

ПРОФИЛИ ЛИНИЙ НЕЙТРАЛЬНОГО МАРГАНЦА В ПЯТНАХ, ФАКЕЛАХ И СПОКОЙНЫХ ОБЛАСТЯХ НА СОЛНЦЕ

А.В. Андриенко

Институт астрономии РАН, Терскольский филиал, Терскол, КБР, РФ;
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, Украина

olexa@terskol.com

THE OBSERVED NEUTRAL MANGANESE LINE PROFILES IN SOLAR SPOTS, PLAGES, AND QUITE REGIONS

O. Andriyenko

Линия нейтрального марганца 539.5 нм была включена в долговременную программу наблюдений Солнца как звезды на обсерватории Кит-Пик. В отличие от других фотосферных линий эта линия показала большую переменность с циклом солнечной активности. Амплитуды вариаций эквивалентной ширины и центральной глубины больше 1 %. Линия становится слабее в максимуме и сильнее в минимуме цикла солнечной активности. Подобное «хромосферное» поведение является загадочным.

MnI 539.5 является очень чувствительной к температуре. Однако, необходимо предположить, что температура фотосферы изменяется почти на 3 К, чтобы объяснить наблюдаемые вариации [1]. Вместе с тем по наблюдениям линии углерода 538.0 нм было установлено, что температура фотосферы меняется не более чем на 1.5 К [2].

Как показали НЛТР-расчеты [3], линия 539.5 нм является чувствительной к оптической накачке другой линии марганца. Линия MnI uv1 (279.48 нм) перекрывается с линией MgII k (279.5 нм), поскольку линии 539.5 нм и uv1 имеют один и тот же нижний уровень возбуждения, оптическая накачка от линии MgII k уменьшает населенность этого уровня и линия 539.5 нм становится слабее.

В этой работе представлены результаты наблюдений, полученных в обсерватории Терскол и в обсерватории Тейде. В 2002–2003 гг. наблюдения выбранных линий MnI проводились в обсерватории Терскол (3100 м, Центральный Кавказ). Наблюдения проводились в различных пятнах, факельных площадках и спокойных областях. Были выбраны линии с одинаковыми (0.0 эВ для линий 539.5 и 543.3 нм) и разными (2.14 эВ для линии 542.4 нм и 3.07 эВ для линии 601.7 нм) нижними уровнями возбуждения, чтобы проверить гипотезу оптической накачки.

В 2004 г. были проведены наблюдения линий 539.5 нм и 543.3 нм на телескопе VTT в обсерватории Тейде (2400 м, о. Тенерифе). Были получены профили линий в спокойных областях от центра к краю солнечного диска. Также было сделано несколько сканов активных областей (с профилями линий в каждой точке скана).

Вариации профилей линии 539.5 нм от центра к краю солнечного диска подтверждают фотосферное происхождение линии. Все наблюдаемые линии нейтрального марганца ослаблены в факелах и усилены в пятнах. Из наблюдений невозможно подтвердить или опровергнуть гипотезу оптической накачки. Необходимо провести точные НЛТР-расчеты, способные воспроизвести наблюдаемые профили линий, чтобы разгадать загадку линии MnI 539.5 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Erkapic S., Vince I. // Publ. Astron. Obs. Belgrade. 1995. V. 49. P. 159–162.
2. Gray D.F., Livingston W.C. // Astrophys. J. 1996. V. 470. P. 1470–1478.
3. Doyle J.G., Jevremovic D., Short O.I. et al. // Astronomy and Astrophysics. 2001. V. 369. P. L13–L16.

Neutral manganese 539.5 nm line was included in a list for long time Sun-as-a-star observations at Kitt Peak observatory. Unless other photospheric lines included in the program this line showed an outstanding variability during solar cycle. Amplitudes of the variations are more than 1 % for equivalent width and central depth. The line becomes weaker in maximum and stronger in minimum of solar activity cycle. Such a “chromospheric” behavior is rather enigmatic. It is still unclear what cause this variability.

MnI 539.5 nm line is very sensitive to temperature. Still about 3 K amplitude of photosphere temperature changing with solar cycle is required to fit the manganese line variations (S. Erkapic and I. Vince, 1995). From the other hand Gray and Livingston (1996) obtained 1.5 K amplitude of the temperature variations from observations of carbon 538.0 nm line.

Doyle et al (2001), using NLTE calculations, have shown that MnI 539.5 nm line is sensitive to the optical pumping of other manganese line. Namely the MnI uv1 line (279.48 nm) overlaps with the MgII k line (279.5 nm). As 539.5 nm and uv1 lines have the same lower excitation level, optical pumping from MgII k line decreases population of the level and MnI 539.5 nm line becomes weaker.

This work aims to shed some new light on the problem. It presents results of observations obtained at Terskol observatory and at Teide observatory. During 2002–2003 years observations of MnI 539.5, 542.4, 543.3 and 601.7 nm lines were made at Terskol observatory (3100 m, Central Caucasus). Observations of different spots, plages and quite regions at various heliocentric angles were made in order to collect some statistics. Lines with the same (0.0

eV for 539.5 and 543.3 nm lines) and with different (2.14 eV for 542.4 nm line and 3.07 for 601.7 nm line) lower excitation levels were chosen to check the optical pumping hypothesis.

In 2004 observations of MnI 539.5 and 543.3 nm lines were made on VTT solar telescope at Teide observatory (2400 m, Tenerife). Line profiles in quite regions from center to limb of the solar disk were obtained. Also scans of several active regions (with full line profiles in every dot of a scan) were made.

Center-to-limb variations of 539.5 nm line confirm that it is formed in photospheric layers. All the lines are weaker in plages and stronger in spots. From the observations it is impossible to confirm or reject the optical pumping hypothesis. Accurate NLTE calculations, that can represent observed profiles, are required to solve the MnI 539.5 line enigma.

ДЕКАМЕТРОВЫЕ РАДИОИМПУЛЬСЫ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

А.Н. Афанасьев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
saf@iszf.irk.ru

DECAMETER RADIO PULSES IN THE SOLAR CORONA

A.N. Afanasiev

Одним из интересных видов спорадического солнечного радиоизлучения, наблюдаемого в декаметровом диапазоне длин волн, являются всплески спектрального типа III_d. Регулярные многолетние измерения характеристик таких всплесков с использованием радиотелескопа УТР-2 позволили получить уникальный экспериментальный материал [1]. В настоящее время внимание исследователей в значительной мере направлено на создание адекватной физической модели, объясняющей появление и развитие источников радиоизлучения III_d-типа в солнечной короне. Для интерпретации некоторых данных наблюдений успешно используется простая модель импульсного коронального источника радиоизлучения на второй гармонике локальной плазменной частоты короны, видимого в прямых и отраженных лучах [2]. В частности, такая модель позволяет понять, почему при приближении области источников излучения к центральному солнечному меридиану возникает временное расщепление в узкополосных элементах тонкой структуры динамического спектра и формируется эхоподобная компонента всплесков с нарастающей задержкой. В то же время наблюдения [1] показали, что эхо-компонента может быть как простой (амплитудно-временной профиль на отдельной частоте, как правило, двугорбый), так и сложной (амплитудно-временной профиль имеет квазипериодический характер). При этом задержки между эхо-всплесками могут достигать больших значений (более 5 с на частоте 25 МГц). Приведенные экспериментальные факты не объясняются в рамках вышеупомянутой простой модели импульсного коронального источника радиоизлучения, поскольку в условиях сферически-симметричной короны такая модель дает максимальную задержку между всплесками, равную 3.1 с. В работе [1] высказана гипотеза, согласно которой формирование солнечных декаметровых всплесков с эхо-компонентами происходит в особых гелиофизических условиях солнечной короны в присутствии крупномасштабных регулярных неоднородностей электронной плотности.

В данной работе на основе интегрального представления волнового поля в виде интерференционного интеграла проведено исследование среднего профиля декаметрового радиоимпульса, прошедшего через неоднородную солнечную корону, с учетом рассеяния на турбулентных неоднородностях и сильной регулярной рефракции на крупномасштабных детерминированных неоднородностях электронной плотности. При этом предполагается, что источник, расположенный в короне, является изотропным, точечным и излучает на второй гармонике локальной плазменной частоты импульс малой длительности. С помощью численного моделирования показано, что в условиях присутствия в случайно-неоднородной короне регулярных крупномасштабных неоднородностей электронной плотности локализованного типа возникает регулярная многолучевость, когда излучение приходит в пункт наблюдения по нескольким путям с различными временными задержками. Таким образом, в приемнике, наряду с основным прямым сигналом, формируются несколько эхо-всплесков. Расчеты средних профилей декаметрового импульса и его эхо-всплесков выполнены с учетом поглощения за счет столкновений в корональной плазме. Численное моделирование показало, что максимальная временная задержка между прямым сигналом и одним из его эхо-всплесков может составлять 11 с при расположении источника радиоизлучения вблизи центрального солнечного меридиана. Работа выполнена при поддержке гранта ведущих научных школ РФ – НШ-477.2003.2, а также гранта РФФИ-03-02-16229.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абранин Э.П., Базелян Л.Л., Цыбко Я.Г. // Изв. вузов. Радиофизика. 1997. Т. 40, № 9. С. 1073.
2. Riddle A.C. // Solar Phys. 1974. V. 35. P. 153.

Representing one of the interesting varieties of sporadic solar radio emission observed in the decameter wavelength are spectral type III_d bursts. Regular multi-year measurements of characteristics of such bursts with UTR-2 radiotelescope made it possible to obtain unique experimental material [1]. At present the researchers are directing their main efforts towards developing an adequate model to explain the appearance and evolution of the sources of

type IIIId radio emission. For interpreting some observational data a simple model of a pulsed coronal radio source at the second harmonic of the local plasma frequency, which is observed directly and after reflection, is successfully used [2]. In particular this model let us understand why temporal splitting in narrow-band elements of dynamical spectrum appear and a burst echo-like component with an increasing delay is formed when the source region approaches the central solar meridian. At the same time the observations [1] showed that the echo component can be both simple (the intensity-time profile has a two-peaked form as a rule) and complex (the intensity-time profile indicates quasi-periodic character). In addition, the delays between echo-bursts can reach high values (longer than 5 s at the frequency of 25 MHz). These experimental facts are not explained in the framework of the above-mentioned simple model of a pulsed coronal radio source, since in the case of spherically symmetric corona this model give the maximum delay between echo-bursts equaled to 3.1 s. According to a hypothesis discussed in [1] the formation of solar decameter bursts with echo components takes place in the solar corona under special heliophysical conditions in the presence of large-scale regular electron density inhomogeneities.

Here, based on an integral representation of the wave field in the form of the interference integral, a mean profile of a decameter radio pulse propagated through the inhomogeneous solar corona is investigated. Scattering of the emission by turbulent inhomogeneities and strong regular refraction on large-scale determinate electron density inhomogeneities are taken into account. In addition, the coronal source is assumed to be isotropic, point-like and emit a pulse of small duration at the second harmonic of the local plasma frequency. By using a numerical simulation it is shown that regular multipathing appears in the presence of the localized regular large-scale inhomogeneities of electron density in the randomly-inhomogeneous corona, i.e. the emission arrives at the observing point following several paths with different temporal delays. Thus, several echo-bursts are formed at the receiver along with the main direct signal. The mean profile calculations of the decameter pulse and its echo-bursts are performed taking into account collisional absorption in the coronal plasma. The numerical simulation has shown that the maximum temporal delay between the direct signal and one of its echo-bursts can be equal to 11 s for the case of the radio source located near the central solar meridian. This work was done under state support grant No. NSh-477.2003.2 for Leading Scientific Schools of the Russian Federation and the RFBR grant No. 03-02-16229.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ 40–125 МЭВ В ГЕЛИОСФЕРЕ (< 4 а. е.)

И.В. Зимовец, А.Б. Струминский

МФТИ, Институт космических исследований РАН, Москва
ivanzim@mail.ru

MODELING OF PROPAGATION OF SOLAR PROTONS WITH ENERGIES 40–125 MEV IN THE HELIOSPHERE (< 4 a. u.)

I.V. Zimovets, A.B. Struminsky

В период максимума солнечной активности 2000–2001 гг. наблюдался ряд ярких событий с участием протонов. Основные данные, используемые в работе, получены благодаря космическому аппарату Ulysses, который в то время находился на высоких широтах на расстоянии нескольких астрономических единиц от Солнца, и космическому аппарату GOES, который находился возле Земли. Качественный анализ данных (нас в основном интересуют временные профили интенсивности протонов) был проведен несколькими учеными. Основные выводы следующие: 1) максимальная интенсивность на GOES меняется на несколько порядков от события к событию, в то время как на Ulysses интенсивности изменяются всего в несколько раз; 2) наступление максимальной интенсивности на Ulysses задерживается на 100–350 мин по сравнению с GOES; 3) наблюдается выравнивание интенсивностей на обоих космических аппаратах через 4 дня после начала события. Вероятно, протоны в течение первых 30 часов распространялись в межпланетном пространстве в основном вдоль силовых линий магнитного поля после их непосредственной инжекции в силовые трубки возле Солнца (или на нем), а поперечная диффузия имела место в более поздние моменты времени, и, возможно, ею можно объяснить выравнивание профилей.

В рамках предложенного сценария в настоящей работе рассматривается несколько моделей распространения солнечных протонов вблизи Солнца. Наиболее удачно поведение временных профилей интенсивности удастся описать при помощи решения соответствующего уравнения переноса, одним из граничных условий которого является интенсивность протонов вследствие диффузионного распространения в тонком слое вблизи Солнца. Предполагается, что частицы покидают источник постепенно и распространяются при этом по сферической поверхности. Далее они попадают в силовые трубки и испытывают диффузию вдоль плоских Архимедовых спиралей (в плоскости эклиптики) или «намотанных» на конус спиралей Архимеда (на ненулевых широтах). В данной модели считается, что диффузии поперек линий нет и все частицы находятся в силовой трубке, хотя в действительности есть обоснования, которые говорят о наличии поперечной диффузии. Видимо, в дальнейшем ее надо учитывать. Также мы пренебрегли конвекцией и взаимодействием с движущейся средой. Не учитывалось влияние ударных волн и эффекта коротации. Делаются оценки временных и пространственных характеристик источника и параметров межпланетного распространения

протонов. По-видимому, основной вклад в поведение временных профилей интенсивности вносит не межпланетное распространение частиц, а процессы, происходящие на Солнце. Вероятно, в дальнейшем распространение протонов вдоль линий магнитного поля можно считать обоснованным и необходимо рассматривать модели, описывающие поведение самого источника. Есть предположение, что на Солнце существуют области вблизи полюсов, внутри которых интенсивности практически не изменяются от события к событию, а вышедшие в межпланетное пространство частицы из этих районов распространяются в однородном конусе (или в иной геометрической структуре), в результате чего и временные профили на Ulysses ведут себя сходным образом во всех случаях. Так как считается, что вспышки образуются на низких широтах Солнца ($< 30^\circ$), то, возможно, существует иной механизм (помимо однородной диффузии по сфере), способный «перемещать» часть частиц с экватора на приполюсные области.

In the period of maximum of solar activity in 2000–2001 years there were several striking events with a participant of protons. In this work we use data mainly from the spacecraft Ulysses (high latitudes and about 3 astronomic units from the Sun) and from the spacecraft GOES (ecliptic plane and 1 astronomic units from the Sun). A qualitative analysis of the data was made by several scientists (we are interested mainly in the time profiles of the protons' intensities). Striking results of this analysis are: 1) maximum intensities on the GOES change very strongly (several orders) from one event to another, on the Ulysses there are not such large changes and maximum intensities are roughly equal in all events; 2) beginnings of the maximum intensities on the Ulysses are late for 100–350 minutes in comparison with GOES; 3) there's a smoothing of the time profiles on the both spacecrafts in about 4 days after the beginning of the events. Probably, during first 30 hours of an event protons propagate in the interplanetary medium mainly along of magnetic field lines with diffusion after their injection into magnetic tubes near Sun (or on them), but cross-field diffusion begins influence much later (probably, it is accountable for the smoothing of the time profiles).

In the frame of the considered scenario in this work we check up some models of the propagation of the solar protons near Sun. The model which best describes the time profiles of intensities on the both spacecraft is the next: prolonged injection at Sun + coronal diffusion after injection + interplanetary propagation along of the flat spirals of Archimedes (in ecliptic plane) or along of the coiled on a cone of spirals of Archimedes (more high latitudes). We are neglect of the convection, shock waves, cross-field diffusion, corotating effect. But in this model we can adequate describe the behavior of the time profiles on the both spacecraft. We are estimate of the time and space characteristics of the source of protons and their parameters of propagation in the interplanetary medium. Apparently, behavior of the source of protons at Sun but not the interplanetary propagation endows the main contribute to the behavior of the time profiles. Also it is possible that there is a mechanism which creates regions near the Sun's poles of almost equal intensities of protons and so there are near equal intensities in all cases on the Ulysses.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ И МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЕ: КОРОТКОВОЛНОВЫЕ АСИМПТОТИКИ МЕТОДА ПЛАВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ РЫТОВА

Я.А. Илюшин

Московский государственный университет, Москва
ilyushin@phys.msu.ru

RADIO WAVE PROPAGATION IN THE IONOSPHERE AND INTERPLANETARY PLASMA: SHORT WAVE ASYMPTOTICS OF THE RYTOV APPROXIMATION

Ya.A. Pyushin

В работе получены и проанализированы асимптотические приближения для комплексной фазы поля в неоднородной среде в рамках метода плавных возмущений Рытова (МПВ). Обсуждается возможность применения полученных асимптотик при решении практических задач распространения радиоволн в ионосфере и межпланетной плазме.

Одним из широко распространенных приближенных методов решения прямой задачи рассеяния электромагнитных волн является метод плавных возмущений (МПВ), предложенный С.М.Рытовым. Метод, в частности, применялся при анализе распространения волн в турбулентной атмосфере [1] и ионосфере с неоднородностями [2]. В рамках метода комплексная фаза поля представляется в виде некоторого бесконечного асимптотического ряда, слагаемые которого удовлетворяют бесконечной системе связанных дифференциальных уравнений. В настоящей работе исследуются асимптотики первых слагаемых ряда комплексной фазы поля в пределе больших волновых чисел.

Комплексная фаза волнового поля удовлетворяет уравнению

$$\Delta\Phi + (\nabla\Phi)^2 + k^2 - q(\vec{r}) = 0.$$

Согласно МПВ, она представляется в виде ряда

$$\Phi(\vec{r}) = \Phi_0(\vec{r}) + v\Phi_1(\vec{r}) + v^2\Phi_2(\vec{r}) + v^3\Phi_3(\vec{r}) + v^4\Phi_4(\vec{r}) + \dots,$$

члены которого удовлетворяют бесконечной цепочке уравнений:

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_0 + (\nabla\Phi_0)^2 + k^2 &= 0, \\ \Delta\Phi_1 + 2\nabla\Phi_0\nabla\Phi_1 &= q(\vec{r}), \\ \Delta\Phi_2 + 2\nabla\Phi_0\nabla\Phi_2 &= -(\nabla\Phi_2)^2, \\ &\dots\end{aligned}$$

Первое уравнение этой цепочки описывает распространение невозмущенной падающей волны в свободном пространстве. Все остальные уравнения этой цепочки различаются лишь правыми частями. Асимптотика первого приближения фазы $\Phi_1(\vec{r})$ с точностью до членов третьего порядка по k^{-1} равна

$$\begin{aligned}\Phi_1(\vec{r}) = \Phi_0(\vec{r}) - \frac{i}{2k} \int_{-\infty}^z q(\vec{r}) dz + \frac{1}{4k^2} q(\vec{r}) + \frac{1}{4k^2} \int_{-\infty}^z (z - z_1) \Delta_{\perp} q(\vec{r}_1) dz_1 + \\ + \frac{i}{16k^3} \int_{-\infty}^z (z - z_1)^2 \Delta_{\perp}^2 q(\vec{r}_1) dz_1 + \frac{i}{4k^3} \int_{-\infty}^z \Delta_{\perp} q(\vec{r}_1) dz_1 + \frac{i}{8k^3} \frac{\partial q(\vec{r})}{\partial z}.\end{aligned}$$

В работе найдены высшие коротковолновые асимптотические приближения решений уравнения Гельмгольца методом МПВ. Прделаны численные оценки полученных асимптотик, и произведено сравнение их с точными решениями уравнения Гельмгольца для широкого класса рассеивающих потенциалов. Указаны границы применимости рассмотренных асимптотических приближений. Обосновано предпочтительное применение первого приближения, т.е. «фазового экрана», при решении задач рассеяния метровых и более коротких волн на типичных неоднородностях ионосферной плазмы.

Настоящая работа частично поддержана грантами РФФИ 02-05-65350 и 03-05-06301.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II: Случайные поля. М.: Наука, 1978. 464 с.
2. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д. Томография ионосферы. М.: Наука, 1991. 178 с.

The asymptotic approximations of the complex phase of the wave field in the inhomogeneous medium within the smooth inhomogeneities method by Rytov are obtained. The possibility of the practical utilization of these asymptotic solutions in the problems of wave propagation in the ionosphere and interplanetary plasma is discussed.

One of the best known approximate techniques for solution of direct scattering problem of the electromagnetic waves is the method of smooth inhomogeneities, first proposed by S.M. Rytov. The method, in particular, has been applied to the wave propagation problems in the turbulent atmosphere [1] and the ionosphere with inhomogeneities [2]. According to the method, the complex phase of the field is performed in the form of the infinite asymptotic series, terms of which obey the infinite system of the coupled differential equations. In the present paper, the short wave asymptotic expansions of the first terms of the series of the complex field phase are investigated.

The complex phase of the field obeys the equation

$$\Delta\Phi + (\nabla\Phi)^2 + k^2 - q(\vec{r}) = 0.$$

According to Rytov, it is expanded into the series

$$\Phi(\vec{r}) = \Phi_0(\vec{r}) + v\Phi_1(\vec{r}) + v^2\Phi_2(\vec{r}) + v^3\Phi_3(\vec{r}) + v^4\Phi_4(\vec{r}) + \dots,$$

terms of which obey the infinite system of equations:

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_0 + (\nabla\Phi_0)^2 + k^2 &= 0, \\ \Delta\Phi_1 + 2\nabla\Phi_0\nabla\Phi_1 &= q(\vec{r}), \\ \Delta\Phi_2 + 2\nabla\Phi_0\nabla\Phi_2 &= -(\nabla\Phi_2)^2, \\ &\dots\end{aligned}$$

The first of these equations describes the propagation of unperturbed incident wave in the free space. All the remaining equations differ to each other only in their right-hand sides. The asymptotic expansion of the first approximation of the complex phase $\Phi_1(\vec{r})$ up to third order terms k^{-3} is

$$\begin{aligned}\Phi_1(\vec{r}) = \Phi_0(\vec{r}) - \frac{i}{2k} \int_{-\infty}^z q(\vec{r}) dz + \frac{1}{4k^2} q(\vec{r}) + \frac{1}{4k^2} \int_{-\infty}^z (z - z_1) \Delta_{\perp} q(\vec{r}_1) dz_1 + \\ + \frac{i}{16k^3} \int_{-\infty}^z (z - z_1)^2 \Delta_{\perp}^2 q(\vec{r}_1) dz_1 + \frac{i}{4k^3} \int_{-\infty}^z \Delta_{\perp} q(\vec{r}_1) dz_1 + \frac{i}{8k^3} \frac{\partial q(\vec{r})}{\partial z}.\end{aligned}$$

In the present paper the short wave asymptotic expansions of the Helmholtz equation solutions by the Rytov technique are calculated. The numerical estimates of all the obtained asymptotic solutions are performed for wide class of the scattering potentials. The domains of applicability of various approximate solutions are determined. The first order approximation, i.e. the so-called “phase screen” approximation, is shown to be most reliable and applicable to the problems of the scattering of the electromagnetic waves of meter band and shorter on the typical small scale inhomogeneities of the ionospheric plasma.

The present work is partially supported by RFBR (RFFI) grants no. 02-05-65350 и 03-05-06301.

ОСОБЕННОСТИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНО-ПРОДУКТИВНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

¹В.М. Богод, ²Л.В. Яснов, ^{1,2}В.С. Котельников

¹Специальная Астрофизическая Обсерватория, Санкт-Петербург, Россия;

²Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия
vasian.spbu@mail.ru

THE PECULIARITIES OF SOLAR FLARE-PRODUCTIVE ACTIVE REGIONS ACCORDING THEIR RADIO EMISSION

¹V.M. Bogod, ²L.V. Yasnov, ^{1,2}V.S. Kotelnikov

Вспышечные процессы являются наиболее яркими проявлениями солнечной активности, а их изучение – одна из актуальных проблем солнечной физики.

В работе анализируются новые явления, обнаруженные в радиоизлучении вспышечно-продуктивных активных областей Солнца, по данным многоволновых спектрально-поляризационных наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 в период с 2000 по 2004 гг.

Это эффект двойной инверсии знака поляризации, когда перед вспышкой дважды происходит смена знака поляризации радиоизлучения активной области, при изменении частоты в узком частотном диапазоне.

Другой эффект проявляется в микроволновом «потемнении», которое заключается в наблюдаемом систематическом уменьшении радиояркостности активной области за несколько суток до вспышки [1].

Нами было исследовано несколько механизмов, которые могли привести к двойной смене знака поляризации:

- линейное взаимодействие волн в области квазипоперечного магнитного поля,
- линейное взаимодействие волн в области квазинулевого магнитного поля,
- рассеяние радиоволн на волнах высокочастотной плазменной турбулентности,
- распространение радиоволн в атмосфере с наличием холодных или горячих волокон по отношению к фоновой плазме,
- распространение радиоволн через токовые слои с различной структурой,
- генерация радиоволн в магнитных «ямах».

Было показано, что наиболее вероятными из них являются: распространение радиоволн через токовый слой, стабилизированный слабым поперечным магнитным полем, и генерация радиоволн в магнитных «ямах», в которых направление магнитных силовых линий меняет свой знак по отношению к наблюдателю.

В работе [2] было показано, что существенные изменения в непотенциальном магнитном поле, произошедшие с 13 по 14 июля 2000 г., привели к пересоединению магнитных силовых линий, которое, в свою очередь, явилось непосредственной причиной мощной протонной вспышки, произошедшей 14 июля 2000 г.

Согласно нашим исследованиям, обнаруженный эффект «потемнения» указывает на уменьшение плотности магнитной энергии в источнике, что приводит к понижению по высоте в солнечной атмосфере гирорезонансных уровней, а следовательно, к понижению их электронной температуры и уменьшению интенсивности радиоизлучения. Поскольку радиоизлучение реагирует на предвспышечные процессы в активной области существенно раньше проявлений в структуре фотосферного магнитного поля, то это указывает, что процесс более отчетливо распространяется из короны на более нижние слои. Это еще раз доказывает, что предвспышечный процесс начинается в более высоких областях солнечной атмосферы и только затем проявляется в фотосферных магнитных полях.

Таким образом, сантиметровый диапазон длин волн является наиболее перспективным в плане изучения и диагностики предвспышечной плазмы, для исследования которой необходимы многоволновые инструменты с большой эффективной площадью. Показано, что использование РАТАН-600 для целей диагностики плазмы весьма эффективно. А сочетание наземных радионаблюдений совместно со спутниковыми обсерваториями, дающими информацию в рентгеновском, ультрафиолетовом и оптическом диапазонах, открывает широкие возможности по прогнозированию вспышечной активности Солнца и геомагнитных возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tokhchukova S.Kh., Bogod V.M. // Solar Phys. 2003. V. 212. P. 99.
2. Deng Y., Wang J., Yan Y., J. Zhang // Solar Phys. 2001. V. 204. P. 13.

Flare processes are the brightest events of solar activity and its study is a actual problem of solar physics. Here we study the new phenomena, detected in radio emission of flare-productive active regions with using the radiotelescope RATAN-600 during 2000–2004.

First, the effect of double polarization inversion of radio emission which appeared before the big flare. This inversion is occurred in narrow frequency range.

Another effect is detected as microwave “darkening”, because the active region radioemission systematically decrease during several days before the flare [1].

We have studied several mechanisms responsible for double inversion effect:

- linear interaction waves in the quasi-transverse magnetic field;
- linear interaction waves in the quasi-null transverse magnetic field;
- scattering of radio waves at the waves of high frequency plasma turbulence;
- radio wave propagation in the solar atmosphere with cold or hot plasma domains;
- radio wave propagation in the solar atmosphere through the current sheets with different structures;
- radio wave generation in magnetic field “holes”.

It was shown, that the most probability may be the propagation radio waves through current sheets and the generation in magnetic field holes.

In [2] it was shown, that the most essential variations in nonpotential magnetic field, is occurred during July 13–14, 2000. It get the coalescence to magnetic field lines, which in turn is the reason of powerful proton event generation on July 14, 2000.

Our study is shown that the combination of radio, X-ray, EUV and optics ranges is opened the big opportunities for prediction of solar flare activities and geomagnetic disturbances.

УСКОРЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ГЕЛИОСФЕРЕ

В.М. Дворников, М.В. Кравцова, В.Е. Сдобнов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
rina@iszf.irk.ru

COSMIC RAY ACCELERATION IN HELIOSPHERE

V.M. Dvornikov, M.V. Kravtsova, V.E. Sdobnov

В рамках модели модуляции космических лучей (КЛ) регулярными электромагнитными полями гелиосферы по данным о вариациях жесткостного спектра КЛ определены изменения энергии частиц в зависимости от их жесткости. Получены аналитическое выражение для описания этой зависимости на основе решения уравнения движения частиц в дрейфовом приближении и выражение для жесткостного спектра КЛ в широком диапазоне энергий. Выражение для спектра содержит четыре параметра, характеризующих изменения энергии КЛ за счет потенциальной, вихревой и поляризационной составляющих электрического поля гелиосферы, а также размер областей с нестационарными электромагнитными полями.

Выражение для спектра КЛ получено в предположении, что на траектории своего движения из Галактики к Земле частицы, наряду с потерями энергии из-за дрейфа против индуцированного электрического поля гелиосферы, могут ускоряться в структурах межпланетного магнитного поля и солнечной короны, в которых они могут быть захвачены, если их ларморовский радиус меньше размеров этих структур, а напряженность поля возрастает во времени и представляет собой магнитную ловушку (например, петлеобразную структуру). Кроме того, при возрастании токов, формирующих данные структуры, до критических значений может произойти разрыв токовой цепи, сопровождающийся из-за большой ее индуктивности взрывным процессом с высыпанием ускоренных частиц в солнечную атмосферу и их выходом в межпланетное пространство. Распространяясь в неоднородных магнитных полях солнечной короны и гелиосферы, поток ускоренных частиц поляризуется из-за того, что протоны и электроны дрейфуют в противоположные стороны, в результате чего происходит разделение зарядов и возникает разность потенциалов между границами потока вдоль траекторий магнитного дрейфа, что приводит к генерации возрастающего во времени поляризационного электрического поля и, как следствие этого, поляризационного дрейфа фоновых частиц плазмы солнечного ветра (СВ), солнечной короны и галактических космических лучей, имеющего составляющую своей скорости вдоль этого электрического поля, что приводит к ускорению частиц, ларморовский радиус которых меньше размеров данных структур. Частицы же с ларморовскими радиусами, превышающими размеры этих структур, преодолевают разность потенциалов поляризационного электрического поля и теряют часть своей энергии.

С учетом полученного выражения определены мгновенные значения параметров жесткостного спектра протонов по данным наземных и спутниковых измерений интенсивности КЛ в октябре–ноябре 2003 г. и на основе полученной информации произведены оценки характеристик электромагнитных полей гелиосферы за исследуемый период.

При анализе использовались данные наблюдений интенсивности протонов в энергетических диапазонах 15–44, 39–82, 84–200 и 110–500 МэВ, полученные на спутнике GOES-10, и данные о глобальной интенсивности КЛ, полученные методом спектрографической глобальной съемки по наземным измерениям на мировой сети станций нейтронных мониторов.

Показано, что за один солнечный оборот до экстремальных событий в октябре–ноябре 2003 г. в тех областях гелиосферы, в которых наблюдались эти события, происходила генерация магнитного поля.

На основе сопоставления полученной информации со значениями параметров межпланетной среды (плотности, скорости, температуры плазмы СВ, напряженности магнитного поля), непосредственно измеренных на спутниках, показано, что в отдельные моменты наблюдаются синхронные вариации таких параметров СВ, как скорость и температура, с параметрами жесткостного спектра КЛ, характеризующими величину вихревых и поляризационных электрических полей гелиосферы, на основе чего сделаны выводы о физических процессах, ответственных за динамику плазмы СВ.

Within the context of the model of cosmic ray (CR) modulation by regular electromagnetic fields of heliosphere and according to the data of variations of the rigidity CR spectrum changes of energy of particles depending on their rigidity are determined. The analytical expression for description of this relation is obtained on the basis of the solution of the particle motion equation in the drift approximation as well as the expression for rigidity CR spectrum in a wide energy range. The spectrum expression contains four parameters describing CR energy change due to potential, rotational and polarization components of the heliospheric electric field, and also sizes of areas with non-stationary electromagnetic fields.

The expression for CR spectrum has been obtained on the supposition, that on a path of their motion from a Galaxy to the Earth and along with energy losses because of drift against an induced electric field of the heliosphere, the particles can be accelerated in structures of the interplanetary magnetic field and solar corona, in which they can be captured if their Larmor radius is less than the sizes of these structures, and the field intensity increases in time and is like a magnetic trap (for example, looped structure). Moreover, when currents which form these structures increase up to critical values there can be a current circuit break. Because of high inductance if the circuit the break is accompanied by explosive process with the eruption of accelerated particles into solar atmosphere and interplanetary space. During its propagation in inhomogeneous magnetic fields of solar corona and heliosphere the flux of accelerated particles is polarized because the protons and electrons drift in opposite directions that results in charge separation and potential difference between borders of the flux along magnetic drift pathways that results in generating a polarization electrical field, increasing in time, and, as a consequent it, polarization drift of background structures of plasma of a solar wind (SW), solar corona and galactic CR having component of the speed along this electrical field, that results in a beam acceleration, the Larmor radius which one is less than the sizes of the these of structures. The particles with Larmor radiuses superior the sizes of these structures, overcome a potential difference of a polarization electrical field and lose a part of the energy.

With allowance for obtained expression the instantaneous values of parameters rigidity spectrum of protons under the data of ground-based and satellite measurements of their intensity in October–November 2003 are determined.

Taking into consideration to obtained momentary values the parameters of the rigidity spectrum of protons using the data of ground-based and satellite measurements of the CR intensity in October–November, 2003 and on the base obtained the information. We have estimated the characteristics of electromagnetic fields of the heliosphere for investigated period.

Under analysis was using observations data protons intensity in the energy ranges 15–44, 39–82, 84–200, and 110–500 MeV to obtained from GOES-10 satellites and obtained by the method of spectrographic global survey from ground-based measurements at the worldwide network of neutron monitor stations.

It is shown that for one solar rotation to extreme events in October–November, 2003 in those regions of heliosphere, which this events are observed, was occur the generation of magnetic field.

On the basis of comparison obtained information with values the parameters of interplanetary medium (density, speed, temperature of plasma SW, intensity of magnetic field), directly measured on the satellites. It is shown that at some instants is observed synchronous variations the parameters such as speed and temperature with the parameters of the rigidity spectrum of CR characterizing the size of rotational and polarization electric fields of heliosphere. On the basis of that the conclusion about physical processes, accountable for a plasma dynamics SW are made.

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ И ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ГЕОМАГНИТНОГО ОБРЕЗАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В НОЯБРЕ 2004 Г.

В.М. Дворников, М.В. Кравцова, А.А. Луковникова, В.Е. Слобнов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
luk@iszf.irk.ru

INTERPLANETARY SPACE PARAMETER VARIATIONS AND CHANGES OF GEOMAGNETIC CUTOFF RIGIDITIES OF THE COSMIC RAYS IN NOVEMBER 2004

V.M. Dvornikov, M.V. Kravtsova, A.A. Lukovnikova, V.E. Sdobnov

По данным наземных и спутниковых измерений интенсивности космических лучей (КЛ) исследованы вариации жесткостного спектра протонов в энергетическом диапазоне от 15 МэВ до десятков ГэВ. Определены параметры модельного жесткостного спектра КЛ за каждый час наблюдений, и по их значениям произведена

оценка характеристик электромагнитных полей солнечной короны и гелиосферы, ответственных за мощное спорадическое явление в ноябре 2004 г.

При сопоставлении временных профилей интенсивности КЛ с поведением параметров жесткостного спектра КЛ сделан вывод, что изменение интенсивности КЛ (в рамках используемой модели) происходит, во-первых, вследствие временных вариаций и пространственной неоднородности потенциала индуцированного электрического поля (параметр $\Delta\varepsilon_{pt}$), во-вторых, вследствие ускорения частиц в петлеобразных структурах корональных и межпланетных магнитных полей, переменных во времени (параметр β), и, в-третьих, из-за ускорения фоновых частиц поляризационными электрическими полями, возникающими при распространении ускоренных в солнечной короне частиц в неоднородных полях гелиосферы (параметр α).

Судя по поведению параметра R_0 , который изменяется в пределах от ~ 0.7 до ~ 5 ГВ, размер областей с нестационарными электромагнитными полями на орбите Земли составляет $\sim 10^{10}$ – 10^{11} см. Напряженность магнитного поля в этих областях (поведение параметра β) за счет временных вариаций может уменьшаться почти до нулевых значений, а увеличиваться примерно в 2 раза.

Значения параметра α варьируют в пределах от ~ 0 до ~ 0.3 , а $\Delta\varepsilon_{pt}$ – от ~ 0.4 до ~ 1.4 ГэВ. Понижение интенсивности КЛ с жесткостью $R > R_0$ в периоды Форбуш-эффектов обусловлено возрастанием параметра $\Delta\varepsilon_{pt}$ (потери энергии в индуцированных электрических полях) и потерями энергии частиц при преодолении разности потенциалов, возникающих при поляризации потоков ускоренных частиц при их распространении в полях гелиосферы.

Исследованы временные профили изменений ЖГО при $R_c = 4$ ГВ совместно с D_{st} -индексом за ноябрь 2004 г. Максимальные понижения пороговых жесткостей при $R_c = 4$ ГВ за рассматриваемый период наблюдались одновременно с минимальными значениями D_{st} -индекса 8 и 10 ноября и составляли около 0.8 ГВ, хотя значения D_{st} -индекса в эти моменты значительно разнятся между собой. Из анализа широтных зависимостей ΔR_c от R_c следует, что максимальные понижения ЖГО наблюдаются при пороговых жесткостях $R_c = 3$ – 4 ГВ на фазе спада и в главной фазе магнитных бурь, а на фазе восстановления широтный эффект имеет обратную зависимость, т.е. максимальные понижения ЖГО наблюдаются в приэкваториальных областях.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Нет однозначной связи между изменениями ЖГО и D_{st} -индекса.

Широтные зависимости изменений ЖГО от пороговых жесткостей претерпевают значительные изменения на разных фазах магнитных бурь.

Полученные результаты могут быть использованы для тестирования различных моделей магнитосферных токовых систем и их динамики в периоды геомагнитных возмущений.

Using the data of ground-based and satellite measurements of the cosmic ray (CR) intensity we have investigated variations of the rigidity spectrum of protons in a energy range from 15 MeV to tens GeV. Parameters of the model rigidity spectrum of CRs are determined for every hour of observation. Using their values we have estimated the characteristics of electromagnetic fields of the solar corona and a heliosphere that were responsible for powerful sporadic phenomenon in November 2004.

Comparing with time structures of intensity CR with behaviour of parameters rigidity spectrum CR it is drawn a conclusion, that change of intensity CR (within the limits of used model) occurs, first, owing to time variations and spatial heterogeneity of potential of the induced electric field (parameter $\Delta\varepsilon_{pt}$), secondly, owing to acceleration of particles in looped structures coronal and interplanetary magnetic fields, variable in time (parameter β), and, the third, because of acceleration of background particles by the polarizing electric fields arising at distribution of particles accelerated in a solar corona in non-uniform fields of a heliosphere (parameter α).

By conducting parameter R_0 which changes within the limits of from ~ 0.7 up to ~ 5 GB, the size of areas with non-stationary electromagnetic fields in an orbit of the Earth makes $\sim 10^{10}$ – 10^{11} cm. Intensity of a magnetic field in these areas (the behaviour of parameter β) due to time variations can decrease almost up to zero values, and increase, approximately, in 2 times.

Values of parameter α varies within the limits of from ~ 0 up to ~ 0.3 , and $\Delta\varepsilon_{pt}$ – from ~ 0.4 up to ~ 1.4 GeV. Downturn of intensity CR with rigidity $R > R_0$ during the periods of Forbush-effects is caused by increase of parameter $\Delta\varepsilon_{pt}$ (losses of energy in the induced electric fields) and losses of energy of particles at overcoming the potential difference, streams of the accelerated particles arising at polarization at their distribution to fields of a heliosphere.

Time structures of cutoff-rigidity changes are investigated at $R_c = 4$ GB together with a D_{st} -index for November, 2004. The maximal downturn threshold cutoff-rigidity at $R_c = 4$ GB for the considered period observed simultaneously with the minimal values of a D_{st} -index on November, 8th and 10 and made nearby 0.8 GB though in value of a D_{st} -index during these moments it is considerably separated among themselves. From the analysis dependences $\square R_c$ from R_c follows, that maximal downturn cutoff-rigidity are observed at cutoff-rigidity $R_c = 3$ – 4 GB on a phase of recession and in the main phase of magnetic storms, and on a phase of restoration the latitude effect has inverse relationship, i.e. maximal downturn cutoff-rigidity are observed in areas near equator.

On the basis of the lead researches it is possible to draw following conclusions:

1. There is no unequivocal communication between changes ЖГО and a D_{st} -index.
2. Latitude dependences of changes cutoff-rigidity from cutoff-rigidity undergo significant changes on different phases of magnetic storms.

3. The received results can be used for testing various models магнитосферных токовых systems and their dynamics during the periods of geomagnetic indignations.

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ ВЕКТОР-МАГНИТОГРАММ

И.И. Мышьяков, Г.В. Руденко

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
ivan_m@mail.ru

NEW METHOD OF DIRECTION DEFINITION OF TRANSVERSE FIELD OF VECTOR-MAGNETOGRAMM

I. I. Myshyakov, G.V. Rudenko

Классический способ решения проблемы π -неопределенности векторных измерений поперечного фото-сферного поля основывается на согласовании с ориентацией расчетного потенциального поля. Очевидно, что в случае заметного отклонения от потенциальности поля магнитных областей доля неправильных направлений поперечного поля, определяемых в узлах измерений, может быть существенна. Мы предлагаем метод решения указанной проблемы, основанный исключительно на обработке локальных количественных характеристик данных измерений и использовании следствий теоремы Стокса для произвольного вихревого поля.

Нами представляются результаты, иллюстрирующие хорошее восстановление направлений поперечного поля в узлах модельных магнитограмм аналитически задаваемого бессилового поля с неоднородным параметром α ($\text{rot}B = \alpha(r)B$). Для сравнения приводятся результаты обработки тех же магнитограмм классическим способом.

The classical decision of π -uncertainty problem of transverse photosphere field measurements is based on the coordination with orientation of a calculated potential field. It is obvious, if a field of magnetic areas appreciably deviates from potential field, the share of wrong directions of a transverse field determined in units of measurements can be essential. We offer a method of the decision of the specified problem based exclusively on processing the local quantitative characteristics of the given measurements and using the consequences of the Stocks theorem for any vortical field.

We represent results which illustrates good restorations of a transverse field direction in units of modelling magnetograms of analytically set force-free field with non-uniform parameter α ($\text{rot}B = \alpha(r)B$). For comparison the results of processing the same magnetograms by a classical way are submitted.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА СОЛНЦЕ ПО ДВИЖЕНИЯМ ТРАССЕРОВ

С.В. Олемской, Л.Л. Кичатинов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
olemskoy@list.ru

DETERMINATION OF MERIDIONAL CIRCULATION ON THE SUN FROM TRACERS'S MOTIONS

S.V. Olemskoy, L.L. Kitchatinov

Содержание настоящей работы относится к трассерам произвольной природы, но для определенности рассматриваются солнечные пятна.

Собственные движения пятен являются объектом достаточно частых исследований практически с середины XIX столетия. Систематические исследования меридиональных течений по смещениям солнечных пятен проводились Туоминеном. Он использовал данные гринвичского каталога за разные периоды, отдельно исследуя короткоживущие группы пятен и группы пятен с продолжительностью жизни более одного оборота Солнца.

Основная закономерность, прослеживающаяся как в работах Туоминена, так и в более поздних исследованиях и являющаяся на сегодняшний день общепринятым фактом, состоит в следующем: пятна с $|\varphi| < 16^\circ$ движутся к экватору, а пятна, расположенные на более высоких широтах, – к полюсу. Данное заключение предполагает, что рассчитанные средние движения по каждой широтной зоне основаны на однородной статистической совокупности, что и дает погрешность, связанную с неоднородностью распределения трассеров по широте.

Для определения глобальных течений используют смещения пятен за конечный интервал времени. Соответствующую среднюю скорость, т.е. отношение смещения к величине временного интервала, усредняют по ансамблю трассеров. Необходимость усреднения связана с присутствием в движениях пятен случайной со-

ставляющей. Случайные движения, наряду с широтной неоднородностью распределения пятен, и приводят к погрешности в определении меридионального течения. Очевидно, что при нахождении смещений конечные положения определяются по более «старым» пятнам, чем начальные (время смещений может составлять от нескольких суток до десятков суток для рекуррентных пятен). Широтное распределение пятен обычно имеет максимум на некоторой широте ϕ' , так что частота появления пятен уменьшается от ϕ' как по направлению к полюсу, так и к экватору. Из-за случайных блужданий пятен должно происходить диффузионное сглаживание такого распределения, т.е. для более старых пятен распределение имеет менее выраженный максимум и более широкие «крылья». Если не учитывать это обстоятельство, но считать, что все изменения в широтном распределении пятен связаны исключительно с регулярным меридиональным течением, то должно обнаружиться ложное растекание вещества от широты ϕ' . Такой результат и был получен рядом авторов, причем широта, от которой происходит растекание, смещается к экватору в течение цикла активности.

Таким образом, стандартные методы определения меридионального течения по трассерам, в частности, по движениям пятен, по всей вероятности, подвержены методической ошибке. Ошибка, очевидно, возникает из-за неоднородности распределения трассеров по широте. В работе предлагается простой метод ее устранения. Применение этого метода приводит меридиональную циркуляцию, определяемую по трассерам, в соответствие с данными гелиосейсмологии.

Обсуждаемые эффекты могут иметь значение для наблюдений меридиональных течений на звездах.

The content of the present work concerns to tracers of the any nature, but for definiteness sunspots are considered.

Proper motions of spots are object of enough frequent researches practically from the middle of XIX century. Regular researches of meridional currents determined by displacement of sunspots were carried out by Tuominen. It used data of the Greenwich catalogue for the different periods, separately investigating short lived sunspot groups and spots with life time more than one turn of the Sun.

The basic law detected both in Tuominen's works, and in later researches and being for today the accepted fact, consists in the following: spots with $|\phi| < 16^\circ$ move towards pole, and spots located on higher latitudes – towards equator. This conclusion assumes that the calculated average drifts in each latitudinal zone are based on a homogeneous statistical population, as gives an error connected with inhomogeneity of distribution tracers over latitude.

In the present paper an easy method for removing the error is suggested. The method, when applied to detecting the meridional circulation from sunspot motions, brings the result in agreement with helioseismology data on the meridional flow. The effects discussed may be significant for observations of the stellar meridional flows.

ОБРАЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЛИНИИ ВА II 4554 Å В СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

В.Л. Ольшевский, Н.Г. Щукина

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев
sya@mao.kiev.ua

FORMATION OF THE VA II 4554 Å RESONANCE LINE IN SOLAR ATMOSPHERE

V.L. Olshevsky, N.G. Shchukina

Образование спектральных линий и перенос излучения – достаточно активно изучаемая область солнечной физики. Основы исследований в этой области были заложены еще в середине 20-го столетия фундаментальными работами Чандрасекара, Милна и других. Однако в то время наблюдательная аппаратура не давала возможности изучать тонкую структуру линий и основное внимание уделялось изучению эквивалентных ширин линий и их вариациям, а также зеemanовскому расщеплению в сильных полях активных образований. Впоследствии, с развитием инструментальной базы, появилась возможность получать наблюдения с большим спектральным разрешением, что, в свою очередь, поставило задачу теоретического обоснования образования профилей линий. На основании теории образования профиля и наблюдаемого контура можно проводить исследования структуры атмосферы Солнца. Здесь большое развитие получили так называемые инверсионные методы, которые широко применяются, в частности, для изучения колебаний в фотосфере. Знание теории образования профиля необходимо и для исследования магнитных полей и связанных с ними активных образований, их мелкомасштабной структуры. Также спектральные исследования применяются для изучения солнечных конвективных движений.

Для того чтобы теоретически рассчитать контур спектральной линии, необходимо решить задачу о переносе излучения в данной линии. Решение этой задачи требует знания физических условий в атмосфере, а также структуры изучаемого атома и населенностей различных уровней на разных высотах. Данные о населенности уровней непосредственно получить невозможно. Для этого требуется знание теории образования линии, что порождает некорректную задачу, которую можно решить только численно. Однако возможны некоторые упрощения – например, введение условия локального термодинамического равновесия (ЛТР), которое исключает из расчетов задачу о населенностях уровней. Для некоторых элементов на определенных высотах это предположение выполняется с достаточно большой точностью. На нем основано большинство инверсионных методов. Но, как показано в работах Рутгена, Щукиной, Трухильо Буэно и других, для линий

многих элементов (кислород, марганец, железо и пр.) это предположение не выполняется. В нашей работе теория образования линии Ba II 4554 Å строится с учетом не-ЛТР эффектов с помощью комплекса программ, разработанных Шукиной для решения задач переноса излучения при отклонениях от ЛТР.

Барий является относительно малоизученным элементом. До сих пор практически неисследованным остается спектр излучения Ba III, лишь несколько работ посвящены барию в солнечной фотосфере. Однако резонансные линии этого элемента, к которым относится и линия 4554 Å, могут быть использованы при изучении колебаний в атмосфере, в Full-Stokes поляриметрии. Первые работы в этой области принадлежат Tandberg-Hanssen (равновесие бария в атмосфере Солнца) и Р. Руттену (теория образования и вариации центр–край для линии 4554 Å). Впоследствии публикаций, посвященных исследованию линий бария в спектре Солнца, практически не было.

В нашей работе изучается перенос излучения и образование резонансной линии 4554 Å. Линия образуется при переходе $6p^2 - 6s^2$ и является самой интенсивной из всех солнечных линий бария. По литературным источникам и атомным базам данных (основные данные получены из NIST atomic database) была построена модель атома, которая включает 38 уровней, 99 связано-связанных переходов и 37 связано-свободных переходов. Силы осцилляторов взяты из литературы, а сечения фотоионизации рассчитывались на основе метода квантового дефекта, разработанного Ситонем и Пичем. Далее уравнение переноса излучения для данной модели атома и различных моделей атмосферы Солнца решается численно и строятся профили линии, которые образуются в различных условиях. Данные, полученные путем моделирования, планируется сравнить с наблюдаемыми профилями, которые были получены в июле 2005 г. на немецком башенном вакуумном телескопе (VTT) обсерватории Института астрофизики на Канарских островах, Испания, совместно с Е. Хоменко.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burgess A., Seaton M.J. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1960. V. 120. P. 121.
2. Peach G. // Memories of Royal Astronomic Society. 1967. V. 71. P. 13.
3. Rutten R.J. // Solar Phys. 1977. V. 51. P. 3–24.
4. Rutten R.J. // Solar Phys. 1978. V. 56. P. 237–262.
5. Tandberg-Hanssen E. // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1964. V. 9. P. 107.

Formation of spectral lines and radiative transfer are the fields of major interest in solar physics. Fundamental works in this area of research were made by Chandrasekhar, Milne and others in the midst of 20th century. But observational technique at that time didn't permit to study fine structure of spectral lines. Main interest concentrated on the study of equivalent line widths, their variations and Zeeman line splitting in strong magnetic fields of active regions. Later, with the development of instrumental base, observations with higher spectral resolution appeared which gave a possibility to study line profile. Thus a problem of line profile formation appeared. Basing on a theory of line formation and observational data it is possible to study structure of solar atmosphere. Spectral observations give most information about Sun. Big progress was reached in the development of the so-called inversion methods which are widely used in the study of photospheric oscillations. Knowledge of the line formation theory is required for the investigation of magnetic field structure which is connected to the active formations on the Sun. Also spectral observations are used to study convective motions in the photosphere.

To theoretically calculate line profile one needs to solve radiation transfer equations for the given line. Solution of this task requires knowledge of atmospheric parameters, atomic structure of absorbing element and its level populations through the atmosphere. The last requires the knowledge of radiation field. The problem is incorrect in mathematical sense because atmospheric models are investigated from the spectral observations. But there are some possibilities to simplify the problem. It is commonly used consideration of the local thermodynamic equilibrium (LTE). Under this condition the atomic levels populations depend only on local temperature and could be easily calculated. For some elements on certain heights this consideration is precise enough, thus most inversion methods are based on it. But as shown in the works of Rutten, Trujilio Bueno, Shchukina and others for many elements (oxygen, manganese, iron, etc), there are large departures from LTE even in the photosphere. In our work theory of Ba II 4554 Å line formation is built taking into account non-LTE effects using special software developed by N.G. Shchukina for the solution of radiative transfer equations in stellar atmospheres.

Barium is relatively poorly studied element. Spectrum of Ba III is practically unknown. But resonance lines of Ba II may be used for studying acoustic oscillations in the photosphere, in full-stokes spectropolarimetry. Just a few works are devoted to the study of solar Barium. In the first works by E. Tandberg-Hanssen and R. Rutten 4554 Å line formation was studied in the chromosphere and photosphere. But atomic and atmospheric models in their works were very simple because of the lack of computational power at that time. Since that there were no publications which investigated Ba II lines formation on the Sun.

Resonance 4554 Å line of singly ionized Barium is formed in $6p^2 - 6s^2$ transition. It is the strongest line in solar Ba II spectrum. We collected information from different sources (both literature and web resources; the most information was taken from the NIST atomic database) on Barium atomic structure and developed atomic model which includes 38 levels, 99 bound-bound transitions and 37 bound-free transitions. Oscillator strengths were also taken from literature. Photoionization cross-sections were calculated following the works of Peach and Seaton basing on quantum defect method. We calculate numerical solution of radiative transfer equations for different atmospheric

models and investigate line profiles emerged under different conditions. We plan to compare computed results with observational data received during July 2005 on Vacuum Tower Telescope (VTT) on the Observatorio del Teide, Tenerife, Spain.

К ВОПРОСУ ОБ УСКОРЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ИОНОВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

И.В. Орешина, Б.В. Сомов

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Москва
ivo@sai.msu.ru

ON THE ELECTRON AND ION ACCELERATION DURING THE FLARE ON 28.10.2003

I.V. Oreshina, B.V. Somov

Рассматривается вопрос о месте ускорения электронов и ионов в солнечных вспышках. Благодаря спутнику RHESSI, запущенному 5 февраля 2002 г., впервые получены изображения излучения в линии 2.2 МэВ. Одним из основных результатов наблюдений стало несовпадение источников гамма- и жесткого рентгеновского излучений. Это означает, что либо ионы, обуславливающие гамма-излучение, и электроны, продуцирующие жесткое рентгеновское излучение, ускоряются в разных местах солнечной короны (модель Эмсли), либо они движутся от общего места ускорения к фотосфере по разным траекториям (модель Жарковой). Мы исследуем вопрос о том, какая из предложенных моделей наилучшим образом согласуется с топологией коронального магнитного поля. Для анализа выбрана вспышка 28 октября 2003 г. На основе фотосферной магнитограммы прибора MDI на спутнике SOHO была построена топологическая модель коронального магнитного поля активной области. В совокупности с наблюдениями гамма- и жесткого рентгеновского излучений, анализ топологии подтверждает предположение об одновременном ускорении ионов и электронов в общем токовом слое на вершине сепаратора. Такой вывод сделан на основании следующего:

Существует единственный сепаратор, пересоединением на котором можно объяснить существующие источники излучения. Наличие двух параллельных сепараторов, на одном из которых ускорялись бы ионы, а на другом электроны, исключается.

Если ионы и электроны ускоряются на разных сепараторах, можно ожидать появления гамма- и рентгеновских источников на значительном удалении друг от друга. Для рассматриваемой вспышки центроиды линии 2.2 МэВ являются как бы продолжением рентгеновских лент. Более того, они расположены по одну и ту же сторону от рентгеновских источников в обеих лентах, что оставляет впечатление взаимосвязанности процессов ускорения.

В модели Эмсли утверждается, что ионы и электроны должны ускоряться на сепараторах разной величины. Наблюдения показывают, что источники гамма-излучения расположены на таком же расстоянии друг от друга, что и источники жесткого рентгеновского излучения. Даже предположив, что они являются основаниями двух сепараторов, сложно ожидать, что один из них был бы значительно выше другого.

Запаздывание гамма-излучения относительно жесткого рентгена может быть объяснено различиями формирований тормозного излучения электронов и линии 2.2 МэВ, возникающей в процессе синтеза дейтерия, и не противоречит теории одновременного ускорения ионов и электронов в общем токовом слое.

Вместе с тем мы не отвергаем идею ускорения ионов и электронов на разных сепараторах. Возможно, подобный процесс имел место во вспышке 23 июля 2002 г., когда наблюдался единственный источник гамма-излучения, расположенный в стороне от рентгеновских источников.

Работа поддержана грантом РФФИ 04-02-16125-а.

The question on the electron and ion acceleration during solar flares is investigated. RHESSI, launched on 2002 February 5, provides first gamma-ray images of 2.2 MeV emission. One of its main results is a displacement of hard X-ray sources with respect to gamma-ray (2.2 MeV) centroids. It implies that either ions, causing gamma-ray emission, and electrons, producing hard X-ray emission, are accelerated in different places of the solar corona (Emslie model), or the both kinds of particles move from a common accelerating region along different trajectories (Zharkova model). We investigate the question which model is in the best agreement with the magnetic field topology of the active region. The flare on 2003 October 28 has been chosen for analysis. On the base of the photospheric magnetogram obtained by MDI/SOHO, the topological model of the coronal magnetic field of the active region has been realized. The analysis of the topology along with the gamma-ray and hard X-ray observations confirm the idea of simultaneous acceleration of ions and electrons in a common current layer on the separator's top. This conclusion is based on following grounds :

There is only one separator which can explain observed emission sources. The existence of two parallel separators for ion and electron acceleration in different layers is excluded. In the case of ion and electron acceleration on different places, one could expect appearance of gamma- and hard X-ray sources displaced ones from others. But this flare shows the 2.2 MeV centroids located on the hard X-ray ribbons' ends. In addition, the gamma-ray sources are situated on the same side from X-ray sources for both ribbons. That makes us believe that accelerating processes are related.

The Emslie model insists that the ion acceleration requires longer separators than the electron acceleration. The observations show that gamma-ray sources are located at the same distance one from another as the hard X-ray sources. Even if we assume that they are the footpoints of two parallel separators, there is no cause to expect that one of these loops would be much longer than another.

A delay of the peak time of gamma-ray emission with respect to the peak time of hard X-ray emission can be explained by different mechanisms producing bremsstrahlung emission from electrons and the 2.2 MeV line which is the result of deuterium synthesis. So, this delay does not contradict to the idea of the simultaneous acceleration of ions and electrons in a common current layer.

At the same time, we don't reject the theory of the ion and electron acceleration on the different separators. It is possible that such a process occurred during the flare on 2002 July 23, when only one gamma-ray centroid located far from all the hard X-ray sources was observed.

This research is supported by RFBR grant 04-02-16125-a.

РЕЛЯТИВИСТСКОЕ УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ В ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩИХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ

А.В. Орешина, Б.В. Сомов

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва
avo@sai.msu.ru

RELATIVISTIC PARTICLE ACCELERATION IN A RECONNECTING CURRENT LAYER

A.V. Oreshina, B.V. Somov

Наблюдения активных областей на Солнце в различных диапазонах длин волн свидетельствуют о том, что причиной освобождения энергии и ускорения частиц во вспышках является магнитное пересоединение. В областях соприкосновения противоположно направленных магнитных потоков формируются токовые слои, в которых энергия магнитного поля преобразуется в тепловую и кинетическую энергию плазмы и ускоряемых частиц. Расчет орбит частиц в токовых слоях представляет интерес для последующей оценки энергии частиц, их потоков и спектров.

В данной работе получено аналитическое решение релятивистских уравнений движения заряженных частиц в пересоединяющем токовом слое.

Магнитное поле в слое представлено в виде $\mathbf{B} = B_0 (-y/a, -\xi_{\perp} \text{sign } x, \xi_{\parallel})$, электрическое $\mathbf{E} = (0, 0, E_0)$; здесь a – толщина слоя, $B_0, E_0, \xi_{\perp}, \xi_{\parallel}$ – константы. Исходные уравнения усреднены по колебаниям частиц в магнитном поле.

Решение описывает устойчивое движение, при котором частица остается в слое сколь угодно долго, покидая его только в результате конечности его продольных размеров. Найдены условия устойчивости, налагаемые на электрическое и магнитное поля в слое: $E_0^2 \gg \xi_{\perp}^2 B_0^2, E_0^2 \gg |\xi_{\perp} \xi_{\parallel}| B_0^2$.

При их выполнении основное ускорение частиц до скорости порядка скорости света происходит вдоль электрического поля: $|v_z| \approx c$; скорость движения частиц в перпендикулярном направлении в плоскости слоя также отлична от нуля, но значительно меньше продольной: $|v_x| = c |\xi_{\perp} B_0 / E_0| \ll c$. Энергия, приобретаемая частицей, пропорциональна времени, проведенному ей в слое: $\varepsilon = \gamma m c^2 = (E_0/B_0)(t/t_0) m c^2$, где $t_0 = mc/qB_0$. Частицы с зарядами разных знаков движутся в противоположных направлениях вдоль электрического поля.

Последний вывод согласуется с недавними наблюдениями спутника RHESSI, которые показали, что источники жесткого рентгеновского излучения, обусловленного электронами, и гамма-излучения, связанного с протонами, пространственно разделены.

Аналитические результаты применимы для широкого диапазона физических условий: от активных областей в атмосфере Солнца до корон аккреционных дисков и т.п.

Для случая магнитного пересоединения в короне Солнца проведено сравнение аналитических решений с результатами численного решения исходных (без усреднения по колебаниям) уравнений движения, подтвердившее выводы аналитического метода.

Работа поддержана грантом РФФИ 04-02-16125-a.

Multiwavelength observations of active regions on the Sun suggest that magnetic reconnection is the cause of energy release and particle acceleration in solar flares. In the regions where magnetic fluxes of opposite directions contact, reconnecting current layers are formed; in them, the magnetic field energy is converted into the thermal and kinetic energy of plasma and accelerated particles. Computations of particle orbits in the current layers are of interest for further evaluating the expected energy gains, particle fluxes and spectra.

This paper presents an analytical solution for relativistic equations of motion of charged particles in a reconnecting current layers. The magnetic field in the layer is described by the expression $\mathbf{B} = B_0 (-y/a, -\xi_{\perp} \text{sign } x, \xi_{\parallel})$, and the electric one $\mathbf{E} = (0, 0, E_0)$; here a is the thickness of the layer, B_0, E_0, ξ_{\perp} , and ξ_{\parallel} are constants. The equations have been averaged over the particle oscillations in the magnetic field.

The solution describes a stable motion, i.e. when a particle stays in the layer until it reaches its edges. Stability conditions are found imposed on the electric and magnetic fields in the layer: $E_0^2 \gg \xi_{\perp}^2 B_0^2$, $E_0^2 \gg |\xi_{\perp} \xi_{\parallel}| B_0^2$. Under these conditions, main acceleration, up to speed of light, occurs along the electric field: $|v_z| \approx c$; the velocity in the perpendicular direction in the layer plane is non-zero but significantly smaller: $|v_x| = c |\xi_{\perp} B_0 / E_0| \ll c$. The particle energy gain is proportional to the time the particle stays in the layer: $\varepsilon = \gamma mc^2 = (E_0/B_0)(t/t_0) mc^2$, где $t_0 = mc/qB_0$. Particles with positive and negative charges move in opposite directions along the electric field.

This conclusion is in good agreement with recent RHESSI observations which have shown that hard X-ray sources, caused by electrons, and gamma-ray sources, related with protons, are spatially separated.

The analytical results are applicable for wide range of physical conditions: from active regions in the solar atmosphere to coronas of accretion disks and so on.

For the case of magnetic reconnection in the solar corona, the analytical results have been compared with numerical solution of the full (without oscillations averaging) equations. This has confirmed the conclusions of the analytical approach.

This research is supported by RFBR grant 04-02-16125-a.

НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИ СБРОСЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ИЗ ЗОНЫ ДИНАМО В СОЛНЕЧНУЮ АТМОСФЕРУ

Д.В. Романов, К.В. Романов, В.А. Романов, И.В. Семенов, Н.М. Ничкова, Е.В. Шалагина

Красноярский государственный торгово-экономический институт, Красноярск
kostya@kgtei.kts.ru

MAGNETIC FIELD EMERGING FROM DYNAMO ZONE INTO SOLAR ATMOSPHERE AND BIRTH OF LOCAL ACTIVE ZONES

D.V. Romanov, K.V. Romanov, V.A. Romanov, I.V. Semeonov, N.M. Nichkova,
E.V. Shalagina

В работе исследуется развитие неустойчивости медленной волны колебаний тонкой магнитной трубки, расположенной в верхних слоях зоны динамо [1]. Описан физический механизм неустойчивости: при смещении вещества вдоль трубки возникают области повышенной и пониженной плотности. Сила Архимеда приводит к подъему областей с пониженной плотностью газа. Натяжение силовых магнитных линий препятствует всплыванию разреженных участков магнитной трубки. Если напряженность магнитного поля мала, амплитуда возмущения экспоненциально растет. На нелинейной стадии развития неустойчивости формируется арочная структура магнитного поля. Вещество стекает из всплывающей части магнитного потока в опускающуюся. Поток вещества к основанию и соответствующий поток импульса приводят к фиксации нижней части под дном конвективной зоны в верхних слоях зоны динамо. Возникают колебания с малой амплитудой, распространяющиеся вдоль силовых магнитных линий из подфотосферного уровня в верхнюю часть арочной структуры, расположенной в короне Солнца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alekseenko S.V., Dudnikova G.I., Romanov V.A. et al. Magnetic field instabilities in the solar convective zone // Rus. Eng. Thermophys. 2000. V. 10. P. 243–262.

Instability of the slow magneto-sonic wave propagating along a thin magnetic tube is investigated. Tube seats at upper layer of the dynamo zone of the Sun [1]. Physical mechanism of the instability is pointed out: a plasma flow along a tube leads to density perturbation with resulting Archimedes force pulling up the regions of density depletion. Tension of the magnetic field lines provides restoring force which nevertheless may fail to stabilize the tube and give rise to the exponentially growing instability. At the nonlinear stage of instability development a magnetic tubes form arcs with plasma flow directed downward (to the sinking base of the arced loop). This flow and corresponding momentum transfer fix the bottom of the arc in the upper layer of the dynamo zone. Small amplitude oscillations excited at the base of arc propagate along the tube to the apex of the arc in the solar corona.

ЭВОЛЮЦИЯ ВИХРЕВОЙ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ПОДЪЕМЕ В СОЛНЕЧНУЮ АТМОСФЕРУ

Д.В. Романов, К.В. Романов, В.А. Романов, И.В. Семенов, Н.М. Ничкова, Е.В. Шалагина

Красноярский государственный торгово-экономический институт, Красноярск
kostya@kgtei.kts.ru

EVOLUTION OF THE TWISTED MAGNETIC FIELD DURING THE RISE TO THE SOLAR ATMOSPHERE

**D.V. Romanov, K.V. Romanov, V.A. Romanov, I.V. Semeonov, N.M. Nichkova,
E.V. Shalagina**

В работе исследуется вынос магнитных полей малой напряженности из зоны динамо в солнечную атмосферу с образованием корональных дыр. В зоне динамо рассчитаны критические значения напряженности магнитного поля в зависимости от глубины, отделяющие режимы выноса магнитного поля в солнечную атмосферу от режимов нелинейных пульсаций магнитного поля в пределах конвективной зоны с образованием супергрануляции конвективных течений на Солнце.

Рассчитывается временная эволюция вихревого магнитного поля и частота вращения магнитной трубки вокруг центральной оси при подъеме магнитного поля в солнечную атмосферу. Закрутка вихревого магнитного поля в лидирующем и ведомом пятнах на фотосферном уровне имеет разные знаки и определяется полярностью магнитного поля Солнца как звезды. Частота вращения трубки на фотосферном уровне ниже уровня регистрации по наблюдательным данным.

Emergence of the small intensity magnetic field from dynamo zone in the solar corona and subsequent coronal holes formation are studied. Critical intensity of the magnetic field is found as a function of the depth within dynamo zone region. Critical intensity separates regimes of the nonlinear oscillations within convective zone (thus contributing to the super-granular flow) from the regimes of the direct field escape to the solar atmosphere.

As tube rises to the solar atmosphere the temporal evolution of the twist (as well as the rotation speed with respect to the tube's axis) are calculated numerically. At the photosphere level magnetic field twists in the leading and following spots have different signs and they are defined by the global polarity of the Sun-as-a-star magnetic field. It is shown that rotational speed of the tube is below the resolution of the modern tools.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ДВИЖЕНИЙ ВЕЩЕСТВА В СОЛНЕЧНЫХ ВОЛОКНАХ

А.И. Хлыстова

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
hlystova@iszf.irk.ru

THE INVESTIGATION METHODS OF MAGNETIC FIELDS AND SUBSTANCE MOTIONS IN THE SOLAR FILAMENT REGIONS

A.I. Khlystova

Волокна, или протуберанцы, являются проявлениями активности Солнца, которые периодически возникают в солнечной атмосфере в виде больших, сильно вытянутых газовых облаков. Волокна отличаются большей по сравнению с окружающей средой плотностью и меньшей температурой. В образовании, существовании и разрушении этих объектов на Солнце определяющую роль играют магнитные поля и движения вещества. В данной работе представлен обзор методов, а также результатов, которые дают методы, по наблюдению магнитных полей и полей скоростей в области волокон.

Все наблюдаемые на Солнце волокна делят на два типа: спокойные и активные. Спокойные волокна располагаются вне активных областей, а также вблизи полюсов Солнца, существуют на протяжении нескольких суток, при этом медленно изменяясь. Активными волокнами называют объекты, возникающие в активных областях, а также волокна спокойных областей, в которых наблюдается внезапная активизация. Активные волокна, как правило, это короткоживущие образования.

Движение плазмы имеет сложный характер, но вместе с тем можно выделить три составляющие движения: стационарную, колебательную и турбулентную. При исследовании стационарных потоков измеряют продольную составляющую вектора скорости с помощью эффекта Доплера и поперечную компоненту через отслеживание движения отдельных элементов в плоскости изображения. Полученные значения скоростей лежат в пределах от 0.5 до 15 км/с. Колебательные движения измеряют в одном и том же месте волокна по эффекту Доплера в течение длительных промежутков времени. Были выявлены короткопериодические (>10 мин), долгопериодические (40–80 мин) и собственные (20 мин) колебания в волокнах с амплитудой 0.15–2 км/с. Исследование турбулентных скоростей возможно по средствам анализа уширения профиля спектральной линии. Турбулентные скорости в волокнах составляют 3–10 км/с.

Первые оценки магнитного поля были проведены в протуберанцах по движениям отдельных элементов вещества в предположении равенства плотности энергии магнитного поля и плотности кинетической энергии движения материи ($H^2/8\pi \approx \rho v^2/2$). Этот метод дает величину модуля вектора магнитного поля. Продольная составляющая магнитного поля измерялась с помощью эффекта Зеемана (расщепление спектральной линии на отдельные компоненты в присутствии магнитного поля, величина расщепления прямо пропорциональна величине магнитного поля). Значение магнитного поля можно получить, используя эффект Ханле, для чего анализируют поляризацию излучения и проводят расчет величины напряженности и направления вектора магнитного поля. Величину магнитного поля можно получить из анализа радиоизлучения. Все перечисленные методы дают согласующиеся результаты: ≤ 30 Гс – спокойные и ≤ 70 Гс – активные волокна. Рассмотрение морфологических особенностей волокон в различных спектральных линиях также дает информацию о структуре магнитного поля в волокнах.

Известно, что движение плазмы и магнитное поле тесно взаимодействуют между собой. Так, было установлено, что в волокнах сильным продольным магнитным полям соответствуют области с большими скоростями движения вещества по лучу зрения. Это факт говорит о том, что вещество течет вдоль силовых линий магнитного поля. Значения физических параметров вещества в волокнах также показывают, что энергия магнитного поля значительно превышает кинетическую энергию движения вещества и играет доминирующую роль в существовании волокон.

Filaments and prominences are the appearances of solar activity, which periodically arise in solar atmosphere as big and strongly elongated gas clouds. The filaments differ from the environment with the larger density and smaller temperature. The magnetic fields and substance motion play the determinant role in filament dynamics. The review of methods for magnetic and velocity field observations and results are presented in this work.

There are two types of observed solar filaments: quiescence and active. Quiescence filaments are located outside the active regions and nearby solar poles. They exist and slowly change during several days. The active filaments are the objects, which arise in active region and quiet region filaments with sudden activation. As a rule, active filaments are the short-live formations.

The plasma motions have a complicated character, but on the other hand it is possible to extract three constituents of motion: the stationary, the oscillation and the vertical one.

In the case of stationary fluxes the longitudinal component of velocity vector is measured with the use of Doppler effect and transverse component of velocity vector is measured by tracing motion of single elements in the image plane. The obtained velocity is 0.5–15 km/s. The oscillation motions are measured in the fixed filament position with the help of Doppler effect during the long-time period. Short-period (>10 min), long-period (40–80 min) and eigenfrequency (20 min) oscillations in the filaments with amplitude 0.15–2 km/s were found. The vertical velocity investigation is possible through the analysis of spectral line profile widening. The vertical velocities in the filaments are 3–10 km/s.

The first magnetic field estimations were carried out in the prominences with by motion according to the single elements under the assumption of equality of magnetic field energy density and substance motion kinetic energy density ($H^2/8\pi \approx \rho v^2/2$). This method gives the value of the magnetic field vector module. The longitudinal magnetic field component was measured using the Zeeman effect (the spectral line splitting on separate components in the presence of magnetic field, the splitting value is in direct proportion to magnetic fields value). The magnetic fields value is possible to determine with the help of Hanle effect by analyzing the radiation polarization and calculating intensity value and magnetic field vector direction. The analysis of radio radiation can also give the value of magnetic field longitudinal component. The methods mentioned above give consistent results: ≤ 30 G for quiescence filaments, ≤ 70 G for active filaments. The study of filament morphological features in different spectral lines can provide information about magnetic fields filament structure.

It is well known that the plasma motion and magnetic fields interact closely with each other. It was determined that strong filament longitudinal magnetic fields correspond to the regions with larger substance motion velocity along the ray-of-sight. This fact indicates that the substance flows along the magnetic field lines. The filament physical parameter values show that the magnetic field energy greatly exceeds the substance motion kinetic energy and plays the dominating role in filament existence.