радиоструктуры, а радиосветимость будет уменьшаться к краю радиоизображения, как это бывает у класса FR I. Как следует из вышесказанного, для радиогалактик этого класса направления вытянутости радиоизображения должны коррелировать с большими осями оптических галактик. В работе [4] был введен численный параметр K (K - отношение размера большой оси радиоизображения к малой оси) для классификации радиогалактик по вытянутости радиоизображений. Поскольку во втором случае релятивистские частицы находятся в магнитной ловушке дипольного поля, то самая большая вытянутость будет наблюдаться тогда, когда галактика видна сбоку, то есть перпендикулярно к оси диполя. В этом случае значение параметра K можно найти из уравнений силовых линий дипольного поля. Для наибольшего значения параметра K получается 2.5. Таким образом, когда $K > 2.5$, радиогалактику можно классифицировать как более вытянутую, а когда $K < 2.5$ - как менее вытянутую. Конечно, при такой классификации значение параметра K сильно зависит от ориентации радиогалактик, но, как будет видно из дальнейшего изложения, это не будет заметно влиять на основные результаты.

В работе использована выборка данных для 271 радиогалактики, в которой собраны следующие данные: позиционные углы оптических (oPA) и радио (rPA) изображений, разница в позиционных углах (dPA), а также эллиптичность (E), взятые из работ [5-11], классы по вытянутости, найденные по вышеупомянутому критерию, FR классы, найденные в литературе, а также оптические величины, спектральные индексы, красные смещения и логарифмы радиосветимости ($\lg P$) на 2.7GHz*.

3. *Анализ данных.* Как было видно из изложенного в предыдущем разделе, в классификациях радиогалактик по вытянутости радиоизображений и по критериям Фанарова-Рили [20] должна быть заметная корреляция. В выборке имеются 155 радиогалактик, для которых одновременно известны классификация по вытянутости и FR классы. Оказывается, что из 85 радиогалактик FR II класса 62 являются более вытянутыми ($K > 2.5$), а из 70 радиогалактик FR I класса 51 является менее вытянутой ($K < 2.5$). Таким образом, как и ожидалось, наблюдательные данные подтверждают наличие

* Таблицу данных можно получить по e-mail (randrasy@bao. sci am).

хорошей корреляции между классификацией Фанарова-Рили и нашей классификацией по вытянутостям радиоизображений.

Данные из выборки использовались для построения гистограмм отдельно для радиогалактик, классифицированных по их вытянутостям (рис. 1a, b, c), и

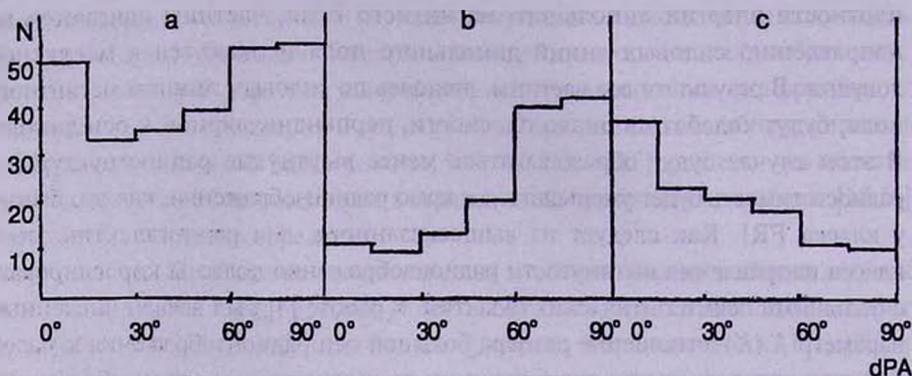


Рис.1. Распределение радиогалактик по относительным позиционным углам: а) для всех 267 радиогалактик с известными классами по вытянутости радиоизображений; б) для 141 радиогалактики с $K > 2.5$; в) для 126 радиогалактик с $K < 2.5$.

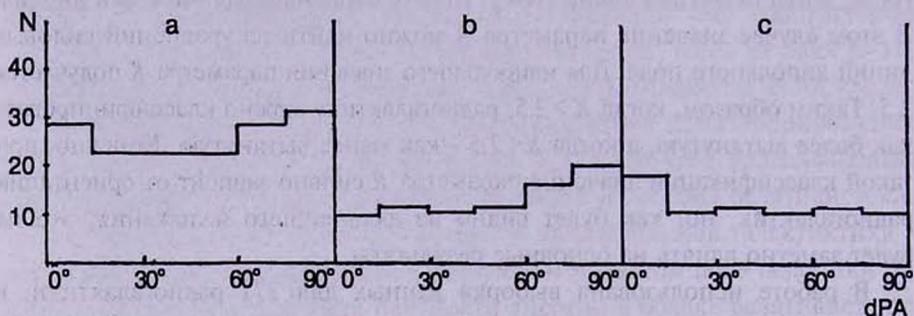


Рис.2. Распределение радиогалактик по относительным позиционным углам: а) для всех 159 радиогалактик с известными FR классами; б) для 83 радиогалактик FR II класса; в) для 76 радиогалактик FR I класса.

для радиогалактик с FR классами (рис.2a, b, c). На рисунках по оси абсцисс отложена разница в позиционных углах (относительные позиционные углы - dPA) оптического и радио изображений, а по оси ординат - число радиогалактик. При построении гистограмм на рис. 1a и 2a использованы все радиогалактики с известными классификациями соответственно по их вытянутости и FR классами. На рис. 1b и 2b приведены гистограммы для радиогалактик соответственно более вытянутых ($K > 2.5$) и FR II класса, а на рис. 1c и 2c - гистограммы для радиогалактик, менее вытянутых ($K < 2.5$) и FR I класса.

На рис. 1a и 2a в распределении относительных позиционных углов видны слабо выраженные максимумы при $dPA = 0^\circ$ и $dPA = 90^\circ$. Примерно такие результаты были получены почти во всех работах, изучающих корреляции между радио и оптическими осями [5-11]. Корреляция между оптическими и радиоосями становится достаточно четкой на гистограммах

1b, 2b и 1c, 2c, при построении которых использовались радиогалактики отдельных классов (соответственно $K > 2.5$ или FR II и $K < 2.5$ или FR I). У радиогалактик с $K > 2.5$ и FR II классов на гистограммах 1b и 2b наблюдаются четко выраженные максимумы у $dPA = 90^\circ$. Анализ данных по χ^2 дает вероятность P того, что максимум на гистограмме не является случайным, для рис. 1b $P > 0.999$, а для рис. 2b $P > 0.85$. Это означает, что в радиогалактиках с $K > 2.5$ и FR II типа радиооси хорошо коррелируют с малыми осями оптических галактик.

У радиогалактик с $K < 2.5$ и FR I на гистограммах рис. 1c и 2c наблюдается хорошо выраженный максимум у $dPA = 0^\circ$. Анализ данных по χ^2 дает вероятность, что максимум не случайный, для рис. 1c $P > 0.999$, а для рис. 2c $P > 0.60$. Это означает, что в радиогалактиках с $K < 2.5$ и FR I типа радиооси коррелируют с большими осями оптических галактик, хотя для радиогалактик FR I корреляция слаба.

Таким образом, полученные результаты хорошо соответствуют выводам, сделанным в разделе 2. Однако, как это видно из рисунков и из χ^2 анализа данных, корреляции оптических и радиоосей лучше выражены для классификации радиогалактик по их вытянутостям, чем для классификации Фанарова-Рили, из чего вытекает, что хотя эти две классификации хорошо коррелируют друг с другом, они все-таки не полностью перекрывают друг друга и, вероятно, имеют разные физические обоснования.

4. *Заключение.* В заключение отметим, что четкие максимумы при $dPA = 90^\circ$ (рис. 1b) и $dPA = 0^\circ$ (рис. 1c) свидетельствуют в пользу механизма образования внегалактических радиоисточников, предложенного в [4] и в разделе 2 настоящей работы и лежащего в основе классификации радиогалактик по вытянутости радиоизображения.

Отметим также, что хотя на рис. 1b и 1c имеются хорошо выраженные максимумы, первоначальное распределение относительных позиционных углов у радиогалактик может быть изменено в основном в сторону уменьшения этих максимумов из-за следующих эффектов.

а) Из-за проекционных эффектов могут изменяться как значение параметра K , так и разница позиционных углов dPA .

б) Направления оптических осей у некоторых эллиптических галактик изменяются при переходе от внутренних частей к внешним, а также эти оси могут отличаться для разных компонентов (газовые, пылевые или звездные) галактики (см., например, [22]).

в) В некоторых случаях радиоизображение объекта так сложно, что трудно определить значение параметра K (ошибки классификации) или позиционный угол радиоосей, хотя в работах [5-11], откуда были взяты значения dPA , ошибки определения относительных позиционных углов оцениваются порядка $10-15^\circ$.

Отметим, наконец, что определение первоначального распределения dPA радиогалактик из наблюдательного распределения является важной обратной задачей и будет предметом другого исследования.

¹Бюраканская астрофизическая обсерватория, Армения

²Астрофизическая обсерватория Медон, Париж.

THE ORIENTATION OF EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES RELATIVELY TO THEIR PARENT ELLIPTICAL GALAXIES

R.R.ANDREASYAN¹, H.SOL²

The relative orientation of radio axes and optical axes of radiogalaxies has been analysed for a sample of 271 sources. Radio axes are found correlated with optical minor axes of the host galaxy for the more elongated radiosources ($K > 2.5$, where K is the ratio of major to minor radio axes) and for FR II type radiogalaxies, while they appear correlated with optical major axes for the less elongated ($K < 2.5$) and FR I type radiogalaxies. In both cases the correlation is more significant for the classification of radiogalaxies by their elongation, than for the Fanaroff-Riley classification. This classification by elongation therefore appears quite interesting for our understanding of global properties and formation of extragalactic radiosources. An alternative formation scenario, which proposes that they are generated by the sporadic ejection of plasma from a central core into a large dipolar galactic magnetic field, can for instance provide some theoretical grounds to such a classification.

ЛИТЕРАТУРА

1. *W.S.Saslaw, M.J.Valtonen, S.J.Aarseth*, *Astrophys.J.*, **190**, 253, 1974.
2. *M.J.Rees*, *Nature*, **229**, 312, 1971.
3. *S.F.Gull, K.J.E.Northover*, *Nature*, **244**, 80, 1974.
4. *R.R.Andreassyan*, *Astrofizika*, **21**, 409, 1984.
5. *C.D.Mackay*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **151**, 421, 1971.
6. *D.M.Gibson*, *Astron. Astrophys.*, **39**, 377, 1975.
7. *J.J.Palimaka, A.H.Bridle, E.B.Fomalont, G.W.Brondie*, *Astrophys. J. Lett.*, **231**, L7, 1979.
8. *P.Bottistini, F.Bonoli, S.Silvastro, R.Fanti, J.M.Gioia, G. Giovannini*,

- Astron. Astrophys., 85, 101, 1980.
9. *B.N.G.Guthrie*, Astrophys. Space Sci., 70, 211, 1980.
 10. *M.J.Valtonen*, Astrophys. Space Sci., 90, 207, 1983.
 11. *A.E.Sansom, I.J.Danziger, R.D.Ekers, R.A.E.Fosbury, W.M.Goss, A.S.Monk, P.A.Shaver, W.B.Sparks, J.V.Wall*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 229, 15, 1987.
 12. *P.J.Mccarthy, H.Spinrad, W.Van Breugel*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 99, 27, 1995.
 13. *K.C.Chambers, G.K.Miley, W.J.M. Van Breugel, M.A.R.Bremer, J.-S.Huang, N.A.Trentham*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 106, 247, 1996.
 14. *H.J.A.Roettgering, M.J.West, G.K.Miley, K.C.Chambers*, Astron. Astrophys., 307, 376, 1996.
 15. *A.R.Cooray, A.B.Fletcher, R.S.Conner, B.F.Burke, L.Herold*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 187, 1203, 1995.
 16. *N.Y.Lu, G.L.Hoffman, E.E.Salpeter, J.R.Houck*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 103, 331, 1996.
 17. *P.N.Best, M.S.Longair, H.J.A.Roettgering*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 292, 758, 1997.
 18. *W.B.Sparks, J.V.Wall, D.J.Thorne, P.R.Jorden, I.G.Van Breda, P.J.Rudd, H.E.Jorgensen*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 217, 87, 1985.
 19. *P.G.Van Dokkum, M.Franx*, Astron. J., 110, 2027, 1995.
 20. *B.L.Fanaroff, J.M.Riley*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 167, 31, 1974.
 21. *R.R.Andreassyan*, Astrofizika, 39, 58, 1996.
 22. *R.L.Davies, M.Birkinshaw*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 68, 409, 1988.