АСТРОФИЗИКА

TOM 45

МАЙ, 2002

ВЫПУСК 2

УДК: 524.74-337

О КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ НАПРАВЛЕНИЯМИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И БОЛЬШИХ ОСЕЙ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Р.Р.АНДРЕАСЯН¹, С.АППЛ², Э.СОЛ³ Поступила 23 января 2002 Принята к печати 20 февраля 2002

Изучено распределение относительных позиционных углов между интегральной собственной поляризации (перпендикулярной к направлению собственного магнитного поля) и больших осей внегалактических радиоисточников для разных типов радиоисточников. Были использованы данные для 280 внегалактических радиоисточников и найдено, что существуют большие различия в опосительной ориентации у разных типов радиоисточников. Направления собственных использованы данные для 280 внегалактических радиоисточников и найдено, что существуют большие различия в опосительной ориентации у разных типов радиоисточников. Направления собственных интегральных магнитных полей коррелируют с большими радиоссями у более вытянутых радиоисточников (*K* > 2.5, где *K* - отношение длин больших и малых осей радио изображений) и у радиоисточников (*K* > аласса, тогда как у менее вытянутых объектов (*K* < 2.5) и у радиоисточников FRI класса магнитные поля вовсе не коррелируют с радиоосями. Теоретическим обоснованием для классификации по параметру вытянутости радиоизображения *K* может быть альтернативный механизм образования радиоизальктик из релятивистской плазмы, выброшенной из центральной части оптической галактики и движущейся в его крупномасштабном дипольном магнитном поле.

1. Введение. Изучение физических и морфологических особенностей внегалактических радиоисточников очень важно для понимания механизма образования и эволюции этих объектов. Одной из важнейших морфологических особенностей является их двойная структура. Родительская оптическая эллиптическая галактика в большинстве случаев находится примерно в середине линии, соединяющей два радиокомпонента. Возможность получения радио карт высокого качества с использованием радиоинтерферометров в 1970-х годах привела к разделению внегалактических радиоисточников по их крупномасштабным морфологическим особенностям, какими и является классификация (FR) Фанарова-Рили [1]. Наблюдения на VLBI показали, что во внегалактических радиоисточниках имеются особенности более мелкого масштаба, такие, как джеты парсекного масштаба, которые коррелируют с крупномасштабной структурой и начинаются с центральной активной области оптической галактики. Многоканальные наблюдения галактик и активных ядер галактик (AGN) являются ключом к разгадке этих объектов. Однако, несмотря на огромное количество накопившегося наблюдательного материала. многие основные вопросы, связанные с образованием AGN и внегалактических радиоисточников, остаются открытыми. Здесь мы обращаем внимание на некоторые из них, такие как связь между радиоисточником, его родительской галактикой и окружающим магнитным полем. Некоторая общая эволюция

или влияние окружающих эффектов, особенно в начальной стадии образования этих объектов, должны были оставлять следы в нынешней морфологии радиоисточников, в относительных ориентациях радиоструй, газовых и звездных компонентов галактик, магнитных полей и осей вращения. В недавних работах [2-5] показано, что в объектах с большими красными смещениями области с оптическими эмиссионными линиями вытянуты по направлению радиоосей. В нашей работе [6] для изучения относительных ориентаций радио и оптических осей близких радиогалактик (ярче 18^{тт}) была использована достаточно однородная выборка примерно 300 объектов. Наряду с известной классификацией внегалактических радиоисточников Фанарова-Рили была предложена новая морфологическая классификация радиогалактик по вытянутости их радиоизображений. Было показано, что малые оптические оси коррелируют с большими радиоосями у более вытянутых радиогалактик (K>2.5), где K - отношение большой оси радиоизображения к его малой оси. и у радиогалактик FRII класса, тогда как у радиогалактик с меньшей вытянутостью (K<2.5) и у FRI класса наблюдается корреляция между большими осями радио и оптических изображений. В работе [7], на основе анализа данных тех же близких радиогалактик, было показано, что родительские эллиптические галактики в радиогалактиках с (K<2.5) и FRI класса обладают в среднем меньшей эллиптичностью, чем объекты, связанные с радиогалактиками (K>2.5) и FRII класса. Этот результат хорошо согласуется с результатом, полученным в работе [8] только для FR классификации.

Изучение крупномасштабной ориентации магнитных полей во внегалактических радиоисточниках тоже очень важно для понимания эволюционных аспектов этих объектов. Этот вопрос был изучен во многих работах (см., например, [9,10] и ссылки в них). Однако в указанных работах не учитывалась классификация радиоисточников, и в этом вопросе до сих пор нет четкой ясности. В настоящей статье изучается вопрос об ориентации интегрального магнитного поля относительно радиоосей внегалактических радиоисточников, учитывая их классификации по вытянутости радиоизображения и классификации по Фанарову-Рили. В разделе 2 приводятся использованные в работе наблюдательные данные; в разделе 3 изучается корреляция магнитных полей с радиоосями; в разделе 4 приводится теоретическое обоснование полученных результатов.

2. Наблюдательные данные. В настоящей работе используются данные о 280 внегалактических радиоисточниках, для которых из литературы [11-14] найдены относительные позиционные утлы между направлениями интегральных по всей поверхности источника радиополяризации и больших осей радиоисточников. Для большинства этих объектов из литературы были найдены их FR классификации. Все радиоисточники были классифицированы также по их вытянутости. Эта классификация, как было показано в работе

[6], основана на механизме образования радиоизлучающей области внегалактических радиоисточников из облаков релятивистских частии. выброшенных из активного ядра галактик и движущихся в крупномасштабном дипольном магнитном поле родительской галактики. Для классификации по вытянутости радиоизображения были определены параметры К, используя радиокарты радиоисточников, найденных из литературы. При наличии качественных радиокарт для одного и того же объекта на нескольких частотах для классификации были использованы радиокарты на более длинных волнах, поскольку из-за крутого спектра радиоизлучения в основной части радиоисточника, в некоторых случаях на коротких волнах наблюдаются только горячие пятна в радиокомпонентах, тогда как на более длинных волнах наблюдается весь радиоисточник. Как было сказано выше, параметр К - это отношение угловых размеров больших осей радиоизображения к малым. Надо отметить, что значения параметра К для данного объекта, полученные с использованием радиокарт на разных частотах, немного отличаются друг от друга. Однако, как будет показано дальше, эти отличия мало влияют на полученные в работе результаты.

Таким образом для 280 внегалактических радиоисточников были собраны следующие данные^{*}: названия радиоисточников; позиционные углы между направлениями интегральной радиополяризации и радиоосей (dPA) и их ошибки; ссылки для данных dPA; параметр *K* и ошибки определения параметра *K* (порядка 0.1-0.2); ссылки на использованные радиокарты; классы Фанарова-Рили; и ссылки на FR классификацию.

3. Корреляция между направлениями радиополяризации и радиоосей внегалактических радиоисточников. Изучение ориентации магнитных полей относительно радио и оптических осей внегалактических радиоисточников может обеспечить хорошей информацией для понимания физических механизмов, лежащих в основе образования и эволюции этих объектов. Поэтому во многих работах были сделаны попытки найти корреляции между направлениями интегральной собственной радиополяризации, исправленной за эффект фарадеевского вращения, и осями радиоисточников (см., например, [10,11,13] и ссылки в них). Эти исследования показали, что распределение относительных углов между радиоосями и электрическими векторами имеет основной максимум около 90° и вторичный максимум, на 0°.

Здесь, с использованием большего числа данных, чем в упомянутых работах, мы тоже изучаем распределение углов между интегральной собственной поляризацией и радиоосями внегалактических радиоисточников. Однако, в отличие от упомянутых работ, мы рассматриваем этот вопрос отдельно для разных классов радиоисточников, классифицированых по

^{*} Таблицу использованных данных можно получить по электронной почте randrasy@bao.sci.am

Фанарову-Рили и по их параметру вытянутости К.

Сначала находим зависимость относительных позиционных углов от параметра К. Эта зависимость приведена на рис.1. Из рисунка видно, что среднее значение относительных позиционных углов между направлениями радиополяризации и радиоосями (dPA) увеличивается с увеличением



Рис.1. Зависимость углов между направлениями интегральной собственной радиополяризации и больших осей внегалактических радиоисточников от параметра вытянутости К.

параметра вытянутости *K*. Однако это увеличение имеет скачкообразный характер около значения $K_0 = 2.5$. Такая зависимость наводит на мысль, что распределение вышеупомянутых относительных позиционных углов будет отличаться у двух выборок радиоисточников, разделенных по значению параметра *K* (*K*>2.5 и *K*<2.5), как это было сделано в работах [6,7]. Надо отметить, что, как это видно из рис.1, для классификации радиоисточников выбор числа $K_0 = 2.5$ в интервале ± 0.1 или ± 0.2 , то есть в интервале ошибок определения параметра *K*, не будет приводить к качественному изменению полученных результатов.

Распределения относительных позиционных углов dPA для всех внегалактических радиоисточников общей выборки и для отдельных выборок с параметрами K<2.5 и K>2.5 приведены на рис.2. На рисунках же За,b и с, соответственно, приведены такие же распределения для всех радиоисточников с известными FR-классами, для радиоисточников FRIкласса и FRII-класса. На гистограммах приведено также вычисленное ожидаемое из наблюдений распределение dPA, с учетом эффектов проектирования. При вычислениях предполагалось, что истинное распределение dPA является дельта функцией, а оси радиоисточников направлены случайно в пространстве. Значение аргумента для максимума дельта функции выбиралось таким образом, чтобы полученное в результате вычислений ожидаемое распределение лучше всего соответствовало наблюденному распределению относительных позиционных углов. Фактически в работе решается обратная задача, в которой учитываются эффекты проектирования на небесной сфере, с использованием метода,

разработанного в работе [15], то есть, по наблюденному распределению dPA, находится истинное распределение.

Из рисунков 2 и 3 можно сделать следующие основные выводы. Прежде всего надо отметить, что гистограммы, приведенные на рис.2а и 3а, для построения которых были использованы, соответственно, все радиоисточники





Рис.2. Распределение углов между направлениями интегральной собственной радиополяризации и больших осей внегалактических радиоисточников с известными классами по вытянутости; а) для всех 280 объектов, b) для 107 объектов с K<2.5, c) для 173 объектов с K>2.5.

выборки и все радиоисточники с известными FR классами, качественно ничем не отличаются от гистограмм, полученных в вышеупомянутых работах [10,11,13]. Их нельзя объяснить истинным распределением с одним максимумом. На них видны основные максимумы около 90° и вторичные максимумы около 0°. Распределения на рис.2b и 2c сильно отличаются друг от друга и от распределения 2a. То же самое можно сказать о распределениях, приведенных на рис.3b и 3c по отношению распределения 3a. На распределениях рис.2c и 3c виден ярко выраженный максимум около 90°, и истинное распределение отгосительных позиционных углов можно аппроксимировать одной дельта функцией. На рисунках же 2b и 3b нет максимума и их нельзя аппроксимировать истинным распределением dPA в виде дельта-функции. Таким образом, выясняется, что распределения относительных позиционных углов отличаются друг от друга, а также от общего распределения для разных классов внегалактических радиоисточников, классифицированных как по Фанарову-Рили, так и по нашему критерию по вытянутости радиоизображения. Во внегалактических радиоисточниках класса FRII и в более вытянутых радиоисточниках (K > 2.5) электрический вектор интегральной радиополяризации перпендикулярен к радиооси источника. Поскольку направление магнитного поля в оптически тонких синхротронных радиоисточниках, каковыми являются протяженные внегалактические радиоисточники, перпендикулярно электрическому вектору [16], то можно





Рис.3. Распределение углов между направлениями интегральной собственной радиополяризации и больших осей внегалактических радиоисточников с известными FR классами; а) для всех 181 объектов, b) для 27 радиоисточников FRII класса, c) для 154 радиоисточников FRII класса.

утверждать, что у этих радиоисточников магнитное поле направлено по оси радиоисточника. В радиоисточниках же FRI класса и менее вытянутых (K < 2.5) объектах, как это видно из рис.2b и 3b, нет ярко выделенного направления радиополяризации или, что одно и то же, магнитного поля.

4. Теоретическое обоснование полученных результатов. В этом разделе приводится альтернативный механизм образования и эволюции

внегалактических радиоисточников. Полученные в предыдущем разделе, из анализа наблюдательных данных о 280 внегалактических радиоисточниках, результаты качественно хорошо вписываются в модель, предложенную в работах [6] и [17]. В основе упомянутой модели лежит предположение о дипольной конфигурации магнитного поля родительской галактики, из центральной активной части которой выбрасываются облака релятивистских частиц, которые движутся и излучают в этом крупномасштабном магнитном поле. Наличие большого количества быстровращающегося газа в родительских эллиптических галактиках и супердисках (см., например, [18]) может обеспечить условия для образования и усиления дипольного магнитного поля [19-21], ось которого приблизительно совпадает с осью вращения газового компонента, а в большинстве случаев также с малой осью оптической галактики (хотя в некоторых случаях могут быть заметные расхождения [25]).

Поведение облаков релятивистской плазмы в магнитном поле сильно зависит от значения величины Q, которая является отношением плотности кинетической энергии плазмы к плотности энергии магнитного поля. В зависимости от этой величины в упомянутой модели могут образоваться внегалактические радиоисточники разных морфологических типов:

a) Когда отношение Q намного больше единицы, облака релятивистских частиц, выброшенных по направлению оси магнитного диполя (единственное выделенное направление), выступая как одно целое, расширяясь, двигаются на большие расстояния от оптической галактики, вытягивая с собой и деформируя вмороженные в нем магнитные силовые линии. В этом случае могут образоваться более вытянутые радиоизображения, а также радиоисточники, в которых сильно выражены радиопятна, классифицированные как FRII класса. Из вышеизложенного ясно, что оси радиоисточников будут направлены по оси диполя или, что то же самое, по оси вращения газового компонента и малой оси оптической галактики [6]. Магнитное поле в этом случае будет параллельно радиооси, как это было показано в предыдущем разделе.

6) Когда отношение Q намного меньше единицы, частицы плазмы отдельно друг от друга будут участвовать в движении по силовым линиям дипольного магнитного поля, дрейфуя и отражаясь от магнитных зеркал и, в конечном счете, окажутся в магнитной ловушке диполя. В этом случае самая большая вытянутость будет наблюдаться, если ось диполя перпендикулярна к оси зрения, а наибольшее значение параметра K можно определить из уравнения силовых линий диполя; оно оказывается порядка 2.5, и фигурирует в классификации радиоисточников по их вытянутости. Ясно, что в этом случае могут образоваться относительно менее вытянутые радиоисточники (K < 2.5) и радиоисточники FRI класса, без ярко выраженных радиопятен. Из выпцесказанного вытекает, что в радиоисточниках указанных классов рапиооси будут коррелировать с большими осями оптических галактик [6], а интегральные магнитные поля, как это получено в предыдущем разделе, в общем случае не будут коррелировать с радиоосями.

Надо отметить, что многие внегалактические радиоисточники имеют довольно сложные морфологические особенности и не удается классифицировать эти объекты, не по критериям Фанарова-Рили, ни по нашим более простым критериям. Такие конфигурации, вероятно, могут образоваться при значении *Q* порядка единицы из-за приливных действий со стороны соседних галактик, или из-за взаимодействия с окружающим межгалактическим веществом.

5. Заключение. В работе [6] было показано, что существует хорошая корреляция между классификацией радиоисточников Фанарова-Рили и классификацией по вытянутости радиоизображения. Действительно, как было сказано выше, в первом случае, когда Q намного больше единицы и K>2.5, в основном образуются более мощные радиоисточники (поскольку в конечном счете облако релятивистских частиц синхротронно излучает за счет внутренней энергии облака) с яркими пятнами в концах, то есть типичные FRII объекты. Во втором же случае, когда Q меньше единицы. в основном образуются слабые радиоисточники, без каких-либо уплотнений в краях, какими являются радиоисточники FRI. Однако эти две классификации не перекрывают друг друга и имеют сильные различия. Например, по определению Бридл и Перли [9], джетами можно считать образования, вытянутость которых больше 4 (K>4), независимо от FR классификации. При таком определении все джеты по нашей классификации будут относиться к объектам большей вытянутости со всеми вытекающими из этого последствиями, то есть все джеты, по определению Бридл и Перли, должны будут направлены по оси диполя, хотя часть из них являются радиоисточниками FRI класса. Отметим, что почти все статистические особенности внегалактических радиоисточников, приведенные в [9], можно качественно объяснить в рамках предложенной в разделе 4 модели (см. [22]). Таким образом, классификация радиоисточников по вытянутости радиоизображения, в основе которой лежит упомянутая модель, может быть интересной для понимания механизма образования и эволюции этих объектов.

Надо также отметить, что в работе [23] был изучен вопрос об образовании радиоисточников разных Фанаров-Рили классов в зависимости от значения вышеупомянутого параметра отношения плотностей энергий плазмы и магнитного поля *Q* при предположении крупномасштабного тороидального магнитного поля галактического ядра. Можно напомнить также другой механизм, предложенный Валтонен и Валтоя [24], в котором предполагается, что радиопятна образуются из супермассивных компактных объектов, выброшенных из центра родительской галактики. Наша модель

образования более вытянутых радиоисточников, когда Q >> 1, согласуется с этой схемой, тогда как для образования менее вытянутых радиоисточников нужно более или менее стационарное истечение плазмы с отношением плотностей энергий плазмы и могнитного поля Q < 1.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: randrasy@bao.sci.am

² Institut für Angewandte Mathematik, Universitat Heidelberg, Germany

³ DAEC, Observatoire de Paris-Meudon, France

ON THE CORRELATION OF DIRECTIONS OF MAGNETIC FIELDS AND THE MAJOR AXES OF EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES

R.R.ANDREASYAN¹, S.APPL², H.SOL³

The distribution of relative position angles between the integrated intrinsic radio polarization (perpendicular to the intrinsic direction of the magnetic field) and the major axes of extragalactic radio sources for different types of radio sources has been studied. We considered data for 280 extragalactic radio sources and found that there are large differences in relative orientations for different types of radio sources. The directions of integrated intrinsic magnetic fields are correlated with major radio axes for the more elongated sources (K > 2.5, where K is the ratio of the lengths of the major and minor axes of the radio image) and for FRII radio sources, while they appear to be not correlated with radio axes for less elongated (K < 2.5) radio sources and for FRI types. A theoretical foundation for the classification by the elongation parameter K may be the alternative mechanism of formation of radio galaxies from relativistic plasma, ejected from the central part of the optical galaxy and moving in its large-scale, dipole magnetic field.

Key words: Radiogalaxies: magnetic fields

ЛИТЕРАТУРА

1. B.L.Fanaroff, J.M.Riley, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 167, 31, 1974.

 P.N.Best, M.S.Longair, H.J.A.Rottgering, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 292, 758, 1997.

- 3. 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.
- 4. H.J.A.Roettgering, M.J.West, G.K.Miley, K.C.Chambers, Astron. Astrophys., 307, 376, 1996.
- 5. P.J.McCarthy, H.Spinrad, W. Van Breugel, Astrophys. J. Suppl. Ser., 99, 27, 1995.
- 6. Р.Р.Андреасян, Э.Сол, Астрофизика, 42, 365, 1999.
- 7. Р.Р.Андреасян, Э.Сол, Астрофизика, 43, 561, 2000.
- 8. L. Colina, L. De Juan, Astrophys. J., 448, 548, 1995.
- 9. A.H.Bridle, R.A.Perly, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 22, 319, 1984.
- 10. P.Haves, R.G.Conway, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 173, 53, 1975.
- J.N.Clarke, P.P.Kronberg, M.Simard-Normandin, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 190, 205, 1980.
- 12. P.Birch, Nature, 298, 451, 1982.
- R.J.Davis, D.Stannard, R.G.Conway, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 205, 1267, 1983.
- 14. S. Mitton, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 155, 373, 1972.
- 15. S.Appl, H.Sol, L.Vicente, Astron. Astrophys., 310, 419, 1996.
- 16. E.Asseo, H.Sol, Phys. Rep., 148, 301, 1987.
- 17. Р.Р.Андреасян, Астрофизика, 21, 93, 1984.
- 18. Gopal-Krishna, P.J. Wiita, Astrophys. J., 529, 189, 2000.
- 19. H.Lesh, A.Crusius, R.Schlikeiser, R.Wielebinski, Astron. Astrophys., 217, 99, 1989.
- 20. Р.Р.Андреасян, Э.Сол, Астрофизика, 39, 111, 1996.
- 21. R.R.Andreasyan, IAU 24GA, JD 14, 15A, 2000.
- 22. Р.Р.Андреасян, Сообщ. Бюраканской обсерв. вып. LXIII, 75, 1990.
- 23. M.M.Romanova, R.V.E.Lovelace, Astron. Astrophys., 262, 26, 1992.
- 24. E. Valtoaja, M.J. Valtonen, Astron. Astrophys., 130, 373, 1984.
- 25. R.L. Davies, M. Birkinshaw, Astrophys. J. Suppl. Ser., 68, 409, 1988.