

DOI: 10.54503/0571-7132-2022.65.2-66

## ПРОБЛЕМЫ СРЕДНИХ КВАДРАТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН МАГНИТНОГО ПОЛЯ $A_p$ ЗВЕЗД. I

Ю.В.ГЛАГОЛЕВСКИЙ

Поступила 17 марта 2022

Принята к печати 3 мая 2022

Анализ среднеквадратических величин  $\langle B_s \rangle$  магнитного поля химически пекулярных звезд показал ограниченность их применения вследствие крайне низкой точности. Эти данные могут применяться при статистических исследованиях только в терминах - большая, средняя или низкая величина магнитного поля. Мало вероятно, что методику можно улучшить простыми способами. Наилучший вариант определения средних поверхностных величин магнитного поля - метод моделирования.

Ключевые слова:  *$A_p$  звезды: магнитное поле*

1. *Введение.* В данной работе мы продолжаем изучение магнитных полей химически пекулярных (CP) звезд, начатое в [1].

Напряженность магнитного поля, которую наблюдатель измеряет по зеемановскому расщеплению спектральных линий, является результатом суммирования проекций магнитных полей элементарных площадок на луч зрения с учетом эффекта проекции и потемнения к краю. Это - так называемый "продольный вектор магнитного поля  $B_e$ ". Его абсолютная величина, т.е. "полный вектор", представляет собой среднее поверхностное магнитное поле  $B_s$ . Обе величины изменяются в течение периода вращения. Именно среднее поверхностное магнитное поле  $B_s$ , а не продольный вектор  $B_e$ , определяет физическое состояние поверхностных слоев звезды. Поэтому велико стремление искать способы определения величин  $B_s$ .

2. *Средние поверхностные величины магнитного поля  $B_s$ .* Непосредственное получение  $B_s$  возможно по зеемановскому расщеплению спектральных линий в неполяризованном свете или по ширине линий [2-5]. К сожалению, этот метод требует получения высокодисперсионных спектров звезд, имеющих предельно резкие спектральные линии. Для этого отбираются объекты с экстремально медленным вращением, имеющим  $v \sin i < 10$  км/с, и у которых магнитное поле  $B_s > 5$  кГс.

Другой способ определения  $B_s$  основывается на моделировании структур магнитного поля, описанный в [6], в котором используются фазовые зави-

симости  $Be(\Phi)$  или  $Bs(\Phi)$ . Метод основан на предположении дипольной структуры магнитного поля, которое подтверждается многими исследованиями. Форма фазовых зависимостей  $Be(\Phi)$  или  $Bs(\Phi)$  зависит от наклона звезды к лучу зрения  $i$ , который оценивается из  $v \sin i$ .

Средняя поверхностная величина магнитного поля  $Bs$ , которая оценивается из расщепленных компонентов и наблюдаемой зависимости  $Be(\Phi)$  (или  $Bs(\Phi)$ ), несколько отличается от интеграла по всей поверхности, потому что форма и величина  $Bs(\Phi)$  зависят от угла наклона звезды к лучу зрения  $i$ . Обычно на фазовых модельных зависимостях берутся величины  $Bs$  в 10 точках, распределенных равномерно по фазам, и из них находится среднее арифметическое значение. Величины  $Bs$ , измеренные по расщепленным компонентам, определяются как среднее арифметическое значение из всех наблюдений. На рис.1, взятого из работы [1], приведено сравнение измеренных и модельных средних величин  $Bs$ , которое показывает достаточно хорошее согласие. Список наиболее надежных к настоящему времени данных о величинах  $Bs$ , полученных из измерений и из моделей, приведен в работе [7]. В дальнейшем будем пользоваться именно этими данными.

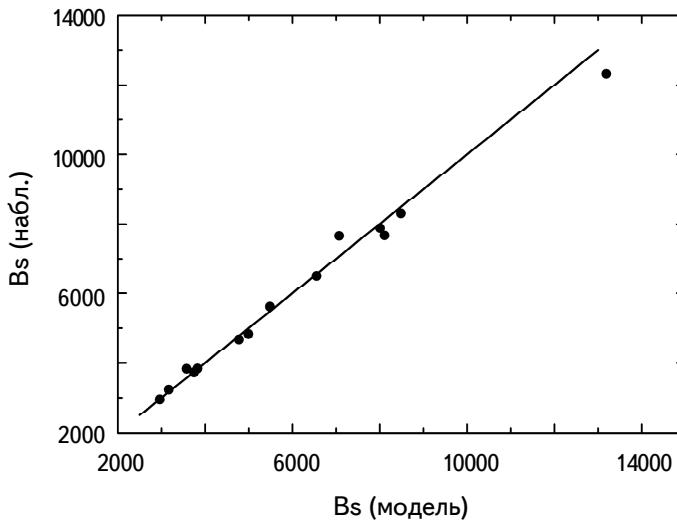


Рис.1. Сравнение измеренных величин магнитного поля с вычисленными посредством моделирования.

В первые годы исследования магнитных звезд, когда было еще мало наблюдательных данных, оценки величин  $Bs$  делались только в исключительных случаях. В работе [3] величины  $Bs$  оценены для 28 звезд по разрешенным или уширенным магнитным полем спектральным линиям. Ширина спектральных линий была прокалибрована по измерениям разрешенных компонентов

линий. На рис.2 приведено сравнение полученных Престоном данных  $B_s(P)$  с теми, которые даны в каталоге [7]. Сплошной линией показана зависимость при идеальном совпадении систем  $B_s$  и  $B_s(P)$ . Штриховой линией показана прямая регрессии, которая практически совпадает с предыдущей. По этой причине данные Престона также используются в каталоге [7].

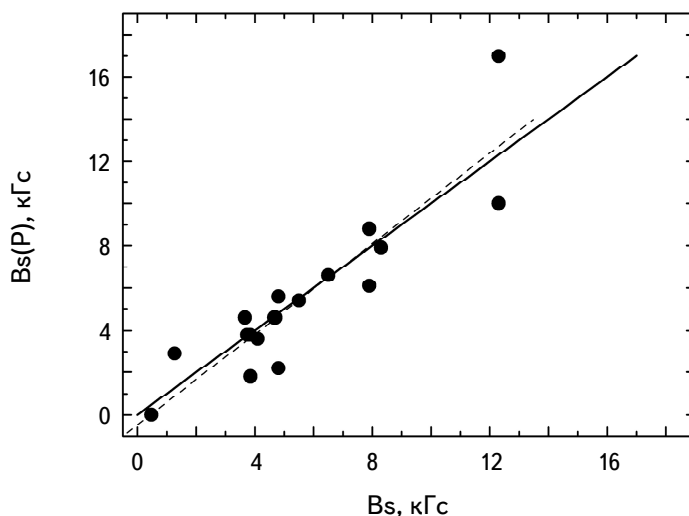


Рис.2. Сравнение величин магнитного поля  $B_s(P)$ , полученных Престоном с теми, которые собраны в каталоге [7].

Попытки получить величины  $B_s$  с целью использования в статистических исследованиях, были осуществлены в работе [8]. Для этого была использована методика, разработанная Престоном [2,3] на основании теории Стиббса [9], которая создана при предположении магнитного диполя, помещенного в центре звезды, хотя на самом деле около половины звезд имеют структуры магнитного поля отличные от центрального диполя. Поэтому результаты расчета следует принимать как первое приближение. Среднее поверхностное поле вычислялось по формуле

$$B_s = 0.67 Be(\min, \max) / 0.32 \cos(i \pm \beta),$$

где  $Be$  - экстремальные величины магнитного поля на фазовой зависимости  $Be(\Phi)$ ,  $i$  - угол наклона звезды к лучу зрения,  $\beta$  - угол между осью вращения и осью диполя, он находится из соотношения

$$\operatorname{tg} \beta = (1 - r) / (1 + r) \operatorname{ctg} \beta.$$

Параметр  $r$  определяется как  $r = Be(\min) / Be(\max)$  из фазовой зависимости  $Be(\Phi)$ . Для оценки угла  $i$  из величины  $v \sin i$  используется формула

$$v = 50.6 R / P \quad \text{км/с},$$

где  $R$  - радиус звезды, а  $P$  - период вращения звезды,  $v$  - экваториальная скорость звезды. Точность определения  $v$  зависит от справедливости формулы и от точности величины  $R$ . Применимость этой формулы дискутируется Престоном в работе [2]. На основании использования многочисленных наблюдательных данных для 68 звезд были оценены величины  $B_s(P)$ . На рис.3 показано сравнение старых оценок величин  $B_s(P)$  из [8], полученных по этой методике, с последними определениями  $B_s$  [7]. Сплошной линией показана зависимость при идеальном совпадении систем  $B_s$  и  $B_s(P)$ . Штриховой линией обозначена линия регрессии в виде

$$B_s(P) = (1.36 \pm 0.60) + (0.98 \pm 0.14)B_s.$$

Видно, что небольшое смещение зависимостей вдоль оси  $B_s(P)$  находится в пределах  $3\sigma$ , причем разброс точек значительный, в первую очередь вследствие приближенности методики Престона. Но главный вывод состоит в том, что системы оценок величин средних поверхностных величин магнитного поля  $B_s$ , выполненных по методике Престона, и современные данные в пределах ошибок можно считать одинаковыми.

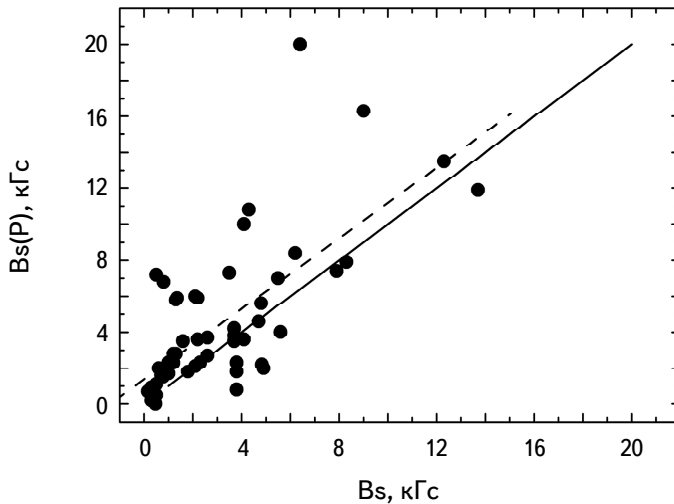


Рис.3 Сравнение величин магнитного поля  $B_s(P)$ , полученных по формулам Престона с последними данными [7].

Вычисляемые модельные средние поверхностные величины магнитного поля  $B_s$ , определяемые по видимой поверхности и по всей поверхности, несколько отличаются друг от друга, так как в небольших пределах  $B_s$  зависит от ориентации звезды, потому что поле неравномерное по поверхности: на магнитном экваторе слабее. Исследуем случай, когда диполь расположен в плоскости экватора вращения  $\alpha = 0^\circ$ . Рассматривая звезду под разными

углами, рассчитаем, как изменяется величина  $B_s$  при вращении звезды. Если  $i = 0^\circ$ , то  $B_s(\Phi) = \text{const}$ . Если  $i = 90^\circ$ , то  $B_s(\Phi)$  начинает изменяться на 23%. При промежуточных углах, составляющих большинство, изменение меньше. Таким образом, в среднем мы получаем величины  $B_s$  с неопределенностью в среднем порядка 10-12%. Большая неопределенность (20%) может получаться из-за ошибок угла наклона  $i$  [8].

Посмотрим, каковы могут быть неопределенности при определении  $B_s$ , если не учитывать величину угла  $i$ . На рис.4 показано распределение звезд по углам  $i$ , которое получено в реальных работах по моделированию. Обращает на себя внимание сложная форма зависимости. Объяснение характерного распределения звезд по углу  $i$  рассматривалось в работе [8,10]. Звезд с малыми углами мало, потому что: 1) распределение звезд зависит от угла  $i$ , 2) звезд в диапазоне  $i = 0 - 20^\circ$  изучено меньше вследствие слабой фотометрической и магнитной переменности. В случае малых величин  $v \sin i$  велико влияние ошибок измерений

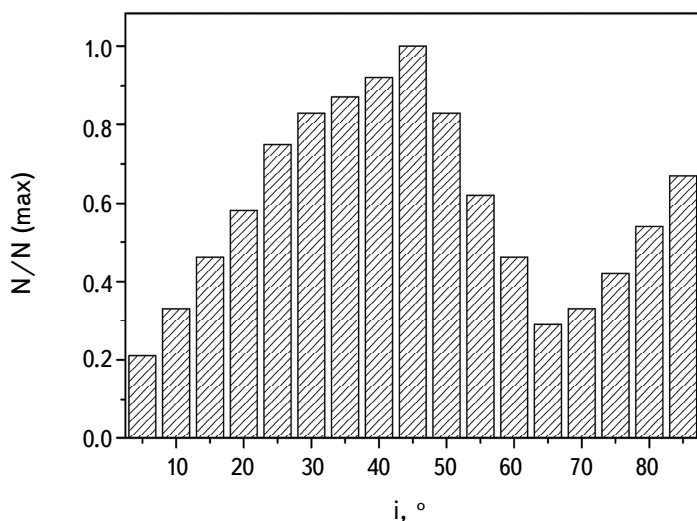


Рис.4. Распределение магнитных звезд по углам их наклона  $i$  к лучу зрения.

и магнитного уширения спектральных линий. Эти эффекты уменьшают число звезд в левой части распределения рис.4. Максимум при  $i \approx 90^\circ$  возникает из-за ошибок  $v \sin i$  и радиусов  $R$ . При небольшой ошибке  $v \sin i$  наблюдается очень большое изменение угла  $i$ . Например, если звезда имеет на самом деле величину  $i \leq 90^\circ$ , то из-за ошибки  $v \sin i$  или  $R$  часто получаются  $i > 90^\circ$ . Такой же эффект можно получить за счет уменьшения  $R$ . В таких случаях при моделировании принимается  $i = 90^\circ$ . Оценки радиусов обычно делаются по формуле

$$\log R/R_\odot = 8.46 - 2 \log T_{\text{eff}} - 0.2 M_{\text{bol}}.$$

Таким образом, ошибки  $R$  могут происходить от ошибок указанных параметров и справедливости самой формулы. В ранних работах, например в [8,10], физические параметры были недостаточно надежны, поэтому приходилось делать поправки на величины  $v \sin i$  или  $R$  иногда до 30%. В настоящее время доступные параметры более точные, поправок значительно меньше, около 5-10%. Эти поправки выравнивают правую часть рис.4.

Обобщая сказанное выше, и учитывая рис.1, делаем вывод, что в настоящее время мы имеем достаточно надежные оценки средних поверхностных величин магнитного поля, собранные в [7]. Основываясь на этом выводе, продолжаем исследования среднеквадратических величин магнитных полей CP звезд.

Крайняя сложность измерения магнитного поля  $B_s$  по расщепленным компонентам и большая трудоемкость метода моделирования приводят к дефициту данных. Поэтому исследователи всегда пытались искать приближенные методы. Предполагалось, что простые методы дают возможность получать массовый материал и выигрывать, таким образом, в статистике. Например, для некоторых звезд делались попытки оценивать  $B_s$  по зависимости параметра женеvской фотометрии  $Z$  от величины  $B_s$ , найденной Крамером и Медером [11,12]. Параметр  $Z$  зависит от интенсивности спектральных линий, которые, в свою очередь связаны с химсоставом. Степень аномальности химсостава связана с величиной магнитного поля. В качестве примера приводим зависимость  $Z_0(B_s)$  на рис.5 из работы [13], где  $Z_0 = Z - Z(\text{norm})$ . Здесь  $Z(\text{norm})$  принадлежит нормальной звезде той же температуры. Однако в этих работах, а также в [8] впервые замечено, что калибровка Крамера-Медера справедлива только в пределах  $B_s = 0 - 5$  кГс. При  $B_s > 5$  кГс зависимость

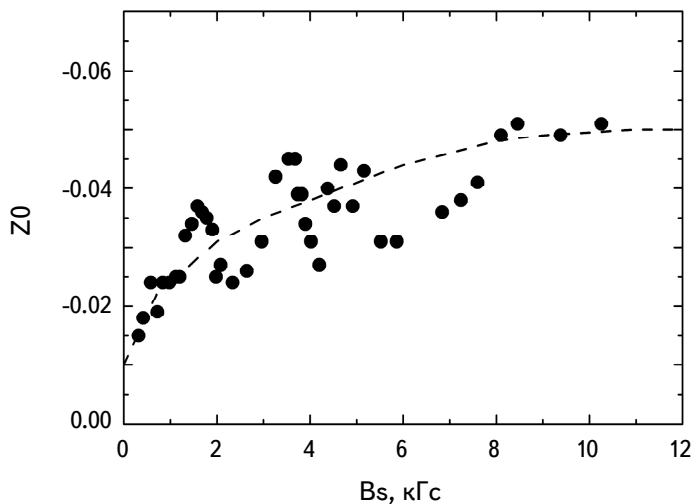


Рис.5. Зависимость параметра  $Z_0$  женеvской фотометрии от величины магнитного поля  $B_s$ .

исчезает вследствие, как предполагалось, эффекта подавления турбулентции магнитным полем, которая обычно препятствует диффузии химических элементов [14]. Попытки оценивать  $B_s$  с помощью калибровки Крамера-Медера [12] выполнялись в [10,15,16] и др. Однако использование этой методики в систематических исследованиях и в поисках магнитных звезд не привели к успеху из-за низкой точности метода.

### 3. Средние квадратические величины магнитного поля $\langle B_s \rangle$ .

а) Более популярным оказался метод определения средних квадратических величин магнитного поля  $\langle Be \rangle$  [17,18], основанный на использовании нескольких измерений продольного поля  $Be$ , обычно случайно распределенных по фазам периода вращения. Но уже из-за этой "случайности" возникает значительная неопределенность результата. Вторая неопределенность возникает вследствие того, что в данном методе не учитывается роль угла наклона звезды  $i$ . Значительную роль в неопределенности оказывает влияние неравномерного распределения химических элементов по поверхности звезды на фазовую зависимость  $Be(\Phi)$ . Средняя квадратическая величина магнитного поля определяется как

$$\langle Be \rangle = \left( \frac{1}{n} \sum Be_i^2 \right)^{1/2}. \quad (1)$$

При этом ошибка этой величины

$$\langle \sigma \rangle = \left( \frac{1}{n} \sum \sigma_i^2 \right)^{1/2}, \quad (2)$$

$$\chi^2/n = \frac{1}{n} \sum (Be_i/\sigma_{ei})^2. \quad (3)$$

Значение  $\chi^2/n$  используется для проверки реальности величины напряженности поля  $\langle Be \rangle$ . Для этих магнитных звезд значение  $\langle B_i^2 \rangle^{1/2}$  (когда оно существенно больше  $\langle \sigma^2 \rangle^{1/2}$ ) дает оценку величины поля звезд, для которых у нас еще недостаточно данных для построения полных магнитных кривых. Значение  $\chi^2/n$  позволяет приблизительно судить, представляет ли  $\langle Be \rangle$  для данной звезды надежное обнаружение эффективного магнитного поля или это результат случайного шума.

Большой список звезд с измеренными величинами  $\langle Be \rangle$ , содержащий более 200 звезд, опубликован в [8]. В работах [19,20] приводится значительно большее количество Ар звезд с оценками величин  $\langle Be \rangle$ , которые мы здесь пытаемся проанализировать с точки зрения возможности применения в статистических исследованиях. На рис.6а, b, c, d, e приведены зависимости  $\langle Be \rangle \sim B_s$ , построенные по общим звездам из названного списка и каталога [7] для звезд разных типов пекулярности. Несмотря на значительный разброс точек зависимости, можно использовать для оценок величин  $\langle B_s \rangle$ . Оказывается

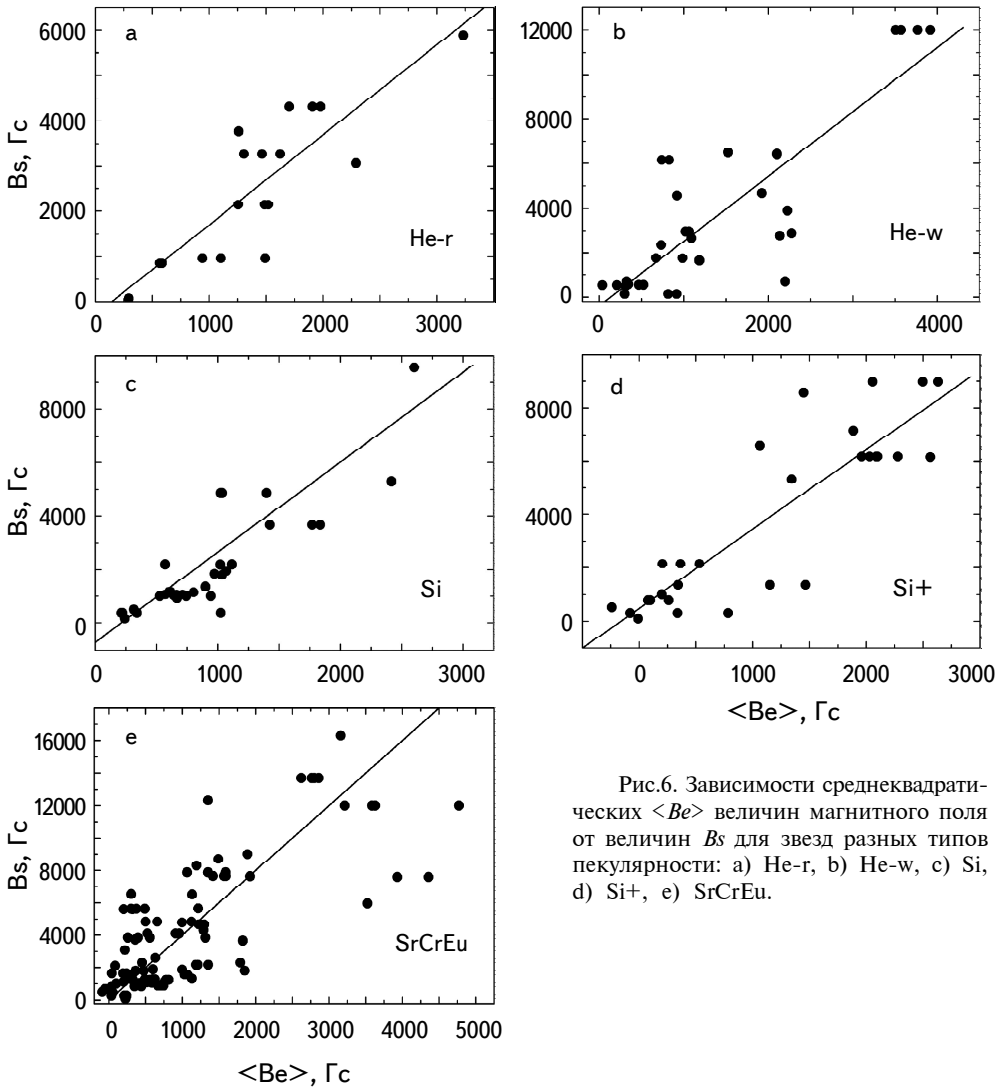


Рис.6. Зависимости среднеквадратических  $\langle Be \rangle$  величин магнитного поля от величин  $B_s$  для звезд разных типов пекулярности: а) He-r, б) He-w, в) Si, г) Si+, е) SrCrEu.

они разные для звезд разных типов пекулярности. Зависимости построены методом наименьших квадратов. Ниже приводятся формулы, описывающие их.

$$\langle Bs \rangle = (-300 \pm 461) + (2.00 \pm 0.30) \langle Be \rangle \text{ кГс} \quad \text{для звезд He-r,} \quad (4)$$

$$\langle Bs \rangle = (-383 \pm 564) + (2.90 \pm 0.33) \langle Be \rangle \text{ кГс} \quad \text{для звезд He-w,} \quad (5)$$

$$\langle Bs \rangle = (-700 \pm 475) + (3.37 \pm 0.42) \langle Be \rangle \text{ кГс} \quad \text{для звезд Si,} \quad (6)$$

$$\langle Bs \rangle = (-700 \pm 786) + (3.37 \pm 0.47) \langle Be \rangle \text{ кГс} \quad \text{для звезд Si+,} \quad (7)$$

$$\langle Bs \rangle = (-800 \pm 865) + (3.50 \pm 0.48) \langle Be \rangle \text{ кГс} \quad \text{для звезд SrCrEu.} \quad (8)$$



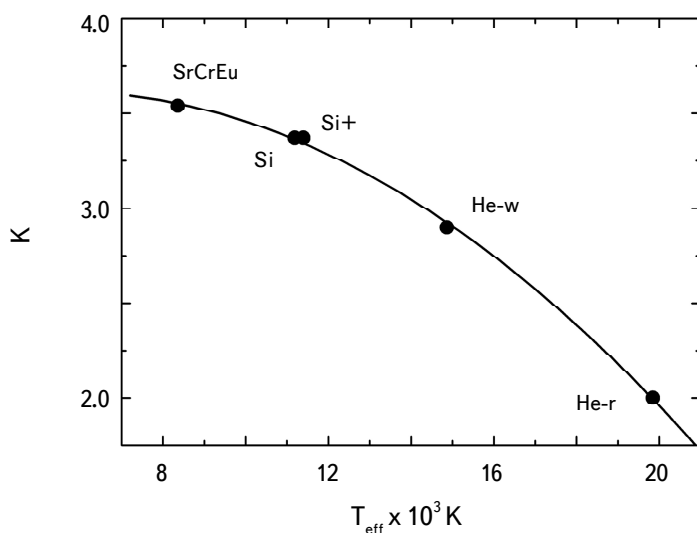


Рис.7. Зависимость параметра  $K$  от средней температуры звезд разных типов пекулярности.

Как видно, в данных формулах коэффициент пропорциональности  $K$  имеет разную величину для звезд разных типов пекулярности. Они показаны на рис.7 в зависимости от типа. Фактически это - зависимость от эффективной температуры. Коэффициент уменьшается с ростом температуры

$$K = (3.377 \pm 0.182) + (0.087 \pm 0.027)T_{eff} + (-0.008 \pm 0.001)(T_{eff})^2. \quad (9)$$

Из рис.8 видно, почему величина коэффициента  $K$  зависит от температуры.

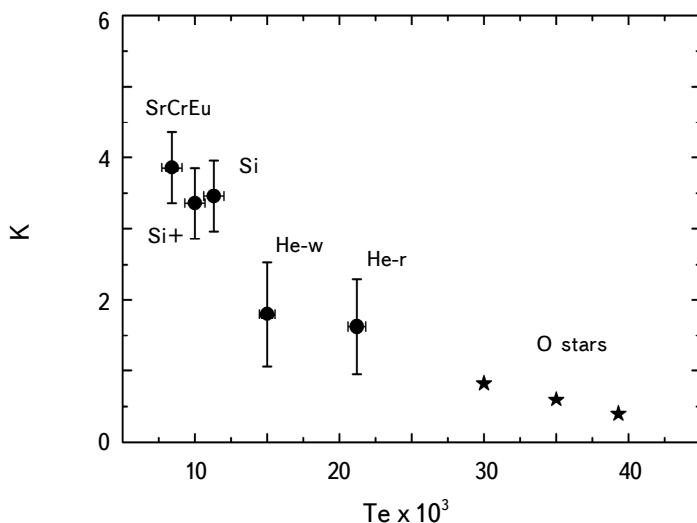


Рис.8. Зависимость средних величин  $B_s$  магнитного поля звезд разных типов пекулярности от их средних температур  $T_e$ .

Средняя величина магнитного поля  $B_s(T_{eff})$  растёт с уменьшением  $T_{eff}$  [21]. Для того, чтобы правильно использовать формулы (4)-(8) на практике, надо знать к какому типу принадлежит звезда или лучше использовать зависимость  $K(T_{eff})$ .

Рассмотрим, чем вызван разброс точек на рис.6. В работе [8] этот вопрос разбирался достаточно подробно. Точность  $\langle Be \rangle$  зависит от

- 1) количества измерений  $n$  (это очевидное требование).
- 2) равномерности распределения измерений по фазам периода вращения (тоже очевидное требование).
- 3) величины параметра  $K$  в формуле (9).
- 4) угла  $i$ , от которого зависит амплитуда и форма фазовой зависимости  $Be(\Phi)$ .
- 5) поверхностной структуры магнитного поля, которая влияет на форму фазовой зависимости.
- 6) особенностей распределения химических элементов по поверхности, по линиям которых измеряется магнитное поле.

Первые 3 пункта можно учесть, увеличивая количество и точность измерений. Но 4-6 пункты можно учесть только в результате моделирования.

В работе [8] приведен список величин  $\langle Be \rangle$ , многие из которых получены на основе всего 2-3 измерений. Какова их надежность? Влияние количества измерений на надежность полученных величин  $\langle Bs \rangle$  продемонстрировано на рис.9. Здесь приведена зависимость величин  $\langle Bs \rangle / Bs$  от  $n$ , показывающая разброс полученных из формул (4)-(8) значений  $\langle Bs \rangle$  относительно "точных" значений  $Bs$  (слово "точных" мы взяли в кавычки, потому, что они тоже отягощены ошибками, но которые на порядок меньше ошибок  $\langle Bs \rangle$ ). Из рис.9

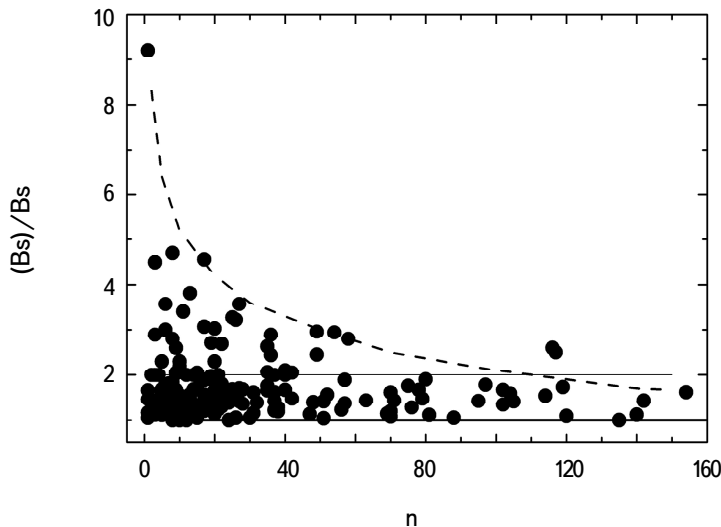


Рис.9 Зависимость разброса измеренных величин  $\langle Be \rangle$  от числа измерений  $n$ .

видно, что разброс при увеличении  $n$  уменьшается и становится постоянным после  $n > 60$ . На рис.10 показано, сколько процентов звезд имеет ту или иную степень разброса величин  $\langle Bs \rangle$ . Зависимость построена для звезд, находящихся в пределах  $n < 20$  (см. рис.9). Получается, что разброс  $\langle Bs \rangle$  вдвое больше относительно "правильного значения" имеет около четверти звезд. Отклонений в 1.5 раза у 45% звезд. Таким образом, при  $n < 20$  половина звезд имеют ошибку до 50%-100%. Обычно количество измерений не превышает 10, поэтому надежность определений  $\langle Bs \rangle$  в таких случаях оказывается чрезвычайно низкой. Заметим, что методика получения средних квадратических величин магнитного поля разрабатывалась в надежде использования именно ограниченного числа измерений [17,18]. При количестве измерений  $n > 10$

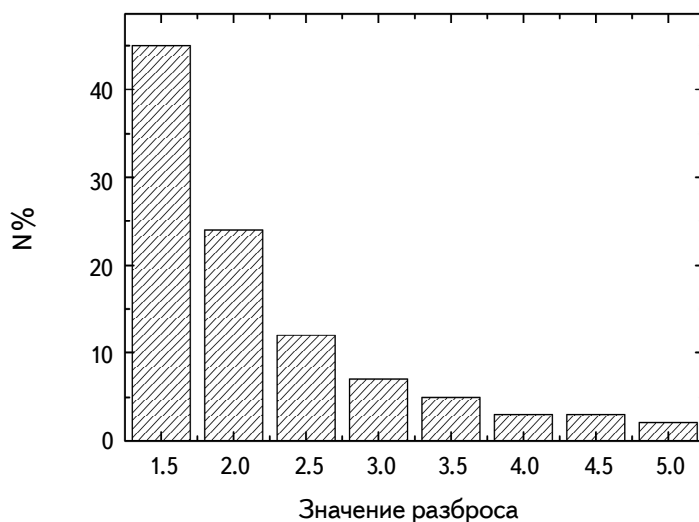


Рис.10. Относительное количество звезд N%, имеющих разный разброс измеренных величин  $\langle Be \rangle$ .

целесообразнее строить фазовую зависимость  $Be(\Phi)$  и исследовать звезду методом моделей. Заметим также важную деталь, на рис.11 точки концентрируются в пределах  $\langle Bs_i \rangle / Bs = 1 \div 2$  во всем диапазоне величин  $n$ . При количестве измерений  $n > 60$  разброс останется в пределах этой полосы. Этот разброс определяется неопределенностью угла  $i$  и частично ошибками величин  $B_s$ . Учитывая сказанное, делаем вывод, что нельзя получить разброс  $\langle Bs_i \rangle / Bs < 2$  как бы мы ни увеличивали количество измерений. Полученные данные о  $\langle Bs \rangle$  можно реально рассматривать определенно только в единицах - большое, среднее или слабое магнитное поле, не точнее. Поэтому использование величин  $\langle Bs \rangle$  в статистических исследованиях имеет смысл только при достаточно большом количестве звезд, а не количестве измерений одной звезды.

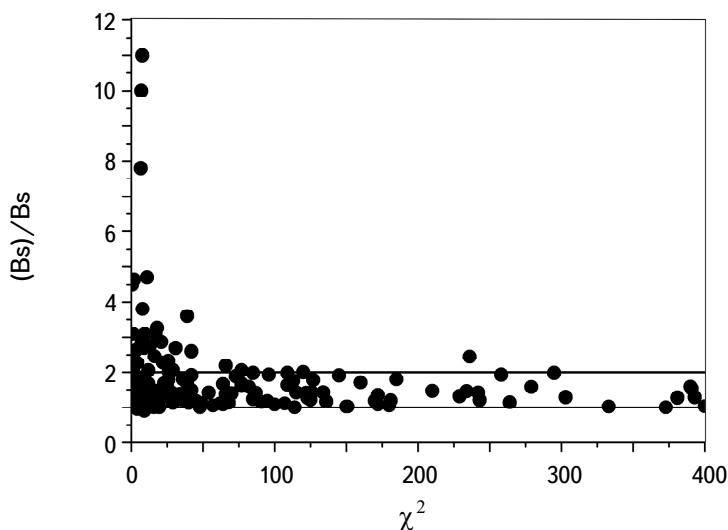


Рис.11. Разброс величин  $\langle Be \rangle$  относительно  $Bs$  при разных параметрах  $\chi^2$ .

б) Следующим шагом нашего исследования является рассмотрение зависимости разброса величин  $\langle Bs \rangle / Bs$  от величины  $\chi^2$ , определяемой формулой (3). Такая зависимость показана на рис.11. Действительно, она показывает, что чем больше величина  $\chi^2$ , тем меньше рассеяние точек. Фактически при  $\chi^2 > 20 - 30$  рассеяние точек минимально и при увеличении значения этого параметра рассеяние определяется только неучетом влияния угла  $i$ .

На рис.12 показана связь определяемых величин  $\langle Bs \rangle$  и их  $\chi^2$ . График рис.12 фактически представляет зависимость  $\chi^2$  от величины магнитного поля

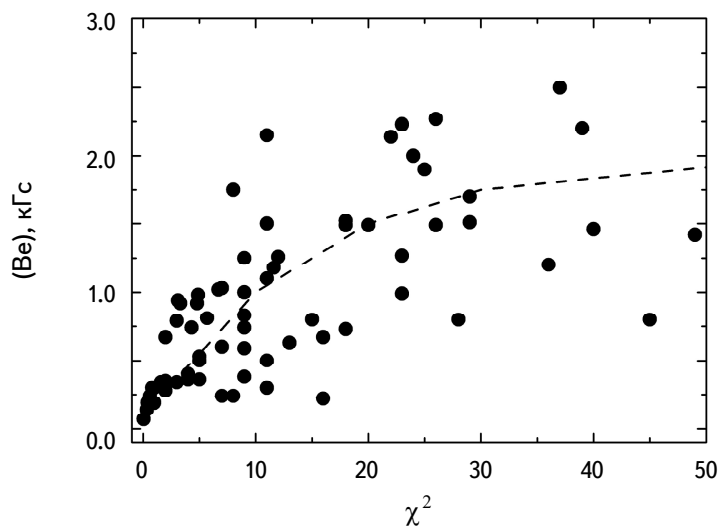


Рис.12. Связь определяемых величин  $\langle Bs \rangle$  с их  $\chi^2$ .

и по ней практически невозможно отделить звезды без поля. Мало того, в каталоге [20] есть ряд примеров магнитных звезд, когда  $\chi^2 < 1$ , т.е. ошибка больше измеренной величины. Приводим такие примеры, показанные в табл.1. Величины магнитного поля  $B_s = 100 \div 524$  Гс в случаях  $\chi^2 < 1$ . У звезд с  $\chi^2 = 1 \div 3$  диапазон величин магнитного поля больше,  $B_s = 306 \div 1350$  Гс и т.д.

Таким образом, параметр  $\chi^2$  не может указать, есть магнитное поле у звезды или нет. Его величина просто пропорциональна величине магнитного поля.

в) Возникает вопрос, какое минимальное число измерений необходимо сделать, чтобы быть уверенным, что звезда имеет магнитное поле. Рассмотрим свойства процедуры, которую иногда используют, а именно, вычитают ошибки  $\langle \sigma \rangle$  из величины  $\langle Be \rangle$ . Если из каждой измеренной величины вычесть  $\langle \sigma \rangle$ , то таким образом можно устранить фиктивное значение магнитного поля, равное ошибке измерений в тех случаях, когда поле на самом деле отсутствует. Величина  $\langle \sigma \rangle$  может указывать, таким образом, насколько реально значение  $\langle Be \rangle$ . Величина  $\langle Be \rangle = 0$  может быть в тех случаях, когда поле сравнимо с

Таблица 1

### НАБЛЮДАЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СЛУЧАЕ РАЗНЫХ $\chi^2$

1)  $\chi^2 < 1$

Звезда	$B_s$ , Гс	$\langle Be \rangle$ , Гс	$\chi^2$	$n$
3360	294	70	0.05	1
10221	100	242	0.62	3
22374	500	140	0.35	1
37151	503	310.7	0.78	5
49606	141	302.3	0.96	9
78316	541	208.7	0.99	31
89822	306	70.7	0.22	5
149822	524	214.3	0.52	3

2)  $\chi^2 > 1$

Звезда	$B_s$ , Гс	$\langle Be \rangle$ , Гс	$\chi^2$	$n$
8441	470	284	2.36	21
18296	890	191	1.29	14
25823	914	667.7	2.33	20
27309	1350	787.6	3.01	5
28843	580	344.2	2.59	5
40312	368	340.6	1.58	9
89822	306	560.7	2.08	17
95707	841	282.7	1.69	10

ошибкой измерений, но может быть в пределах  $3\sigma$ . Из этого примера видна неопределенность, с которой приходится сталкиваться в случае слабых величин магнитного поля.

Нами исследовано 200 измерений величин  $\langle Bs \rangle$  звезд, у которых магнитное поле  $Bs$  известно. Если бы величина магнитного поля была бы постоянной, то, чтобы быть уверенным, что она магнитная, надо, чтобы  $\langle Bs \rangle \geq 3\sigma$ . Но поскольку мы имеем дело с переменной величиной  $Bs$ , то так делать нельзя. Действительно, во многих случаях измеренная величина  $\langle Bs \rangle$  оказывается меньше  $3\sigma$ , хотя в каталоге [7] звезды числятся как магнитные и у них известна величина  $Bs$ . Это видно из табл.2, во втором столбце видно, что среди магнитных звезд половина имеет  $\langle Bs \rangle$  меньше  $3\sigma$ , а половина больше. Если рассмотреть  $\langle Bs \rangle$  превышающие  $2\sigma$ , то соотношение будет другое, определенно магнитных среди них уже будет 75%. Если взять величины  $\langle Bs \rangle$ , превышающие  $1\sigma$ , то положительных результатов будет практически 100%.

Таблица 2

ДОЛЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ОЦЕНОК  
 $\langle Bs \rangle$  С РАЗНЫМ УЧЕТОМ  $\sigma$

$\langle Bs \rangle$ минус	$-3\sigma$	$-2\sigma$	$-1\sigma$
Поле есть у	50%	75%	95%
Поля нет у	50%	25%	5%

Таковы свойства величин  $\sigma$ , оцениваемых из серии измерений  $\langle Bs \rangle$ . Таким образом величины  $\sigma$ , которые оцениваются при исследовании средних квадратических величин магнитного поля  $\langle Bs \rangle$ , не имеют смысла в обычном понимании. Величины  $\langle Bs \rangle$  формируют шкалу, в которой из-за сильного разброса оценок, звезды можно разделить уверенно только на имеющие "сильное поле" -  $\langle Bs \rangle > 4000$  Гс, "среднее поле" -  $\langle Bs \rangle = 2000 - 4000$  Гс "слабое поле" -  $\langle Bs \rangle = 0 - 2000$  Гс. Оценки величин  $\langle Bs \rangle$  для отдельных звезд физического смысла не имеют.

4. *Заключение.* Из представленных выше данных можно сделать вывод, что на основании средних квадратических величин магнитного поля  $\langle Bs \rangle$ , параметрах  $\sigma$  и  $\chi^2$  можно получить лишь предварительное представление о наличии магнитного поля и о порядке его величины. Можно использовать величины  $\langle Bs \rangle$  для оценки поля только в терминах - сильное ( $Bs > 4000$  Гс), среднее ( $Bs = 2000 - 4000$  Гс), слабое поле ( $Bs = 0 - 2000$  Гс). Вряд ли при настоящем относительно высоком уровне физики магнитных звезд эти данные можно использовать в достаточно серьезных статистических исследованиях.

Максимальная возможная точность 100% достижима при количестве измерений более 20. Увеличение количества измерений  $n > 10$  нецелесообразно, так как в таком случае естественнее применять метод моделирования, которое возможно обычно уже при 10-15-ти измерениях. Если такой возможности нет, то исследование разного рода зависимостей допустимо только при использовании большого количества исследованных звезд. Фактически величина среднего квадратического магнитного поля  $\langle B_s \rangle$  одиночной звезды не имеет смысла.

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

## PROBLEMS OF THE ROOT-MEAN-SQUARE VALUES OF THE MAGNETIC FIELD OF Ap STAR. I

Yu.V.GLAGOLEVSKIY

An analysis of the root-mean-square values  $\langle B_s \rangle$  of the magnetic field of chemically peculiar stars has shown that their application is extremely limited due to low accuracy. These data can be used in statistical studies only in terms of a large, medium or low magnetic field. It is unlikely that the methodology can be improved in simple easy. The best option for determining the average surface values of the magnetic field is simulation method.

Keywords: *Ap stars: magnetic field*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yu.V.Glagolevskij, *Astrophys. Bull.*, 2022, (paper III, in press).
2. G.W.Preston, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **83**, 571, 1971.
3. G.Preston, *Astrophys. J.*, **164**, 309, 1971.
4. G.Mathys, T.Lanc, *Astron. Astrophys.*, **256**, 169, 1992.
5. G.Mathys et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **123**, 353, 1997.
6. E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij, *Bull. SAO*, **56**, 25, 2003.
7. Yu.V.Glagolevskij, *Astrophys. Bull.*, **71**(1), 66, 2019.

8. *Yu.V.Glagolevskij et al.*, *Astrofizicheskie Issledovaniya*, (Izvestiya SAO), **23**, 37, 1986.
9. *D.W.N.Stibbs*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **110**, 395, 1950.
10. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrofizicheskie Issledovaniya* (Izvestiya SAO), **20**, 26, 1985.
11. *N.Cramer, A.Maeder*, *Coll. No.23*, Liege, 1981, p.61.
12. *N.Cramer, A.Maeder*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **41**, 111, 1980.
13. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, (paper III, in press).
14. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astron Zh.*, **77**(6), 853, 1994.
15. *Yu.V.Glagolevskij et al.*, *Astrofizicheskie Issledovaniya*, (Izvestiya SAO), **19**, 28, 1985.
16. *Yu.V.Glagolevskij et al.*, *Pisma v AZh.*, **8**(1), 26, 1982.
17. *E.F.Borra et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **53**, 151, 1983.
18. *I.B.Thompson et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **64**, 219, 1987.
19. *V.D.Bychkov, L.V.Bychkova, J.Madey*, *Astron. Astrophys.*, **407**, 631, 2003.
20. *V.D.Bychkov, L.V.Bychkova, J.Madey*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **394**, 1338, 2009.
21. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **75**(2), 139, 2021.