

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 63

АВГУСТ, 2020

ВЫПУСК 3

ВЕКОВАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД. II

Ю.В.ГЛАГОЛЕВСКИЙ

Поступила 31 января 2020

Принята к печати 24 июня 2020

Приводятся многочисленные признаки того, что структуры магнитного поля в магнитных звездах с возрастом не изменяются. Звезды врачаются твердотельно.

Ключевые слова: звезды: магнитные поля - звезды: магнитные структуры -
звезды: возрасты

1. *Введение.* Данная работа является продолжением публикации [1], в которой показано, что структуры магнитного поля химически пекулярных звезд (CP) не изменяются в течение всей их жизни. Здесь мы приводим дополнительные данные, свидетельствующие о вековой стабильности магнитных структур у звезд этого типа. Проблема стабильности магнитных полей рассматривалась практически в течение всего периода исследования магнитных звезд. В предыдущей работе приведены данные, показывающие, что уже на самых ранних этапах исследования магнитных звезд возникали предположения о вековой стабильности структур магнитных полей CP звезд. Теоретически стабильные магнитные поля могут существовать 10^{10} - 10^{11} лет. Максимальный возраст магнитных звезд достигает 10^9 лет, что на порядок меньше. Признаки вековой стабильности структур магнитного поля указывают на отсутствие крупномасштабных движений масс внутри звезд. Этот результат крайне важен для уточнения физики и эволюции магнитных звезд. В предыдущей статье были приведены зависимости наклонов осей диполей α относительно плоскости экватора и расстояний диполей от центра звезды Δa от возраста. Оказалось, что эти параметры с возрастом не изменяются. Уже из этого факта можно сделать определенный вывод, что структуры магнитных полей постоянны во времени. В работе [2] показано, что даже в момент внутренней перестройки звезд структуры остаются неизменными.

2. *Ранние обсуждения проблемы стабильности магнитных структур.* Бэброк [3] уже в первых своих работах высказывал мнение, что по виду профилей спектральных линий можно сделать вывод, что магнитное

поле в магнитных звездах не принадлежит отдельным магнитным областям, как на Солнце. Звезды намагничены целиком, и структуры магнитного поля имеют явно дипольный характер. В работе [4] он высказал мнение, что в магнитных звездах не может быть дифференциального вращения, которое быстро разрушило бы наблюдаемые дипольные структуры магнитного поля. Возможно, сильное поле обеспечивает внутреннюю жесткость. Далее мы покажем, что внутреннюю жесткость обеспечивает не столько магнитное поле, сколько медленное вращение, при котором дифференциальное вращение, меридиональная циркуляция и другие нестабильности не возникают.

Стриттматтер и Норрис [5] утверждают, что при сжатии намагниченного протозвездного облака может возникнуть разное отношение магнитной энергии к вращательной. Если это отношение меньше критической величины, то меридиональная циркуляция увлечет поле внутрь звезды, поле не участвует в торможении и она остается быстрым ротором - это нормальные звезды. Если отношение выше критического, то циркуляция не может преодолеть противодействия магнитного поля, оно участвует в процессе торможения протозвезды - это будущая магнитная звезда. Очевидно, этот механизм может действовать и на звездной стадии. Наше мнение состоит в том, что магнитное поле может играть некоторую роль в этом процессе, но надо учесть, что магнитные звезды с очень слабым полем тоже разделяются на рубеже периода вращения $P = 1^d$ (рис.1). Это говорит о том, что магнитное поле играет второстепенную роль в разделении звезд на нормальные и магнитные, основную роль играет скорость вращения [6]. Эта проблема подробно рассмотрена также в работе [2]. Второе возражение состоит в том, что нет оснований предполагать

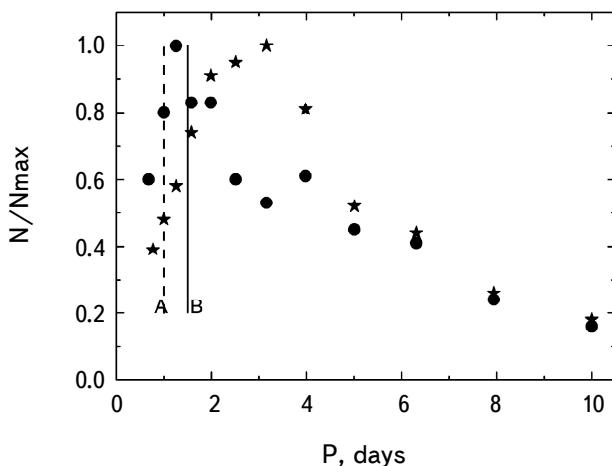


Рис.1. Распределение магнитных звезд по периодам вращения. Кружки - He-g, He-w звезды (A - граница их распределения); звездочки - Si, SrCrEu-звезды (B - граница их распределения).

возникновение меридиональной циркуляции в протозвездной стадии. В этот период вероятнее возникновение дифференциального вращения.

Мосс [7,8] отмечает возможную большую роль меридиональной циркуляции Эддингтона-Свита в физике магнитных звезд, которая должна приводить к изменению начальной конфигурации магнитного поля в течение жизни звезды на Главной последовательности (ГП). Местел и Мосс [9] утверждают, что меридиональная циркуляция неминуемо должна поворачивать магнитное поле вследствие вмороженности в звездное вещество. Этим механизмом, например, в работе [10] делается попытка объяснить преимущественный угол наклона оси диполя к оси вращения $\beta \approx 90^\circ$ у магнитных звезд, который обнаружил впервые Престон [11]. Далее мы пытаемся показать отсутствие меридиональной циркуляции внутри магнитных звезд.

В работе [12] отмечено, что угол наклона магнитного поля звезд к оси вращения β не меняется с возрастом. Это видно из того, что средний угол α ($\alpha = 90^\circ - \beta$) наклона оси вращения к плоскости экватора у магнитных звезд всех типов пекулярности и разного возраста в пределах ошибок одинаковый, несмотря на то, что средний возраст у них различается до двух порядков (табл.1). Делается вывод об отсутствии у магнитных звезд меридиональной циркуляции. Это один из первых результатов, позволивших предположить о наличии внутренней жесткости магнитных структур, которые предсказал Бэбок.

Таблица 1

Тип звезд	He-g	He-w	Si	SrCrEu
Средняя α , град.	44	48	45	49
$\pm\sigma$, град.	5	4	4	3
$\log t$, лет	6.2	6.8	7.5	8.4

3. Современное представление о внутренней стабильности магнитных звезд. Рассмотрим другие признаки внутренней стабильности магнитных звезд, отсутствия крупномасштабных движений масс внутри. В работах [13,14] показано, что магнитные звезды отделяются от нормальных звезд на некоторой фиксированной величине $v \sin i$. В работе [2] найдено, что эта фиксированная величина соответствует периоду вращения $P \approx 1^d$. Это значит, что нет магнитных звезд с $P < 1^d$ [15] (рис.1). В настоящее время имеется единственное предположение о природе этого свойства - при скоростях вращения больше критической $V > V_c$ в родительском протозвездном облаке возникает дифференциальное вращение, которое запутывает магнитное поле в тороидальную форму, которая на стадии звезды не обнаруживается зеемановской методикой.

Медленные протозвездные ротаторы обладают стабильными внутренними областями, в них магнитное поле сохраняется. В работах [2,16] показано, что так же ведут себя химически пекулярные звезды, не имеющие магнитного поля (Am, HgMn). Делается вывод, что химически пекулярные звезды с полем и без поля отделяются от нормальных только вследствие медленного вращения, при котором внутренние области становятся динамически устойчивыми. Скорее всего, магнитные и не магнитные будущие химически пекулярные звезды отделяются от нормальных именно на стадии протозвезд [17], так как среди поздних НАeВе объектов и звезд на ZAMS они уже существуют.

4. Рост поля после ZAMS. Рассмотрим рис.2а, б (R - радиус звезды, R_z - ее радиус на ZAMS). В период эволюции "до ZAMS" магнитное поле ослаблено и запутано. На ZAMS магнитное поле почти нулевое, содержание химических элементов нормальное [17]. В этот момент происходит прекращение

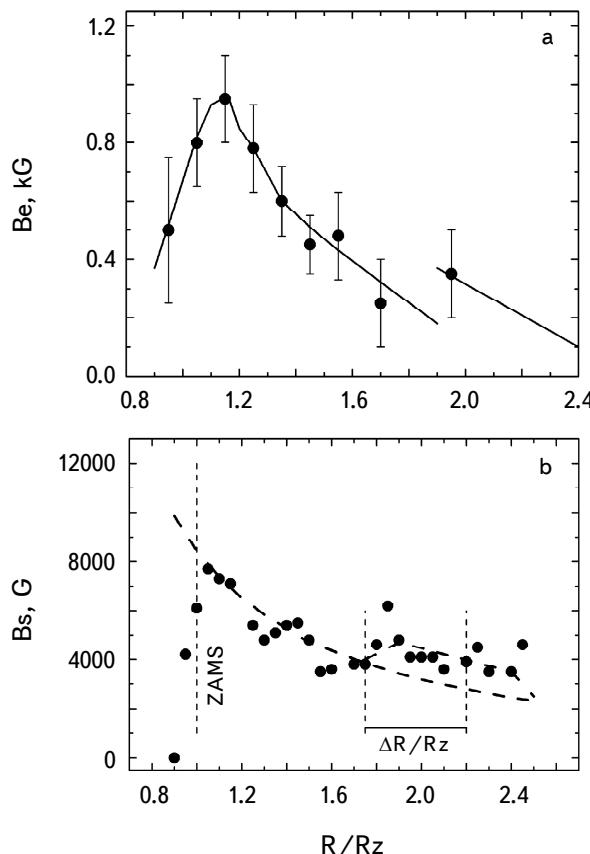


Рис.2. Изменение магнитного поля звезд по мере эволюции их поперек полосы ГП.
а) Средние квадратические величины магнитного поля; б) средние поверхностные величины магнитного поля.

акреции и продолжается релаксация магнитного поля, которая начинается в момент $t = 0$, начинается диффузия химических элементов под действием гравитации, лучевого давления и ветра. Магнитное поле постепенно увеличивается в результате стабилизации верхних слоев атмосферы, омической диссипации мелких структур, а также вследствие эффекта натяжения силовых линий. Эти процессы действуют не бесконечно. Поле растет до некоторого максимума, после которого начинает превалировать эффект эволюционного роста радиуса и оно начинает уменьшаться. Если бы радиус оставался постоянным, то было бы видно, что поле продолжает увеличиваться вследствие исчезновения мелких структур путем омической диссипации. Наблюдения показывают, что крупномасштабные структуры сохраняются вплоть до ухода звезд с ГП. В результате зависимости от магнитного поля начальный рост аномальности химсостава приводит к постепенному росту интенсивности критерииов классификации. Увеличивается вероятность отнести звезду к типу СР звезд. Число звезд N растет вместе с полем. Скорость эволюционного движения звезд поперек полосы ГП со временем растет.

5. Причины уменьшения поля с возрастом после максимума.

Мы все более убеждаемся, что магнитные звезды и химически пекулярные звезды без поля (Am, HgMn) обладают стабильными внутренними областями. В работах [13,18-20] впервые замечено, что среднее поверхностное магнитное поле уменьшается на ГП после преодоления максимума со временем, в основном, вследствие эволюционного увеличения радиуса ($B_s \sim R^{-2}$, рис.2), а не из-за любых крупномасштабных движений масс внутри звезд, вплоть до максимального возраста $t = 10^9$ лет (звезды SrCrEu группы [21,22]). Если бы структура магнитного поля соответствовала бы теоретическому диполю, то уменьшение среднего поверхностного поля B_s изменялось бы пропорционально R^{-3} при условии динамически стабильных внутренних областей. Но в действительности структуры не вполне соответствуют теоретическому диполю [23], они только в некоторой степени приближаются к нему. Кроме того, мелкие неоднородности магнитного поля сохраняются в течение всей жизни звезд [24], искажая дипольную структуру поля. Реально модельная структура описывается магнитным диполем, в котором монополи разделены промежутком, в разных звездах находящихся в пределах $l \approx 0 - 0.4 R_\odot$ [25] и величина магнитного поля в центральных областях не равна бесконечности. Указанные две причины приводят к тому, что падение поля после максимума на рис.2 происходит примерно в квадратичной [26,27], а не в кубической степени. Рассмотренная зависимость $B_s(R/R_z)$ одинакова для звезд всех типов пекулярности, которые имеют разный средний возраст. Следовательно, вековая стабильность зависимости рис.2 тоже демонстрирует отсутствие внутри

магнитных звезд крупномасштабных движений масс.

6. Причины изменения числа звезд с возрастом. На рис.3 показано распределение по времени $N(t)$ звезд SrCrEu типа пекулярности, имеющих структуру магнитного поля центрального диполя. Разброс точек, к сожалению, велик из-за малого количества данных, но, тем не менее, хорошо видно, что максимум распределения падает на $t \approx 4.5 \cdot 10^8$ лет, что составляет около половины жизни звезд SrCrEu типа на ГП. Этот результат подтверждает

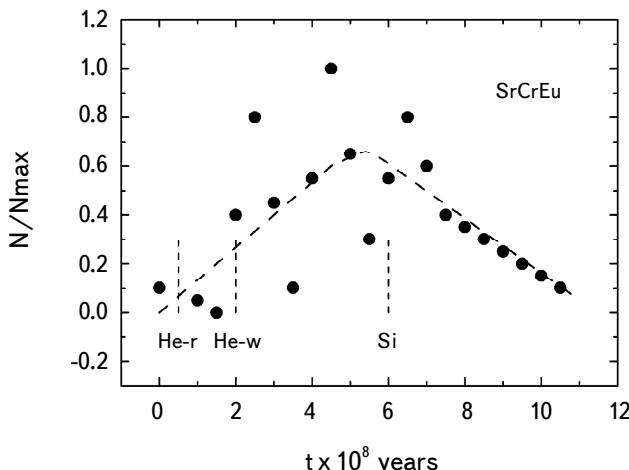


Рис.3. Распределение по времени $N(t)$ звезд SrCrEu типа пекулярности, имеющих структуру магнитного поля центрального диполя.

такой же вывод, сделанный в [28]. Объяснение такому свойству дано, в частности, в [29]. На этом же рисунке показаны диапазоны возрастов звезд других типов. Поскольку длительность одного оборота меридиональной циркуляции составляет $\sim 10^8$ лет, то очевидно, что половины оборота достаточно, чтобы заметить изменение наклона диполя к плоскости экватора α и нарушить известное свойство магнитных звезд о преимущественной ориентации магнитных диполей. Время жизни звезд всех типов много больше этой величины, кроме Не-r звезд, следовательно, за время жизни звезд меридиональная циркуляция успела бы сделать много оборотов. Это должно привести к тому, что известное преобладание углов наклона диполей к плоскости экватора в пределах $\alpha \approx 0^\circ - 20^\circ$, показанное на рис.4а, б, должно было исчезнуть. На этом рисунке приведены распределения звезд с центральным диполем по углам для SrCrEu и Не-r+Не-w звезд, имеющих разный средний возраст. Оказывается, что количество звезд на 1° в диапазоне $\alpha \approx 0^\circ - 20^\circ$ более чем в 7 раз больше, чем в диапазоне $\alpha \approx 20^\circ - 90^\circ$. Распределения не зависят от возраста звезд, они оба демонстрируют наличие преимущественной ориентации магнитных диполей

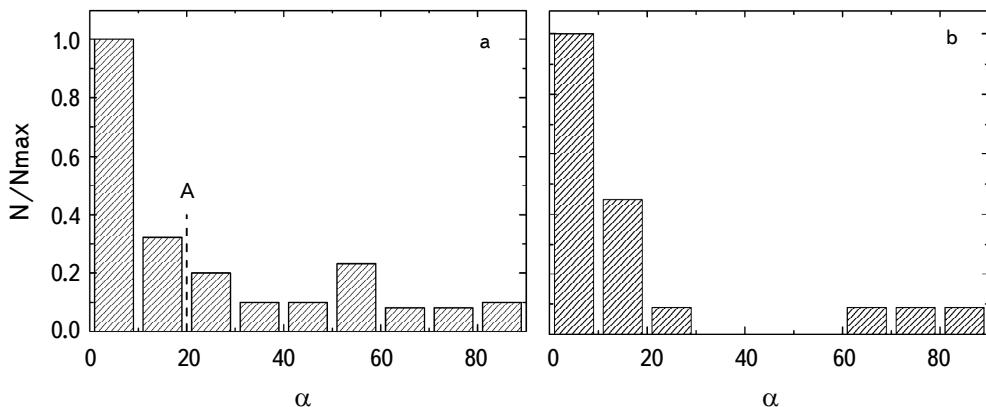


Рис.4. Распределение по углам α звезд SrCrEu типов (а) и He-g+He-w типов (б). Граница А отделяет звезды с малыми углами α .

в звездах с центральным диполем как у молодых, так и у старых групп. Это показывает, что меридиональная циркуляция и другие крупномасштабные движения масс внутри магнитных звезд отсутствуют. Магнитные структуры со временем не изменяются.

Распределение N зависит не только от величины поля, но и от скорости эволюции вдоль трека, которая постепенно увеличивается. Поэтому отношение $\Delta N / \Delta R$ постепенно уменьшается. С возрастом изменяются $T_{\text{эфф}}$ и $\log g$, интенсивности критериев классификации уменьшаются, в результате вероятность отнести звезду к СР типу становится меньше. Все эти факторы приводят к постепенному уменьшению N . На рис.5 дано распределение $N(R/R_z)$ для

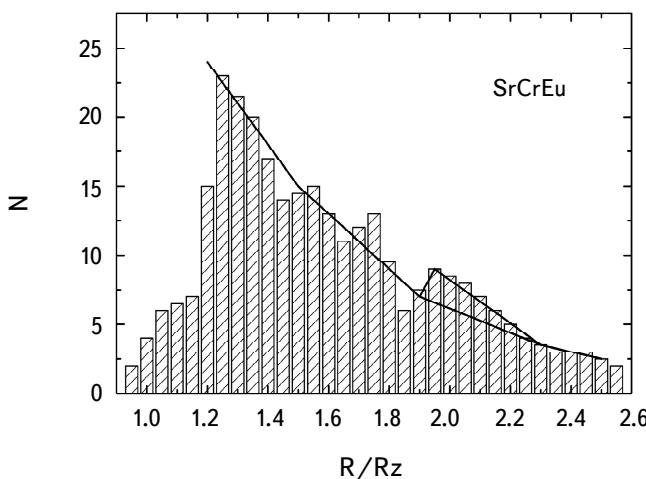


Рис.5. Распределение SrCrEu звезд поперек полосы ГП, имеющих весь набор углов α .

SrCrEu звезд, имеющих весь набор углов α . Максимум распределения падает на $R/R_z = 1.25$. После этого число N уменьшается вплоть до $R/R_z = 1.8$, когда наступает внутренняя перестройка звезд. На рис.2б область перестройки отмечена вертикальными линиями. Звезды на эволюционном треке три раза зигзагообразно проходят участок $R/R_z = 1.8 - 2.2$, поэтому количество их на зависимости $N(R/R_z)$ в этот момент увеличивается. После $R/R_z = 2.2$ звезды покидают эту часть трека, продолжая эволюционировать вдоль плавно продолжающегося трека. На рис.3 прохождение этого момента не заметно вследствие малого количества данных. Наличие максимума распределения $N(R/R_z)$ на $R/R_z = 1.25$ объясняется, таким образом, тем, что налагаются две прямо противоположные тенденции – увеличение этого отношения после ZAMS и, затем, уменьшение отношения $\Delta N / \Delta R$ вследствие увеличения скорости эволюции поперек полосы ГП и ослабления магнитного поля и изменения $T_{\text{эфф}}$ и $\log g$.

7. Поведение звезд с магнитной структурой центрального диполя. Наиболее показательным признаком стабильности магнитных структур является пример звезд с полем диполя, находящегося в центре звезды. Рассмотрение структуры магнитных полей звезд разного возраста не показало признаков преобразования моделей центрального диполя в более сложные конфигурации. Омическая диссипация, натяжение силовых линий и другие эффекты действуют в сторону упрощения структур. Пока не предложен механизм, который действует в обратную сторону, т.е. который превращал бы наблюдаемые структуры центрального диполя в двух или трехдипольные конфигурации. Поэтому пример звезд с центральным магнитным диполем кажется наиболее подходящим для демонстрации вековой стабильности магнитных структур. Рассмотрим распределение звезд с центральным диполем по возрастам. Для этого мы выбрали только те объекты, для которых модель центрального диполя определена достаточно надежно [30]. На рис.3 приведены распределения звезд с центральным диполем $N(t)$ для звезд SrCrEu групп отдельно [31]. Можно предполагать, что такие объекты сформировались либо из однородно намагниченных протозвездных облаков, либо в тех случаях, когда величина магнитного поля была пропорциональна плотности облака [32]. Из рисунка видно, что средний возраст короткоживущих звезд "гелиевых" типов в среднем около 10 раз меньше среднего возраста SrCrEu звезд, а максимальное различие возрастов $\log t = 7$ и $\log t = 9$ достигает уже двух порядков. При этом звезды приходят на ZAMS уже имея структуру центрального диполя и есть звезды, которые уходят с ГП без изменения. Эти данные показывают, что следует серьезно относиться к предположению о том, что магнитные звезды являются твердотельными роторами. В нашем распоряжении имеются звезды с самыми крайними возрастами среди звезд с цент-

ральным диполем: это HD200775 ($\log t = 6.0$) HD35298 ($\log t = 7.0$), HD184927 ($\log t = 7.4$), HD2453 ($\log t = 8.88$) HD98088 ($\log t = 8.88$).

Магнитные звезды являются твердотельными роторами, как и подозревал Бэбкок.

8. *Поведение конвективного ядра.* До сих пор мы рассматривали структуры магнитного поля вне конвективного ядра. Характер взаимодействия этих областей пока не совсем ясен. Силовые линии глобального магнитного поля должны окружать ядро, сжимаясь вблизи его поверхности. Очевидно, что поле в пограничной области должно усиливаться. Возможны три варианта вращения конвективного ядра: 1) ядро вращается синхронно с окружающей областью; 2) ядро вращается быстрее и 3) ядро вращается медленнее. Очевидно, что 2 и 3 случаи должны приводить к закручиванию силовых линий в пограничном слое в торoidalную структуру и вызывать генерацию переменного магнитного поля [33] вследствие "омега-эффекта". Поскольку такое поле в магнитных звездах отсутствует, то предполагаем синхронное вращение конвективного ядра.

9. *Структура магнитного поля в момент внутренней перестройки.* Чрезвычайно интересно знать, что происходит со структурой магнитного поля в момент внутренней перестройки звезды, происходящей в момент $R/R_z > 1.8$ (рис.2b). К сожалению, пока мало исследовано звезд, находящихся в этот период эволюции. Тем не менее, предварительное представление можно получить из табл.2, в которой приведены звезды с со структурой поля центрального диполя и несколько звезд со смещенным вдоль оси диполем. Очевидно, что структуры не изменились, они по-прежнему остались в виде центрального диполя. Три звезды со смещенным вдоль оси диполем не отличаются от таких же звезд, находящихся на $R/R_z < 1.8$. Эти

Таблица 2

HD	Тип	Модель	R/R_z	$\log t$
5737	He-w	Центр. диполь	2.37	8.1
18296	Si+	Центр. диполь?	2.86	8.3
47103	SrCrEu	Центр. диполь?	2.20	8.9
51418	SrCrEu	Центр. диполь	2.21	8.6
58260	He-r	Центр. диполь	2.13	7.4
148112	SrCrEu	Центр. диполь	2.01	8.8
148199	Si	Центр. диполь	2.25	8.5
169842	SrCrEu	Центр. диполь	2.05	8.8
170397	Si	Центр. диполь	2.02	8.5
59435	SrCrEu	Смеш. диполь $\Delta a = 0.10$	2.23	8.8
116458	He-w	Смеш. диполь $\Delta a = 0.07$	2.02	8.2
147010	SrCrEu	Смеш. диполь $\Delta a = 0.45$	2.07	9.0

факты демонстрируют отсутствие в них действия меридиональной циркуляции или дифференциального вращения. В этой фазе эволюции нет звезд с другими, незнакомыми структурами магнитного поля. Отсюда вывод - звезды в момент внутренней перестройки продолжают вращаться твердотельно.

В работах [34,35] тоже отмечается факт вековой стабильности основных магнитных структур, отсутствия внутри магнитных звезд меридиональной циркуляции, дифференциального вращения и других крупномасштабных движений масс. Более чем 120 магнитных СР звезд были промоделированы методом "магнитных монополей" [36,37]. При этом были получены параметры магнитных структур, прежде всего данные о наклоне оси диполя к плоскости экватора и расстоянии диполей от центра звезды Δa . В работе [38] приведены зависимости $\alpha(\log t)$ и $\Delta a(\log t)$, которые демонстрируют стабильность магнитных структур в течение всей жизни звезд на ГП.

Наличие сложных магнитных структур у звезд большого возраста показывает, что полная релаксация магнитных полей не успевает произойти в течение всей их жизни. Простые однодипольные и сложные многодипольные структуры наблюдаются у звезд, только что появившихся на ZAMS с возрастом 10^6 лет, и у тех, кто покидает ГП с возрастом 10^9 лет. Магнитные звезды покидают ГП, очевидно, практически без потери магнитного потока, так как теоретически полная омическая диссиляция звезд происходит за 10^{10} - 10^{11} лет.

10. Заключение. Основные признаки вековой стабильности магнитных структур СР звезд заключаются в следующем:

1. Наклон осей диполей α относительно плоскости экватора и расстояния диполей от центра звезды Δa с возрастом не меняются. Это значит, что внутренние структуры магнитных полей имеют вековую стабильность.

2. Внутреннюю жесткость магнитных звезд обеспечивает не столько магнитное поле, сколько медленное вращение, при котором дифференциальное вращение, меридиональная циркуляция и другие нестабильности не возникают.

3. Магнитное поле не играет никакой роли в разделении звезд (протозвезд) на нормальные и магнитные, основную роль играет скорость вращения. Медленное вращение обеспечивает внутреннюю динамическую стабильность, при которой сохраняется магнитное поле. Быстрое вращение вызывает в протозвезде дифференциальное вращение, запутывающее магнитное поле в форму тороида.

4. В магнитных звездах нет меридиональной циркуляции. Это один из первых результатов, позволивших предположить наличие внутренней стабильности магнитных звезд, которые предсказал Бэбок.

5. Рост поля после ZAMS происходит вследствие прекращения акреции и стабилизации атмосфер, релаксации запутанного после нестационарной фазы

Хаяши поля посредством омической диссипации и натяжения силовых линий.

6. Рост числа звезд N после ZAMS происходит вследствие стабилизации атмосфер, усиления диффузии химических элементов и увеличения интенсивностей характерных спектральных линий, по которым осуществляется классификация. Зависимость имеет максимум, после которого происходит падение числа магнитных звезд.

7. Магнитное поле уменьшается на ГП после максимума вследствие эволюционного увеличения радиуса, (пропорционально R^{-2}), а не из-за крупномасштабных движений масс внутри звезд, разрушающих поле. Падение N после максимума происходит не только из-за уменьшения величины поля, но и от изменения скорости эволюции вдоль трека, которая постепенно увеличивается, в результате чего отношение $\Delta N / \Delta R$ постепенно уменьшается. С возрастом изменяются $T_{\text{эфф}}$ и $\log g$, интенсивности критерии классификации уменьшаются, в результате вероятность отнести звезду к СР типу становится меньше. Все эти факторы приводят к постепенному уменьшению N . Максимум N происходит после 40% жизни звезд на ГП.

8. Магнитные звезды покидают ГП, очевидно, практически без потери магнитного потока, так как теоретически полная омическая диссипация звезд с совершенно стабильным внутренним объемом происходит за 10^{10} – 10^{11} лет (кроме конвективного ядра) при максимальной продолжительности жизни $t \approx 10^9$ лет.

9. Магнитные и не магнитные СР звезды отделяются от "нормальных" звезд на стадии протозвезд.

10. С возрастом магнитные конфигурации не меняются, не переходят друг в друга, не превращаются в незнакомые конфигурации. Слегка уменьшается доля мелкомасштабной фракции магнитного поля вследствие омических потерь и натяжения силовых линий.

11. В работе [2] и разделе 9 показано, что в момент внутренней перестройки звезд структуры остаются неизменными.

12. Конвективное ядро, по всем признакам, вращается синхронно с основной массой звезды.

13. Очевидно существует значительное количество быстро вращающихся "нормальных" звезд, содержащих сильное тороидальное магнитное поле внутри.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: glagol@sao.ru

THE SECULAR STABILITY OF MAGNETIC STRUCTURES OF MAGNETIC STARS. II

Yu.V.GLAGOLEVSKIJ

Numerous signs are given that the magnetic field structures in magnetic stars do not change with age. Stars rotate like a solid.

Keywords: *stars: magnetic fields - stars: evolution - stars: magnetic structures - stars: ages*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yu.V.Glagolevskij, A.F.Nazarenko*, Astrophysics, **62**, 491, 2019.
2. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophys. Bull., (in preparation).
3. *H.W.Babcock*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **59**, 260, 1947.
4. *H.W.Babcock*, in Stellar atmospheres, ed. J.L.Greenstein (The University of Chicago Press), 1960.
5. *P.A.Strittmatter, J.Norris*, Astron. Astrophys., **15**, 239, 1971.
6. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophys. Bull., **72**, 418, 2017.
7. *D.Moss*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **168**, 61, 1974.
8. *D.Moss*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **171**, 303, 1975.
9. *L.Mestel, D.Moss*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **178**, 27, 1977.
10. *D.Moss*, ASP Conf. Ser., **248**, 305, 2001.
11. *G.Preston*, Astrophys. J., **150**, 547, 1967.
12. *Yu.V.Glagolevskij*, Magnetic stars, Leningrad, Nauka, 1988, p.206.
13. *H.A.Abt, M.I.Morrell*, Astrophys. J. Suppl., **99**, 135, 1995.
14. *Yu.V.Glagolevskij, G.A.Chountonov*, Bull. SAO, **51**, 88, 2001.
15. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **58**, 350, 2015.
16. *Yu.V.Glagolevskij, E.Gerth*, Bull. SAO, **55**, 38, 2003.
17. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **61**, 413, 2018.
18. *Yu.V.Glagolevskij, E.Gerth*, Bull. SAO, **58**, 17, 2005.
19. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **56**, 173, 2013.
20. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **56**, 407, 2013.
21. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **58**, 29, 2015.
22. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **61**, 546, 2018.
23. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **57**, 204, 2014.
24. *O.Kochukhov, S.Bagnulo, G.Wade*, Astron. Astrophys., **414**, 613, 2004.
25. *Yu.V.Glagolevskij, A.F.Nazarenko*, Astrophys. Bull., **73**, 201, 2018.

26. *Yu.V.Glagolevskij, G.A.Chountonov*, Bull. SAO, **51**, 88, 2001.
27. *Yu.V.Glagolevskij et al.*, Stellar magnetism, St. Petersburg, Nauka, 92, p.36.
28. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **61**, 413, 2018.
29. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophys. Bull., **75**, 1, 2020.
30. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **59**, 321, 2016.
31. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophys. Bull., **74**, 66, 2019.
32. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **57**, 315, 2014.
33. *A.A.Соловьев*, (частное сообщение).
34. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **58**, 350, 2015.
35. *Yu.V.Glagolevskij, A.F.Nazarenko*, Astrophysics, **62**, 491, 2019.
36. *E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij*, Bull. SAO, **56**, 25, 2003.
37. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophys. Bull., **66**, 144, 2011.
38. *Yu.V.Glagolevskij*, Astrophysics, **59**, 164, 2016.