

СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ У ПЛОСКОСТИ
ГАЛАКТИКИ

Р.Р.АНДРЕАСЯН, С.К.БАЛАЯН, В.Г.МОВСЕСЯН

Поступила 22 декабря 2010

Принята к печати 16 марта 2011

Приводится метод построения двухцветной карты для плоской компоненты магнитного поля нашей Галактики в координатах (R : l) и (DM : l). Показано, что в соответствии с известными моделями магнитного поля Галактики, магнитное поле в соседних спиральных рукавах меняет свое направление на обратное. Однако магнитное поле в спиральном рукаве Стрельца значительно отличается от стандартной модели магнитного поля. Главное отличие состоит в том, что в области спирального рукава Стрельца магнитное поле южного полушария и магнитное поле северного полушария Галактики имеют противоположные направления. Предполагается, что такое распределение магнитного поля можно лучше объяснить, если принять, что спиральный рукав Стрельца, или, хотя бы, магнитный спиральный рукав в этой области, не симметричен относительно плоскости Галактики и расположен, в основном, в северном полушарии.

Ключевые слова: *Галактика: магнитное поле*

1. *Введение.* Активные процессы в космических объектах в большей степени зависят от присутствия в них магнитного поля, его конфигурации и величины. Очень важно учитывать распределение магнитных полей как при изучении образования и эволюции отдельных Галактических структурных деталей, так и при объяснении радио и оптической морфологии внегалактических объектов в целом. Крупномасштабное магнитное поле нашей Галактики было открыто в 50-е годы прошлого столетия и с тех пор изучено всеми возможными методами, которые обычно были основаны на анализе данных, связанных с поляризацией оптических и радиоизлучений космических объектов. Важное место среди них занимают методы, использующие данные о фарадеевском вращении поляризованного излучения (RM-мера вращения) внегалактических радиисточников и пульсаров. При анализе всевозможных данных было показано, что магнитное поле у плоскости нашей Галактики может иметь одну из следующих трех крупномасштабных структур: 1) бисимметричную спиральную (BSS), в которой направление магнитного поля в соседних спиральных рукавах Галактики меняется на противоположное; 2) аксиально-симметричную (ASS) структуру с двумя изменениями направления магнитного поля внутри солнечного круга; 3) концентрическую круговую модель. Однако Мен и др. [1], анализируя данные RM пульсаров, показали, что ни одна

из предложенных моделей не соответствует наблюдательным данным лучше, чем другая, и предположили, что межзвездное крупномасштабное магнитное поле в диске Галактики имеет более сложную конфигурацию. При анализе почти тех же данных, были также предложены модели, в которых спиральная структура магнитного поля совпадает с межрукавными областями Галактики [2,3]. Наблюдения в некоторых других спиральных галактиках (например, в NGC 6946) также показали, что магнитные поля совпадают с межрукавными областями [4].

Наблюдения радиополяризации у многих галактик, видных сбоку, можно объяснить, если только включить присутствие компонента магнитного поля в гало галактики (например: NGC 4631 [5], NGC253 [6,7], NGC 4666 [8], M 33 [9], M51 [10]). В работе [7] показано, что магнитное поле в NGC 253 можно представить двумя компонентами: тороидальной аксиально-симметричной компонентой диска и полоидальной компонентой в гало. Такую двухкомпонентную конфигурацию имеет также магнитное поле галактики M51 [10].

Модель двухкомпонентного магнитного поля нашей Галактики была предложена в 1988г. [11,12]. Было показано, что распределение мер вращений (RM) пульсаров и внегалактических радиоисточников соответствует такой модели магнитного поля нашей Галактики, в которой плоская компонента магнитного поля спиральных рукавов целиком лежит в магнитном поле гало Галактики, причем компонента магнитного поля гало имеет дипольную конфигурацию, и магнитные поля в области гало северного и южного полушария Галактики имеют противоположные направления. В дальнейшем полученные во многих работах результаты (см., например, [13,14]) подтвердили эту модель. В недавних работах теоретического характера (см. [15]) также показано, что двухкомпонентные магнитные поля указанной выше конфигурации можно получить, включая изучение галактических ветров в стандартные галактические динамо модели.

Таким образом, хотя по изучению крупномасштабного магнитного поля нашей Галактики опубликовано очень много работ, до сих пор нет общепринятой модели магнитного поля. Нам кажется важным изучение зависимости магнитного поля от z -координаты (z -расстояние от плоскости Галактики), чему и посвящена настоящая работа.

2.1. Карта плоской компоненты магнитного поля Галактики (метод). В настоящей работе мы приводим метод построения двухцветных карт магнитного поля для разных слоев (в зависимости от z -координаты) плоского компонента Галактики. Используются все опубликованные в настоящее время данные RM пульсаров. Мы ограничимся только изучением плоской компоненты магнитного поля, поскольку, как известно, пульсары концентрируются у плоскости Галактики, и нет достаточного количества

данных для изучения магнитного поля вдали от плоскости Галактики. Как известно, мера вращения (RM) и мера дисперсий (DM) пульсаров зависят от их расстояния до Солнца R и определяются по следующим формулам:

$$RM = \alpha \int n_e B_L dL, \quad (\alpha = 8.1 \cdot 10^5) \quad (1)$$

$$DM = \int n_e dL, \quad (2)$$

где B_L - проекция магнитного поля на луч зрения, выраженная в Гаусах, R - расстояние от Солнца в парсеках, n_e - электронная концентрация в межзвездной среде в см^{-3} , а интегрирование ведется по расстоянию L . Мера вращения находится из наблюдений плоскости поляризации излучения пульсара на разных частотах (данные RM известны для 595 пульсаров), а мера дисперсий находится из наблюдений по опозданию сигнала на разных частотах и определена практически для всех пульсаров. Из формул (1) и (2) следует:

$$\langle B_L \rangle = (1/\alpha)(RM)/(DM), \quad (3)$$

где $\langle B_L \rangle$ - среднее значение компоненты магнитного поля на луче зрения. Почти во всех работах по изучению магнитного поля Галактики фигурирует эта средняя величина. Для построения карт магнитного поля мы будем использовать значения магнитного поля в данных точках Галактики.

Если каким-то образом из наблюдений для данного направления l (l - это галактическая долгота) мы найдем RM и DM как функцию от расстояния R , а также RM как функцию от DM, то используя формулы (1) и (2), можно найти

$$B_L(R) n_e(R, l) = (1/\alpha) d(RM)/d(R), \quad (4)$$

и

$$B_L(DM) = (1/\alpha) d(RM)/d(DM), \quad (5)$$

где $B_L(R)$, в отличие от среднего значения $\langle B_L \rangle$, является значением компоненты магнитного поля на луче зрения в направлении l , и на расстоянии R от Солнца, а $B_L(DM)$ - это та же величина, но в точке, которая обладает данной величиной меры дисперсии DM, $n_e(R, l)$ - электронная концентрация в данной точке. Таким образом, для построения карт магнитного поля необходимо, используя наблюдательные данные для данного направления l методом усреднения, найти достаточно качественные зависимости $RM(R)$ и $RM(DM)$, которые можно было бы дифференцировать. Для получения этих зависимостей был использован метод усреднения, в котором центры области усреднения ($l; R$) или ($l; DM$) плавно перемещаются по данным координатам, а границы областей выбираются таким образом, чтобы в каждой области усреднения было достаточное количество пульсаров. Использованный здесь метод подобен подробно описанному нами в работе [16] методу обработки данных.

Таким образом, в настоящей работе фактически решается обратная задача. По интегральным наблюдательным данным находится распределение физических параметров $B_l(R)n_e(R, l)$ и $B_l(DM)$ внутри Галактики, и строится карта магнитного поля.

Нало также отметить, что из нахождения распределения вышеупомянутых величин получается принципиально новая возможность нахождения распределения электронной плотности в Галактике, если использовать данные о фарадеевском вращении пульсаров. Имея величины $B_l(R)n_e(R, l)$ и $B_l(DM)$, в данной точке плоскости Галактики можно найти значения $n_e(R, l)$.

2.2. Карта плоской компоненты магнитного поля Галактики.

В результате вышеописанных вычислений построены двухцветные карты распределения $B_l(R)n_e(R, l)$ и $B_l(DM)$ для разных слоев (разделенных по z -координате) вблизи плоскости Галактики. По техническим причинам (журнал не публикует цветные рисунки) здесь мы не приводим эти карты (несколько примеров этих карт можно найти в нашей статье в интернете по адресу <http://arxiv.org/abs/1012.0646>). На рисунках синий цвет означает, что проекция магнитного поля на луч зрения направлена к наблюдателю (значения $B_l(R)$ или $B_l(DM)$ - положительны), а красный цвет соответствует обратному направлению. Значения величин $B_l(R)n_e(R, l)$ и $B_l(DM)$ и соответствующая им плотность цвета на карте приведены на линейке. Галактическая долгота увеличивается противоположно часовой стрелке от направления к центру Галактики.

Сразу отметим, что полученные карты используются как средство для изучения поведения крупномасштабного магнитного поля в разных спиральных рукавах Галактики в зависимости от z -координаты. Из рассмотрения полученных карт видно, что проекция магнитного поля меняет направление при переходе от одного спирального рукава к соседнему. В этом отношении полученные результаты хорошо соответствуют результатам других работ. Однако, когда рассматриваются карты отдельно для северного полушария и южного полушария Галактики, то видны явные различия распределения магнитного поля. Например, очень регулярное магнитное поле в области спирального рукава Стрельца наблюдается только в северном полушарии Галактики. В настоящей работе мы обращаем внимание на эту очевидную разницу в распределении плоского компонента магнитного поля в северном и южном полушарии и в следующем разделе детально изучается это не симметричное распределение (относительно плоскости Галактики) магнитного поля в направлении спирального рукава Стрельца.

3. Магнитное поле в области спирального рукава Стрельца.

В настоящем разделе, используя новые данные RM и DM, мы более детально изучаем распределение магнитного поля в области спирального

рукава Стрельца ($40^\circ < l < 80^\circ$). В этой области расположены 60 пульсаров с известными значениями RM . Данные этих пульсаров использованы для нахождения двумерного распределения знаков RM в зависимости расстояния от плоскости Галактики z и от расстояния в плоскости Галактики R (рис.1). Пульсары обозначены белыми кружками, если значения RM имеют отрицательный знак, и черными кружками, если RM -положительны. Из рисунка видно: а) Пульсары с отрицательными значениями RM , в основном, расположены в южном полушарии Галактики. б) Пульсары с

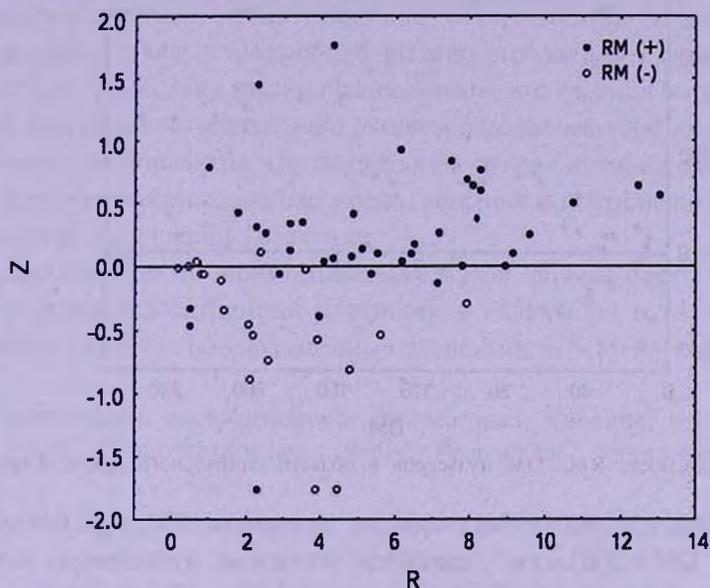


Рис.1. Распределение знаков RM пульсаров в области спирального рукава Стрельца.

положительными значениями RM , в основном, расположены в северном полушарии Галактики. Несколько пульсаров южного полушария, но с положительным RM , находятся очень близко от плоскости Галактики ($z < 50$ пк), т.е. линию разделения для положительных и отрицательных значений RM пульсаров можно провести в южном полушарии, параллельно плоскости Галактики, на расстоянии примерно 50 пк от плоскости.

На рис.2 приводится зависимость мер вращения RM пульсаров от их мер дисперсий DM . Из рисунка видно: а) До значений DM порядка $DM = 30 - 40$ пк см $^{-3}$ для пульсаров южного полушария модуль отрицательных значений RM линейно возрастает. Эта область соответствует междрукавной области между Солнцем и спиральным рукавом Стрельца, а направление магнитного поля совпадает с направлением поля локального Орионового рукава, у внутреннего края которого расположено Солнце. На рисунке после значения $DM = 40$ пк см $^{-3}$ не наблюдается линейной зависимости между RM и DM , а абсолютные значения RM у этих пульсаров южного

полушария очень малы и не соответствуют значению их DM или их расстоянию. б) Для пульсаров северного полушария положительные значения RM хорошо коррелируют с их DM. Хорошая линейная RM - DM зависимость наблюдается до значений DM порядка 250 пк см^{-3} . Интересно отметить, что 4 пульсара северного полушария (на правом нижнем углу рис.2, B1929+20,

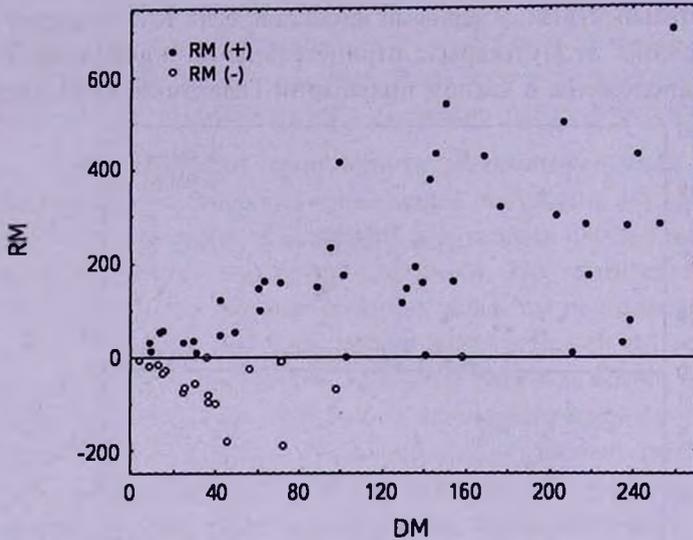


Рис.2. Зависимость RM - DM пульсаров в области спирального рукава Стрельца.

B1930+22, B2002+31, B2011+38) с малыми значениями RM, но с большими значениями $DM > 200 \text{ пк см}^{-3}$, являются молодыми пульсарами, возраст которых меньше миллиона лет. У таких молодых пульсаров, как показано в работе [17], большие значения DM, порядка $100 - 150 \text{ пк см}^{-3}$, могут быть обусловлены вкладом остатка сверхновой, в области которой они пока находятся. Если, учитывая этот вклад, упомянутые пульсары на рис.2 переместить налево, то линейная зависимость RM - DM пульсаров области северного полушария станет лучше. Это означает, что в северном полушарии Галактики в области спирального рукава Стрельца наблюдается очень регулярное крупномасштабное магнитное поле, направленное к наблюдателю.

Таким образом, анализируя рис.1 и 2, можно прийти к следующим выводам: а) Спиральный рукав Стрельца расположен симметрично относительно плоскости Галактики, а граница разделения направления магнитного поля лежит внутри самого спирального рукава и параллельна плоскости Галактики. б) Спиральный рукав Стрельца расположен не симметрично относительно плоскости Галактики и почти целиком находится в северном полушарии Галактики. Мы считаем более правдоподобным второе объяснение, в пользу чего свидетельствует также распределение пульсаров относительно плоскости Галактики (рис.1).

4. *Заключение.* Основным результатом настоящей работы является получение двухцветных карт плоской компоненты магнитного поля Галактики. Изучение полученных карт показывает, что распределение магнитного поля в основном соответствует общепринятой модели, в которой направление магнитного поля в соседних спиральных рукавах меняется на противоположное. На примере спирального рукава Стрельца показано также, что очень важно изучать поведение магнитного поля отдельных рукавов в зависимости от z -координаты. Показано, что регулярное крупномасштабное магнитное поле (направленное к наблюдателю) спирального рукава Стрельца наблюдается только в северном полушарии Галактики. Поскольку трудно предположить, что граница магнитного поля лежит внутри самого спирального рукава и параллельна плоскости Галактики, то можно предполагать, что спиральный рукав Стрельца расположен не симметрично относительно плоскости Галактики и почти целиком находится в северном полушарии Галактики.

Показана также принципиально новая возможность нахождения распределения электронной плотности в Галактике, если использовать формулы (4)-(5) и наблюдательные зависимости $RM(R)$ и $RM(DM)$.

Бюраканская астрофизическая обсерватория, Армения,

e-mail: randrasy@bao.sci.am sbalayan@bao.sci.am vmovses@bao.sci.am

MAGNETIC FIELD STRUCTURE NEAR THE GALACTIC PLANE

R.R.ANDREASYAN, S.K.BALAYAN, V.H.MOVSESYAN

The method for the construction of two color maps for the plane component magnetic field of our Galaxy in coordinates of $(R; l)$ and $(DM; l)$ is given. It is shown that magnetic field has reversals of the direction in neighbor spiral arms, in agreement with known models for the Galactic magnetic field. For the Sagittarius spiral arm region there is, however, some disagreement with standard magnetic field models. The major discrepancy is the fact that in the Sagittarius arm region the magnetic field in Southern hemisphere of the Galaxy, have opposite direction to the field of the Northern hemisphere. We think that such distribution of the magnetic field can be better explained concluding that the Sagittarius spiral arm, at least the magnetic spiral arm in this region is not symmetric to the Galactic plane, and is located mainly in Northern hemisphere.

Key words: *Galaxy:magnetic field*

ЛИТЕРАТУРА

1. *H.Men, K.Ferrière, J.L.Han*, *Astron. Astrophys.*, **486**, 819, 2008.
2. *C.Indrani, A.A.Deshpande*, *New Astron.*, **4**, 33, 1998.
3. *J.L.Han, R.N.Manchester, A.G.Lyne, G.J.Qiao, W. van Straten*, *Astrophys. J.*, **642**, 868, 2006.
4. *R.Beck, P.Hoernes*, *Nature*, **379**, 47, 1996.
5. *E.Hummel, R.Beck, M.Dahlem*, *Astron. Astrophys.*, **248**, 23, 1991.
6. *R.Beck, C.L.Carilli, M.A.Holdaway, U.Klein*, *Astron. Astrophys.*, **292**, 409, 1994.
7. *Volker Heesen, M.Krause, R.Beck, R.-J.Dettmar*, *IAUS*, **259**, 509, 2009.
8. *M.Dahlem, M.B.Petr, M.D.Lehnert, T.M.Heckman, M.Ehle*, *Astron. Astrophys.*, **320**, 731, 1997.
9. *F.S.Tabatabaei, M.Krause, R.Beck*, arXiv:0706.0261, 2007.
10. *A.Fletcher, R.Beck, A.Shukurov, E.M.Berkhuijsen, C.Horellou*, arXiv1001.5230, 2010.
11. *R.R.Andreasyan, A.N.Makarov*, *Astrophysics*, **28**, 247, 1988.
12. *R.R.Andreasyan, A.N.Makarov*, *Astrophysics*, **30**, 101, 1989.
13. *J.L.Han, R.N.Manchester, E.M.Berkhuijsen, R.Beck*, *Astron. Astrophys.*, **322**, 98, 1997.
14. *J.L.Han, R.N.Manchester, G.J.Qiao*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **306**, 371, 1999.
15. *D.Moss, D.Sokoloff, R.Beck, M.Krause*, *Astron. Astrophys.*, **512**, 61, 2010.
16. *R.R.Andreasyan, S.Balayan, V.Movsisyan*, *Astrophysics*, **49**, 240, 2006.
17. *A.V.Pynzar, V.I.Shishov*, *Astron. Zh.*, **78**, №7, 585, 2001.