

УДК 523.94+523.98

Э. А. Барановский, Т. Т. ЦапНИИ «Крымская астрофизическая обсерватория»
пгт. Научный, Бахчисарайский район, Крым 98409
edward@crao.crimea.ua**Исследования магнитных полей
в фотосфере Солнца методом отношения линий**

Исследуется проблема различия результатов измерений продольного магнитного поля, выполненных по магнитным линиям Fe I 525 и Fe I 524.7 нм, а также различия результатов измерений общего магнитного поля Солнца в разных обсерваториях. Рассчитываются и сравниваются с наблюдаемыми значения отношения $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ для разных комбинаций магнитных элементов. При этом предполагается наличие магнитных полей разных полярностей в диапазоне от нуля до нескольких килогаусс. Вычисления сделаны для стандартной невозмущенной модели фотосферы Солнца. Определены параметры распределения магнитных элементов по величине магнитного поля, при которых вычисленное отношение $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ согласуется с наблюдаемым. Получено, что профиль линии Fe I 525 нм, вычисленный для неоднородного магнитного поля, имеет различное смещение сигма-компонентов для разных точек профиля. Величина смещения больше для точек профиля, более удаленных от центра линии. Показано далее, что такая особенность профилей объясняет различие результатов измерений общего магнитного поля Солнца в разных обсерваториях. Получено, что увеличение модуля общего магнитного поля в периоды максимумов солнечной активности может быть связано с увеличением доли магнитных элементов с килогауссовыми полями.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ У ФОТОСФЕРІ СОНЦЯ МЕТОДОМ ВІДНОШЕННЯ ЛІНІЙ, Барановський Е. О., Цап Т. Т. — Досліджується проблема розходження результатів вимірювань поздовжнього магнітного поля, які отримуються за допомогою магнітних ліній Fe I 525 і 524.7 нм, а також розходження результатів вимірювань загального магнітного поля Сонця в різних обсерваторіях.

Розраховуються і порівнюються із спостережуваними значення відношення $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ для різних комбінацій магнітних елементів. При цьому передбачається наявність магнітних полів різних полярностей у діапазоні від нуля до декількох кілогаусів. Обчислення зроблено для стандартної незбуреної моделі фотосфери Сонця. Визначено параметри розподілу магнітних елементів по величині магнітних полів, при яких обчислена величина $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ узгоджується із спостереженнями. Отримано, що профіль лінії Fe I 525 нм, обчислений для неоднорідного магнітного поля, має різний зсув сигма-компонентів для різних точок профілю. Величина зсунення більша для точок профілю, більш віддалених від центра лінії. Показано, що така особливість профілів впливає на розходження результатів вимірювань загального магнітного поля Сонця у різних обсерваторіях. Отримано, що збільшення модуля загального магнітного поля у періоди максимумів сонячної активності може бути пов'язане зі збільшенням частки магнітних елементів з кілогаусовими полями.

FINE STRUCTURE OF SOLAR MAGNETIC FIELDS, by Baranovskyy E. A., Tsap T. T. — We investigate the problem of the difference in the longitudinal magnetic field value measured with the use of the magnetic lines Fe I 525 and 524.7 nm as well as the discrepancy of the value for the general magnetic field of the Sun which is determined at various observatories. The observed ratio value $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ is compared with the calculated one for different combinations of magnetic field elements. The calculations are performed with the use of the standard model of the solar photosphere for quiet regions under the assumption that magnetic fields of different polarities are present in the range from zero to some kilogausses. The parameters of the magnetic element distribution by the magnetic field intensity are determined for which the calculated value of the ratio $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ is in agreement with the observed one. The profile of the line Fe I 525 nm for the inhomogeneous magnetic field is found to have different values of the displacement of sigma-components for different points of the profile. The displacement value is larger for the profile points which are more distant from the line center. It is shown that such a peculiarity of the profiles explains the discrepancy of the measurement results for the general magnetic field of the Sun obtained at various observatories. It is revealed that an increase in the general magnetic field module during solar activity maximums can be connected with an enhancement of a fraction of magnetic elements with kilogauss magnetic fields.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что магнитные поля играют главную роль в поведении всех наблюдаемых слоев в солнечной атмосфере и, по-видимому, в ненаблюдаемых внутренних слоях Солнца. Магнитные поля становятся

важным параметром в формировании структуры атмосферы, если магнитное давление $B^2/8\pi$ сравнимо или превосходит газовое давление $\rho v^2/2$. Это случается во всех наблюдаемых слоях солнечной атмосферы: хромосфере, короне, солнечном ветре. Очевидно, что хромосферная сетка и спикулы также находятся под влиянием магнитного поля. Спокойная область солнечной атмосферы покрывает более 90 % солнечной поверхности и обеспечивает большую долю магнитного потока и магнитной энергии даже в годы солнечного максимума. Наши знания о магнитном поле спокойного Солнца существенно улучшились с улучшением качества наблюдений и численного моделирования. Напряженность магнитных полей для сетки и/или внутрисеточных элементов изучалась неоднократно (см. обзор [9]). В работе [15] сравнивались потоки, полученные с телескопами MDI и SOT/Hinode, и показано, что наименьшее образование в SOT/Hinode, имеет поток не менее 10^{16} Мкс, что в тридцать раз меньше, чем наименьший поток, наблюдаемый с МДИ.

Характерной особенностью магнитных полей является их тонкая структура, обнаруженная впервые А. Б. Северным [6—8, 17].

Магнитный поток на солнечной поверхности распределен неоднородно, формируя различные структуры разных размеров и напряженностей поля. Наблюдения в спокойных областях Солнца с магнитографом показывают высокие концентрации магнитного поля в элементах сетки на границе супергранул. Истинная напряженность поля оказалась сравнимой с напряженностью флоккулов — около 150 мТл [4, 5, 18, 21]. При хороших условиях наблюдений можно наблюдать магнитные элементы с очень малым потоком в сетке. Они известны как внутрисеточные поля [11]. Несмотря на значительные усилия, истинная напряженность внутрисеточных элементов пока реально не измерена [9]. Лин [13] измерил распределение плотности магнитного потока в активных и спокойных областях Солнца с помощью многоэлементной инфракрасной камеры Мичиганского университета для записей *V*-профилей Стокса в инфракрасных линиях Fe I 1564.8 и 1565.2 нм. Для спокойной области он получил бимодальное распределение с преобладающей слабой компонентой поля около 50 мТл и сильной компонентой с напряженностью около 140 мТл. Аналогичное бимодальное распределение нашел Литс [14] по данным записей с усовершенствованным поляриметром Стокса в линиях Fe I около 630 нм.

По мере накопления данных измерений магнитного поля наблюдатели обратили внимание на то, что результаты измерений магнитного поля по разным линиям систематически различаются. Гарви и Ливингстон [12] получили, что напряженность магнитных полей, измеренная вне пятен по линии Fe I 525 нм, вдвое меньше, чем по линии Fe I 523.3 нм.

В работе Стенфло [18] для измерения магнитного поля были использованы линии Fe I 525 и 524.7 нм. Эти линии принадлежат к

одному мультиплету, имеют практически одинаковые потенциалы возбуждения нижнего уровня, силы осцилляторов и контуры линий. Линии отличаются лишь значениями фактора Ланде, для $\lambda = 525$ и 524.7 нм они равны соответственно $g = 3$ и 2 . Такие линии, как можно ожидать, будут формироваться практически в одних и тех же областях и иметь одинаковую температурную чувствительность. Однако по линии 525 нм значения измеренного магнитного поля были систематически меньше, чем значения, полученные по линии 524.7 нм.

Это явление некоторое время объяснялось ошибками наблюдений. Стенфло [18] предложил простое объяснение: причиной различия результатов измерений магнитного поля по разным линиям является тонкая структура магнитного поля. При недостаточном разрешении наблюдается усредненная картина элементов с разной величиной магнитного поля — от нескольких гаусс до килогаусс. В такой ситуации смещение сигма-компонентов линии с меньшим фактором Ланде соответствует большей величине магнитного поля в тех участках профиля линии, в которых обычно помещаются щели магнитографа (4—6.5 пм от центра линий).

К выводу о такой особенности профилей линий Стенфло [18] пришел путем длинных и сложных рассуждений. Справедливость этого вывода была подтверждена позднее в работах Д. Н. Рачковского и Т. Т. Цапа [4, 5], где рассчитывалось отношение величин параметра Стокса V для линий Fe I 525 нм и Fe I 524.7 нм. Расчетная величина коэффициента $k = V(525)/V(524.7)$ для разных расстояний от центра линии сравнивалась с наблюдаемыми величинами. Вычисления сделаны в предположении постоянства параметров модели фотосферы по глубине для двухкомпонентной модели. Напряженности магнитного поля, которые принимались при расчетах, равны $H_b = 0.4$ мТл и $H_f = 110 \dots 150$ мТл. Авторы пришли к выводу, что наилучшее согласие вычисленных и наблюдаемых величин параметра k получается при $H_f = 110$ мТл.

В нашем предыдущем исследовании [1] мы сделали аналогичные расчеты для реальной стандартной модели невозмущенной фотосферы. Кроме вариантов с двумя магнитными элементами ($H_b = 0.4$ мТл и $H_f = 110$ мТл) мы рассчитывали коэффициент k для множества магнитных элементов с различным распределением по величине напряженности магнитного поля. Расчеты были сделаны для магнитных полей одного знака.

Здесь мы исследуем более реальную ситуацию, когда в наличии есть элементы с магнитными полями разного знака.

ВЫЧИСЛЕНИЯ

Профили линий Fe I 524.7 и Fe I 525 нм рассчитывались с помощью программы SIR [16]. Вычисления сделаны для стандартной модели

невозмущенной фотосферы HSRA [10]. Программа позволяет рассчитывать в приближении ЛТР все параметры Стокса. Предполагалось наличие участков фотосферы с фоновым магнитным полем порядка нескольких гаусс и участков с большим полем (магнитных трубок) порядка 0.1 – 2 Тл. Отдельные детали не разрешаются и наблюдается усредненная картина. Параметры Стокса вычисляются отдельно для фонового поля и для магнитной трубки и затем соответствующие величины усредняются в соответствии с принятыми значениями площадей, занимаемых разными полями. Вычислялось отношение величин параметра Стокса V двух линий по формуле

$$k = [S_f V_1(H_f) S_b V_1(H_b)] / [S_f V_2(H_f) S_b V_2(H_b)],$$

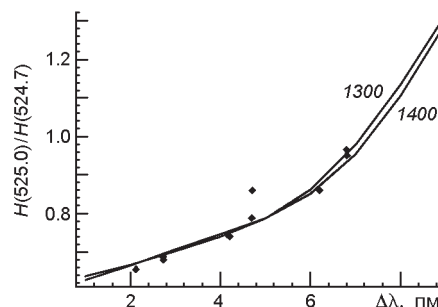
где V_1, V_2 — параметр Стокса V для линий 525 и 524.7 нм соответственно, S_f, H_f, S_b, H_b — площадь и напряженность слабого и сильного магнитных полей соответственно. Однако при наблюдениях с магнитографом получают величину $K = H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$. Так как отношение параметров Стокса двух линий равно отношению величин смещения сигма-компонентов этих линий, а величины смещения пропорциональны фактору Ланде и величине магнитного поля, то получаем, что $K = k/(g_1/g_2) = k/1.5$, где g_1, g_2 — факторы Ланде для линий Fe I 525 и 524.7 нм соответственно.

Для контроля величина K вычислялась также непосредственно как отношение $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$. При этом величины $H_{\parallel}(525)$ и $H_{\parallel}(524.7)$ рассчитывались по смещению профилей сигма-компонентов. Величина смещения определялась с помощью специальной программы.

Величина K рассчитывалась как функция расстояния от центра линии и сравнивалась с наблюдаемыми значениями. На рис. 1 показаны величины K для двух пар значений H_f, H_b : 0.4—130, 0.4—140 мТл. Отношения S_b/S_f подбирались так, чтобы получить наилучшее согласие с наблюдениями. Комбинации величин 0.4—130 и 0.4—140 мТл дают наилучшее согласие при величине отношения $S_b/S_f = 0.033$ и 0.014 соответственно. Для $H_b < 130$ мТл и $H_b > 140$ мТл получить согласие оказалось невозможным ни при каких значениях S_b/S_f . Аналогичная ситуация имеет место для других значений фонового поля — 0.2 мТл, 0.3 мТл, ..., 0.9 мТл и т. д. Наилучшее согласие с наблюдениями получается для $H_b = 130...140$ мТл. Фактор заполнения S_b/S_f при этом различный для разных значений H_f .

Величина магнитного поля для комбинации $H_f = 0.4$ мТл, $H_b = 130$ мТл по линии Fe I 525 нм составляет от 2.1 до 2.8 мТл для разных точек профиля. Наборы величин $H_f = 0.2$ мТл, $H_b = 130$ мТл и $H_f = 0.1$ мТл, $H_b = 130$ мТл дают магнитное поле по среднему профилю соответственно 1.1—1.4 мТл и 0.7—0.9 мТл. Фактор заполнения S_b/S_f для этих вариантов равен соответственно 0.014, 0.011, 0.007. Возможен вариант с $H_f = 0$ мТл, $H_b = 130$ мТл. При этом магнитное поле около 0.02 мТл, а фактор заполнения равен 0.00015.

Рис. 1. Сравнение вычисленных (сплошные линии) и наблюдаемых (кружки) значений коэффициента K для различных значений магнитного поля в трубке (130, 140 мТл). Наблюдения из [4, 18]



Мы видим, таким образом, что вычисленное значение коэффициента K сильно зависит от величин H_f , H_b и фактора заполнения S_b/S_f . Однако наблюдаемые значения величины K , приведенные на рис. 1, не обнаруживают существенного разброса.

Представляется маловероятным, что такая стабильность может выполняться за счет нужного набора трех величин: H_f , H_b и фактора заполнения S_b/S_f . Более реальна ситуация, когда имеется набор значений H_f , H_b , распределенных по какому-то закону. Мы попытались найти закон распределения вероятности величин напряженности магнитных полей. Использовался метод подбора — параметр K рассчитывался для различных распределений и сравнивался с наблюдаемыми значениями. Кроме величины K рассчитывались также профили $I + V$, $I - V$ и оценивалась величина магнитного расщепления. В результате просчетов большого количества вариантов мы пришли к выводу, что наиболее приемлемые распределения магнитных элементов по величине напряженности поля имеют два максимума — около нуля и около 130—140 мТл. Мы задавали такое распределение как сумму двух гауссиан, подбирая величины дисперсии и относительных весов двух кривых. Получить правильную (близкую к наблюдениям) величину параметра K оказалось возможным для различных параметров гауссиан. Но при этом магнитное расщепление профилей (смещение сигма-компонентов) оказывается различным для разных параметров. Расщепление усредненного профиля зависит от ширины гауссиан, определяющих кривую распределения. На рис. 2 показаны две кривые распределения, а на рис. 3 — соответствующие им величины магнитного поля, определенные по расщеплению вычисленных профилей линии Fe I 525 и 524.7 нм. Распределение 1 на рис. 2 получено суммированием гауссиан с дисперсией 0.1 мТл и 2.0 мТл и центром (среднее значение) 0.0 мТл и 135 мТл. Для распределения 2 дисперсии гауссиан равны соответственно 0.2 мТл и 4.0 мТл.

Доля элементов с килогауссовыми полями составляет 0.003 и 0.012 для распределений 1 и 2 соответственно.

Результаты, представленные на рис. 1—3, получены для магнитных полей одной (положительной) полярности. Однако в общем случае возможны поля разных знаков. Это справедливо, в частности, для общего магнитного поля (ОМП) Солнца. Далее мы делаем аналогичные расчеты для случая, когда в отдельных неразрешаемых элементах

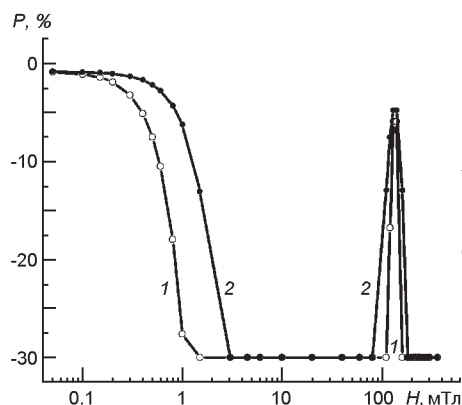


Рис. 2. Два варианта распределения магнитных элементов по значениям напряженности магнитного поля (1 — кружки, 2 — звездочки). По оси ординат — плотность вероятности P

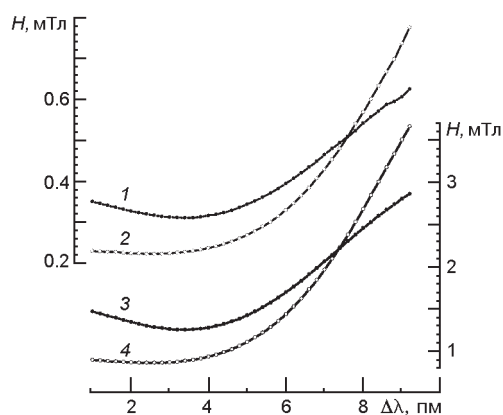


Рис. 3. Магнитное поле для разных точек профиля линий Fe I 525 и 524.7 нм, вычисленное: а для распределения 1, б для распределения 2 на рис. 2

имеются магнитные поля разных полярностей. Распределение магнитных элементов по величине магнитного поля задаем, как и в случае с полями одного знака, двумя гауссианами. Распределение может быть одинаковым для положительных и отрицательных полей или в какой-то степени отличаться. Далее задаются веса для положительных и отрицательных полей и рассчитывается средний профиль линий Fe I 525 и 524.7 нм. По смещению сигма-компонентов этих профилей определяется магнитное поле для разных точек профилей.

Получено, что расчетное отношение величин магнитных полей по профилям линий Fe I 525 и 524.7 нм (т. е. параметр K) согласуется с наблюдаемым отношением, если распределение магнитных полей имеет два максимума. Первый максимум расположен около нуля. Положение второго максимума может быть различным, но в пределах от 110 до 170 мТл. При одинаковом распределении (по модулю) положительных и отрицательных полей количество элементов с полями разных знаков различается на 1—10 %. При этом величины магнитных полей, определенные по смещению сигма-компонентов среднего профиля линии Fe I 525 нм, находятся в пределах 0.01—0.6 мТл.

Доля элементов с килогауссовыми полями может быть значительно больше (до 25 %), чем в первом варианте с полями одного знака, где эта величина около 1 %. Но следует заметить, что с увеличением доли килогауссовых полей начинает расти ширина профиля и соответственно уменьшаться глубина. Если доля килогауссовых полей состав-

ляет 25 %, то глубина профиля на 0.05 меньше невозмущенного значения. Более значительные изменения профилей были бы обнаружены при наблюдениях, поэтому нужно считать, что доля элементов с килогауссовыми полями не превышает 25 %.

Таким образом, вариант с полями разных знаков отличается от предыдущего тем, что положение второго максимума может изменяться в более широких пределах (110—170 мТл). Второе отличие состоит в том, что доля элементов с килогауссовыми полями может достигать 25 %, в отличие от величины порядка 1 % для варианта с полями одного знака.

Такая большая доля килогауссовых магнитных полей не может быть обнаружена путем измерения поляризации, так как поля разных знаков взаимно компенсируются. Однако наличие этих полей проявляется в увеличении ширины профилей магнитных линий. Но этот эффект мы здесь детально не рассматриваем.

Из рис. 3 видно, что величина магнитного поля, определенная по расщеплению среднего профиля, различна для разных точек профиля. Отсюда следует, что величина магнитного поля, измеряемая с помощью магнитографа, зависит от положения щелей магнитографа. Измеряемая величина магнитного поля будет увеличиваться с удалением щелей от центра линии. Это обстоятельство необходимо учитывать прежде всего при сравнении результатов измерения ОМП Солнца, полученных на разных обсерваториях. Щель магнитографа Крымской обсерватории расположена на расстоянии 6.3 пм от центра линии. Для обсерваторий Маунт-Уилсон (ОМУ = MWO), Солнечной обсерватории Дж. Уилкокса (СОУ = WSO) Стенфордского университета и Саянской солнечной обсерватории (ССО, Иркутск) это расстояние равно 4.7 пм [3]. В соответствии с рис. 3 такое различие положения щелей вызывает различие результатов измерений магнитного поля приблизительно в 1.5 раза. При этом наибольших значений магнитных полей следует ожидать по наблюдениям Крымской обсерватории. Такое различие действительно наблюдается. По данным работы [3] имеют место соотношения

$$B(\text{WSO}) = 0.13 + 0.46 \cdot B(\text{CrAO}),$$

$$B(\text{MWO}) = 0.27 \cdot B(\text{CrAO}).$$

Здесь величины регрессии $b = 0.46$ и $b = 0.27$ получены как среднее из нескольких лет. Однако величины эти изменяются от года к году [2, 3], и при этом наблюдается зависимость между величиной регрессии b и величиной модуля ОМП [2]. Мы рассчитывали величину регрессии b применительно к измерениям ОМП обсерваториями КрАО и СОУ (Стенфорд). Для расчетов использовались данные о положении щелей магнитографа на этих обсерваториях и расчетные зависимости типа тех, что представлены на рис. 3. Вычисления регрессии для различных распределений магнитных элементов по величине магнитного поля показали, что величина регрессии и величина ОМП зависят в основ-

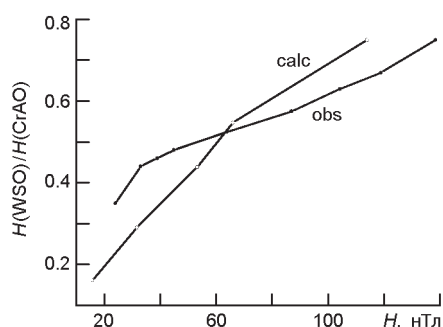


Рис. 4. Зависимость величины регрессии Стенфорд — Крым от величины модуля общего магнитного поля Солнца. Наблюдения из [2]

ном от количества магнитных элементов с килогауссовыми полями. При увеличении доли элементов с большими магнитными полями регрессия и величина магнитного поля увеличиваются. При увеличении доли килогауссовых полей от 3 до 30 % величина регрессии изменяется от 0.35 до 0.75, а величина ОМП от 0.025 мТл до 0.14 мТл. Сравнение вычисленных и наблюдаемых зависимостей величины регрессии от модуля ОМП для обсерваторий КраО и СоУ показано на рис. 4. Заметим, что малым значениям величины регрессии соответствуют малые значения отношения $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$, которые не согласуются с наблюдаемыми величинами на рис. 1. Однако нужно иметь в виду, что по наблюдениям ОМП величина отношения $H_{\parallel}(525)/H_{\parallel}(524.7)$ показывает значительно больший разброс [3], чем на рис. 1, так что с наблюдениями ОМП противоречия нет.

В работе [2] показано, что изменения модуля ОМП синхронно повторяют изменения чисел Вольфа. Аналогично изменяется и величина регрессии: она максимальна в максимуме солнечного цикла. Отсюда приходим к выводу, что доля магнитных элементов с килогауссовыми полями составляет около 3 % в минимуме цикла и около 30 % в максимуме солнечного цикла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы получили, что расчетная величина коэффициента K (формула (1)) для модели с двумя магнитными элементами может быть согласована с наблюдаемой при различных значениях величин фонового магнитного поля, но магнитное поле в магнитной трубке при этом должно быть порядка 130—140 мТл. Отношение площадей магнитной трубки и элемента с фоновым полем зависит при этом от принятого значения фонового поля и равно 0.033 и 0.014 для $H_b = 0.4$ мТл и $H_b = 0.2$ мТл соответственно. Для модели с непрерывным распределением магнитных элементов по величине напряженности магнитного поля кривая распределения имеет два максимума: около малых величин поля (0—0.2 мТл) и около значения 130—140 мТл. Магнитное поле, определенное по расщеплению профилей, увеличивается с увеличением ширины гауссианы для малых полей, т. е. с увеличением средней на-

пряженности фонового магнитного поля H_f . В то же время большее магнитное поле соответствует комбинациям с большей долей элементов с килогауссовыми магнитными полями.

При вычислениях с магнитными элементами разных полярностей распределение элементов по величине магнитного поля также имеет два максимума, но положение второго максимума может изменяться в более широких пределах — от 120 до 180 мТл. Доля элементов с килогауссовыми магнитными полями может быть больше, чем в случае полей одной полярности, и достигать до 25 %.

Величина магнитного поля, определенная по расщеплению профилей, различна для разных точек профиля линий и увеличивается с удалением от центра линии. Эта особенность профилей влияет на различие результатов измерения ОМП разными обсерваториями, поскольку положение щелей магнитографа может быть различным.

Рассчитана величина регрессии $B(\text{WSO})/B(\text{CrAO})$ для результатов обсерваторий WSO (Стенфорд) и CrAO (Крым) для разных значений величины ОМП. Сделан вывод, что увеличение ОМП и регрессии в период максимумов солнечного цикла может быть связано с увеличением доли килогауссовых магнитных полей в это время.

1. Барановский Э. А., Цап Т. Т. Тонкая структура солнечных магнитных полей // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2010.—**106**.—С. 75—81.
2. Котов В. А. Об одном парадоксе измерений магнитного поля Солнца // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2008.—**104**, № 1.—С. 109—130.
3. Котов В. А., Цап Т. Т. О качестве измерений общего магнитного поля Солнца: факты, проблемы, гипотезы // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2005.—**101**.—С. 82—97.
4. Рачковский Д. Н., Цап Т. Т. Изучение магнитных полей методом отношения измеренных напряженностей в линиях вне активных областей на Солнце // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—**71**.—С. 79—87.
5. Рачковский Д. Н., Цап Т. Т., Лозицкий В. Г., Лейко У. М. Проблемы диагностики мелкомасштабных магнитных полей на Солнце // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2007.—**103**, № 4.—С. 26—35.
6. Северный А. Б. О природе магнитных полей на Солнце. (Тонкая структура поля) // Астрон. журн.—1965.—**42**.—С. 217—232.
7. Северный А. Б. Магнитное поле на различных глубинах в солнечной атмосфере // Астрон. журн.—1966.—**43**.—С. 465—479.
8. Северный А. Б. Калибровка сигналов магнитного поля солнечного магнитографа // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1967.—**36**.—С. 22—50.
9. de Wijn A. J., Stenflo J. O., Solanki S. K., Tsuneta S. Small scale solar magnetic fields // Space Sci. Revs.—2009.—**144**.—P. 275—315.
10. Gingerich O., Noyes R. W., Kalkofen W., Cuny Y. The Harvard Smithsonian reference atmosphere // Solar Phys.—1971.—**18**.—P. 347—365.
11. Harvey J. Solar magnetic fields — small scale // Publs Astron. Soc. Pacif.—1971.—**83**.—P. 539—549.
12. Harvey J., Livingston W. Magnetograph measurements with temperature sensitive lines // Solar Phys.—1969.—**10**.—P. 283—293.
13. Lin H. On the distribution of the solar magnetic fields // Astrophys. J.—1995.—**446**.—P. 421—430.

14. *Lites B. W.* Characterization of magnetic flux in the quiet Sun // *Astrophys. J.*—2002.—**573**.—P. 431—444.
15. *Parnell C. E., Deforest C. E., Hagenaar H. J., et al.* Quiet Sun: A comparison of MDI and SDT fluxes // *Publ. Astron. Soc. Pacif.*—2008.—**397**.—P. 31—41.
16. *Ruiz Cobo B., del Toro Iniesta J. C.* Inversion of Stokes profiles // *Astrophys. J.*—1992.—**398**.—P. 375—385.
17. *Severny A. B.* Solar magnetic fields. // *Space Sci. Revs.*—1964.—**3**.—P. 451—486.
18. *Stenflo J. O.* Magnetic field structure of the photospheric network // *Solar Phys.*—1973.—**32**.—P. 41—63.
19. *Vögler A., Schüssler M.* Studying magneto-convection by numerical simulation // *Astron. Nachr.*—2003.—**324**.—P. 399—404.
20. *Vögler A., Shelyag S., Schüssler M.* Simulations of magneto-convection in the solar photosphere. Equations, methods, and results of the MURaM code // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**429**.—P. 335—351.
21. *Wiehr E.* A unique magnetic field range for nonspot solar magnetic regions // *Astron. and Astrophys.*—1978.—**69**.—P. 279—284.

Поступила в редакцию 16.11.10