

УДК: 524.3-337

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ CP-ЗВЕЗД

Д.О.КУДРЯВЦЕВ, И.И.РОМАНЮК

Поступила 20 декабря 2002

Принята к печати 10 февраля 2003

На основе каталога магнитных CP-звезд, составленного в САО РАН, выполнено исследование их пространственного распределения. Показано, что подавляющее большинство исследованных нами объектов находятся на расстоянии ближе 500 парсек от Солнца. Оси вращения и магнитные оси CP-звезд поля распределены случайным образом, в то же время для звезд-членов рассеянных скоплений отмечается некоторая преимущественная ориентация магнитных осей в определенных направлениях. Похожесть магнитных моделей CP-звезд - членов скоплений может служить указанием на то, что существует некоторый общий фактор, влияющий на процессы происхождения магнитных полей звезд. В качестве такого фактора может выступать магнитное поле Галактики.

1. *Введение.* Химически пекулярные звезды оказались первыми после Солнца астрономическими объектами, в атмосферах которых были обнаружены сильные магнитные поля. Методику и аппаратуру для таких поисков разработал Г.Бэбкок, он же в 1947г. нашел первую магнитную звезду. Методика исследований за полвека принципиально не изменилась: она заключается в измерениях различных параметров спектральных линий, вызванных эффектом Зеемана в присутствии магнитного поля.

Исследования такого тонкого эффекта, как явление Зеемана, требуют проведения спектрополяриметрических наблюдений с высоким спектральным разрешением и отношением С/Ш, которые можно выполнить только на очень больших телескопах, а наблюдения требуют больших затрат времени. Все это в результате приводит к явному дефициту данных, необходимых для теории.

Тем не менее, многое уже сделано. За десятки лет исследований удалось показать, что общие магнитные поля, охватывающие всю звезду, наблюдаются только у некоторых типов пекулярных А и В звезд главной последовательности и некоторых типов белых карликов. У звезд солнечного типа и более холодных обнаружены магнитные поля пятенного характера.

В настоящей работе мы рассматриваем только магнитные А и В звезды главной последовательности. Все они относятся к типу химически пекулярных (CP) с аномально большим содержанием некоторых химических элементов, например Sr, Cr, Eu, Si и др. Частота встречаемости CP-звезд составляет

примерно 15% от всех А и В звезд главной последовательности [1]. Установлено, что магнитные поля в их атмосферах имеют величину от нескольких сотен (предел чувствительности методики) до нескольких десятков тысяч Гаусс. Практически не вызывает споров модель наклонного ротатора, привлекаемая для объяснения наблюдений. В этой модели звезда имеет дипольное магнитное поле, при этом ось диполя наклонена под некоторым углом β к оси вращения звезды. Физической переменности магнитного поля нет, а наблюдаемые вариации являются чисто геометрическим эффектом - меняются условия видимости звезды земным наблюдателем.

С другой стороны, не получены ответы на целый ряд вопросов, касающихся происхождения и эволюции магнитных полей на СР-звездах. В настоящее время обсуждаются принципиально две модели: динамо и реликтового поля. В первой из них магнитное поле генерируется в конвективном ядре звезды, а вторая предполагает, что в настоящее время генерации нет, а наблюдаются остаточные магнитные поля, возникшие при сжатии звезды из замагниченного протозвездного облака [2].

Для выбора между указанными конкурирующими гипотезами происхождения магнитного поля необходимо провести статистические исследования свойств максимально возможно большой выборки магнитных СР-звезд.

В восьмидесятые годы несколькими группами были предприняты попытки определить механизм образования магнитных полей путем наблюдений СР-звезд в скоплениях разного возраста. Наиболее объемная работа была выполнена на 6-м телескопе [3], она принесла следующий результат: не было обнаружено систематических различий в величине магнитных полей у звезд в старых и молодых скоплениях. Это значит, что магнитное поле возникает на ранних стадиях жизни звезды и не изменяется за время жизни звезды на главной последовательности.

Данный вывод служит доводом в пользу реликтовой теории образования магнитных полей СР-звезд, но из-за малого количества приведенных данных необходимо искать новые аргументы в пользу той или иной теории.

Мы предлагаем еще один наблюдательный тест, заключающийся в проверке существования какой-либо связи между физическими характеристиками и магнитными моделями СР-звезд, с одной стороны, и их пространственным распределением (и направлением локального магнитного поля Галактики, в частности), с другой. Если магнитное поле генерируется механизмом динамо, то каждая звезда индивидуальна; в случае преобладания реликтового механизма можно ожидать сохранения некоторой остаточной коллективной упорядоченности, возникающей при групповом рождении звезд.

2. *Каталог магнитных СР-звезд.* Как уже было сказано выше, магнитные поля глобального типа на главной последовательности были обнаружены только у СР-звезд некоторых типов. Общий каталог этих объектов насчитывает около 7000 объектов. Однако из всего многообразия СР-звезд только среди, так называемых, Ар и Вр звезд были обнаружены магнитные поля. Другие СР-звезды (типов Ам, Нг-Мп, λ Воо) немагнитны. Каталог Ар и Вр звезд насчитывает примерно 3200 объектов [4]. Как правило, Ар и Вр звезды называют магнитными СР-звездами, предполагая, что все они обладают магнитными полями. Строго говоря, это утверждение неверно, потому что прямые измерения эффекта Зеемана были проведены менее чем у 10% самых ярких из них.

Многие (в том числе и авторы этой статьи) небезосновательно полагают, что магнитные поля являются неотъемлемой характеристикой Ар и Вр звезд. Основанием для такого заключения является то, что: 1) все найденные ранее магнитные звезды имели пекулярности химического состава; 2) у всех тщательно исследованных Ар и Вр звезд магнитные поля обнаружены.

К сожалению, не найдено уверенных корреляций между степенью пекулярности и величиной магнитного поля, поэтому для определения магнитных параметров звезды необходимо провести прямые зеемановские измерения.

Полностью расщепленные зеемановские компоненты наблюдаются у небольшого числа магнитных СР-звезд, и только для этих звезд прямым способом можно определить, так называемое, поверхностное поле B_s -модуль усредненного по всей видимой поверхности вектора магнитного поля.

В большинстве случаев расщепления не видно, и зееман-эффект измеряется по общему смещению лево- и право-циркулярно поляризованных σ компонентов линий (методика, предложенная и реализованная Бэбкоком, 1947г.). Результатом таких измерений является эффективное магнитное поле B_e , представляющее собой продольный компонент усредненного по видимой поверхности звезды вектора магнитного поля.

Наиболее полный каталог магнитных СР-звезд, основанный на анализе оригинальных публикаций и включающий сведения о 212 объектах, составлен в САО РАН [1]. Каталог доступен на <http://www.sao.ru/~dkudr/catalogue>.

Приводятся следующие характеристики звезд: спектральный класс и тип пекулярности (взятые, в основном, из работы [5]), видимая звездная величина V и показатель цвета $B-V$ (по каталогу Hipparcos), период P (по каталогу Каталано и Ренсона [6] или из оригинальных публикаций), экваториальные (α, δ) и галактические (l, b) координаты, параллакс π

(получен спутником "Гиппарх" [7,8]), собственное движение $\mu_{\alpha}, \mu_{\delta}$, лучевая скорость v_r , эффективная температура T_e , абсолютная звездная величина M_p , экстремумы эффективного магнитного поля B_{min}, B_{max} .

Для большинства из 212 объектов выполнено мало наблюдений и для них доказано только наличие поля. И только для 79 магнитных CP-звезд проведено достаточно большое (более 10 для каждой звезды) количество измерений, что позволяет построить для них кривую переменности продольной компоненты магнитного поля V_z . Три звезды показывают сложные кривые, а остальные 76 - синусоидальные, следовательно, существует прямое указание на диполь, как основной компонент общего магнитного поля. Все измерения согласуются с моделью наклонного ротатора (несовпадающие магнитная ось и ось вращения).

Членами рассеянных скоплений являются примерно 70 магнитных звезд, а их количество в отдельно взятом скоплении в лучшем случае едва превышает 10.

3. *Пространственное распределение магнитных звезд.*

3.1. *Реверсивные и нереверсивные звезды.* Исследования пространственного распределения CP-звезд проводились неоднократно, последние из них по результатам анализа данных спутника Гиппарх. Было показано, что все виды CP-звезд принадлежат главной последовательности и по массам, ускорению силы тяжести и пространственному распределению не отличаются от нормальных звезд тех же спектральных классов.

Для 76 звезд с синусоидальными кривыми переменности поля V_z можно построить модель магнитного поля и найти пространственную ориентацию оси вращения и наклон магнитной оси. Но оказалось, что это слишком малая выборка для решения вопроса о пространственном распределении. Применяя более грубые оценочные методы определения направления магнитной оси в пространстве (не требующие построения магнитных моделей), можно увеличить количество используемых звезд. Очевидно, что это вносит некоторую неопределенность в полученные результаты.

Рассмотрим принципы разделения звезд и возникающую неопределенность подробнее.

Реверсивные магнитные звезды. Эти звезды имеют достоверно измеренное эффективное магнитное поле V_z , количество измерений более 5, V_z меняет знак.

Нереверсивные магнитные звезды. Звезды имеют достоверно измеренное эффективное магнитное поле V_z , количество измерений более 5, V_z преимущественно одного знака. Критерий различия между реверсивными и нереверсивными звездами следующий: звезда нереверсивна, если кривая изменения V_z имеет один знак 2/3 периода или более. Если период и

вид кривой V_p неизвестны, то нереверсивной считается звезда, у которой оба экстремума V_p одного знака или один из экстремумов не менее чем в два раза больше второго по абсолютной величине.

Слабо изученные звезды. Звезды имеют достоверно измеренное V_p , однако количество измерений менее пяти, что не позволяет отнести звезды к определенной группе. Эта группа содержит также звезды с измеренным поверхностным магнитным полем V_p , но измерения V_p которых не проводились. Также в данную группу включены звезды с очень слабыми магнитными полями, когда ошибки измерений сравнимы с величиной самого поля.

Из приведенных выше критериев различия видно, что магнитное поле звезды будет нереверсивным в двух случаях: либо угол β мал и магнитный полюс звезды находится недалеко (в угловом измерении) от полюса вращения, либо звезда имеет очень длинный (значительно больше периода наблюдений) неизвестный период изменений. Главная причина нереверсивности - малый наклон магнитной оси к оси вращения.

Теоретическое соотношение между реверсивными и нереверсивными звездами, при указанных выше критериях различия, было вычислено в работе [9]. Не приводя здесь подробных вычислений, сообщаем нашу оценку: доля нереверсивных звезд составляет 0.637 от их суммарного количества, таким образом отношение числа нереверсивных звезд к числу реверсивных равно примерно 1.75.

При вычислениях мы предполагали, что углы наклона i между лучом зрения и осями вращения звезд распределены случайным образом. Данное предположение подтверждено Абтом [10] на основании исследования 102 Ар-звезд. Абт также не нашел какой-либо зависимости между углами i и Галактическими координатами.

В нашем каталоге 83 нереверсивных и 51 реверсивная магнитные СР-звезды, следовательно наблюдаемое соотношение $83/51 = 1.63$. Вероятность случайного возникновения такой ситуации составляет 6.5%, и отличие значения от теоретического, таким образом, несущественно.

Необходимо сделать следующее замечание. Реверсивные звезды видны, в зависимости от фазы вращения, с обоих магнитных полюсов и экватора, в то время как нереверсивные звезды наблюдаются практически с одного магнитного полюса. В случае долгопериодических звезд (период более 5 лет) знак V_p не изменяется в течение периода наблюдений и видна практически одна и та же часть поверхности. По этой причине долгопериодические звезды, такие, например, как HD 201601 (период около 75 лет), причислены к нереверсивным. Впрочем, таких звезд насчитываются единицы и неопределенность, связанная с ними, мало повлияет на конечный результат.

3.2. *Звезды в скоплениях.* Данные о членстве магнитных СР-звезд нашего каталога в рассеянных скоплениях взяты из статьи Копылова [11] и из ссылок в ней, а также из каталога Ренсона [12]. Оказалось, что 46 магнитных СР-звезд являются членами скоплений.

В табл.1 приведены данные о количестве реверсивных и нереверсивных звезд различных типов среди звезд скоплений и звезд поля.

Таблица 1

КОЛИЧЕСТВО МАГНИТНЫХ СР-ЗВЕЗД В СКОПЛЕНИЯХ

Тип	Всего	Звезды скоплений	Звезды поля
Реверсивные	51	11 (22%)	40 (78%)
Нереверсивные	83	35 (42%)	48 (58%)

Среди 51 реверсивной звезды 11 (22%) являются членами различных звездных скоплений, в то время как из 83 нереверсивных членами скоплений являются 35 (42%). При случайной ориентации магнитных осей отношение числа реверсивных и нереверсивных звезд должно быть одинаковым в скоплениях и в поле, вероятность случайного возникновения ситуации, представленной в табл.1, не более 0.1%.

Возможны два объяснения описанных выше эффектов. Нереверсивные звезды наблюдаются преимущественно с магнитных полюсов, что накладывает ограничение на угол β между магнитной осью и осью вращения. Во-первых, здесь может каким-то образом проявляться наблюдательная селекция, связанная с тем, что химические peculiarity концентрируются в области магнитных полюсов, поэтому СР-звезды легче обнаружить среди нереверсивных звезд. Однако тогда нужно предположить, что методика поиска отлична для звезд в скоплениях и вне их, что не соответствует действительности. Может сыграть некоторую роль то обстоятельство, что среди звезд - членов молодых звездных скоплений имеется много звезд с аномальными линиями гелия. Если гелиевые аномалии сконцентрированы преимущественно на магнитных полюсах (что не доказано), то, действительно, обнаружить нереверсивные гелиевые звезды проще.

Однако не исключено, что эффект реальный и отражает то обстоятельство, что угол наклона магнитной оси к оси вращения β звезд-членов скоплений в целом меньше, чем для звезд поля, а также некоторую преимущественную пространственную ориентацию осей вращения звезд в скоплениях и вне их. Такого рода преимущественная ориентация могла бы возникнуть в период формирования звезд, если предположить, что магнитное поле является реликтовым и магнитные модели звезд связаны с направлением магнитного поля в области звездообразования.

Исследования возможного смещения "нуль-пунктов" шкал различных

систем и методов измерения эффективного магнитного поля B_e у различных групп наблюдателей проводились множество раз и показали отсутствие такового. Таким образом, мы не видим каких-либо инструментальных ошибок, которые могли бы привести к вышеописанным эффектам.

Среди оставшихся 77 слабоизученных звезд 16 (21%) являются членами скоплений, что очень близко к соотношению для реверсивных звезд. Заметим, что более половины (40 из 77) звезд этой группы являются холодными SrCrEu звездами в основном с измеренными B_e , но с малым числом измерений B_e .

3.3. Пространственное распределение. Рассмотрим пространственное распределение магнитных CP-звезд из нашего каталога [1].

Необходимо отметить, что в некоторых случаях параллаксы, приведенные в каталоге "Гиппарх" [8], не могут быть применены для определения расстояний, что, главным образом, вызвано влиянием двойственности звезд. Исправленные с учетом двойственности данные для CP-звезд опубликованы в работах [13-15], мы будем использовать сведения из этих работ.

Исследуемые нами магнитные CP-звезды находятся в ближайших окрестностях Солнца, большинство на расстояниях порядка 200-300 пк, они принадлежат, так называемому, поясу Гулда. Поэтому речь идет о поисках возможной связи между какими-то параметрами магнитных звезд с локальными особенностями в строении магнитного поля Галактики.

Нереверсивные звезды можно разделить на две группы: наблюдаемые преимущественно с положительного магнитного полюса (будем называть их звездами (+)) и преимущественно с отрицательного магнитного полюса (звезды (-)). Романюк [16] обнаружил, что наблюдается различие в распределении по галактической долготе l нереверсивных звезд (+) и (-). Проверим это утверждение на материале большего объема.

Рассмотрим распределение магнитных звезд в пространстве. Введем декартову систему координат таким образом, что Солнце находится в начале отсчета, плоскость xy является плоскостью Галактики, ось x направлена к центру Галактики, ось y - в направлении вращения Галактики, ось z - на северный полюс Галактики. Расстоянием Солнца от плоскости Галактики можно пренебречь. Тогда координаты звезды в данной системе:

$$\begin{aligned} x &= d \cos l \cos b, \\ y &= d \sin l \cos b, \\ z &= d \sin b. \end{aligned} \tag{1}$$

Расстояния d брались из работы Гомеса и др. [14]. В случаях, когда данных для какой-либо звезды не было, расстояние вычислялось непосредственно по параллаксу каталога "Гиппарх" [8].

Пространственное распределение звезд в плоскости Галактики

представлено на рис.1, схематично показан спиральный рукав Ориона. Мы не приводим здесь распределения в других плоскостях, т.к. они

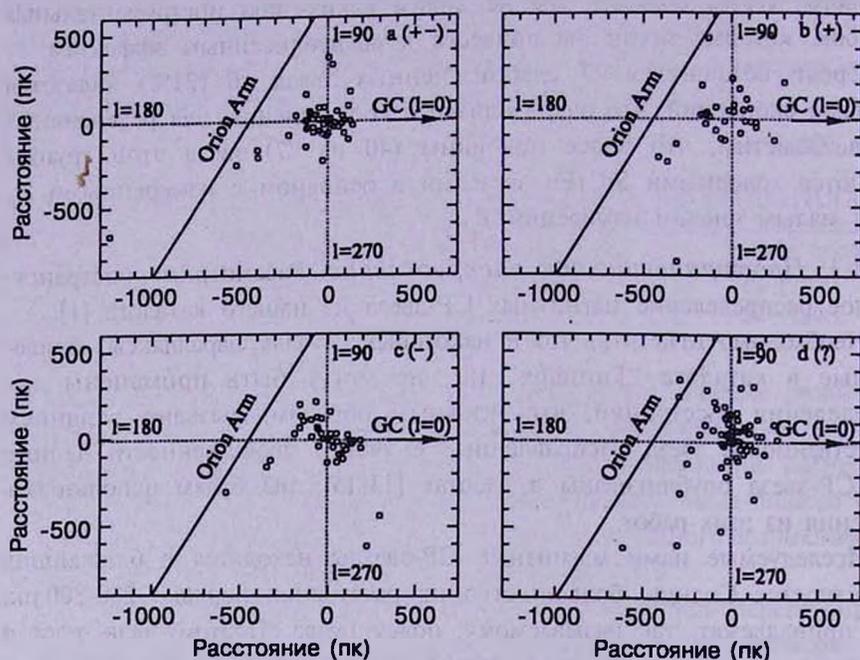


Рис.1. Распределение магнитных СР-звезд в плоскости Галактики (центр Галактики справа). а) - реверсивные; б) - нереверсивные (+); в) - нереверсивные (-); д) - слабо изученные звезды.

достаточно однородны. Видно, что группа нереверсивных (-) звезд (рис.1с) несколько вытянута перпендикулярно рукаву Ориона.

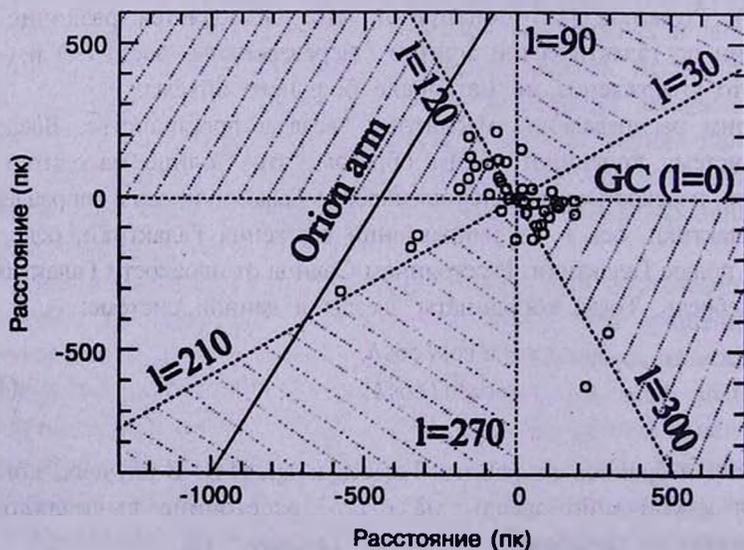


Рис.2. Число нереверсивных (-) звезд вдоль и поперек спирального рукава Ориона.

Выделим два направления вдоль и поперек рукава Ориона следующим образом (см. рис.2). Направление вдоль: $30^\circ \leq l \leq 90^\circ$ и $210^\circ \leq l \leq 270^\circ$. Направление поперек: $120^\circ \leq l \leq 180^\circ$ и $300^\circ \leq l \leq 360^\circ$. Сравним количество звезд, находящихся в этих двух участках (табл.2).

Таблица 2

КОЛИЧЕСТВО МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД ВДОЛЬ И ПОПЕРЕК ОРИОНА

Тип	Вдоль рукава	Поперек рукава
Реверсивные	15	21
Нереверсивные (+)	13	13
Нереверсивные (-)	5	26

Видно, что количество нереверсивных (-) звезд вдоль и поперек спирального рукава значительно отличается. При однородном распределении количество звезд должно быть одинаковым. Тогда из биномиального распределения вероятность случайного возникновения такой ситуации

$$P = 2 C_{31}^5 0.5^{31} \approx 0.000158 = 0.0158\% \quad (2)$$

В области, выделенной нами как "поперек рукава", расположено скопление Скорпиона - Центавра с достаточно большим количеством исследованных магнитных звезд. В этом скоплении только 3 магнитные звезды являются реверсивными, а 13 - нереверсивными, из них 3 - нереверсивными (+) и 10 - нереверсивными (-). Чтобы большое количество нереверсивных звезд (-) не повлияло на выводы, полученные из вышеприведенной таблички, исключим звезды скопления Sco-Cen из рассмотрения. Получаемый результат

$$P = 2 C_{31}^5 0.5^{21} \approx 0.019 = 1.9\% \quad (3)$$

свидетельствует, что вероятность случайного распределения нереверсивных звезд указанным выше образом мала. Таким образом, имеет место аномалия в распределении нереверсивных (-) звезд.

3.4. Пространственно близкие магнитные звезды. В рассматриваемой нами проблеме интерес представляет и следующий вопрос: похожи ли магнитные модели (включая ориентацию в пространстве оси вращения и наклон к ней магнитной оси) у достаточно близко расположенных магнитных СР-звезд. Учитывая размеры облаков звездообразования и рассеянных скоплений (десятки и сотни парсек), в качестве первого шага будем считать звезды близкими, если расстояние между ними не превышает 10-20 парсек.

Для этой цели, используя различные данные из нашего каталога [1], мы нашли расстояния между магнитными звездами с целью отбора близких соседей.

К сожалению, малое количество известных магнитных СР-звезд не позволяет провести такую работу нормально. Из всей нашей выборки (212 звезд) мы смогли найти всего лишь 2 группы (в одной - 2 объекта, а во второй - 3), расстояние между звездами в которых не превышает 20 парсек.

Сведения об этих группах приведены в табл.3.

Таблица 3

ГРУППЫ БЛИЗКИХ ЗВЕЗД

	Группа 1		
	HD62140	HD65339	
Пекулярность	SrEu	SrCrEu	
Период (сут)	4.28	8.02	
i, b	$i = 154^\circ, b = 30^\circ$	$i = 157^\circ, b = 32^\circ$	
Параллакс π	12.32 mas	10.16 mas	
Магнитная Модель	реверсивное $i = 43^\circ, \beta = 90^\circ$	реверсивное $i = 50^\circ, \beta = 80^\circ$	
	Группа 2		
	HD142301	HD142990	HD147010
Пекулярность	He-wk	He-wk	SiSr (He-wk)
Период (сут)	1.45	0.97	3.92
i, b	$i = 347^\circ, b = 22^\circ$	$i = 348^\circ, b = 21^\circ$	$i = 355^\circ, b = 21^\circ$
Параллакс π	7.16 mas	6.68 mas	6.98 mas
Магнитная Модель	нереверсивное $i = 30^\circ, \beta = 80^\circ$	нереверсивное $i = 30^\circ, \beta = 78^\circ$	нереверсивное $i > 25^\circ, \beta < 65^\circ$

Магнитные модели всех указанных звезд взяты в литературе, ссылки на оригинальные публикации можно взять в каталоге Романюка [1].

Первые данные обнадеживают: несколько близких звезд из табл.3 действительно во многом похожи, включая и пространственные ориентации осей вращения (угол i) и магнитные модели (угол β). Проблема требует дальнейшего исследования путем проведения поисков новых магнитных звезд в рассеянных скоплениях и их подробного изучения.

4. Заключение. Совокупность всех полученных за полвека наблюдательных данных и работы теоретиков позволяют подойти к решению проблемы возникновения и дальнейшей эволюции магнитных полей СР-звезд. Обе конкурирующие модели (динамо и реликтовая) объясняют только часть наблюдаемых данных и сталкиваются со значительными трудностями при попытках объяснения другой части.

Все же гипотеза реликтового происхождения магнитного поля СР-звезд постепенно становится преобладающей, ее трудности исследователям

представляются менее принципиальными [2].

Результаты нашего исследования показывают, что для магнитных звезд - членов рассеянных скоплений отмечается некоторая преимущественная ориентация магнитных осей. Это может служить указанием на существование некоторого общего фактора, влияющего на процессы происхождения и эволюции магнитных полей звезд. В качестве такого фактора может служить напряженность и направление локального магнитного поля в исследуемой нами области Галактики. И если это так, то реликтовая гипотеза происхождения магнитных полей CP-звезд получает дополнительные аргументы.

Авторы благодарят Российский фонд фундаментальных исследований за частичную финансовую поддержку работы (РФФИ гранты 00-02-16460, 02-02-06138).

Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
e-mail: dkudr@sao.ru; roman@sao.ru

SPATIAL DISTRIBUTION OF MAGNETIC CP STARS

D.O.KUDRYAVTSEV, I.I.ROMANYUK

We present the results of studying the spatial distribution of magnetic CP stars using the data from catalogue of magnetic stars compiled at the Special Astrophysical Observatory. It is shown that most of the objects examined by us are located at the distances less than 500 pc from the Sun. The rotation and magnetic axes of the field CP stars are randomly distributed, while the members of the open clusters show some regulation in separate directions. The similarity of magnetic models for CP stars - members of clusters may indicate the existence of some general factor, which have influence on the process of origin of the stellar magnetic fields. The magnetic field of the Galaxy might be such a factor.

Key words: *stars:magnetic fields - stars:individual:CP stars*

ЛИТЕРАТУРА

1. *I.I.Romanyuk*, in: Proc. International Conf., "Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars", eds. Yu.V.Glagolevskij, I.I.Romanyuk, 18, 2000.
2. *L.Mestel*, ASP Conf. Ser., 248, 3, 1991.
3. *Ю.В.Глаголевский, В.Г.Клочкова, И.М.Копылов*, Астрон. ж., 64, 360, 1987.
4. *P.Renson, D.Kobi, P.North*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 89, 61, 1991.
5. *Ю.В.Глаголевский, Н.М.Чунакова*, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 22, 39, 1986.
6. *F.A.Catalano, P.Renson*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 127, 421, 1998.
7. ESA, ESA SP-1136, The Hipparcos Input Catalogue, 1992.
8. ESA, ESA SP-1200, The Hipparcos and Tycho Catalogue, 1997.
9. *D.O.Kudryavtsev, I.I.Romanyuk*, in: Proc. International Conf., "Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars", eds. Yu.V.Glagolevskij, I.I.Romanyuk, 28, 2000.
10. *H.A.Abt*, Astron. J., 122, 2008, 2001.
11. *И.М.Копылов*, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 24, 44, 1987.
12. *P.Renson*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 76, 127, 1988.
13. *M.Feast, P.Whitelock*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 291, 683, 1997.
14. *A.E.Gomes, X.Luri, S.Greiner, F.Figueras, P.North, F.Royer, J.Torra, M.O.Menessier*, Astron. Astrophys., 336, 953, 1998.
15. *P.North, N.Ginestet, J.-M.Carquillat, F.Carrier, S.Udry*, Contr. Astron. Observ. Skalnat Pleso, 27, 179, 1998.
16. *I.I.Romanyuk*, Bull. Spec. Astrophys. Observ., 38, 119, 1994.