АСТРОФИЗИКА

TOM 18

МАЙ, 1982

выпуск 2

УДК 524.6-337

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГАЛАКТИКИ

Р Р АНДРЕАСЯН

Поступила 18 сентября 1981 Принята к печати 18 марта 1982

Для изучения структуры магнитного поля Галактики использованы данные о мерах вращений плоскости поляризации для 703 радиоисточняков. Оказывается, что круппомасштабное магнитное поле Галактики параллельно спиральной ветям и чмеет противоположные направления в областях — $90^\circ < b < 15^\circ$ и $15^\circ < b < 90^\circ$ (b = ranaktiveckas широга). Большая часть из 46 неотождествленных радиоисточников, имеющих большие меры вращений ($\|RM\| > 200$ раз/м²) и сконцентрированных в области — $15^\circ < b < 15^\circ$, вероятно являются галактическими H11 областями. Параметры магнитных полей втих объектов примерно совпадают с параметрами поля окружающей их среды.

1. Крупномасштабное мазнитное поле Галактики можно изучать различными методами. Одним из лучших методов является метод определения мер фарадеевского вращения RM радиоисточников. Во многих работах (например, [1-4]) для атой цели использовались данные мер вращений внегалактических радиоисточников и пульсаров. В частности, в работе [4] было показано, что магнитное поле параллельно спиральному рукаву Галактики, причем направления поля в северном и южном полушариях противоположны друг другу $(l_0 \approx 270\,$ и $(l_0 \approx 100\,^\circ$ соответственно), напряженность поля порядка $(l_0 \approx 100\,^\circ$ соответственно) в — направления магнитного поля в галактических координатах), а Солице находится южнее плоскости перемены направления магнитного поля.

В работе [5] приведены меры вращений для более чем 700 радиоисточников (галактик, квазаров и неотождествленных объектов). Это довольно большой материал для статистики. В настоящей работе на основании атих данных проверяются заключения работы [4] и делается попытка определить природу некоторых неотождествленных радиоисточников.

2. Как и в работе [4], с целью улучшения материала статистики, мы исключаем из рассмотрения все данные тех источников, для которых $\|RM\| < 8$ рад/м 2 , потому что они определены с большими относительным-

ми ошибками и |RM| > 100 рад/м², считая, что большие значения мер вращений на не очень низких галактических широтах в основном возникают не в крупномасштабном поле Галактики, а скорсе всего в самих радиоисточниках. После исключения остаются данные для 419 радиоисточников

Если предположить, что магнитное поле находится в плоскопараллельном слое, то из формулы

$$RM = 8.1 \cdot 10^3 \int N_* B_L dL, \tag{1}$$

где N_* — электронная концентрация в среде, L — длина пути, пройденного излучением, в парсеках, а B_1 — продольная составляющая магнитного поля в гауссах, и из геометрических соображений можно получить

$$RM = K \frac{\cos b_0 \cos b \left(\cos l_0 \cos l + \sin l_0 \sin l\right) + \sin b_0 \sin b}{|\sin b|},$$
 (2)

где

$$K = 8.1 \cdot 10^{3} \int_{0}^{\infty} N_{e}(z) B(z) |dz|,$$
 (3)

а z - расстояние от плоскости Галактики.

Теперь, если для каждого объекта обозначить

$$(RM)_i | \sin b_i| = D_i$$
,
 $\cos b_i \cos l_i = A_i$, $K \cos b_0 \cos l_0 = X_i$
 $\cos b_i \sin l_i = B_i$, $K \cos b_0 \sin l_0 = Y_i$
 $\sin b_i = C_i$, $K \sin b_0 = Z$,

то из формулы (2) получим систему линейных уравнений с тремя неизвестными (индекс i изменяется от 1 до 419), которую можно решить методом наименьших квадратов. Полученные результаты приведены в табл. 1, из которой явствует, что направления магнитного поля в области $b>15^\circ$ и $b<-15^\circ$ действительно противоположны друг другу ($l_0=91.5^\circ$ и $l_0=292.4$ соответственно), а значения K и l_0 в интервале обок хорошо совпадают со значеннями, полученными в работе [4]. Для области -15 $b<15^\circ$ получен сильно отличающийся результат, вероятно потому, что из рассмотрения исключены случан, когда |RM|>100 рад/м¹.

3. Приступим теперь к изучению магнитного поля в области — 15° < b < 15° . Из-за малости значений величины $|\sin b|$ в знаменателе фор-

мулы (2) в этой области могут встречаться относительно большие значения |RM|>100 рад/м², поэтому целесообразно использовать и вти данные. Такие данные в работе [5] имеются для 170 радиоисточников. Есль по формуле (2) для этих объектов вычислить ожидаемые меры вращений (K, $l_{\rm c}$ и $b_{\rm o}$ можно взять из табл. 1), то полученные kM почти всегда окажутся меньше, чем наблюдаемые. Этот факт еще раз косвенно подтверждает ранее сделанное предположение о том, что большие значения мер вращения образуются не в Галактике, а в самих радноисточниках. Это предположение можно обосновать также довольно строго. Для этого воспользуемся данными для неотождествленных радноисточников, у которых |RM|>100 рад/м². Среди них могут быть как галактические, так и внегалактические объекты.

0	n	и	2.5	•	1

						1 UVA	-ga /
	n	K±1	6	76生	2/	b ₀ ±:	1
-90 < b < 90	419	- 9.3	3.6	84.4	16	- 2.3	13
-90 < b < 15	242	-21.1	5.9	91.5	8	10.8	10
-90 < b . 0	213	-25.7	7.0	91.7	7	9.4	8
-90 6 -15	195	-28.1	7.5	91.5	7	8.7	8
-75 < b = -15	192	-27.8	7.2	90.8	6	5.1	7
0.6 90	206	- 8.7	4.8	299.6	36	-33.7	43
15 6 90	177	-10.2	5.6	292.4	33	-27.4	35
15 < 6 = 75	170	-10.9	5.8	291.6	33	-33.5	40
15 < b 60	144	- 9.7	4.8	287.3	30	-23.3	34
-15 5 15	47	-11.2	7.0	20.2	50	-73.0	264
	1						

На рис. 1 приведена диаграмма, где изображено распределение неотождествленимх радноисточников по галактическим координатам. Из рисунка видно, что объекты с |RM|>200 рад/м² почти все (46 из 49) находятся в области -15 с 15, тогда как объекты с 100 рад/м² <|RM|<200 рад/м² распределены довольно равномерно.

Таким образом выясняется, что объекты с |RM| > 200 рад/м² концентрируются у плоскости Галактики и большинство из них, вероятно, являются галактическими объектым. Если предположить, что ати объекты являются внегалактическими, и большие меры вращений обусловлены в основном крупномасштабным магнитным полем Галактики, то меры вращений внегалактических (отождествленных) радноисточников должны были бы показать те же закономерности в распределении, что и неотождествленные объекты. Для проверки вышесказанного построим диаграмму (рис. 2), на которой изображено распределение по галактическим координатам знаков мер вращений тех неотождествленных (а) и внегалактиче-

ских (b) радиоисточников, у которых |RM| > 200 рад/м $^{\circ}$ и |b| < 15°. Объекты изображены кружками. Черные кружки означают, что RM положительны (поле направлено к наблюдателю). Из рисунка 2а хорошо видно, что светлые кружки попадают в основном в области 0 < |< 180°,

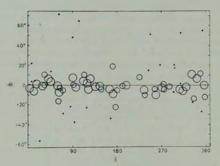
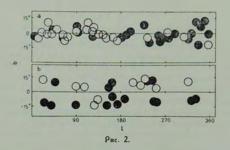


Рис. 1. Распределение неотождествленных радиоисточников по галактическим коорды инатам. Точками изображены объекты, у которых 100 рад $\mathbf{w}^2 < |RM| < 200$ рад \mathbf{w}^2 , а мамы и большыми яружкоми те объекты, для которых 200 рад $\mathbf{w}^2 < |RM| < 400$ рад/ \mathbf{w}^2 и |RM| > 400 рад/ \mathbf{w}^2 соответствению.



а черные — в области $180^\circ < l < 360^\circ$. Вероятность того, что такое распределение анаков мер вращений случайное, ничтожно мала. На рис. 2b в отличие от рис. 2a такой закономерности не видно. Это последнее обстоятельство является указанием на то, что большие фарадеевские вращения

плоскости поляризации издучения внегалактических объектов в основном происходят не в нашей Галактике, а скорее всего в самих источниках радиоиздучения. Так как рисунки 2a и 2b реако отличаются друг от друга, то большая часть неотождествлениых радиоисточников с $\lfloor RM \rfloor > 200$ рад/м² находится в Галактике. Очевидно, что если общее магнитное поле Галактики само по себе не является главной причиной вращения плоскости поляризации для внегалактических объектов с $\lfloor RM \rfloor > 200$ рад/м², то тем более оно не может определять распределение знаков RM для галактических источников. Следовательно и в этом случае причину наблюдаемого распределения знаков RM следует искать в самих источниках. С другой стороны, из рис. 2a можно сделать вывод о том, что у неотождествленных объектов, для которых $\lfloor RM \rfloor > 200$ рад/м², магнитное поле имеет преимущественное направление, совпадающее с направлением магнитного поля южного полушария Галактики ($I_0 \approx 90^\circ$).

Чтобы оценить, хотя бы грубо, напряженность поля в атих объектах, надо как-то определить величину N,L в них (см. формулу (1)). Поскольку, вероятно, вто объекты с повышенной электронной концентрацией, или просто Н II области, то естественно предположить, что N,L=100-200 пс/см³, как, например, в Магеллановых облаках [6] или в зонах Стремгрена вокруг ранних галактических О-звезд. Так как у атих объектов |RM|=300-400 рад/м², то получим $B\approx 2-3$ 10 ° Гс, то есть того же порядка, что и в плоскости Галактики [4]. Этот результат согласуется с результатом, полученным в работе [7], для Н II области в районе s 232, где получено значение $B\approx 1.9-9.5\cdot 10^{-6}$ Гс. Это заставляет думать, что направление и сила магнитного поля в областях пространства, занимаемых неотождествленными источниками, примерно соответствуют параметрам магнитного поля в окружающем источники пространстве.

В связи с тем, что большинство радиоисточников с |RM| > 200 рад $/м^2$, вероятно, являются галактическими Н II областями, в табл. 2 приводятся названия, галактические координаты, меры вращении, а также ссылки на оригинальные работы для этих объектов (выписанные из работы [5]).

Таким образом мы получили, что магнитное поле в области $|b| < 15^\circ$ довольно регулярно и имеет направление примерно $I_0 \approx 90^\circ$, а магнитное поле в неотождествленных радионсточниках, для которых |RM| > 200 рад/м², является как бы продолжением галактического магнитного поля и совпадает с полем Южного полушария. Большие же меры вращений в этих объектах получаются из-за большого значения N_* в HII областях.

В заключение отметим, что полученные выше результаты хорошо согладают с результатами, полученными в работе [4]. Действительно, магнитные поля в областях — $90^{\circ} < b < 15^{\circ}$ и $15^{\circ} < b < 90^{\circ}$ имеют проти-

Таблица 2

Объект	l	Ь	R M	Литература
1	2	3	4	5
0033+586	121.0	- 3.9	794.8±1.2	[18, 27]
0105- -691	124.5	6.6	-733.7±1.7	[18, 27]
0234+589	136.2	- 0.9	-698.4 - 5.2	[13, 27]
0323 - 551	143.9	- 1.0	-405.9+13	[18, 27]
0334 + 506	147.8	- 3.9	373.4 ± 12	[8, 27]
0442 - 396	164.1	- 3.7	-517.0±3.8	[10, 27]
0450+314	171.4	- 7.8	-633.2±4.8	[10, 27]
0521 + 281	178.1	- 4.3	295.2 ± 2.0	[22, 27]
0601 + 203	189.6	- 0.6	279.5 : 17	110, 27]
0618+145	196.6	0.2	439.2-3.4	[10, 27]
0656-242	235.6	- 9.3	222.6 ± 2.9	[4, 28]
0709-206	233.7	- 5.0	-484.8±3.7	[8, 28]
0741063	224.9	8.7	362.6+6.9	[16, 28]
0748-440	258.3	- 9.1	460.5±14	[15, 29]
0807 - 389	255.8	- 3.3	270.6+5.4	[14, 29]
0915547	275.4	- 3.9	399.6+14	[14, 29]
0918 - 534	274.7	- 2.8	419.8:0.8	[24, 30]
0931 497	273.6	1.3	-307.7÷0.0	[24, 30]
1030-590	286.0	1.1	355.0+7.5	[24, 30]
1329 - 665	307.0	- 4.2	- 486.1±0.9	[12, 30]
1411-657	311.4	- 4.5	575.0+0.4	[12, 30]
1516-579	321.6	- 0.8	959.7±3.2	[24, 30]
1526-423	331.6	11.3	405.7±12	[13, 30]
1622 - 297	348.8	13.3	330.5±1.1	[17, 28]
1624-390	342.1	6.8	720.8+0.3	[-, 30]
1733 565	335.4	13.0	359.6+4.2	[21, 28]
1737-309	357.7	- 0.1	765.0+0.5	[26, 30]
1800-278	2.9	- 2.8	684.8-1-0.3	[13, 30]
1810+046	32.8	10.6	-315.2±0.6	[10, 31]
1821-124	18.8	0.3	-403.1±0.4	[25, 30]
1827-360	358.3	-11.8	-340.7 ± 14	[11, 28]
1830 -210	12.2	5.5	-673.7±0.3	[-, 30]
1843+098	41.1	5.8	545.5+8.5	[10, 27]
1843 - 030	29.7	- 0.3	-468.9±2.9	[20, 32]
1846-009	31.9	0.0	-326.1+4.4	[9, 27]

Tabauua 2 (okonyanue)

1	2	3	4	5
1857 + 129	45.4	4.2	-999.9 <u>+</u> 5.1	[10, 27]
1950 + 253	62.4	- 1.0	-555.4±1.9	[13, 30]
1958+257	63.7	- 2.3	279.0+8.2	[13, 30]
2012 - 234	63.4	- 6.1	647.8±2.1	[13, 27]
2018-1-295	69.2	- 3.8	-219.3±4.2	[22, 27]
2031 + 535	90.3	8.2	440.0±16	[23, 27]
2106 - 494	90.5	1.3	-353.9±5.1	[10, 27]
2117 - 493	91.7	0.1	808.9 + 7.2	[18, 27]
2248+712	113.6	10.9	-328.7 +2 1	[19, 27]
2250+644	110.6	4.7	-451.3±12	[13, 27]
2348+643	116.5	2,6	-953.9±5.7	[22, 27]

воположные направления, что можно объяснить гипотезой о дипольной природе магнитного поля Галактики.

Автор выражает благодарность академику В. А. Амбарцумяну за проявленный интерес и внимание к работе, а также ценные замечания.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

THE INVESTIGATION OF THE GALACTIC MAGNETIC FIELD

R. R. ANDREASSIAN

Rotation measures of 703 radio sources are used for the study of the structure of the Galactic magnetic field. It is shown that the large scale magnetic field of the Galaxy is directed approximately parallel to the local spiral arm and has an opposite direction in the regions $15^\circ < b < 90^\circ$ and $-90^\circ < b < 15^\circ$ (b is the galactic latitude). The majority of the 46 unidentified radio sources, having large rotation measures ($|RM| > 200 \text{ rad/m}^3$) and located in the region $-15^\circ < b < 15^\circ$ probably are Galactic H II regions. The parameters of the magnetic fields of these objects approximately coincide with the parameters of the surrounding medium.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. P. J. Vallee, P. P. Kronberg, Astron. Astrophys., 43, 233, 1975.
- 2. А. А. Рузмайкин, Д. Д. Соколов. А. В. Коваленко, Астрон. м., 55, 692, 1978.

- 3. J. H. Taylor, R. N. Manchester, A. 1., 80, 749, 1975.
- 4. Р. Р. Андреасин, Астрофизика, 16, 707, 1980.
- 5. H. Tabara, M. Inous, Astron. Astrophys. Suppl. ser., 39, 37), 1980.
- 6. F. P. Israel, Astron Astrophys., 90, 246, 1980.
- 7. C. Hellas, Iou-Hua Chu. Ap J., 233, 1,105, 1980
- 8. J. N. Douglas, F. V. Bash, F. D. Chigo, G. F. Moseley, G. W. Torrence, A. J., 78. 1, 1973.
- 9. F. D. Chigo, F. N. Owen, A. J., 78, 848, 1973.
- 10. J. R. Shnep, F. N. Bush, A. J., 80, 335, 1979.
- 11. R. W. Hunstead, M. N., 157, 367, 1972.
- 12. J. N. Clarke, A. G. Little, B. Y. Mills, Austr. J. Phys. Suppl. ser., 40, 1, 1976.
- 13. E. B. Fomulont, A. 7. Moffet, A. 1, 7, 5, 1971.
- 14. A. J. Shimmins, J. G. Bolton, Austr. J. Phys. Suppl. ser., 23, 1, 1972.
- J. V. Wall, A. J. Shimmins, J. G. Bolton, Austr. J. Phys. Suppl. ser., 34, 55, 1975.
- 16. A. J. Shimmins, Austr. J. Phys., 21, 65, 1968.
- 17. A. J. Shimmins, M. E. Clarke, R. D. Ekkers, Austr. J. Phys., 21, 649, 1966.
- I. I. K. Pauliny-Toth, C. M. Wade, D. S. Heeschen, Ap. J. Suppl. ser., 13, 65, 1966.
- 19. B. Elamore, C. D. Mackay, M. N., 146, 361, 1979.
- 20. J. F. R. Gower, P. F. Scott D. Wills, Mem. Roy. Astron. Soc., 71, 49, 1967.
- 21. R. T. Schillest, W. B. Meadum, Mem. Roy. Astron. Soc., 79, 1, 1975.
- 22. I. A. Hogbon, I. Gaellason, Astron. Astrophys., 34, 341, 1974.
- 23. G. H. Macdonald, S. Kenderdine, A. C. Neville, M. N. 138, 259, 1968.
- 24. D. H. Clark, D. F. Crowford, Au tr. J. Phys., 27, 713, 1974.
- 25. D. K. Milne, Austr. J. Phys., 22, 613, 1969.
- 26. O. B. Slee, Austr J. Phys. Suppl. ser., 43, 1, 1968.
- 27. I. I. K. Pauliny-Toth, K. I. Lekkermann, A. J., 73, 953, 1968.
- 28. A. J. Shimmins, R. N. Manchester, B. J. Harris, Austr. J. Phys. Suppl. ser., 8, 1, 1969.
- 29. A. J. Shimn.ins, J. G. Bolton, Austr. J. Phys. Suppl. ser., 26 1, 1972.
- 30. B. J. Wills, Austr. J. Phys. Suppl. ser . 38, 1, 1975.
- 31. F. F. Gardner, J. B. Whitecak, D. Morets, Austr. J. Phys. Suppl. ser., 35, 1, 1975.
- 32. W. E. Wright, Ph. D. Thesis, 1973.