

ASTROFİZİKA

УДК 523.7

О ВОЛНАХ МОРЕТОНА В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА

Д.М.КУЛИ-ЗАДЕ*, А.А.ПЕВЦОВ**, С.Г.МАМЕДОВ***,
Н.С.ДЖАЛИЛОВ***, Ф.МУСТАФА***

*Бакинский Государственный Университет

**Национальная солнечная обсерватория США

***Шемахинская астрофизическая обсерватория

Рассмотрены две модели образования волн Моретона для объяснения наблюдаемой картины этих волн в линии $H\alpha$. Показано, что при никаких значениях оптических параметров облака (функции источников, оптической толщины, доплеровской ширины и доплеровского смещения) невозможно получить наблюдаемую кривую яркости фронта волны внутри линии $H\alpha$. Показано, что наблюдаемую картину фронта волны Моретона можно получить только путем смещения всей линии поглощения $H\alpha$. На основании этого сделан вывод о том, что эта волна распространяется в области формирования линии поглощения $H\alpha$. Иными словами, в фотосфере и нижней хромосфере.

Ключевые слова: Солнце, солнечная атмосфера, фотосфера, волны Моретона

Волна Моретона была открыта в 1960 году [1,2] при наблюдении монохроматических изображений солнечного диска в линии $H\alpha$ водорода, которые получались последовательно как в центре линии, так и на расстояниях $\pm 0.5\text{\AA}$ от ее центра на красном и синем крыльях. Фронт волны состоит из двух частей: ведущий (leading front) и последующий (following front). Ведущий фронт на изображениях в красном крыле наблюдается в поглощении, а на изображениях в синем крыле наблюдается как яркое образование. Видимость последующего фронта наоборот: на красном крыле фронт наблюдается как яркое образование, а на синем крыле наблюдается в поглощении. Очень важно отметить, что в последующих наблюдениях различных авторов наблюдается такая же картина, скорость распространения волны Моретона составляет 500-4500 км/с. Ширина фронта по оценкам различных авторов составляет 50 000-150 000 км [3, 4, 5, 11]. Волна распространяется на расстояние большее

радиуса Солнца.

Принято считать, что волна Моретона распространяется в верхней хромосфере, где скорость звука составляет ~ 18 км/с ($T=1.6 \cdot 10^4$ К), а скорость волны Альфвена составляет ~ 55 км/с ($\rho=3 \cdot 10^{10}$, $H=5$ гаус). Согласно [5] в короне скорость распространения волны Альфвена составляет 700 км/с. В таком случае число Маха ударной волны было бы больше 10. Такая ударная волна, распространяющаяся в хромосфере, быстро затухла бы, и не возможно было бы ее распространение на большие расстояния, как это получается из наблюдений. По этой причине в [5] было выдвинута идея о том, что наблюдаемая волна Моретона физически связана с распространением волны в короне.

Теорию распространения волны Моретона в короне, впервые разработал Uchida [6]. По этой теории генерируемая солнечной вспышкой МГД волна, распространяющаяся в короне, отражаясь от коронального слоя с большей альфвеновской скоростью, направляется вниз в сторону хромосферы и отражаясь от нее с меньшей альфвеновской скоростью направляется в сторону короны. Этот процесс повторяется неоднократно. Таким образом, волна распространяется в некотором коридоре слоев с большей и меньшей скоростью альфвеновских волн. При движении вниз волна давит на хромосферу и вещество хромосферы движется вниз. При движении вверх вещество хромосферы движется вверх. Этот процесс наблюдается как волна Моретона. По этой теории волна Моретона не является собственной волной, а является следом, распространяющейся в короне волны в хромосфере.

Когда в 1999 году была открыта EIT – волна в корональных линиях, исследователи считали, что эта и есть корональная волна, предсказанная Uchida [7]. Однако, так как скорость распространения EIT- волны (около 500 км/с) в несколько раз меньше скорости волны Моретона, то многие исследователи отвергают наличие физической связи между этими двумя событиями. Дискуссии относительно этой проблемы можно найти в обзорных статьях [8,9].

В изучении природы волны Моретона, на наш взгляд, может представлять значительный интерес определение скоростей движений по лучу зрения на фронте этой волны. Данная работа посвящена уточнению как методов определения лучевых скоростей движений на фронте волны, так и их значений. Мы показываем, что наблюдаемые на фронте лучевые скорости обусловлены смещением всей линии поглощения H_{α} и, что значения этих скоростей составляют несколько км/с, а не 20-30 км/с, как получено многими авторами.

Определение лучевых скоростей движений на фронте волны Моретона

По теории Uchida [6] наблюдаемая в линии H_{α} , волна Моретона генерируется сдавливанием верхней хромосферы МГД волнами распространяющейся в короне. Согласно Chen et al [10], данная волна возникает вследствие последовательного открывания магнитных силовых линий СМЕ. В обоих механизмах генерации волны Моретона вещество верхней хромосферы сдавливается вниз, это «создает» передний фронт (leading front) волны. Такое движение проявляет себя в том, что передний фронт наблюдается в красном крыле линии H_{α} в поглощении, а в синем крыле – в эмиссии. Далее, вследствие увеличения давления на фронте сдавливаемое вещество поднимается вверх, и это движение «создает» последующий фронт (following front). Это проявляется в том, что последующий фронт в красном крыле линии H_{α} наблюдается в эмиссии, а в синем крыле – в поглощении.

Лучевые скорости на фронте волны Моретона определялись двумя способами:

- 1) По разности интенсивностей в крыльях линии H_{α} , наблюдаемых на разных расстояниях от центра. Ясно, что этот метод дает величину смещения всей линии поглощения H_{α} и полученная лучевая скорость отражает движение всей области формирования этой линии.
- 2) По расстоянию от центра линии, на котором проводились наблюдения. При этом фронт волны принимается в виде облака в верхней хромосфере и по этому расстоянию определяется величина лучевой скорости этого облака, являющегося моделью фронта волны.

Идея измерения лучевых скоростей фронта волны Моретона смещением всей линии поглощения H_{α} впервые было высказана в 1968 году Dodson and Hedeman [11]. Однако, они не определили смещение линии поглощения.

Švestka [13] методом доплерограм, получил, что скорость лучевых скоростей на фронте волны составляет 6-10 км/с. Он предполагает смещение всей линии поглощения. Balasubramaniam и др.[14] таким же методом 2.6 км/с. Narukage и др [15] так же пытались определить лучевые скорости методом доплерограм, однако в работе величины скоростей не приведены.

В работе Warmuth et al [16] приведены кривые лучевых скоростей на фронте волны Моретона, полученные методом доплерограм. К сожалению, лучевые скорости приведены в произвольных единицах.

По личному сообщению B.Višnak, точность определения абсолютных значений лучевых скоростей низка и скорость распространения может находиться в интервале 1-10 км/с. По-видимому, в качестве среднего значения скорости распространения можно принять 5 км/с. Что касается влияния изменение температуры и давления на контур линии по-

глощения H_{α} вообще, следует сказать, что любые изменения физических условий в области формирования этой линии не может привести к асимметрии профиля этой линии. И, поэтому, полученный доплеровский сигнал будет целиком обусловлен доплеровским смещением линии поглощения. С другой стороны, если предположить, что с прохождением волны Моретона изменяются физические условия в области формирования линии поглощения H_{α} , то в этом случае мы должны признать, что данная волна проникает в область формирования этой линии, то есть в фотосферу.

В работе Muhr и др [17] приведены кривые изменения лучевых скоростей, определяемые методом доплерограм на фронте волны в линии H_{α} для разных расстояний и различных моментов времени. К сожалению, и в этой работе скорости даны в произвольных единицах. Этим же методом Meyer [5] получил, что лучевая скорость на фронте волны 10 км/с. А в работе Balasubramaniam и др. [22] скорости не приведены.

Волна Моретона наблюдалась рядом авторов в центре линии H_{α} и на различных расстояниях от её центра: Warmuth и ор Narurge и ор [12], ($\Delta\lambda = \pm 0,8\text{\AA}$) Dodson, H. and Hedeman, [11], Narukage и ор, [15], Pick и ор [20], Muhr и ор [17] ($\Delta\lambda = \pm 0.5\text{\AA}$), \AA Balasubramaniam и ор [4, 22], Veronic и ор [21] ($\Delta\lambda = \pm 0.4$), Veronic и ор [21] ($\Delta\lambda = -0.3\text{\AA}$).

По второму методу, как сказано выше, лучевые скорости на фронте волны определялись по расстоянию от центра линии H_{α} , на котором видна волна. По этому методу получены значения 30 км/с. (Uchida [6]), 23 км/с и 37 км/с (Narukage et al [15]).

Как видим, в случае определения по методу доплерограм значения лучевых скоростей (при котором предполагается смещение всей линии поглощения H_{α}) составляет всего несколько км/с. В случае же определения лучевых скоростей на фронте по второму методу лучевая скорость получается почти на порядок больше.

Конечно, доплеровский сигнал может давать и случай, когда имеет место асимметрия линии поглощения, вызванная движением некоторых образований, которые дают поглощение или эмиссию в крыле линии. Доплеровский сигнал, вызванный этим образованием, можно воспринимать как смещение всей линии поглощения. Но в случае волны Моретона, как увидим ниже, на ведущем фронте красное крыло линии H_{α} целиком опущено, а синее крыло целиком приподнято (и наоборот во вторичном, следующем фронте). Это может иметь место только тогда, когда смещена вся линия поглощения.

Следует особо подчеркнуть, что во всех работах, посвященных исследованию волны Моретона, авторы подчеркивают, что волна распространяется в в верхней хромосфере и, поэтому, фронт волны Альфвена можно рассмотреть как облако, совершающее радиальные движения вверх- вниз и распространяющееся со скоростью ~ 1000 км/с в хромосфере.

Расчет контура спектральной линии H_{α} на фронте волны Моретона

Как было сказано выше, разные авторы получали монохроматические изображения волны Моретона на различных расстояниях от центра линии H_{α} ($\Delta\lambda = \pm 0.8, \pm 0.6, \pm 0.5, \pm 0.4, \pm 0.3 \text{ \AA}$). Наблюдения неизменно показывают, что на всех расстояниях от центра линии H_{α} на красном крыле ведущий фронт (leading front) наблюдается в поглощении, а в синем крыле – в эмиссии. На последующем фронте (following front) – наоборот.

В обоих фронтах в центре линии фронт наблюдается в эмиссии. Таким образом, в ведущем фронте красное крыло опущено по сравнению с невозмущенным контуром соседнего участка диска, а синее крыло приподнято. В последующем фронте картина обратная. В обоих фронтах центр линии приподнят по сравнению с невозмущенным контуром.

Конечно, контур линии H_{α} от фронта волны Моретона никто не наблюдал из-за большой скорости распространения и из-за того, что визуально ее почти невозможно видеть. Но, на основании вышесказанного можно уверенно нарисовать контур линии H_{α} от фронта, принимая во внимание, что физическая структура всех наблюдаемых волн Моретона приблизительно одинакова, по крайней мере по отношению скоростей движений на фронте волны. Для ведущего фронта схематически это приведено на рис. 1. Для последующего фронта картина будет обратная.

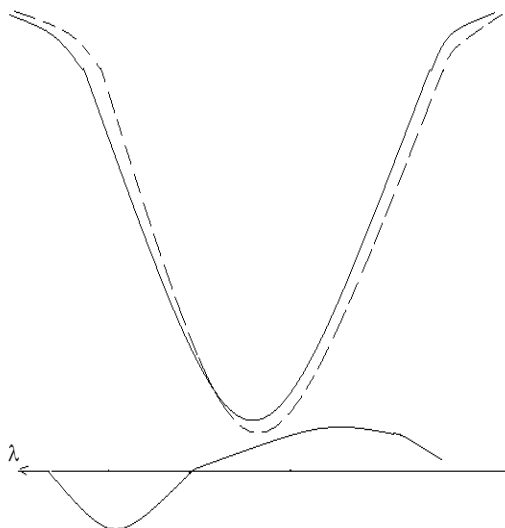


Рис. 1. Схематический контур линии H_{α} . Сплошная линия контур фронта волны Моретона, прерывистая линия контур соседнего невозмущенного участка. Внизу – разность этих контуров.

На рис. 1 сплошная кривая есть схематический контур линии H_{α} от передней части фронта волны Моретона, прерывистая – контур линии от соседнего невозмущенного участка диска Солнца. Нижняя кривая представляет собой разность этих контуров.

В качестве модели переднего фронта волны примем модель облака, которое находится в верхней хромосфере и движется радиально вниз с некоторой скоростью. Облако в качестве модели фронта волны Моретона рассматривалось ранее в работах [25, 26, 33].

Теперь нашей задачей является рассчитать контур линии H_α поглощения исходящего от облака по лучу зрения. При этом мы должны учитывать как эффект поглощения проходящего через слои облака (фронта) излучения Солнца и собственного излучения облака.

Контур линии H_α выходящего излучения можно определить формулой

$$I(\Delta\lambda) = I_0(\Delta\lambda)e^{-\tau(\Delta\lambda)} + \int_0^{\tau} S(\tau)e^{-\tau(\Delta\lambda)} d\tau(\Delta\lambda). \quad (1)$$

Первый член в этом выражении учитывает величину проходящего через облака излучения, второй член представляет собой величину собственного излучения облака.

Общепринято, что волна Моретона находится в верхней хромосфере и ее толщина составляет несколько сотен км. Тогда, мы с уверенностью можем считать, что оптическая толщина в линии H_α меньше единицы ($\tau_0 < 1$). Тогда, функцию источников S можно принять постоянной в облаке (т.е. в слоях фронта волны) и ее можно вынести за знак интеграла. В таком случае из (1) получаем:

$$I(\Delta\lambda) = I_0(\Delta\lambda)e^{-\tau(\Delta\lambda)} + S(1 - e^{-\tau(\Delta\lambda)}) \quad (2)$$

Здесь $\Delta\lambda$ - расстояние от центра линии, $I_0(\Delta\lambda)$ – невозмущенный контур линии поглощения H_α от соседних участков солнечного диска,

$$\tau(\Delta\lambda) = \tau_0 e^{-\left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_D}\right)^2}, \quad (3)$$

где $\Delta\lambda_D$ - доплеровская ширина линии.

Движению облака вверх-вниз с лучевой скоростью v соответствует смещение $\pm\Delta\lambda_{sh}$ центра поглощения облака внутри линии H_α . Здесь знак $+$ соответствует случаю движения облака вниз, а знак $-$ движению облака вверх. Тогда, с учетом с движения облака по лучу зрения, выражение (3) примет вид:

$$\tau(\Delta\lambda) = \tau_0 e^{-\left(\frac{\Delta\lambda \pm \Delta\lambda_{sh}}{\Delta\lambda_d}\right)^2}. \quad (4)$$

Задавая значения параметров S , τ_0 , $\Delta\lambda_D$ и смещения $\Delta\lambda_{sh}$ контур линии поглощения H_α можно вычислять по выражению (2) и (4).

На рис.2 показано схематическое изображение для расчета профиля линии H_α от фронта волны Моретона для случая модели облака. Центр профиля поглощения (которую мы принимаем доплеровскую) смещен на величину $\Delta\lambda_{sh}$ вследствие наличия лучевой скорости облака. Как

можно видеть из схематического изображения, расчет следует делать для следующих трех участков:

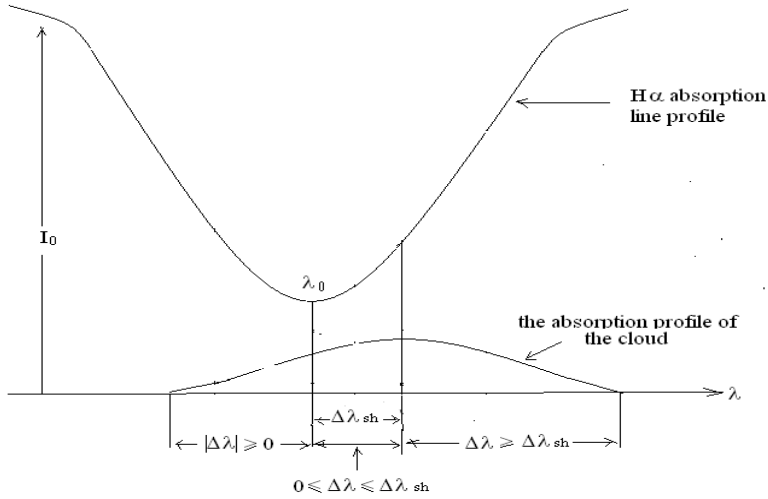


Рис. 2. Схематическое изображение для расчета контура линии H_{α} от фронта волны Моретона для модели облака.

1). При $\Delta\lambda \geq \Delta\lambda_{sh}$ можем написать:

$$I(\Delta\lambda) = I_0(\Delta\lambda) e^{-\tau(\Delta\lambda - \Delta\lambda_{sh})} + S \left[1 - e^{-\tau(\Delta\lambda - \Delta\lambda_{sh})} \right]. \quad (5)$$

2). При $0 \leq \Delta\lambda \leq \Delta\lambda_{sh}$ получим, что

$$I(\Delta\lambda) = I_0(\Delta\lambda) e^{-\tau(\Delta\lambda_{sh} - \Delta\lambda)} + S \left[1 - e^{-\tau(\Delta\lambda_{sh} - \Delta\lambda)} \right]. \quad (6)$$

3) При $|\Delta\lambda| \geq 0$ имеем:

$$I(\Delta\lambda) = I_0(\Delta\lambda) e^{-\tau(\Delta\lambda_{sh} + |\Delta\lambda|)} + S \left[1 - e^{-\tau(\Delta\lambda_{sh} + |\Delta\lambda|)} \right]. \quad (7)$$

Так как фронт волны Моретона в линии H_{α} наблюдается в хромосфере, то температура в ее слоях близка к температуре в протуберанцах и спиколах. Поэтому можно принять $T=10\,000\text{K}$. Этой температуре соответствует доплеровская ширина $\Delta\lambda_D = 0.23\text{\AA}$. Так как в слоях фронта волны могут возбуждаться нетепловые движения, которые могут расширить контур поглощения фронта, то для учета этого эффекта мы несколько увеличили величину доплеровской ширины. Мы в своих расчетах приняли $\Delta\lambda_D = 0.4\text{\AA}$. Следует отметить, что увеличение – уменьшение величины $\Delta\lambda_v$ приведет к увеличению- уменьшению глубины и ширины контура поглощения фронта волны, качественно не изменяя его.

В качестве оптической толщины контура поглощения облака (фронта) мы приняли $\tau_0 = 0.1$ из того соображения, что размер облака составляет всего несколько сотен км [4] и фронт волны едва заметен при наблюдениях. Это значение нам даже кажется несколько завышенным. В

качестве значения функции источников S мы брали значения, большие значения интенсивности центра линии поглощения H_α , т.е. $S > 0.16$, так как только при таких значениях можно получить эмиссию в центре линии, обусловленную облаком.

При фиксированных значениях $\Delta\lambda_D = 0.4 \text{ \AA}$ и $\tau_0 = 0.1$, задавая различные значения функции источников S и лучевой скорости v ($=\Delta\lambda_{sh}$), мы рассчитали контур поглощения от фронта волны для модели облака, используя выражения (2) и (4). Мы пытались получить расчетный контур, похожий на наблюдаемый возмущенный контур от фронта волны.

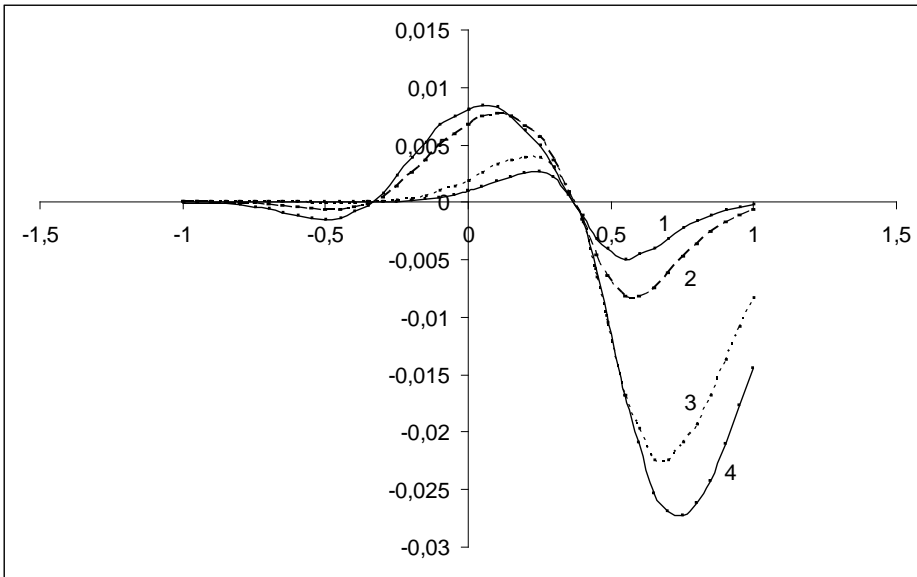


Рис. 3. Кривые зависимости расчетных разностей интенсивностей возмущенного (от фронта волны) и невозмущенного (от соседних участков диска Солнца) контуров линии H_α от расстояния от центра линии для следующих значений оптических параметров: $\tau_0 = 0.1$, $S = 0.25$, $\Delta\lambda_d = 0.4 \text{ \AA}$ и значений смещений $\Delta\lambda_{sh} = 0.2, 0.3, 0.5$ и 0.6 \AA (кривые 1, 2, 3 и 4, соответственно).

Теперь сравним эти расчетные кривые с наблюдаемой кривой, схематически приведенной на рис.1. Оказалось, что ни при каких значениях оптических параметров и скоростей движений вверх-вниз невозможно получить расчетный контур, похожий на наблюдаемые контуры от фронта волны! Расчеты показывают, что во всех значениях параметров можно получить только поярчение в центре линии H_α и поглощение в крыльях. Не возможно получить поглощение в красном крыле и поярчение в синем крыле, как это показывают наблюдения. Это говорит о том, что модель облака для фронта волны Моретона, находящегося в верхней хромосфере, совершенно не годится, так как она не может объяснить наблюдаемый контур линии H_α от фронта.

Расчет контура линии H_α от фронта волны Моретона путем смещения всей линии

Рассмотрим случай смещения всей линии поглощения на фронте волны. Для определения скоростей движений на фронте волны некоторые авторы использовали метод доплерограмм, который предполагает смещение всей линии поглощения. Они получили, что скорость движения составляет несколько км/с. В принципе эта скорость вполне достаточно для объяснения наблюдаемой яркости фронта волны.

На рис. 4 приведен расчет разности интенсивностей смещенного и не смещенного контуров линии H_α для значения скорости движения вдоль луча зрения +5 км/с. Это означает, что движение направлено вниз и мы имеем дело с ведущим фронтом. Как можно видеть, кривая разности интенсивностей качественно хорошо согласуется с кривой разности интенсивностей, приведенной на рис.1, т.е. с наблюдаемой яркостью переднего фронта волны.

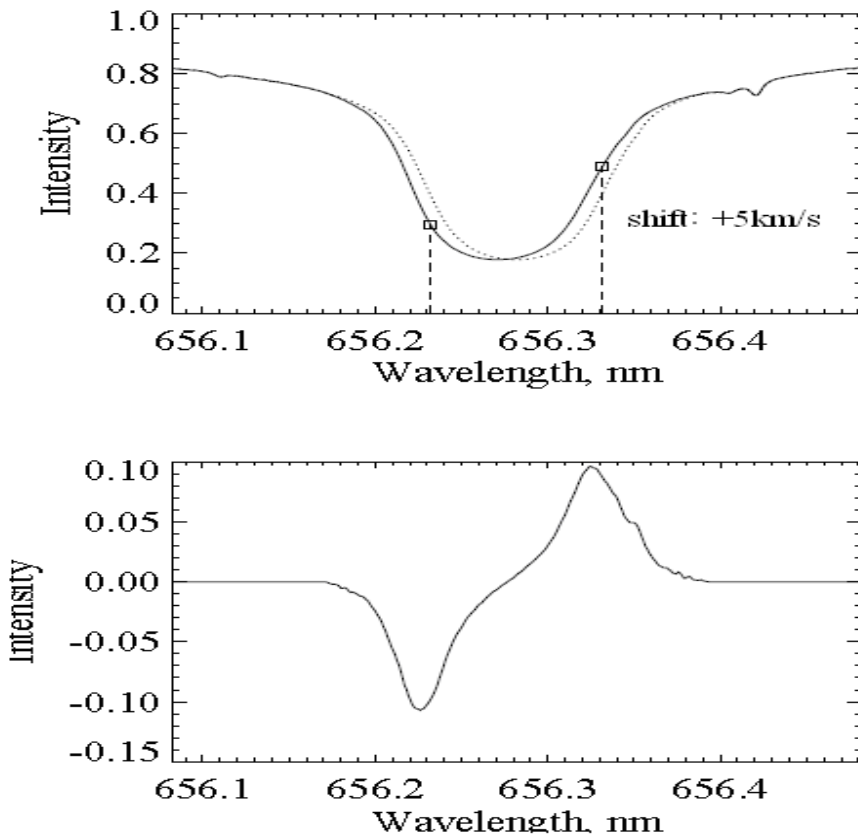


Рис.4. Расчет разности интенсивности невозмущенного (сплошной) и смещенного (пунктирной) контуров при смещении +5км/с. Наверху: невозмущенный и смещенный контуры линии H_α , внизу: разность этих контуров, который представляет собой распределение яркости на ведущем фронте волны Моретона. Как видим, это распределение качественно удовлетворительно согласуется с наблюдаемой яркостью на фронте.

Может ли смещение линии поглощения H_{α} привести к наблюдаемому повышению яркости в центре линии H_{α} на фронте Маритона. Для того, чтобы проверить это, мы рассчитали повышение яркости в центре линии, приняв доплеровскую форму профиля пропускания шириной 0.1\AA . Расчеты показали, что при смещении линии, соответствующее скорости 2.6 км/с яркость центра повышается на $\sim 1\%$, а при скорости движения в 2 км/с , яркость центра повышается на 0.54% . Таким образом, смещение всей линии поглощения H_{α} на фронте волны вполне может объяснить повышение яркости фронта в центре линии.

Похожая на наблюдаемую кривую разностей контуров линий поглощения H_{α} получена в работе Chen et al [10] путем совместного решения уравнений переноса и стационарностей для атома водорода. К сожалению, авторы не сообщают, при каких значениях физических параметров (особенно значений скоростей движений на фронте) были решены эти уравнения. Они получили явное смещение двух контуров поглощения от фронта и соседнего невозмущенного участка поверхности диска Солнца. Это означает, что решением этих уравнений авторы получили смещение всей линии поглощения от фронта по отношению к линии поглощения от соседнего невозмущенного участка диска Солнца. Это говорит о том, что, чтобы получить наблюдаемую картину фронта волны Моретона нужно сместить всю линию поглощения H_{α} . Это, в свою очередь, означает, что волна Моретона охватывает всю область формирования линии поглощения H_{α} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Moreton G. E.: *Astron J.*, 1960, v. 65, p. 494.
2. Moreton G.E., Ramsey H. E.: *PASP*, 1960, v. 72, p. 357.
3. Muhr N., Vrřnak B., Temmer M., Veronig A.M., Magdalenic J.: *ApJ*, 2009, v. 708, p. 1639.
4. Balasubramaniam K. S., Pevtsov A. A., Neidig D.F.: *ApJ*, 2007, v.658, p. 1372.
5. Meyer F.: *Structure and Development of Solar Active Regions*, ed. Kiepenheuer K., O., Dordrecht D. Reidel, 1968, p. 485.
6. Uchida Y.: *SoPh*, 1968 v.4, p. 30.
7. Tompson B.J., Gurman J.B., Neupert J.S., Newmark J.S., Delaboudiniere J.-P., Cyr O. S. St., Stezelberger S., Dere K. P., Howard R.A., Michels D. J.: 1999, *ApJ*, v. 517, p. L151.
8. Warmuth A.: in eds. Klein K.-L., MacKinnon A. L., *Lecture Notes in Physics*, 725, “ The high Energy Solar Corona: Waves, Eruptions, Particles, 2007 p. 107,.
9. Vrřnak B., Cliver E. W.: *SoPh*, 2008, v.253, p.215.
10. Chen P.F., Ding M.D., Fang C.: *Space Sci. Rev.*, 2005, v.121, p.201.
11. Dodson H.W., Hedeman E.R.: *SoPh*, 1968, v. 4, p. 229.
12. Warmuth A., Vrsnak B., Magdalenic J., Hansmeier A., Otruba W.: *A&A*, 2004, v. 418, p. 1117.
13. Švestka Z. *Solar flares* (Dordrecht Reidel), 1976.
14. Balasubramaniam K.S., Pevtsov A.A., Neiding D. F.: *ApJ*, 2007, v. 658, p. 1372.
15. Narukage N., Ishii T.T., Nagata S., Ueno S., Kitai R., Kurokawa H., Akioka M., Shibata K.: *ApJ*, 2008, v. 684, p. L45.
16. Warmuth A., Vrřnak B., Magdalenic J., Hansmeier A., Otruba W.: *A&A*, 2004, v. 418, p.1117.
17. Muhr N., Vrřnak B., Timmer M., Veronig A.M., Migdalenic I.: *ApJ*, 2010, v.708, p.1639.

18. Narukage N., Hudson H. S., Morimoto T., Akiyama S., Kitai R., Kurokawa H., Shibata K.: ApJ, v. 2002, 572, p. L 109.
19. Narukage N., Morimoto T., Kadota M., Kitai R., Kurokawa H., Shibata K.: PASS, 2004, v.56, p. L 5.
20. Pick M., Malherbe J.-M., Kerdraon A.: ApJ, 2005, v. 631, p. L 97.
21. Veronig A.M., Temmer M., Vršnak B., Thallman J. K.: ApJ, 2006, v. 647, p. 1466.
22. Balasubramaniam K.S., Cliver E.W., Pevtsov A.A., Temmer M., Henry T.W., Hudson H.S., Imada S., Moore A.G. R.L., Muhr N., Neiding D.F., Pertie G.J.D., Veronig A.M., Vršnak B., White S. M.: ApJ, 2010, p.587.
23. Vršnak B., Magdanelić J., Timmer M., Veronig A., Warmuth A., Mann G., Aurass H., Otruba W.: ApJ, 2005, v. 625, p. L67.
24. Zhukov A.N., Auchère F.: A& A, 2004, v. 427, p. 705.
25. Gilbert H.R., Holzer E.: ApJ, 2004, v. 610, p.572.
26. Gilbert H.R., Holzer T.E., Thomson B. J.: ApJ, 2004, v. 607, p. 540.
27. Timmer M., Veronig A., Vršnak b. Thalmann T., Hanslmeier A.: Proceedings of the 11th European Solar Physics meeting: "The Dynamic Sun: Challenges for theory and observation" (ESA SP- 600). 11-16 sept., 2005, Leuven, Belgium. Editors: D. Danesy, S. Poedts, A. De Groof and I. Andries. Published on CDROM, 2005, p. 144.
28. Muhr N., Temmer M., Veronig A., Vršak B., Hanslemeier A.: Cent. Eur. Astrphys. Bull. , 2008, v. 32, p.1.
29. Veronig A. M., Temmer M., Vršnak B., Tellemann J.K.: ApJ, 1466, v. 647, p.
30. Pick M., Malherbe J.-M., Kerdraon A., Maia D. J. F.: ApJ, v.631, p. L97.
31. Uchida Y., Altshuler M.D., Newkirk G. Jr.: SoPh, 1973, v.28, p.495.
32. Zhang H.: A&A, 2001, v. 372, p. 676.
33. Athay R.G., Moreton G. E.: ApJ, 1961, v.133, p.935,

GÜNƏŞ ATMOSFERİNDƏ MORETON DALĞALARI HAQQINDA

**C.M.QULUZADƏ, A.A.PEVTSOV, S.Q.MƏMMƏDOV,
N.S.CƏLİLOV, F.MUSTAFA**

XÜLASƏ

Moreton dalğalarının H_{α} xəttində müşahidə olunan mənzərəsini izah etmək üçün o dalğaların əmələ gəlməsinin iki modelinə baxılır. Göstərilir ki, bulud parametrlərinin heç bir qiymətində (mənbə funksiyası, optik qalınlıq, Doppler yarıməni və Doppler sürüşməsi) Moreton dalğa cəbhəsinin müşahidə olunan parlaqlıq əyrisini izah etmək mümkün deyil. Göstərilir ki, Moreton dalğasının müşahidə olunan cəbhə mənzərəsini yalnız H_{α} xəttinin bütövlükdə sürüşməsi ilə izah etmək olar. Bunun əsasında göstərilir ki, Moreton dalğaları H_{α} xəttinin əmələ gəldiyi bölgədə, yəni xromosfer və fotosferdə yayılır.

Açar sözlər: Günəş, Günəş atmosferi, Fotosfer, Moreton dalğaları

ON THE MORETON WAVES IN THE SOLAR ATMOSPHERE

D.M KULI-ZADE, A.A.PEVTSOV, S.G.MAMMADOV, N.S.JALILOV, F.MUSTAFA

SUMMARY

Two models of formation of Moreton waves have been considered to explain the observed views of these waves in H_{α} line. It has been shown that it is impossible to get the observed brightness curve of wave front inside the H_{α} line in no values of optical parameters of clouds (functions of sources, optical depth, Doppler width and Doppler shift). It has been shown that it is possible to get the observed view of Moretone wave front only by means of shifting of all H_{α} absorption lines. On this base, it is concluded that this wave is propagated in the area of formation of H_{α} line absorption, i.e. in the photosphere and, the upper chromosphere.

Key words: Sun, Solar atmosphere, Photosphere, Moreton waves