

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА И ИХ ПРОДОЛЖЕНИЕ В ГЕЛИОСФЕРЕ (ДИСКУССИЯ)

© 2014 г. Г. П. Любимов

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ
Поступила в редакцию (ноябрь 2014 г.)

В работе, в дискуссионной форме, в связи с неоднозначностью применения в теории, различных форм наблюдательных данных, последовательно и всесторонне рассмотрены фундаментальные динамические структуры в солнечной атмосфере и их отражение в гелиосфере. Множество примеров (изображений и фильмов) показывает их дискретную структуру, асимметрию полюсов активной области, возникновение и развитие вспыхивающего процесса снизу, роль восходящего потока солнечного ветра, реализацию кольцевой циркуляции заряженных частиц под фотосферой и над ней, в структуре, в форме тора (кумулятивного ускорителя).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Понятие и свойства магнитной трубки.

В ряде книг и статей, как следует из их содержания, магнитная трубка есть геометрический образ выделенного магнитного потока цилиндрической формы. Трубка потока представляет собой поверхность, в каждой точке которой силовые линии магнитного поля есть касательные к поверхности. Трубка охватывает определённую величину потока для любого сечения. Трубка не обязательно должна быть круглой, она может начинаться с любого поперечного сечения, и силовые линии поля покажут, как меняются размер и форма сечения по мере продвижения вдоль трубки [1, стр. 225]. Сквозь любую замкнутую кривую, проведённую вокруг трубки, проходит поток одинаковой величины. По сечению трубки поток может быть распределён равномерно. Магнитный поток вне трубки равен нулю или меньше, чем в трубке. Такая структура в диффузионных моделях распространения и накопления солнечных космических лучей или в моделях модуляции галактических космических лучей, обеспечивала отражение заряженных частиц от магнитных неоднородностей межпланетной среды, в форме трубок, распределённых хаотически в среде.

Если магнитное поле существует не в вакууме, а в плазме, то произойдёт перераспределение поля и плазмы. Плазма в магнитном поле преобразует форму магнитной трубки за счёт локальных ларморовских токов плазмы [2, 3]. Плазма вытеснит магнитное поле с оси трубки к её краям, создаст тонкий токовый скин-слой в виде кольца, разделяющий магнитное поле, и плазменный шнур (пинч) на оси. Такие магнитно-плазменные трубки в солнечном ветре были обнаружены нами в [4]. Они позволили создать модель восходящего потока плазмы [5] и отражательную модель распространения и накопления солнечных космических лучей [6]. Применительно к распространению солнечных космических лучей, трубки со скин-слоем в межпланетном магнитном поле были обнаружены в 1966 году и схематически изображены в классической работе [7]. Существование трубок в солнечном ветре кроме работы [4] было обнаружено нами и диагностировано по характеристикам солнечных космических лучей [8-10]. В этих работах магнитная трубка (минимум поля на оси), имела характерные размеры $(0.5 \div 2) \cdot 10^6$ км, а минимальный - $0.03 \cdot 10^6$ км 1а.е. [8-10, 22]. Пучки таких трубок заполненных солнечными космическими лучами движутся через детектор и воспринимаются,

как вариации указанных масштабов.

Такие трубки наблюдаются на Солнце, на фотосфере и переносятся в корону и в межпланетную среду. Статическую картину следует обязательно дополнить динамическими процессами, так как плазма не является паром, а постоянно течёт от Солнца. Восходящий поток плазмы, как и солнечное магнитное поле, всегда неоднороден и не стационарен. Восходящий поток плазмы солнечного ветра условно можно разделить и по характерным размерам его источников и по характерному времени их действия. Это спокойный солнечный ветер низкой скорости, квазистационарные потоки и вспышечные выбросы [11].

Трубки, наблюдаемые в короне, расширяются очень слабо. При высоком разрешении видно, что плазменный шнур состоит из пучка более тонких нитей. Такая система параллельных токов дополнительно сжимается, кроме сжатия магнитным полем трубки (её скин-слоем).

Структура активных областей (полюса, асимметрия, «бабочка»).

Интересная структура наблюдается в окрестности полюсов биполярных, активных областей на высотах короны. Такая структура имеет коаксиальное строение. Центральный пучок основной аркады окружен несколькими (пять или больше) периферическими, малыми пучками (рис.1а, б). Эти пучки имеют спиральную форму, и иногда вращаются по направлению спиралей (**TRACE** № 42, 171Å, и № 43, 1600Å, 9.VIII. 2001, АО 9574 в формате **QuickTime**). Дискретность полюсов напоминает аналогичное строение взрывающихся микрогранул [12]. В сложных группах пятен, иногда, также наблюдается кольцевое, коаксиальное расположение сателлитов вокруг главного пятна, например центральное пятно и пять сателлитов, на площади в квадрате 150 секунд дуги, в АО 9026 по данным вакуумного телескопа **SVST La Palma** в линии 4305Å, 13:07, 7.VI.2000. На рис.1в, г, показаны кадры из двух фильмов (**Big Bear Solar Observatory, H-alpha** линия, 1998). На первом кадре пятна нет, вероятно, оно ещё не вылезло. Виден спиральный, вытекающий источник, с кольцевой модуляцией яркости, с системой волн бегущих из центра. На втором кадре показано малое одиночное пятно с полутенью, с кольцевой модуляцией яркости, с системой волн бегущих из пятна. На рис.1д, показан малый фрагмент изображения солнечного диска (**SOHO** 171Å, 23.VI.1998, в 13:05). Это яркая точка и почти замкнутое кольцевое свечение вокруг. Яркой точке соответствует маленькое пятно (**BBS H-alpha** 23.VI.1998, в 06:17). Свечение сплошное, гладкое, оно лишено деталей, дискретности. Вероятно, отдельные волокна в хромосфере и аркады в короне слишком малы.

Изучение наблюдательных данных **SKYLAB**, **SOHO** и, особенно, **TRACE** 171Å, № 31, 13.III.2001, АО 9373, и № 88, 26.II.2004, АО 10564, дало возможность увидеть структуру активной области, образ которой напоминал бабочку с раскрытыми на ±45 градусов крыльями [13]. Полный угол раскрытия (90 градусов), иногда, может приближаться к 180 градусам. Строение полюсов такого плоского (лежащего на поверхности Солнца) диполя часто бывает различно, оно асимметрично (рис.1б). Полярность коаксиального окружения иногда может не совпадать с полярностью центрального пучка. На рис. 2 показана такая асимметричная активная область, в разных проекциях, построенная в потенциальном приближении.

Особенности строения и динамика магнитного потока пятен весьма полно, всесторонне и детально рассмотрены С. Б. Пикельнером [14, стр. 332-337], систематическое описание наблюдаемых форм дано в [15, стр. 80-81]. Эти

особенности следует разделить на два главных процесса. Первый процесс, именуемый эффектом Эвершеда, есть вытекание вещества из тени пятна, включая полутень. Выше, в хромосфере, наблюдается второй обратный процесс – втекание вещества в пятно, в его центр (рис. 3). Направление движения магнитного потока – аналогично. Оба процесса имеют спиральный характер (рис. 3а, б, и ранее на рис. 1в, г). Эти процессы, внешне, аналогичны вихревой циркуляции в атмосфере Земли. Великолепные примеры имеются в фильмах по данным TRACE № 29 (Tornado), 171Å, 10.II.2000, и № 25, 195Å, AO 8667, 17.VIII.1999, в формате QuickTime. Совместное существование обеих процессов в биполярной группе активной области, и при наблюдаемой асимметрии структуры полюсов, может приводить к кольцевой циркуляции вещества и заряженных частиц в её арках, петлях [16]. В некоторых примерах по данным SOHO и TRACE такие направленные движения отчётливо видны (№ 12, 171, 195, 1216 и 1600Å, 26.V.2000, и № 73, 1600Å, 25.XII.2002, в 18:00, а в № 2CDS1 и CIN 195Å, 9.XII.1997, направленное движение яркой точки, конденсации снизу вверх, на лимбе).

Нейтральные точки и линии (икс-точка, сепаратор, сепаратриса).

Заметим, что икс-точка, по определению, есть нейтральная точка, то есть точка, в которой напряжённость магнитного поля равна нулю, для магнитного квадруполь. Сепаратор есть совокупность икс-точек, образующих линию, вне плоскости расположения зарядов, с магнитным полем равным нулю вдоль сепаратора [17, 18, стр. 45-48]. Таким образом, для образования сепаратора необходимы две икс-точки на плоскости. Сепаратриса есть геометрическое место точек (математическая линия), то есть топологическая особенность пространства, а не поля. Она разделяет односвязные и многосвязные магнитные потоки. Овалы Кассини могут представлять примерное изображение магнитного поля двух параллельных токов, а лемниската Бернулли – сепаратрису, которая разделяет локальные поля каждого из токов и их общее поле [19]. Далее следует заметить, что обозначение икс-точки крестиком (X) подразумевает пересечение магнитных силовых линий. Но пересечение магнитных силовых линий не соответствует физической природе магнитного поля [1, стр. 192-193, 335-338]. Возможно, что эта путаница связана с использованием потенциальной модели для наглядного изображения магнитного поля [1, стр. 342]. Нейтральная точка, в отличие от икс-точки, может существовать для двух неравных (магнитных) зарядов. В этом случае, нейтральная точка будет находиться на линии проходящей через оба заряда (на её продолжении), за меньшим зарядом [1, стр. 33]. Сепаратор, соединит такую нейтральную точку (вне плоскости расположения зарядов) с наибольшим зарядом. В потенциальном приближении эта ситуация показана на рис. 4а. Нейтральную точку следует называть нулевой точкой (нуль-точка).

При заполнении среды (вакуума) плазмой (как уже было сказано выше) происходит перераспределение поля и плазмы. Точки и линии с нулевой напряжённостью поля особенно заполняются плазмой. Процесс обусловлен существованием электронных токов в плазме (в пределах дебаевского радиуса). В начальный момент плазма (как и магнитное поле) однородна и не имеет выделенных структур и течений. Но, «включение» магнитных микро - полей плазмы приводит к взаимодействию их с основным полем. Применительно к Солнцу, основное поле, есть под фотосферное магнитное поле созданное конвективными токами плазмы. Интересным является вопрос о наблюдении в

короне областей концентрации плазмы в окрестности нейтральных точек и линий (сепараторов). Вероятно, в этих структурах расположены струи восходящих потоков. В них концентрация мала, а скорость велика.

Быстрые (в сравнении с V_a) движения источников поля (возрастание напряжённости, сближение, ускорение восходящего потока) и образование ударных волн могут, за счёт электродинамических процессов, ускорить заряженные частицы или вызвать неустойчивые изменения в плазме, например, пинч-эффект, разрыв плазменных слоёв в нейтральных точках и линиях и привести к ускорительным процессам [20].

Очень интересное исследование выполнено Л. М. Алексеевой [21]. Она показала, что при наличии течения в локальной, но однородной плазме с однородным полем, за счёт эффекта Холла, возникают дискретные структуры – взрывные волокна. Возможно, что эта работа приведёт к созданию новой модели солнечной вспышки.

Пространственная и временная дискретность магнитного поля, плазмы и рентгеновских всплесков (цепочки вспышечных ядер или вспышечные ленты).

По данным о солнечной вспышке 4.XII.1991, наблюдавшейся рентгеновским телескопом на спутнике **Yohkoh** [17], нами было обнаружено чередующееся вспыхивание хромосферных оснований вспышечной петли в жёстком рентгеновском диапазоне. Следует отметить, что в [17] исследуется малая импульсная вспышка со временем высвечивания меньше 40 сек. и с электронной температурой ниже 30 МК. Ядра вспышек перемещаются либо, сближаясь, либо расходясь. Характерная скорость такого движения составляет 50 км/с. Эти движения, вероятно, связаны с погружением или с подъёмом вспышечной арки и её нижнего продолжения. Уместно предположить, что, так как поступление энергии идёт снизу, то стационарность состояния будет нарушаться именно в нижней части. Изменение поступающей энергии будет приводить к изменению скорости конвекции, к изменению вязкости, к степени вытягивания петли, и к изменению напряжённости поля. Эти процессы приведут к изменению энергии заряженных частиц захваченных во всей кольцевой структуре. Резкие изменения внешнего воздействия или неустойчивость в системе поток, вязкость и магнитное натяжение могут привести к срыву петли, тогда петля (её нижняя или верхняя часть) быстро сожмётся, что приведёт к ускорению потока частиц захваченных в такой кольцевой ловушке.

Обратный процесс захвата и вытягивания петли конвективным потоком будет более медленным, ускоренные частицы будут менее эффективно терять энергию (адиабатичность – изотермичность), и выходить из игры за счёт потерь при соударениях и дрейфах.

Из приведённого описания следует, что ускорительный процесс может происходить и в нижней части замкнутой петли под фотосферой, и в видимой наблюдателю верхней части, в хромосферной арке. Если основной процесс происходит внизу, то вверху происходит лишь наполнение арки уже ускоренными частицами, высвечивание, инжекция от источника и обратное падение части пучка на хромосферу, и её нагрев (**TRACE** № 59, 195Å, 21.IV., АО 9906 и № 61, 28.V.2002, АО 9957, а № 102, 171Å, 27.VII, № 103, АО 10792, 30.VII, № 104, 8.IX.2005, АО 10808).

Под фотосферой в конвективной зоне формируется солнечное магнитное поле. Солнечное магнитное поле, вероятно, бесилое, тороидального типа. Такие тороиды частично находятся над фотосферой в виде арочных структур. Их вертикальная стабильность, вероятно, обусловлена в верхней хромосферной части – взаимодействием с обтекающим их восходящим потоком. В нижней, погруженной в конвективную зону, части эту роль выполняет конвективный поток. Системы аркад в хромосфере и их вытянутые под фотосферные продолжения могут образовать связанные колебательные системы. Восходящие и нисходящие потоки изолируют кольцевые магнитоплазменные системы от слипания, стабилизируют их вертикальность и обуславливают колебательную связность. Такая система способна совершать волновые движения, распространяющиеся вдоль неё. Эти волновые движения будут модулировать и ускорительные процессы в каждой элементарной ячейке аркады. Такой процесс, в виде волн эмиссии наблюдается в фильмах о вспышках, в протяжённых аркадных системах, на **SOHO** и **TRACE** (14.VII.2000, № 1, № 2, 195Å, **Bastille Slinky**).

Визуализация магнитных полей происходит за счёт излучения плазмы в магнитных трубках. Процесс самоорганизации среды (поля и плазмы) состоит не только из перераспределения концентрации плазмы и магнитного потока, но и включает направленное движение плазмы - образование восходящих потоков и солнечного ветра [5, 22].

Солнечное магнитное поле на фотосфере дискретно. Дискретность видна и на фоне и в активных структурах. Минимальный размер не определён. Он ограничивается аппаратным разрешением. Косвенные методы определяют существование «магнитных игл» сильного поля (**Stenflo**, [23]). Размеры «магнитных игл» порядка 30 км, при напряжённости поля порядка нескольких 1000 гауссов. Подфотосферная конвекция, и её отображение в виде грануляции на фотосфере, также дискретна. Дискретность различного масштаба по высоте в атмосфере Солнца (включая корону) прослеживается и в электромагнитном излучении. Вспышечная рентгеновская эмиссия состоит из секундных импульсов [24].

Свечение в вершине арки наблюдаемое иногда в мягком рентгене и, особенно, в радиоизлучении связано с наиболее мягкими заряженными частицами (рис. 4б). Магнитные пробки будут перемещаться к вершине с уменьшением энергии частиц. Такая картина будет особенно яркой, если в вершине арки будет образован своеобразный «носик» или «шлем» (переходящий далее в стример). Эти формы могут образоваться при вытягивании арок восходящим потоком плазмы (рис. 4б, в), и [4, 5, 25].

ВОСХОДЯЩИЙ ПОТОК СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ И СОЛНЕЧНАЯ ВСПЫШКА

Исторические предпосылки и наблюдательные данные.

Е. А. Пономарёв [26, стр.118] рассмотрел необходимость существования корпускулярного восходящего потока для объяснения регулярной вытянутости различных корональных форм в радиальном направлении. И. М. Гордон [27], используя радиолокационный метод, обнаружил определяющую роль флоккул, как источника высокоскоростной плазмы, при большом радиальном градиенте ускорения над площадками активных областей. Очень важной предпосылкой для [5] послужили работы по методу когерентного радио-просвечивания околосолнечной плазмы [28], и позже, по методу мерцаний, межпланетной

плазмы [29, 30]. Метод радио-просвечивания обнаружил так называемую «разгонную кривую» с начальным участком постепенного ускорения [28-30]. После точки перегиба наступает участок торможения, переходящий в плато. Область перегиба разгонной кривой соответствует максимуму индекса мерцаний. Это означает, что энергия ускоренного потока затрачивается на образование турбулентности и ускорительный процесс заменяется процессом динамического торможения при взаимодействии с солнечным ветром более низкой скорости. Однако доплерограммы регистрируют преимущественное падение плазмы на Солнце. Здесь следует заметить, что при наличии восходящих высокоскоростных струй, в силу их низкой концентрации, их регистрация затруднительна. В тоже время необходимость существования восходящего потока плазмы косвенно следует уже из ранних наблюдений корональных форм [26, стр.118]. Наличие не вспышечных петель в солнечном ветре и в межпланетном магнитном поле [4, 5], и их косвенная регистрация по анизотропии солнечных космических лучей [31-33]. Все эти наблюдения указывают на вынос петлевых и арочных, солнечных магнитных полей квазистационарным потоком плазмы, и при том, даже низкой скорости. Следует заметить, что ещё в 1964-66 годах нестационарные петли межпланетного магнитного поля различного масштаба, связанные с развитием новой активной области, методом восстановления, были показаны в [34].

Известно, что перед вспышкой быстро поднимаются и исчезают протуберанцы, наблюдаются колебания петель. Вспышечные «ядра» возникают по обе стороны от линии инверсии поля и движутся от нее, могут сливаться в ленты (фильмы **TRACE** 171Å). Эти признаки хорошо соответствуют наличию и усилению восходящего потока и высыпанию энергичных частиц в хромосфере. Мы полагаем, что наличие восходящего потока плазмы существенно и для реализации процесса вспышки [25]. Хотелось бы обратить внимание и на то, что существование восходящего потока может играть значительную роль в эффекте солнечной вспышки, как фактор, дестабилизирующий плазму и поле особенно в окрестности инверсии знака поля [16]. В новой работе [35] показано, что за 10-15 минут перед началом вспышки в рентгене, и за 30 минут до её максимума, наблюдается импульс восходящего потока скорости плазмы, длительностью, примерно, 8 минут. Сходные эффекты наблюдались и ранее, однако сейчас на новом экспериментальном материале и при более высоком временном разрешении этот эффект обнаружен в работе С. А. Красоткина [35]. Этот результат важен не столько для прогноза вспышки, а главным образом для понимания механизма вспышки и причины её возникновения.

Необходимость новой модели.

Учитывая высокую плотность энергии магнитного поля на высотах хромосферы и короны и низкую плотность кинетической энергии потока плазмы, необходимо предложить дискретную модель струйного, ленточного течения восходящего потока плазмы между дискретной структурой солнечных арочных магнитных полей. В дискретной модели легко реализовать ускорение солнечного ветра с малых высот. Восходящий поток плазмы образует систему струйных или ленточных течений между системой трубок и слоев (аркад) магнитного поля. Дискретность магнитных трубок обусловлена дискретностью их полюсов на фотосфере и дополнительной изоляцией самим восходящим потоком плазмы. Течение между одноименными полюсами отдельных магнитных трубок или систем аркад снимает трудность движения плазмы поперек

магнитного поля. Следует заметить, что напряженность поля между одноименными полюсами имеет максимум на некоторой высоте, и расхождение поля над ним образует как бы сопло Лавая для восходящей плазменной струи (рис. 5).

В солнечной атмосфере (фото **TRACE** на рис. 6а) и в межпланетной среде существуют двойные системы дискретных структур магнитных полей и потоков плазмы (рис. 6б, в, г, по данным [36]). В хромосфере и в короне это восходящий поток со слабым фоновым, солнечным магнитным полем, обтекающий сильные арочные, солнечные магнитные поля. В межпланетной среде, это солнечный ветер низкой скорости с фоновым магнитным полем, увлекающий магнитные петли активных областей, с плазмой в них.

Мы хотим обратить внимание на вариации параметров эмиссии вспышечных ядер и на возможные ускорительные процессы над и под фотосферой, привлечь внимание исследователей к новым возможным механизмам связей солнечной плазмы, солнечного магнитного поля и солнечных космических лучей. Изучение вспышечных процессов необходимо исследовать именно в малых вспышках, так как они содержат лишь основные элементы динамической структуры (одну арку и два ядра [16, 17]), и создают малые возмущения окружающей среды. Сильные возмущения солнечной плазмы представляют самостоятельный интерес, но усложняют поиск фундаментальных ускорительных процессов.

Возникновение плазменных «пинчей» в форме трубок или слоёв в окрестностях минимальных и нулевых значений напряжённости магнитного поля, при их движении в этом поле, может сопровождаться ускорительными процессами. Наиболее быстрые кумулятивные процессы таких движений и есть вспышки. Такая модель не нуждается в эффекте «пересоединения», а использует локальные токи в плазме. Здесь интересно отметить, что в [37, стр. 372-375] содержится описание модели Голда и Хойла 1960 года, к которой близка наша [16]. Уменьшение солнечного магнитного поля после вспышки связано не с «аннигиляцией» магнитного поля, а с выносом поля вместе с плазмой вспышечным выбросом, за счёт быстрого взрывного нагрева плазмы хромосферы и короны пучком ускоренных частиц, уже после вспышки.

ДИСКУССИЯ О БЕССИЛОВОМ ПОЛЕ

Бессиловое поле и равновесные конфигурации.

В бессилловом поле ток всюду течёт вдоль силовых линий. Силы магнитного давления и натяжения взаимно компенсируются.

Поле прямого тока, имеющее вид колец с центрами на оси, стремится сжаться к оси из-за натяжения. Пучок же параллельных силовых линий стремится расшириться из-за давления. При совмещении этих полей полная сила может быть равна нулю. Линии такого «бессилового» поля имеют вид спиралей (**Big Bear Solar Observatory, H-alpha** линия, 18.VIII.1995, с 17:16:58 по 18:00:17 – петля в форме скрученного жгута).

Бессиловые поля обладают свойствами, которые делают их существование в природе весьма вероятным. Главное значение бессилловых полей вытекает из их энергетических свойств. Бессиловое поле представляет собой состояние с минимальной энергией. Всякое малое изменение бессиллового поля (при условии «вмороженности») увеличивает его энергию. Отсюда следуют два важных вывода. Первый – бессилловое поле устойчиво по отношению к малым возмущениям. Второй вывод следует из того, что всякая замкнутая система, в

которой есть диссипативные процессы, стремится к состоянию с наименьшей энергией. Поэтому, если джоулевы потери отсутствуют, но движения могут затухать из-за вязкости или других причин, то конечным наиболее вероятным состоянием будет состояние с бессиловым полем. В случае конечной проводимости бессиловые поля затухают. При этом имеют место две особенности. Во-первых, джоулева диссипация в них минимальна. Во-вторых, при затухании сохраняется бессиловой характер поля, так что если конфигурация была устойчива вначале, то она будет устойчивой и в процессе затухания [14, стр. 83-89].

Для всякой конфигурации магнитного поля существует стационарное движение жидкости со скоростью, направленной вдоль поля, причём сумма магнитного давления и давления жидкости постоянна. Это постоянство делает всю систему уравновешенной, давление движущейся жидкости компенсирует магнитные силы, магнитное поле становится стационарным [14, стр. 89-92].

Обнаруженные нами дублетные и мультиплетные петельные структуры в солнечном ветре и в межпланетном магнитном поле [4, 5] указывают на распространённость устойчивых и равновесных конфигураций в гелиосфере [6, 22, 31, 32].

ВЫВОДЫ

Рассмотренные наблюдательные структуры и активные динамические процессы, происходящие в них, позволяют нам суммировать главные закономерности и взаимосвязи.

1. Основой всех активных процессов служит высокая пространственная и временная дискретность структур.

2. Магнитная трубка - фундаментальная структура в солнечной атмосфере и в гелиосфере.

3. Асимметрия полюсов активной области указывает на циркулярный характер движения энергичных заряженных частиц под фотосферой и над ней.

4. Поступление энергии, вещества и поля направлено из центра, образует арки, заполняет их трубки, создаёт восходящий поток солнечного ветра и вспышки.

5. При построении моделей необходимо соблюдать причинно-следственные процессы преобразования энергии.

Множество примеров показывает возникновение и развитие вспышечного процесса снизу, роль восходящего потока, реализацию кольцевой циркуляции (кумулятивного ускорителя) в структуре ячейки, в форме тора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм, том 2 // 3-е изд., испр., М.: Наука, 1983, (Берклевский Курс Физики), 416 с.
2. *Арцимович Л. А.* Элементарная физика плазмы. М.: Госатомиздат, 1963.
3. *Альвен Г, Фельтхаммар К.- Г.* Космическая электродинамика. М.: «МИР», 1967, (231-233, рис. 5.15 и 5.16).
4. *Любимов Г. П., Переслегина Н. В.* Отображение структуры хромосферы и короны Солнца в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле // *Астрономический журнал*, 1985, т. 62, вып. 4, с. 780.
5. *Любимов Г. П.* Вытягивание магнитных петель в атмосфере Солнца // *Астрономический Циркуляр АН*, 1986, № 1441, с. 5.

6. *Любимов Г. П.* Отражательная модель движения СКЛ в петлевых ловушках // *Астрономический циркуляр АН*, 1988. № 1531. С. 19.
7. *Mc Cracken K. G., Ness N. F.* **The Collimation of Cosmic Rays by the Interplanetary Magnetic field** // *J. Geophys. Res.* 1966. V. 71. № 13. P. 3315.
8. *Ермаков С. И., Контор Н. Н., Любимов Г. П., Тулунов В. И., Чучков Е. А.* Вспышка солнечных космических лучей в марте 1990 г. // *Известия АН СССР, сер. физ.*, 1991, т. 55, № 10, с.1889.
9. *Григоренко Е. Е. и Любимов Г. П.* Об отражательной модели солнечных космических лучей // *Космические исследования*. 2007, т. 45, № 1, с. 12.
10. *Ермаков С. И., Любимов Г. П., Тулунов В. И., Чучков Е. А.* Модель вспышки солнечных космических лучей 19-го марта 1990 года // *Космические исследования*. 2007, т. 45, № 2, с. 108.
11. *Любимов Г. П.* Трёхкомпонентная модель состава солнечного ветра // *КИ*, 2005, т. 43, № 4, с. 314.
12. *Кононович Э. В., Купряков Ю. А.* Структуры в солнечной атмосфере // *Астрономический календарь* № 6, 1981 г., отдел второй (приложения), с. 161.
13. *Любимов Г.П.* Стереоскопический метод анализа рентгеновских фотографий Солнца // *Астрономический циркуляр АН*, 1985. № 1362. С. 4.
14. *Пикельнер С. Б.* Основы космической электродинамики // Изд. «Наука», М., 1966, с. 408.
15. Солнечная и солнечно-земная физика. Иллюстрированный словарь терминов под редакцией А. Бруцека и Ш. Дюрана // Изд. «Мир», М., 1980, с. 254, с. иллюстраций 48 (59 рис.).
16. *Любимов Г.П.* Особенности солнечной вспышки // *Космич. Исслед.* 2000, Т. 38, № 6, С. 619.
17. *Somov B.V. and Kosugi T. and Sakao T.* **Collisionless three-dimensional reconnection in impulsive solar flares** // *Astrophys. J.* 1998. № 497. P. 943.
18. *Сомов Б. В.* Космическая электродинамика и физика Солнца. Учебное пособие // М.: Изд. МГУ, 1993, 288 с.
19. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ // М., 1980, 976 стр. с илл.
20. *Alfven Hannes.* **On the Origin of the Solar Cosmic Rays** // Труды международного семинара по изучению физики межпланетного пространства. Л.: Физ.-тех. ин-т. им. А. Ф. Иоффе. 1969. С. 20.
21. *Алексеева Л. М.* Филаментация магнитного поля и квазиакустико-гравитационные волны в плазме с эффектом Холла // *Письма в ЖТФ*, 2003, том 29, вып. 7, с. 71.
22. *Любимов Г. П.* Диагностическая методика исследования межпланетного магнитного поля, плазмы солнечного ветра и их источников на Солнце // *Известия АН, серия физическая*, 2003, т. 67, № 3, с. 353.
23. *Stenflo J. O.* **Small-scale magnetic structure on the Sun** // *Astron. Astrophys. Rev.* 1989. № 1. P. 3.
24. *Кочаров Г. Е., Ковальцов Г. А., Семухин П. Е., Кочаров Л. Г.* Ускорение частиц в импульсных солнечных вспышках // Сб. «Проблемы физики солнечных вспышек», изд. ИЗМИР АН М., 1986, № 3, с. 176.
25. *Любимов Г. П., Контор Н. Н.* Восходящие потоки в атмосфере Солнца // Сб. «Проблемы физики солнечных вспышек», Изд. ИЗМИР АН, М., 1986, № 3, с. 153.
26. *Всехсвятский С. К., Никольский Г. М., Иванчук В. И., Несмянович А. Т., Пономарёв Е. А., Рубо Е. А., Чередниченко В. И.* Сб. Солнечная корона и

корпускулярное излучение в межпланетном пространстве. // Изд. КГУ, Киев, 1965.

27. *Гордон И. М.* Радиолокационные исследования Солнца и ускорение солнечного ветра над активными областями // ИРЭ АН УССР, препринт № 30, Харьков, 1973.

28. *Armstrong J.W., Woo R.* Solar wind motion within 30 R: Spacecraft radio scintillation observations // *Astron. Astrophys.*, 1981, v. 103, № 2, p. 415.

29. *Ефимов А. И., Яковлев О. И., Разманов В. М., Штрыков В. К.*

Турбулентность околосолнечной плазмы и скорость солнечного ветра по данным радиопросвечивания с помощью аппарата ВЕНЕРА 10 // Письма в Астрон. журн., 1977, т. 3, №7, с. 322.

30. *Lotova N. A., Blums D. F., and Vladimirkii K. V.* Interplanetary scintillation and the structure of the solar wind transonic region // *Astronomy and Astrophysics*, 1985, 150, p. 266.

31. *Любимов Г. П., Контор Н. Н., Переслегина Н. В., Игнатъев П. П.* Анизотропия солнечных протонов и неоднородности межпланетной среды // Изв. АН, Сер. физ., 1976, т. 40, № 3, с. 462.

32. *Любимов Г. П., Чучков Е. А.* Система петлевых магнитных ловушек в СКЛ в июне 1974 г. // КИ, 1991, Т. 29, № 6, С. 910.

33. *Ермаков С. И., Любимов Г. П., Тулунов В. И.* Модель события в космических лучах 23-31.03.91 г. // КИ, 1995, Т. 33, № 2, С. 128.

34. *Schatten K. H., Ness N. F., Wilcox J. M.* Influence of a Solar Active Region on the Interplanetary Magnetic Field // *Solar Physics* 5 (1968) 240, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht – Holland.

35. *Krasotkin S. and Chumak O.* Quantitative parameters of Magnetic and Velocity Fields in Solar Active Regions // Proc. 10th. European Solar Physics Meeting, 'Solar Variability: From Core to Outer Frontiers', Prague, Czech Republic, 9-14 September 2002 (ESA SP-506, December 2002), p. 447.

36. *King J. H.* Interplanetary Medium Data Book. // NSSDC/WDC-A-R S 77-04 Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, 1977-1979.

37. *Смит Г., Смит Э.* Солнечные вспышки // «МИР», Москва, 1966, 426 стр.

ПОДПИСИ ПОД РИСУНКАМИ

Рис. 1

а) центральная часть большой активной области: дискретность пучков вокруг полюсов (лучей исходящих из и входящих в полюса), асимметрия полюсов (яркость и форма – в левом полюсе расходящийся пучок лучей, а правый полюс окружен кольцом из малых аркад)

б) активная область: особенности строения сходные с а)

в) спиральные волокна и кольцевая модуляция их яркости, но без пятна

г) малое пятно: спиральные волокна и кольцевая модуляция их яркости (вокруг пятна), на фильмах видны волны движений из центров

д) яркая точка и кольцевое свечение вокруг (над маленьким пятном)

Рис. 2

а) изображение магнитного поля (в потенциальном приближении) активной области с одноимёнными и разноимёнными сателлитами у полюсов (асимметрия)

б) трёхмерное изображение, заметна форма «бабочки»

Рис. 3

а) спиральное втекание в полюс (в пятно), б) тоже – «торнадо»

Рис. 4

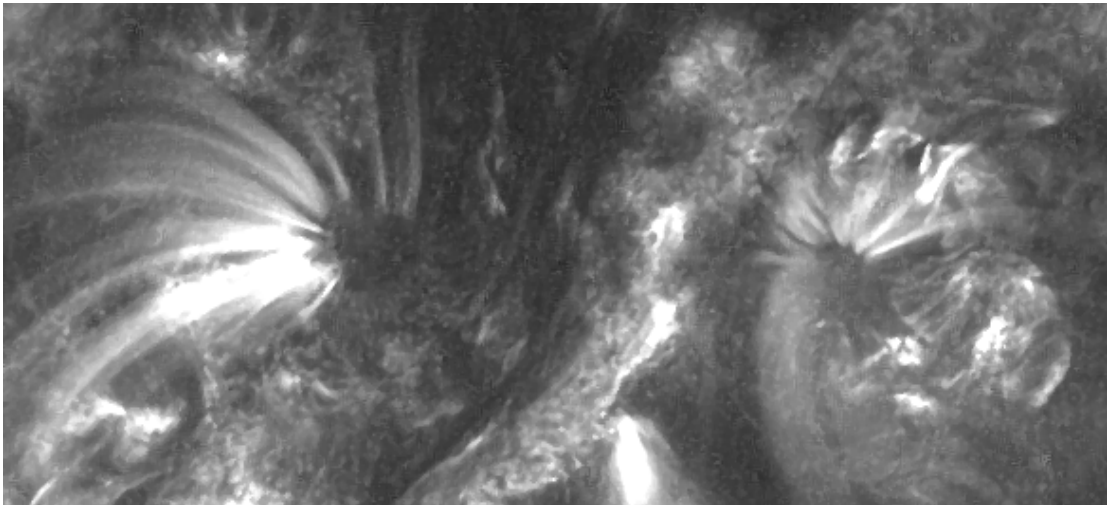
- а) модель поля двух зарядов разных знаков: нейтральная (нулевая) точка за меньшим зарядом, в месте сужения линий поля (сопло Лавалья)
- б) более яркое свечение в вершинах пучка петель
- в) последовательные стадии шлемовидных петель при вытягивании их из арки активной области восходящим потоком плазмы солнечного ветра

Рис. 5

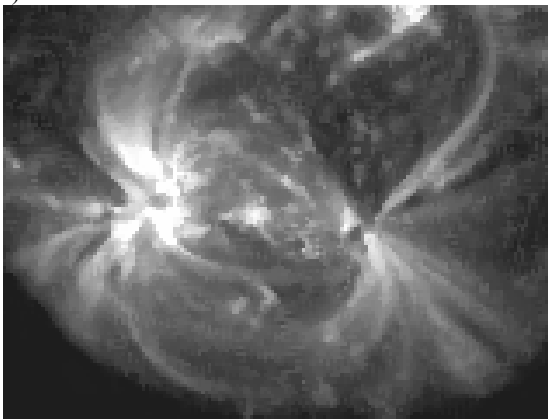
- а) зависимость поля от высоты для разноимённых и одноимённых зарядов
- б) магнитное поле для трёх положительных и отрицательного зарядов - между пучками магнитных линий, для одноимённых зарядов, заметно сужение, которое служит соплом Лавалья

Рис. 6

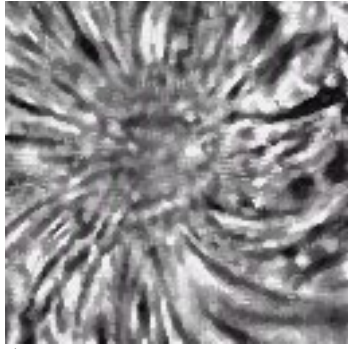
- а) «перехлест» двух арок
- б) ϕ , V , B , n – параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля на обычной границе сектора
- в) обычную границу пересекает одна арка (в хромосфере, короне) и петля (в межпланетной среде), полярность которой отличается от полярности фонового фотосферного поля
- г) обычную границу пересекают две арки (в хромосфере, короне) и петли (в межпланетной среде), полярность которых отличается от полярности фонового фотосферного поля



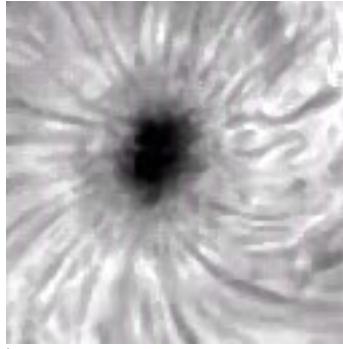
а)



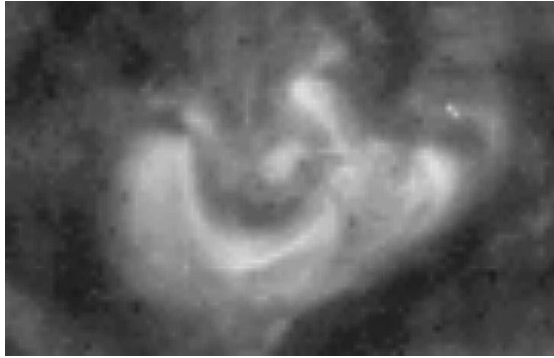
б)



в)

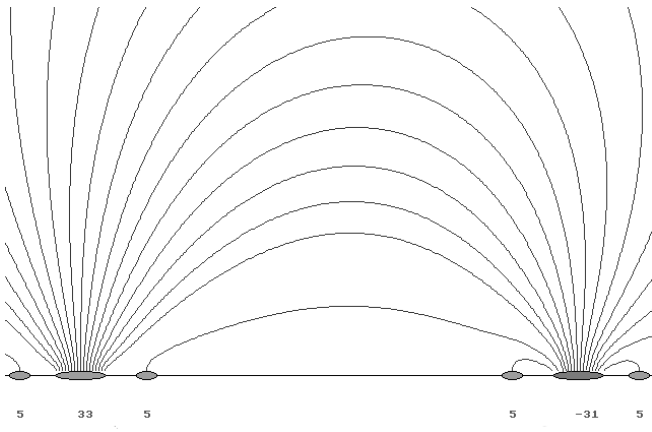


г)

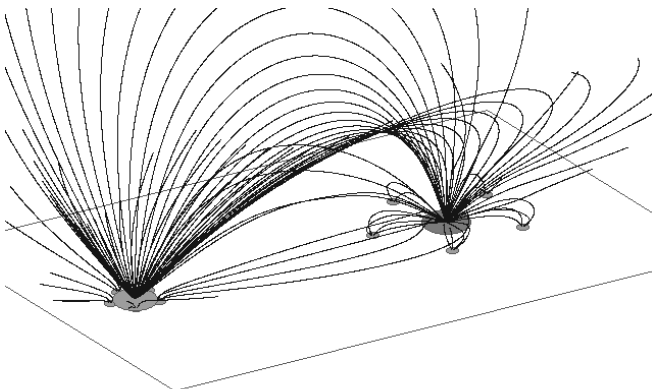


д)

Рис. 1

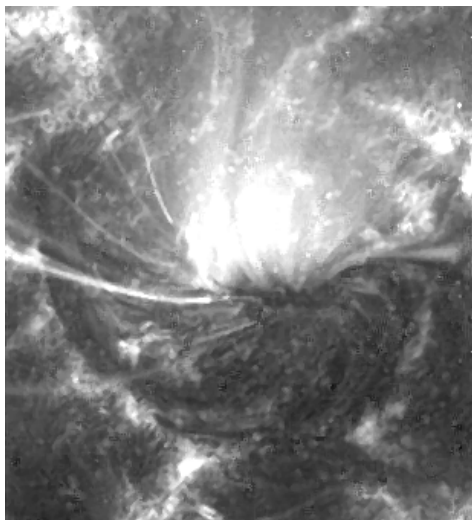


а)

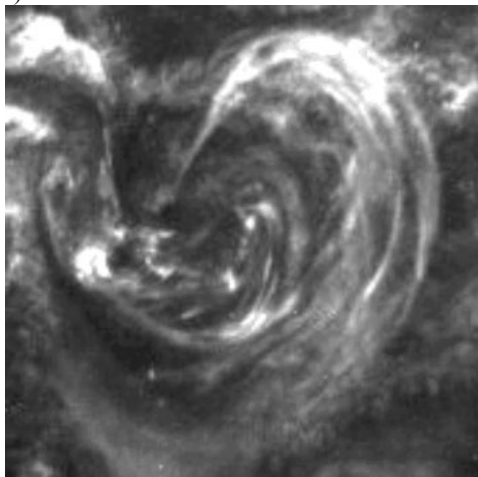


б)

Рис. 2

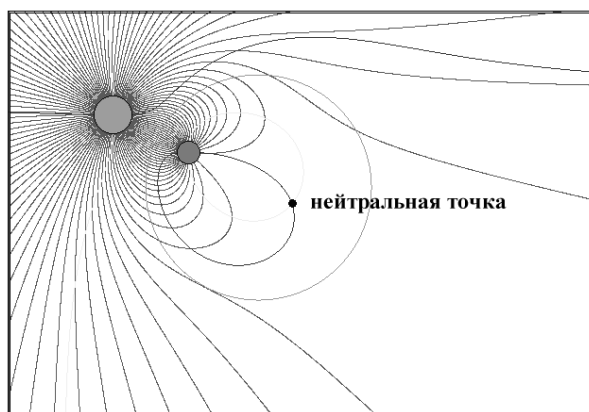


а)

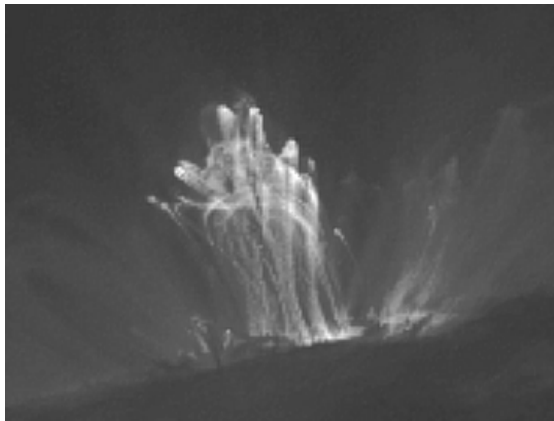


б)

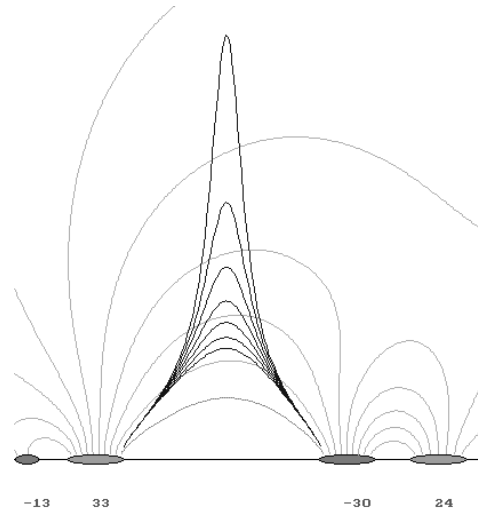
Рис. 3



а)

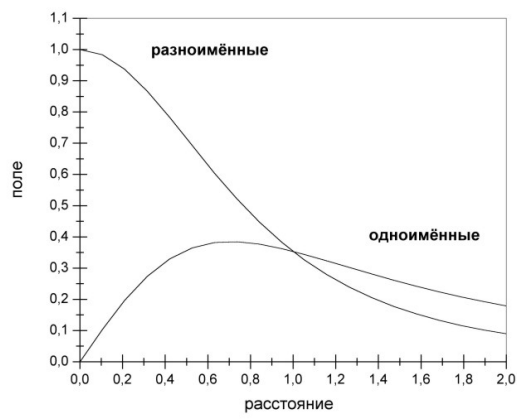


б)

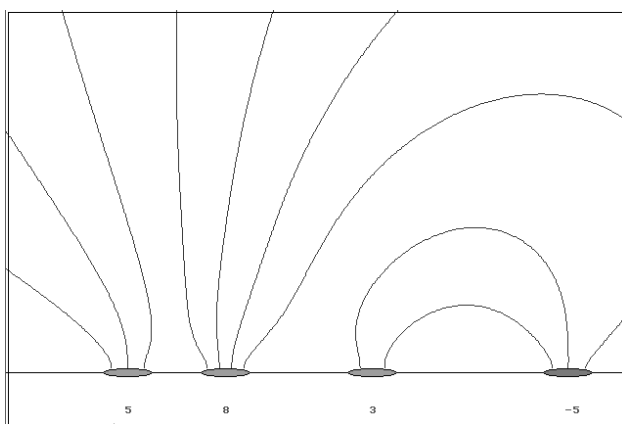


в)

Рис. 4

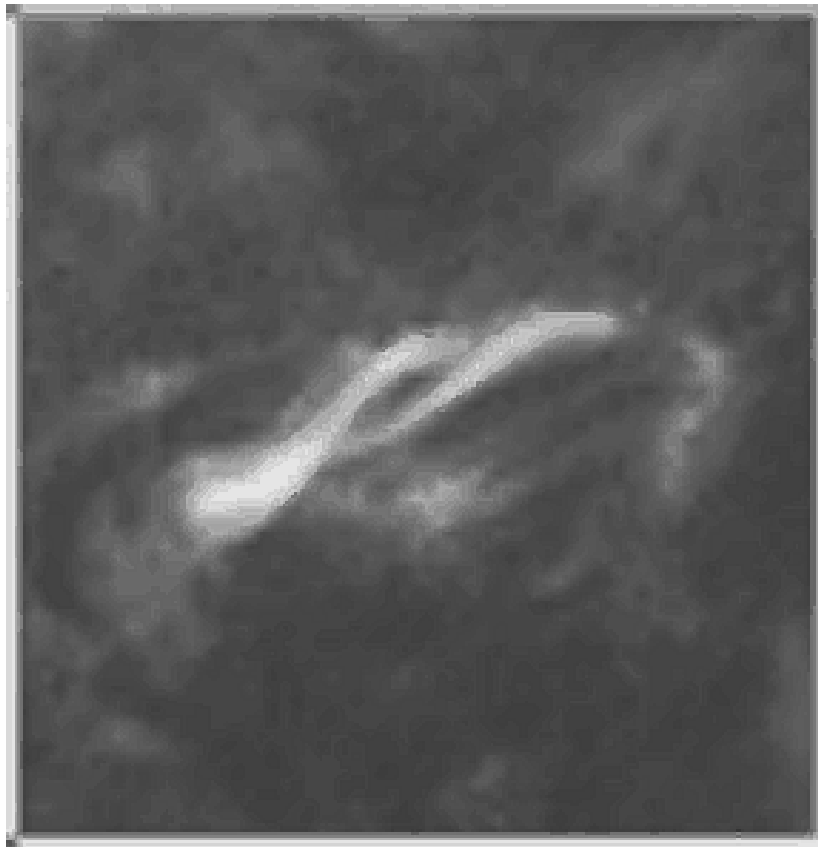


а)



б)

Рис. 5



a)

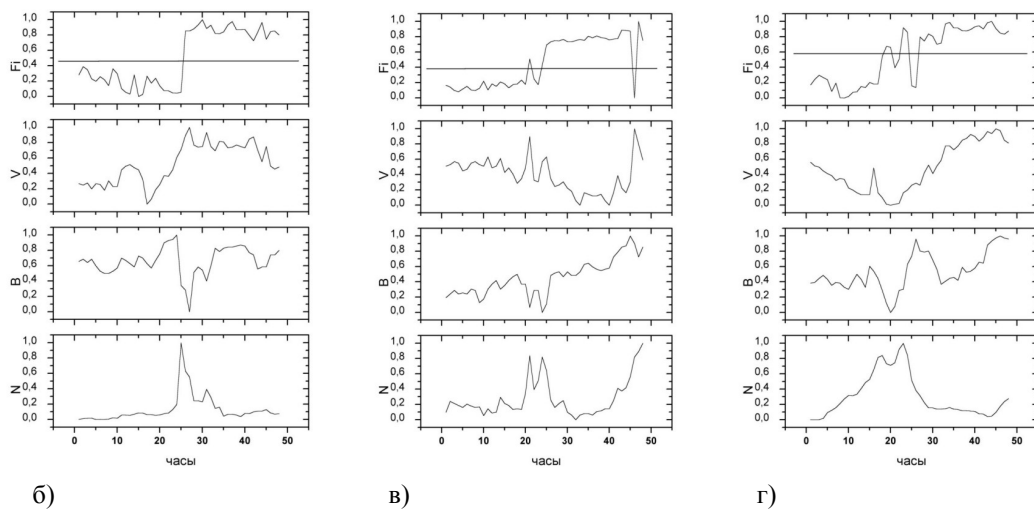


Рис. 6

13.07.2014 – 22.07.2014

SDS Solar Dynamics Structure