

УДК 523.9-1/-3

С. Г. Мамедов¹, Д. М. Кули-Заде², Р. Ф. Исмаиллы¹¹Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н.Туси НАН Азербайджана
пос. Ю. Мамедалиева, Шамахинский район, Азербайджан²Бакинский государственный университет Азербайджана
пр. Г. Джавида 115, г. Баку, Az 1141
e-mail: sabirmamedov@mail.ru

Некоторые проблемы асимметрии корональных спектральных линий

При исследовании асимметрии корональных линий важно как можно точнее определить местоположение центра линии. В данной работе рассматриваются влияние вторичного компонента на положение центра основного контура и влияние ошибочного положения центра на величину асимметрии. Показано, что вторичный контур может смещать центр основного контура на величину < 1 км/с и что ошибка положения центра контура на 5 км/с может изменить оценку асимметрии в несколько раз. Предложен метод определения центра наблюдаемого асимметричного контура, суть которого заключается в следующем: принимая основной контур гауссовским, записываются доплеровские выражения для четырех точек красного крыла; из этих выражений вычисляется центр линии.

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ АСИМЕТРІЇ КОРОНАЛЬНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЙ, Мамедов С. Г., Кулі-Заде Д. М., Ісмаїлли Р. Ф. — При дослідженні асиметрії корональних ліній важливо якомога точніше визначити місцеположення центра лінії. У роботі вивчається вплив вторинного компонента на положення центра основного контура і вплив помилкового положення центра на величину асиметрії. Показано, що вторинний контур може зсувати центр основного контура на величину < 1 км/с і що помилка положення центра контура на 5 км/с може змінити оцінку асиметрії у кілька разів. Запропоновано метод визначення центра спостереженого асиметричного контура, сенс якого полягає у тому, щоб вважаючи основний контур гауссівським, записати доплерівські вирази для чотирьох точок червоного крила; із цих виразів обчислюється центр лінії.

SOME PROBLEMS OF ASYMMETRY OF CORONAL SPECTRAL LINES, by Mamedov S. G., Kuli-Zade D. M., Ismailli R. F. — In the study of the asymmetry of the coronal lines researcher trying to determine as accurately as possible the location of the center line. In this paper we investigate the influence of the secondary component on the position of the center of the main profile and the effect of the erroneous position of the center on the value of the asymmetry. It is shown that the secondary profile can shift the center of the main profile by the value < 1 km/s. It is shown that an erroneous position of the center of the profile by an amount of up to 5 km/s can change the value of the asymmetry several times. A method for determining the center of the observed asymmetric profile was proposed, the essence of which is as follows: taking the main profile as Gaussian, Doppler expressions for the four points of the red wing are determined allowing to calculate the position of the centre.

ВВЕДЕНИЕ

Асимметрия профилей корональных спектральных линий в далеком ультрафиолетовом и в рентгеновском участках спектра Солнца, образующихся в переходной зоне хромосфера — корона и в короне известны с 1970-х гг. первых спектроскопических внеатмосферных наблюдений Солнца. Однако этот вопрос более интенсивно исследуется в последнее десятилетие.

Следует подчеркнуть, что в подавляющем большинстве случаев асимметрия является «фиолетовой», т. е. синее крыло линий интенсивнее красного крыла, что свидетельствует о потоке массы и энергии в сторону короны. В связи с этим много работ посвящено исследованию обеспечения массой короны и нагреву короны этими движениями [6].

Обычно считается, что асимметричный контур является суммой двух контуров: первичного, более сильного контура, и вторичного, слабого контура, смещенного относительно первичного контура, соответствующего скоростям движений от нескольких десятков до 200 км/с и более. Интенсивность вторичного контура составляет около десяти и менее процентов интенсивности первичного контура; первичный контур создается фоновым излучением активной области, а вторичный контур создается потоком частиц, направленным вверх.

Исследуя структуру (форму) асимметричной линии, исследователи стараются определить оптические параметры контуров, составляющих данную линию, а именно: местоположение центра первичного контура, величину смещения вторичного контура, соотношение интенсивностей, а также величины доплеровских ширин обоих контуров.

С этой целью в работе [10] впервые был применен способ, получивший название RB-асимметрии, суть которой заключается в следу-

ющем: наблюдаемый контур аппроксимируется одним гауссовским контуром (SGF — single Gaussian fit), при этом находится центр линии; далее, задавая некоторый интервал длин волн внутри контура, интенсивность контура внутри этого интервала на красном крыле вычитается из интенсивности того же интервала на синем крыле. Такие процедуры делаются для всего контура. Вся процедура позволяет определить значения оптических параметров, перечисленных выше.

Для определения искомым оптических параметров к одним и тем же контурам в работе [2] применена аппроксимация как одним, так и двумя гауссовскими контурами (double Gaussian fit). В последнем случае задается семь параметров для всего контура. Было найдено, что при двойной гауссовской аппроксимации значения скоростей движения потока, создающего вторичный контур, заметно больше. В работе [7] с помощью метода SGF были обнаружены периодические изменения значений оптических параметров, вызванных распространением замедленных магнитозвуковых волн. В работе [7] методом SGF найдено, что величина доплеровских смещений и доплеровских ширин уменьшается от центра диска к лимбу.

В работе [5] методом SGF и RB-разности для скоростей движений второго компонента нашли значения 75—125 км/с. Положение центра линии определяется после аппроксимации наблюдаемой линии гауссовским профилем. В работе [3] рассмотрена асимметрия спектральных линий переходной зоны спокойных областей на диске Солнца. Асимметрия этих линий исследовались методом SGF. Были найдены значения восходящих и нисходящих движений со скоростями 50—100 км/с. В работах [8, 9] аналогичным способом были найдены скорости 50—100 км/с для вторичного компонента.

При исследовании асимметрии корональных спектральных линий определению местоположения центра наблюдаемой спектральной линии уделяется особое внимание, особенно если асимметрия выражена слабо. По этой причине в работе [8] центр наблюдаемой линии Fe XIII

20.204 нм определяли пятью различными способами, аппроксимируя весь наблюдаемый контур одним доплеровским контуром, при этом использовались три точки на контуре на фиолетовом и красном крыльях контура. Нетрудно сообразить, что на положение центра линии будет влиять наличие дополнительного излучения в синем крыле линии, обусловленного вторичным контуром. Определяемые такими способами значения центра рассматриваемой линии находятся в пределах 20.205001—20.204687 нм. Кстати, этим значениям соответствует интервал скоростей 9—5 км/с движения вниз слоя короны, ответственного за первичный (основной) контур этой линии (отметим, что авторы не обратили внимание на этот очень важный момент).

Значения асимметрии определялись по выражению

$$RB = \sqrt{\frac{1}{w}} \frac{I_B - I_R}{I_0}.$$

Здесь I_B и I_R — значения полных интенсивностей синего и красного крыльев соответственно, w — ширина выделяемого участка контура (в единицах скорости), $w = 30$ км/с — доплеровская ширина, I_0 — центральная интенсивность линии.

Расчеты, проведенные в работе [13] с использованием наблюдаемого контура линии Fe XIII 20.2 нм, показали, что при смещении положения центра линии на 1 км/с величина асимметрии изменяется на 0.018. (Мы этот момент ниже исследуем более подробно). Авторы определили значения асимметрии различных корональных линий и пришли к заключению, что в областях свечения мосс величина асимметрии не превышает 10 %.

В работе [13] исследовалось изменение асимметрии наблюдаемых линий на основе наблюдательного материала, полученного в течение пяти дней. В начале наблюдений область мосс находилась в центре диска. При определении асимметрии контур усреднялся по площади мосс. Как видно из табл. 3 работы [13], изменения асимметрии происходят беспорядочно. Нам кажется, что это может быть результатом изменения направления движений (вверх-вниз) областей мосс с течением времени.

Наша работа посвящена исследованиям влияния вторичного компонента на положение центра суммарного контура и неточного определения положения центра исследуемого контура линии на величину асимметрии, а также изменению величины асимметрии при движении изучаемого объекта от центра диска к краю.

В работе предлагается новый метод определения центра линии.

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОГО КОНТУРА НА ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА СУММАРНОГО КОНТУРА

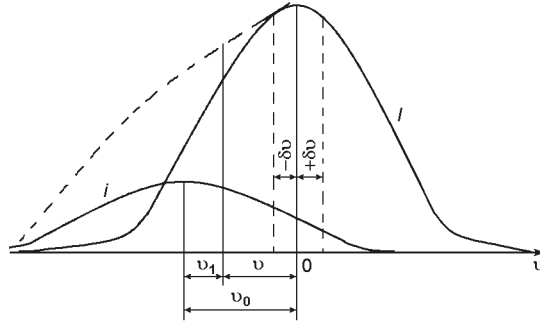
Как сказано выше, асимметричный контур является суммой двух доплеровских контуров (рис. 1): основного более сильного контура I и слабого вторичного контура i , центр которого смещен в синюю сторону на величину x_0 . Контур задан в единицах скорости. Напишем выражение для суммарного контура для точки, находящейся на расстояниях x и x_1 от основного и вторичного контуров соответственно:

$$I(x) = I_0 \exp\left(-\frac{x^2}{w^2}\right) + i_0 \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{w_1^2}\right). \quad (1)$$

Здесь I_0 и i_0 — центральные интенсивности, w и w_1 — и доплеровские ширины основного и вторичного контуров соответственно. Как видно из рис. 1, $x_0 = x_1$.

Принимая в расчетах $i_0 = 0.1I_0$, а также $w = w_1 = 30$, как это было принято в [10], выражение (1) перепишем в виде

Рис. 1. Асимметричный контур: I и i — первичный и вторичный контуры соответственно, v_0 — смещение центра вторичного контура от центра первичного контура; v_1 соответственно — расстояния от центров первичного и вторичного контуров до искомой точки



$$I(v_1) = \exp\left(-\frac{v_1^2}{30}\right) + 0.1 \exp\left(-\frac{(v_1 - v_0)^2}{30}\right). \quad (2)$$

Выражение (2) представляет собой некоторую функцию с одной переменной v_1 , экстремум которой совпадает с центром суммарного контура. Дифференцируя эту функцию по переменной v_1 и приравнявая производную нулю, получим следующее выражение:

$$\frac{v_1}{30} = 0.1 \exp\left(-\frac{(v_1 - v_0)^2}{30}\right) \frac{v_1 - v_0}{15}. \quad (3)$$

Задавая различные значения v_0 , можно найти соответствующие значения v_1 . Напомним, что v_0 — расстояние вторичного контура от центра заданного первичного контура, а v_1 — расстояние от центра вторичного контура до положения экстремума, иначе — до центра суммарного контура. Тогда очевидно, что разность $v_0 - v_1$ представляет собой смещение центра суммарного контура от заданного центра первичного контура.

Расчеты для значений v_0 от нуля до 15 км/с показали, что разность $v_0 - v_1$ не превышает 1 км/с. Можно сказать, что вторичный контур почти не изменяет положение основного (суммарного) контура.

ВЛИЯНИЕ ОШИБОЧНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ЛИНИИ НА ВЕЛИЧИНУ АСИММЕТРИИ

Как сказано во введении, все исследователи при определении величины асимметрии корональных линий особое внимание уделяли точному определению положения центра исследуемой линии. Однако только в одной работе [13] было оценено влияние ошибочного определения положения центра линии на величину асимметрии; было показано, что ошибка в 1 км/с изменяет величину асимметрии на 0.018 единиц. К сожалению, авторы не сообщили, в какую сторону был смещен центр по отношению к смещению вторичного контура. Кроме того, не сообщается знак приведенной величины.

В данной работе мы подробно исследуем влияние ошибочного определения центра линии на величину асимметрии. При определении величины асимметрии мы будем пользоваться выражением из работы [13], заменив суммирование интегрированием. Будем рассматривать два случая: 1) центр смещен в синюю сторону на величину от истинного положения (центр вторичного контура смещен в синюю сторону), и 2) центр смещен на величину в красную сторону от истинного положения центра.

Рассмотрим каждый случай в отдельности.

На рис. 1 величина $-$ представляет собой смещение от истинного положения центра основного контура в синюю сторону, а $+$ — в красную сторону спектра.

Случай 1. Центр смещен в синюю сторону. Используя рис. 1, нетрудно получить следующие выражения.

Для синего крыла —

$$I_B^{(1)}(\lambda_0, \lambda) = \int_0^{\lambda_0} \exp\left[-\frac{0.1}{w} d_1\right]^2 d_1 + 0.1 \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{1}{w} d_1\right]^2 d_1 + \int_0^{\lambda_0} \exp\left[-\frac{0.1}{w} d_1\right]^2 d_1 + 0.1 \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{1}{w} d_1\right]^2 d_1.$$

Для красного крыла —

$$I_R^{(1)}(\lambda_0, \lambda) = \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{0.1}{w} d_1\right]^2 d_1 + 0.1 \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{1}{w} d_1\right]^2 d_1.$$

Случай 2. Центр смещен в красную сторону. Используя рис.1, получим следующие выражения.

Для синего крыла —

$$I_B^{(2)}(\lambda_0, \lambda) = \int_0^{\lambda_0} \exp\left[-\frac{0.1}{w} d_1\right]^2 d_1 + 0.1 \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{1}{w} d_1\right]^2 d_1 + \int_0^{\lambda_0} \exp\left[-\frac{0.1}{w} d_1\right]^2 d_1 + 0.1 \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{1}{w} d_1\right]^2 d_1.$$

Для красного крыла —

$$I_R^{(2)}(\lambda_0, \lambda) = \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{0.1}{w} d_1\right]^2 d_1 + 0.1 \int_0^{\lambda} \exp\left[-\frac{1}{w} d_1\right]^2 d_1.$$

Величины асимметрии были рассчитаны согласно выражению

$$RB^{(i)}(\delta_0, \nu) = \frac{I_R^{(i)}(\delta_0, \nu) - I_B^{(i)}(\delta_0, \nu)}{\sqrt{I_0 w}},$$

где $i = 1, 2$.

Расчеты производились для значений: $\nu_0 = 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40$ км/с, $\delta_0 = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ км/с, $w = 30$ км/с.

На рис. 2 показана зависимость полученных значений асимметрии RB от величин отклонения от истинного положения центра линии при различных значениях скоростей движения вторичной компоненты вдоль луча зрения δ_0 . Напомним, что значения асимметрии при $\delta_0 = 0$ соответствуют случаю истинного положения центра линии. Поэтому значения величины асимметрии при других значениях δ_0 должны сравниваться именно со значениями асимметрии при $\delta_0 = 0$. Любопытно, что для случая смещения центра в синюю сторону изменяется знак асимметрии около $\delta_0 = -3$ км/с; при значениях $0 < \delta_0 < -3$ км/с знак асимметрии отрицателен, а при больших значениях отклонения значение асимметрии становится положительным.

При красном смещении центра изменения знака асимметрии не происходит, и мы видим, что при смещении центра до 5 км/с величина асимметрии увеличивается почти в три раза по сравнению со случаем $\delta_0 = 0$.

Результаты этих расчетов показывают, что при определении величин асимметрии корональных спектральных линий измерение точного местоположения центра линии имеет важное значение.

Зависимость RB от скорости смещения вторичного контура ν_0 (рис. 2) можно интерпретировать и как зависимость изменения RB при переходе от центра к краю. Поскольку большие скорости относятся к центру диска, из рис. 2 следует, что при переходе от центра к лимбу значения RB уменьшаются в 1.5—2 раза. Насколько нам известно, изменение от центра к краю величины асимметрии корональных линий не исследовано; только в работе [13] исследовалось изменение от центра к краю величины асимметрии области «мосс» при пе-

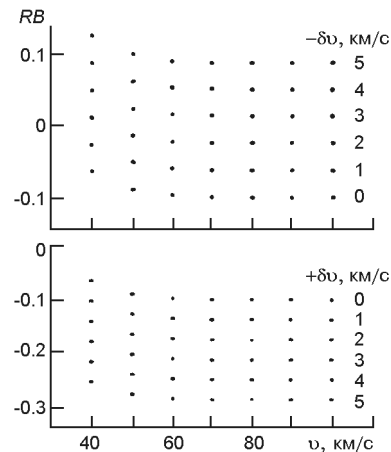


Рис. 2. Зависимость величины асимметрии RB от величины смещения центра основного контура при различных значениях смещения δ_0 центра вторичного контура

ремещении от центра в течение пяти последовательных дней. Исследовались асимметрия нескольких линий. Как видно из табл. 3 этой работы, какая-нибудь закономерность для величин асимметрии не обнаруживается.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ЛИНИИ

Ниже мы предлагаем метод определения положения центра наблюдаемого профиля линии с использованием четырех точек профиля, который, как нам кажется, значительно точнее, чем методы, приведенные в работе [13], где используются точки в обоих крыльях линии. Нетрудно догадаться, что при использовании обоих крыльев синее крыло, искаженное наличием вторичного контура, значительно исказит положение центра линии, что хорошо видно из табл. 1 работы [10]: положения центра линии 20.205 нм, полученные различными методами, отличаются на 0.269 пм, что равносильно смещению на 4 км/с. Как можно видеть из рис. 1, это приведет к изменению оценки асимметрии по сравнению с точным положением центра линии в 5-6 раз (см. табл. 1 работы [13]). Как можно видеть, значения центральной длины волны и значения асимметрии, полученные разными методами, различаются до восьми раз. Мы считаем, что причиной этому является использование точек на синем, искаженном крыле линии.

Суть предлагаемого нами метода заключается в следующем. На рис. 3 сплошной кривой показан суммарный асимметричный контур, а штриховой — смещенный вторичный контур. После того как будут определены параметры основного контура, мы сможем восстановить профиль вторичного контура и величину его смещения. С этой целью мы предлагаем воспользоваться четырьмя точками x_1 , x_2 , x_3 и x_4 на красном крыле основного контура, как указано на рис. 3. Примем, что контур является доплеровским. Но местоположение центра этого доплер-контура неизвестно. Поэтому отсчеты по длине волны мы будем брать от некоторой произвольной точки x_1 на оси длины волны. Эта произвольная точка находится на некотором расстоянии dx от положения центра линии. Если мы найдем x , мы точно установим местоположение центра основного контура.

Теперь мы можем записать выражения для четырех точек на красном крыле основного контура, отстоящих от произвольно выбранной

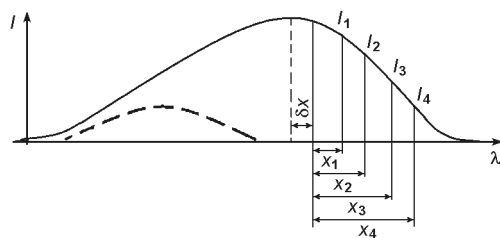


Рис. 3. Схематический асимметричный контур; сплошная линия — суммарный контур, прерывистая — смещенный вторичный контур; x_1 , x_2 , x_3 и x_4 — выбранные точки на оси длины волны, I_1 , I_2 , I_3 и I_4 — соответствующие интенсивности; x — расстояние от выбранных точек до центра профиля, которое подлежит определению

точки на расстояниях x_1, x_2, x_3 и x_4 . Ясно, что расстояния этих точек от центра основного контура соответственно будут равны: $x + x_1, dx + x_2, dx + x_3$ и $dx + x_4$. Запишем выражение для интенсивности в точке x_1 :

$$I(x_1) = I_0 \exp \frac{(x - x_1)^2}{x_d^2}.$$

Аналогичные выражения можно записать для точек x_2, x_3 и x_4 . Производя элементарные преобразования, получим

$$x = \frac{(x_2^2 - x_1^2) I(x_4 - x_3) - I(x_4 - x_3)^2}{2I(x_4 - x_3) - 2(x_2 - x_1)},$$

где

$$I = \frac{\ln I_1}{\ln I_2}, I_1 = \frac{I(x_1)}{I(x_2)}, I_2 = \frac{I(x_3)}{I(x_4)}.$$

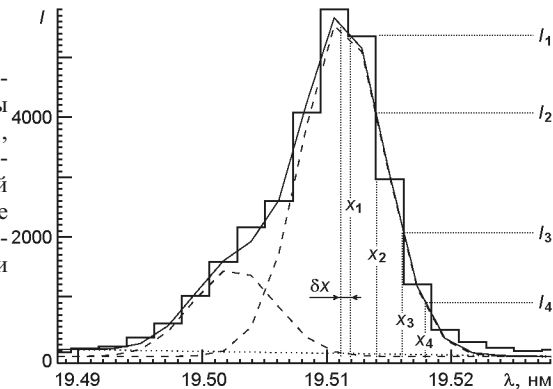
Значения интенсивностей мы берем из наблюдаемого контура.

Таким образом мы находим положение центра основного доплеровского контура. Зная x , мы можем определить значение доплеровской ширины основного контура x_d . Далее, определив значение центральной интенсивности основного контура, мы можем восстановить весь основной контур и окончательно вид второго контура и его смещение, что и является нашей целью.

Применим методику, изложенную выше, к наблюдаемому контуру линии Fe XII 19.512 нм из работы [1] (рис. 4).

Используя выражение для x , мы нашли, что $x = 0.7$ пм.

Рис. 4. Асимметричный контур линии Fe 19.512 нм, взятый из работы [1]; показаны выбранные точки x_1, x_2, x_3 и x_4 по оси длин волн и соответствующие значения интенсивностей $I(x_1), I(x_2), I(x_3)$ и $I(x_4)$. В качестве произвольной точки выбрано положение центра несмещенной линии 19.512 нм



После того как мы определили положение первичного контура, мы можем определить его доплеровскую ширину, которая равна ширине контура, где интенсивность равна I_0/e (I_0 — интенсивность в центре линии). Тогда для первичного контура находим значение доплеровской ширины: $x_d = 5$ пм.

Зная температуру ионизации Fe XII ($T_i = 2 \cdot 10^6$ К) и используя выражение

$$\Delta \lambda = \lambda_0 \sqrt{\frac{2kT}{m}} V_{nt}^2,$$

находим значение нетепловых скоростей $V_{nt} = 71$ км/с.

При нахождении значения x мы совмещали x_1 с центром несмещенной линии 19.512 нм. В таком случае найденное значение представляет собой величину доплеровского смещения первичного контура. Так как контур смещен в фиолетовую сторону, то величина смещения этого контура составит $\Delta \lambda_{sh} = 0.7$ пм, что соответствует скорости $V = 11$ км/с, направленной вверх.

Вторичный компонент смещен в фиолетовую сторону на величину $\Delta \lambda_{sh} = 10$ пм, что соответствует значению скорости $V = 154$ км/с, направленной вверх.

Значение доплеровской ширины второго компонента точно такое же, как для первичного компонента, т. е. 5 пм. Это соответствует предположению других исследователей о равенстве доплеровских ширин обоих контуров.

Для линии Fe 19.239 нм находим:

- для первичного компонента $\Delta \lambda_{sh} = -0.4$ пм (-6.2 км/с),
 $\Delta \lambda_d = 3.4$ пм (46.4 км/с);
- для вторичного компонента $\Delta \lambda_{sh} = -8.5$ пм (-132 км/с),
 $\Delta \lambda_d = 4.6$ пм (65 км/с).

Для линии Fe XIII 20.205 пм находим:

- для первичного компонента $\Delta \lambda_{sh} = 0$,
 $\Delta \lambda_d = 5$ пм (71 км/с),
- для вторичного компонента $\Delta \lambda_{sh} = -9$ пм (133 км/с),
 $\Delta \lambda_d = 4.5$ пм (63.4 км/с).

Заметим, что тепловая скорость ионов Fe XII и Fe XIII при температуре ионизационного равновесия $T = 1.6 \cdot 10^6$ составляет 22 км/с. Значит, скорости нетепловых движений в $2-2.5$ раза больше тепловых скоростей, и спектральные линии в основном расширены нетепловыми движениями.

Отметим, что значения скоростей нетепловых движений, найденные выше, находятся в пределах значений, найденных в других исследованиях [5, 8, 13].

ВЫВОДЫ

В данной работе исследуется проблема нахождения положения центра асимметричных корональных линий, что представляет значительный интерес при исследовании величины потока массы в корону с нижних слоев атмосферы Солнца.

Мы получили следующие результаты.

1. Было исследовано влияние контура вторичного компонента на положение центра первичного компонента спектральной линии; с

этой целью, задавая величины смещения вторичного контура от 10 до 80 км/с, мы находили положение экстремума суммарного контура. Было найдено, что положение центра суммарного контура может отличаться от положения центра первичного контура на < 1 км/с. Можно сделать заключение о том, что наличие вторичного контура не изменяет положение центра основного контура.

2. Мы исследовали влияние ошибочного положения центра наблюдаемой линии на величину асимметрии. С этой целью, смещая центр линии на величину от 0 до ± 5 км/с, мы вычисляли значения асимметрии при значениях скоростей смещения вторичного компонента от 30 до 100 км/с. Расчеты показали, что при этом величина асимметрии может изменяться в несколько раз, даже может изменяться знак. Эти расчеты еще раз показывают, насколько чувствительны значения величины асимметрии к выбору положения центра линии. Исследователи были правы, когда они старались с особой тщательностью определить местоположение центра линии.

3. В данной работе мы предлагаем наиболее точный, как нам кажется, метод определения центра наблюдаемой линии. Суть метода заключается в следующем. Приняв наблюдаемый первичный контур гауссовским, мы по четырем точкам красного крыла вычисляем положение центра первичного контура. Это дает возможность определить: доплеровскую ширину первичного контура, величину смещения центра основного контура (что дает возможность определить скорость движения слоя, ответственного за основной контур), величину смещения и профиль вторичного контура.

Предлагаемый метод был применен к асимметричным контурам, приведенным в работе [1]. Полученные значения искомых параметров контуров находятся в пределах значений, найденных в работе [1]. К сожалению, точное местоположение исследуемых нами контуров в наблюдаемой авторами области неизвестно, и мы не имеем возможности сравнивать полученные значения параметров.

Выражаем глубокую благодарность анонимному рецензенту за ценные замечания, которые позволили улучшить текст статьи.

1. *Bryans P., Young P. R., Doschek G. A.* Multiple component outflows in an active region observed with EUV imaging spectrometer on HINODE // *Astrophys. J.*—2010.—**715**.—P. 1012—1020.
2. *De-Pontieu B., McIntosh S. W., Hansteen V. H., Schruver C. J.* Observing the roots of solar coronal heating — in the chromosphere // *Astrophys. J.*—2009.—**701**.—P. L1—L6.
3. *De Pontieu B., McIntosh S. W.* Quasi-periodic propagating signals in the solar corona: the signature of magnetoacoustic waves or high-velocity upflows // *Astrophys. J.*—2010.—**722**.—P. 1013—1029.
4. *Doschek G. A.* The dynamic and heating of active region loops // *Astrophys. J.*—2012.—**754**.—P. 153—170.
5. *Hara H., Watanabe T., Harra L. K., et al.* Coronal plasma motions near footpoints of active region loops revealed from spectroscopic observations with HINODE EIS // *Astrophys. J.*—2008.—**678**.—P. L67—L71.

6. *Kjeldseth O. Moe, Nikolas K. R.* Emission measures, electron densities and non-thermal velocities from optically thin UV lines near a quiet solar limb // *Astrophys. J.*—1977.—**211**.—P. 579—587.
7. *Klimchuk A. K.* The role of type II spicules in the upper solar atmosphere // *J. Geophys. Res.*—2012.—**117**.—P. A12102—A12113.
8. *Martinez-Sukora J., De Pontieu B., Hansteen V., McIntosh S. W.* What do spectral line profile tell us about the solar atmosphere? // *Astrophys. J.*—2011.—**732**.—P. 84—110.
9. *McIntosh S. W., De Pontieu B.* High-speed transition region and coronal upflows in the quiet sun // *Astrophys. J.*—2009.—**707**.—P. 524—538.
10. *Patrouskas S., Klimchuk J. A., Yang P. R.* Core and wing densities of asymmetric coronal spectral profiles: implications for the mass supply of the solar corona // *Astrophys. J.*—2014.—**781**.—P. 58—70.
11. *Peter H.* Asymmetries of solar coronal extreme ultraviolet emission lines // *Astron. and Astrophys.*—2010.—**521**.—P. A51—68.
12. *Tian H., McIntosh W. S., Xia L., et al.* What we can learn about coronal mass ejections, coronal dimming and extreme ultraviolet jets through spectroscopic observations // *Astrophys. J.*—2012.—**748**.—P. 106—127.
13. *Tripathi D., Klimchuk A.* Asymmetries in spectral lines and emissions measure distribution // *Astrophys. J.*—2014.—**779**.—P. 1—13.

Статья поступила в редакцию 05.01.15