

УДК 524.7—77

О КОНФИГУРАЦИИ РАДИОГАЛАКТИК

Р. Р. АНДРЕАСЯН

Поступила 27 июля 1982

Принята к печати 15 февраля 1983

Предполагается, что галактики обладают дипольными магнитными полями. На основании изучения движения облака заряженных релятивистских частиц, выброшенного из ядра родительской оптической галактики, в дипольном магнитном поле, находятся основные формы радиогалактик. Полученные результаты хорошо согласуются с наблюдениями.

1. *Введение.* Как известно, большинство космических объектов имеет магнитные поля. Конфигурацию магнитных полей Солнца и планет в первом приближении можно считать дипольной. Более крупномасштабными и регулярными магнитными полями обладают галактики и квазары. Есть много доводов в пользу предположения, что магнитные поля галактик тоже имеют дипольный характер. Впервые такое предположение для «взрывающейся» галактики М 82 было сделано в работе [1]. В работе [2] было показано, что магнитное поле для М 82 направлено по малой оси галактики. При предположении о дипольном характере магнитного поля это можно объяснить тем, что ось диполя совпадает с малой осью галактики. В настоящее время есть много наблюдательных данных, свидетельствующих о наличии магнитных диполей галактического масштаба и у других галактик. Такими галактиками, например, являются 3С 129 и NGC 1265 [3—6], радиогалактики 3С 310 [7], В 0844+31 [8] и, так называемая, «Бабочка» — радиогалактика IC 708 [9]. На основании анализа наблюдательных данных о мерах вращений пульсаров и внегалактических радиоисточников в работах [10, 11] нами было показано, что магнитное поле нашей Галактики, вероятно, является определенным образом деформированным полем диполя.

В последнее время в некоторых теоретических работах [12—14] показано, что космические объекты, в том числе и галактики, могут иметь дипольные магнитные поля. В работах [12, 13] рассматривается гипотеза о том, что наблюдаемые в настоящее время магнитные поля космически

объектов являются реликтом дипольного поля суперадрона. Предположение о дипольной форме магнитного поля протогалактик в рамках сверхплотной космогонии впервые было сделано в работе Р. М. Мурадяна [12]. Там же для магнитного момента галактик получена формула

$$\mu = 10^{-41} \left(\frac{m}{m_p} \right)^{3,2} \text{ Гс см}^3, \quad (1)$$

где m — масса галактики, а $m_p = 1.67 \cdot 10^{-24}$ г — масса протона. Для нашей Галактики по этой формуле получается значение $\mu = 1.7 \cdot 10^{61}$ Гс см³, которое по порядку величины хорошо согласуется со значениями, полученными из наблюдений.

В работе [14] показана принципиальная возможность эффективного усиления дипольного магнитного поля в центральных областях Галактики посредством, так называемого, α^2 динамо. Ясно, что такой механизм может работать и в других спиральных галактиках. Таким образом, ссылаясь на работы [12—14], можно предположить, что как в эллиптических галактиках, где из-за отсутствия достаточного количества межзвездного вещества не работает динамо-механизм, так и в спиральных галактиках магнитное поле имеет конфигурацию, близкую к дипольной.

2. *Основные конфигурации радиогалактик.* Согласно известной гипотезе В. А. Амбарцумяна (см., например, [18]) происхождение радиогалактик можно объяснить активностью ядер галактик, проявляющейся в форме гигантских взрывов и выбрасывания облаков заряженных частиц из центральных областей. В настоящей работе предполагается, что магнитное поле галактик имеет дипольную конфигурацию. Изучение движения облака заряженных релятивистских частиц, выброшенного из ядра галактики, в дипольном магнитном поле, дает возможность найти основные формы радиогалактик. Дипольное магнитное поле характеризуется напряжением поля, которое находится по формуле (см., например, [15]).

$$B = \frac{\mu}{r^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \lambda}, \quad (2)$$

где r — расстояние от центра диполя, а λ — широтная координата данной точки, то есть угол между радиусом-вектором r и экваториальной плоскостью диполя (см. рис. 1), и уравнением силовой линии магнитного поля, которое имеет вид

$$r = r_0 \cos^2 \lambda, \quad (3)$$

где r_0 — расстояние от центра диполя до пересечения данной силовой линии с экваториальной плоскостью. Дипольный момент магнитного поля галактик можно находить по формуле (1).

Общезвестно, что механизмом излучения радиогалактики является синхротронное излучение, то есть излучение заряженных частиц, движущихся по винтовой траектории вокруг силовой линии магнитного поля. Как отмечалось выше, будем считать, что радиоизлучающая область радиогалактики образуется из облака релятивистских частиц, выходящего из ядра оптической галактики и движущегося в ее дипольном магнитном поле. Будем также считать, что облако выходит в направлении оси диполя.

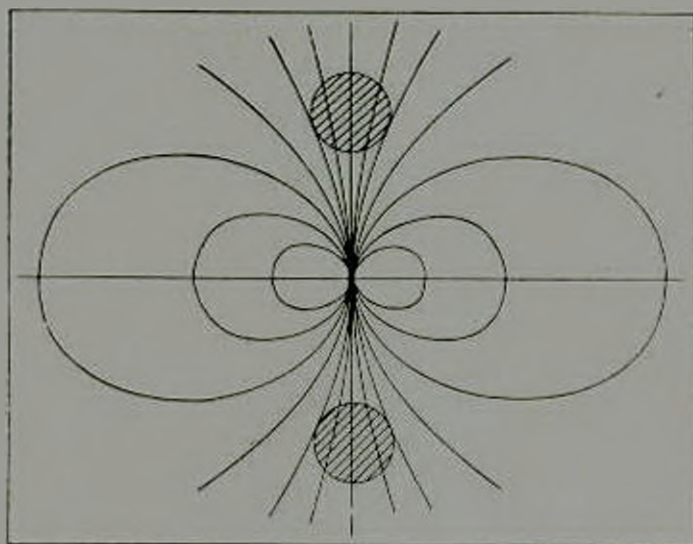


Рис. 1. Случай 1. Плотность энергии релятивистских частиц в облаке больше плотности энергии магнитного поля. Область, занимаемая облаком частиц, заштрихована

которая в свою очередь приблизительно совпадает с осью вращения галактики. В зависимости от того, какими магнитными моментами обладают галактики и какую энергию имеют облака релятивистских частиц, можно получить разные формы радиоизотоп галактик. Мы будем различать два следующих случая.

1. Когда плотность энергии релятивистских частиц в облаке намного больше плотности энергии магнитного поля, облако релятивистских частиц будет удаляться от оптической галактики, деформируя и увлекая за собой магнитное поле галактики. В зависимости от того, выходят ли облака только с одного полюса диполя, или с обоих полюсов, получается одиночная или двойная протяженная радиогалактика. Если же в одном направлении выходят несколько облаков, то получится радиогалактика, имеющая несколько уплотнений в одной струе, и т. д.

2. Когда же плотность энергии релятивистских частиц в облаке меньше плотности энергии магнитного поля, частицы, вращаясь вокруг сило-

вой линии, будут двигаться по силовым линиям дипольного поля и окажутся в магнитной ловушке. Эти частицы будут совершать колебания между некоторыми точками (точками отражения магнитного зеркала) и дрейфовать по направлению, перпендикулярному силовым линиям. Точки отражения находятся по формуле $B = \frac{B_0}{\sin^2 \alpha}$, где B_0 — напряженность маг-

нитного поля на экваториальной плоскости диполя, а α — угол, составленный направлением скорости частицы, находящейся на экваториальной плоскости, с силовой линией поля. Таким образом, все облако релятивистских частиц окажется в магнитной ловушке, и после нескольких колебаний (как это бывает в радиационных поясах Земли) частицы будут непрерывным образом заполнять объем, получающийся вращением некоторого сечения S (см. рис. 2) вокруг оси диполя. В зависимости от того, какое на-

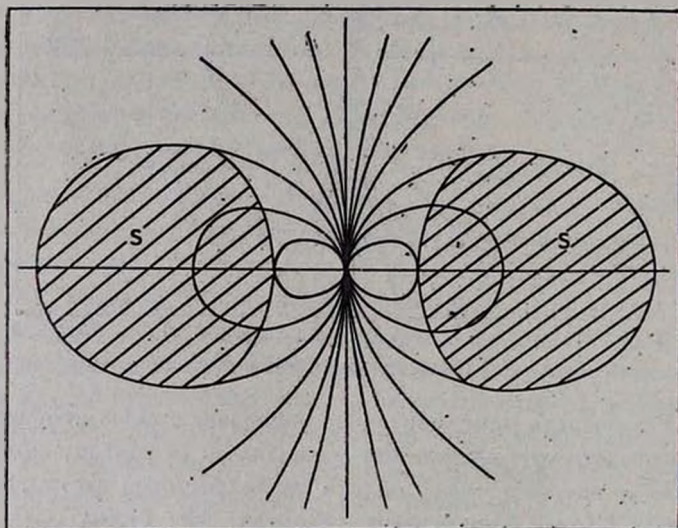


Рис. 2. Случай 2. Плотность энергии релятивистских частиц в облаке меньше плотности энергии магнитного поля.

правление имеет ось диполя относительно луча зрения, радиогалактика может иметь круглую, чуть вытянутую или двойную конфигурацию. Например, если ось диполя совпадает с лучом зрения или составляет малый угол с ним, то радиогалактика будет иметь соответственно круглую или вытянутую форму. Если же ось диполя с лучом зрения составляет угол, близкий к 90° , то радиогалактика будет видна как двойная. Действительно (см. рис. 2), луч зрения проходит через более толстый слой релятивистских частиц в двух участках, расположенных симметрично относительно

оптического объекта. Ясно, что и излучение в этих участках будет больше, чем в остальных.

На рис. 1 и 2 графически изображены описанные выше случаи 1 и 2. Отметим, что радиогалактики в первом и во втором случаях имеют морфологические различия, по которым, вероятно, можно отличать первый случай от второго. Так, одиночные радиогалактики в первом случае не совпадают с родительской оптической галактикой, тогда как во втором случае оптическая галактика находится почти в центре радиогалактики. Отношение размеров компонентов радиогалактики к линейному расстоянию между компонентами в случае 1 в среднем должны быть меньше, чем в случае 2. Радиоконпоненты относительно родительской оптической галактики во втором случае более симметричны. Отметим также, что в этих двух случаях магнитное поле имеет разные направления относительно направления вытянутости радиогалактики. Как это хорошо видно на рис. 1, в первом случае магнитное поле параллельно большой оси радиогалактики. Во втором случае (рис. 2) направление вытянутости радиогалактик перпендикулярно оси диполя, а магнитное поле в компонентах параллельно оси диполя. Следовательно, направление магнитного поля перпендикулярно большой оси радиогалактики. Этот результат хорошо подтверждается наблюдениями. Так, авторы работы [16], анализируя данные о поляризации 93 радиогалактик, получили, что для квазаров и радиогалактик большой светимости магнитное поле направлено вдоль большой оси радиогалактик, а для радиогалактик малой светимости магнитное поле перпендикулярно этой оси. Однако понятно, что при одинаковых магнитных моментах галактик, первый случай, когда плотности релятивистских частиц больше, в среднем совпадает со случаем большей светимости, а случаи 2 — со случаем малой светимости радиогалактик.

Отметим, наконец, что рассмотренные нами выше конфигурации радиогалактик получаются, когда галактики изолированы друг от друга. Однако радиогалактики часто встречаются в скоплениях галактик, где дипольные магнитные поля галактик могут искажаться из-за взаимодействия с другими галактиками, или из-за движения галактик в межгалактическом пространстве. В этих случаях получаются магнитные поля очень сложной конфигурации, а следовательно, и радиогалактики будут иметь сложную конфигурацию, что и встречается часто. Такими галактиками являются, например, упоминавшиеся в начале статьи «хвостатые» радиогалактики 3C 129 и NGC 1265, движущиеся в скоплениях галактик [3—6].

3. Сравнение с наблюдательными данными. Попробуем теперь сопоставить некоторые наблюдательные данные, приведенные в книге Нахольчика [17], с полученными нами результатами. Внегалактические радиоисточники подразделяются на компактные и протяженные в соответствии с их радиохарактеристиками (в настоящей статье говорилось о протяжен-

ных радиисточниках). Более или менее общей особенностью всех протяженных источников является двойственность их структуры, которая характеризуется значительной степенью симметрии. Как показано выше, такую структуру можно получить из предположения о дипольном характере магнитного поля галактик. Однако встречаются одиночные протяженные, а также, как отмечалось выше, радиогалактики довольно сложных конфигураций.

Протяженные радиисточники обычно связаны с яркими и массивными эллиптическими галактиками или квазарами, а их линейные размеры находятся в пределах от 10 кпс до 0.6 Мпс. Это значит, что магнитный момент у этих объектов должен быть таким, чтобы на столь больших расстояниях от центра родительской галактики напряженность поля была порядка $10^{-5} - 10^{-6}$ Гс. Как известно, массивные эллиптические галактики обладают массами порядка $10^{13} M_{\odot}$ или даже больше. Если по формуле (1) оценить ожидаемый магнитный момент у этих галактик, то получится, что $\mu \approx 1.3 \cdot 10^{64}$ Гс см³ или больше, а формула (2) дает, что, например, по направлению полюсов диполей у этих галактик (когда λ меняется от 0° до 90°, напряженность поля меняется всего в два раза) на расстоянии, скажем, 50 кпс напряженность магнитного поля будет $B \approx 10^{-5}$ Гс или больше, что вполне достаточно для образования радиогалактик. Таким образом, протяженными радиогалактиками могут стать в основном те галактики, которые имеют большие массы и следовательно обладают большими магнитными моментами. Такими объектами являются массивные эллиптические галактики, с которыми и отождествляются в основном протяженные радиогалактики.

Время жизни электронов в протяженных радиогалактиках оценивается значением порядка 10^9 лет. За это время релятивистские электроны, попавшие в магнитную ловушку дипольного поля галактики, совершают очень много колебаний. Например, для радиогалактики с размером порядка 50 кпс время колебаний составляет примерно (см., например [15])

$$\tau = \frac{4r}{c} = 7 \cdot 10^5 \text{ лет,}$$

то есть, за время жизни электроны успевают совершать больше тысячи колебаний, что и подтверждает наше предположение о том, что частицы непрерывным образом заполняют объем, получающийся вращением сечения S вокруг оси диполя.

Оказывается, что почти все морфологические характеристики, относящиеся к радиокомпонентам радиогалактик, приводимые в книге Пахольчика [17], можно в грубых чертах объяснить в рамках дипольной модели радиогалактик. Однако мы здесь не будем приводить эти характеристики.

Отметим, что и в первом, и во втором случаях, рассмотренных выше, радиокомпоненты удаляются друг от друга и расширяются. В первом случае скорости удаления и расширения радиокомпонентов зависят от начальных скоростей облаков. Магнитное поле замедляет эти скорости, но не совсем, так как плотность энергии магнитного поля меньше плотности энергии частиц. Во втором случае скорости удаления и расширения, зависящие в основном от частоты соударений между частицами, вероятно меньше, чем в первом.

Отметим, наконец, что наблюдаемую двойственность радиогалактик можно считать косвенным доказательством дипольного характера магнитного поля галактик.

В заключение приношу благодарность академику В. А. Амбарцумяну за обсуждение результатов и ценные замечания.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE CONFIGURATION OF THE RADIOGALAXIES

R. R. ANDREASSIAN

It is assumed that the galaxies possess dipole magnetic fields. The study of the movement of the charged relativistic particles ejected from the nucleus of the parent galaxy, in the dipole magnetic field, offers a chance to find the main forms of radiogalaxies. The obtained results are in good agreement with observations.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. D. Greyber, *Quasi-Stellar Sources and Gravitational Collapse*, Chicago Univ. Press, 1956.
2. A. Sandage, N. Visvanatan, *Ap. J.*, 157, 1065, 1969.
3. W. J. Jaffe, G. C. Perola, *Astron. Astrophys.*, 26, 423, 1973.
4. R. T. Schilizzi, R. D. Ekers, *Astron. Astrophys.*, 40, 221, 1975.
5. G. K. Miley, K. J. Wellington, H. van den Laan, *Astron. Astrophys.* 38, 381, 1975.
6. R. G. Strom, G. K. Miley, J. Oort, *Scientific American*, 233, 26, 1975.
7. W. J. M. van Breugel, *Astron. Astrophys.*, 81, 265, 1980.
8. W. J. M. van Breugel, *Astron. Astrophys.*, 81, 275, 1980.
9. J. P. Vallee, A. S. Wilson, *Astron. Astrophys.*, 77, 183, 1979.
10. Р. Р. Андреасян, *Астрофизика*, 16, 707, 1980.
11. Р. Р. Андреасян, *Астрофизика*, 18, 255, 1982.
12. Р. М. Мурадян, *Астрофизика*, 14, 439, 1978.

13. И. Н. Минин, *Астрофизика*, 15, 121, 1979.
14. А. А. Рузмайкин, А. М. Шукуров, *Астрон. ж.*, 58, 969, 1981.
15. Г. Альвен, К.-Г. Фельтхаммар, *Космическая электродинамика*, Мир, М., 1967.
16. P. Haves, R. G. Sollway, *M. N. RAS*, 173, 53, 1975.
17. А. Пахольчик, *Радиогалактики*, Мир, М., 1980.
18. В. А. Амбарцумян, *Проблемы современной космогонии*. Наука, М., 1969.