

УДК 523.9

І. С. Лаба

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка
79005 Львів, вул. Кирила й Мефодія, 8

**Протонний спалах 4В/Х17.2 на Сонці 28 жовтня 2003 р.
Результати фотометрії**

За H_{α} -фільтрограмами вивчається потужний спалах 4В/Х17.2 28 жовтня 2003 р. в активній області АО 10486. Ця активна область мала складну магнітну буд-конфігурацію, S-подібну форму лінії розділу полярностей, досягла максимальних розмірів в циклі № 23. У ній також спостерігались локальні волокна, петлі, системи петель. Одержані світлові криві для спалахових вузлів явно вказують на два періоди еволюції. Перший період — передспалаховий, в якому завершується накопичення непотенціальної енергії (енергії електричних струмів) магнітного поля і підготовка ситуації для реалізації другого періоду. У цій стадії спостерігається повільна і невелика зміна інтенсивності спалахових вузлів, крім одного, активізація структурних утворень (скручення, вихрові рухи, з'єднання). Під кінець першого періоду, з виходом нового магнітного потоку, утворилась взаємозв'язана система із волокон і петель, яка охопила як центральну частину, так і периферію активної області. Почали зароджуватись нові спалахові вузли навколо S-подібного головного волокна. Другий спалаховий період розпочався близько 11:02 UT бурхливим і значним ростом інтенсивності і площі спалахових вузлів та виникненням нових. Протягом 8 хв велика частина активної області навколо основного волокна покривалась спалаховою емісією. Спалахове випромінювання у максимумі інтенсивності проявляє флуктуаційний характер. Після максимуму на фазі загасання спостерігається повільний спад інтенсивності всіх вузлів. Оскільки взаємозв'язана система із петель і волокон охоплює всю активну область, то це і призвело до трансформації нагромадженої енергії магнітного поля шляхом магнітного перез'єднання у потужне вивільнення електромагнітного і корпускулярного випромінювання.

**ПРОТОННАЯ ВСПЫШКА 4В/Х17.2 НА СОЛНЦЕ 28 ОКТЯБРЯ 2003 Г.
РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОМЕТРИИ, Лаба И. С.** — По H_{α} -фильтрограммам изучается мощная вспышка 4В/Х17.2 28 октября 2003 г. в активной области АО 10486. Эта активная область имела сложную магнитную буд-конфигурацию, S-образную форму линии раздела полярностей, достигла максимальных размеров в цикле № 23. В ней также находились локальные волокна, петли, системы петель. Полученные световые кривые для вспышечных узлов явно указывают на два периода эволюции. Первый период — предвспышечный, в котором завершается накопление

непотенціальної енергії (енергії електричних токів) магнітного поля і підготовка ситуації для реалізації другого періода. На цій стадії спостерігається вільне і невелике зменшення інтенсивності вщипувальних вузлів, крім одного, активізація структурних образунків (зкручування, вихреві рухи, з'єднання). Під кінець першого періода, з виходом нового магнітного потоку, з'явилася взаємозв'язана система з волокон і петель, яка охоплювала як центральну частину, так і периферію активної області. Почали зароджатися нові вщипувальні вузли навколо S-образного головного волокна. Другий період (вщипувальний) почався приблизно в 11:02 UT бурним і значимим збільшенням інтенсивності і площі вщипувальних вузлів і з'явленням нових. На протязі 8 хвилин більша частина активної області навколо головного волокна була покрита вщипувальною емісією. Вщипувальне випромінювання в максимумі інтенсивності проявляє флюктуаційний характер. Після максимуму на фазі затухання спостерігається падіння інтенсивності всіх вузлів. Оскільки взаємозв'язана система з петель і волокон охоплює всю активну область, це і привело до трансформації накопленої енергії магнітного поля шляхом магнітного перез'єднання в потужне виділення електромагнітного і корпускулярного випромінювання.

PROTON SOLAR FLARE 4B/X17.2 ON 28 OCTOBER 2003. PHOTOMETRIC RESULTS, by Laba I. S. — The powerful flare of 4B/X17.2 on 28 October 2003 in the NOAA AR 10486 active region is explored by using H_{α} -filtergrammes. Having a $\beta\gamma\delta$ -complicated magnetic structure and sigmoidal pattern of the polarity-inversion line, the above-mentioned AR reached its maximal dimensions at the 23th cycle. This AR also consisted of local filaments, loops and systems of loops. The light curves obtained for all of the flare knots clearly reveal two stages of evolution. The first stage is pre-flare, with storage of unpotential magnetic energy (energy of electric currents) became over with preparation (of necessary and complete conditions) for the realisation of the second stage. One may observe slow and slight intensity change of all the flare knots (except one) and the activation of structure creations (twists and connections) at this stage. Emergence of a new magnetic current promoted the creation of interconnected filaments and loops (IFL) system at either the central part of AR or its edgest at the end of the first stage. New flare knots began appearing around the main S-like filament. The second flare stage began with a dramatic increase of intensity and square of all flare knots and the creation of new knots at 11:02 UT. The main part of AR was covered by a flare emission around the main filament during 8^m. At the maximum of the flare's radiation intensity fluctuational behaviour manitests itself. One may have observed a slow intensity decrease at every flare knot after the maximum (decaying phase). The IFL system (by means of the magnetic reconnection) transformed its stored magnetic field energy into a strong emission of electromagnetic and corpuscular radiations having covered all the AR.

ВСТУП

У жовтні — листопаді 2003 р. по видимому диску Сонця проходили три великі і складні активні області (АО 10484, 10486, 10488), які продукували небувалий вияв сонячної активності, що призвело до виникнення «драматичної космічної погоди» (<http://sxi.ngdc.noaa.gov/>). Продуковане спалахом жорстке електромагнітне випромінювання, ежекція корональної маси, сонячні космічні промені, ударні хвилі, магнітоплазмові згустки («плазмоїди»)

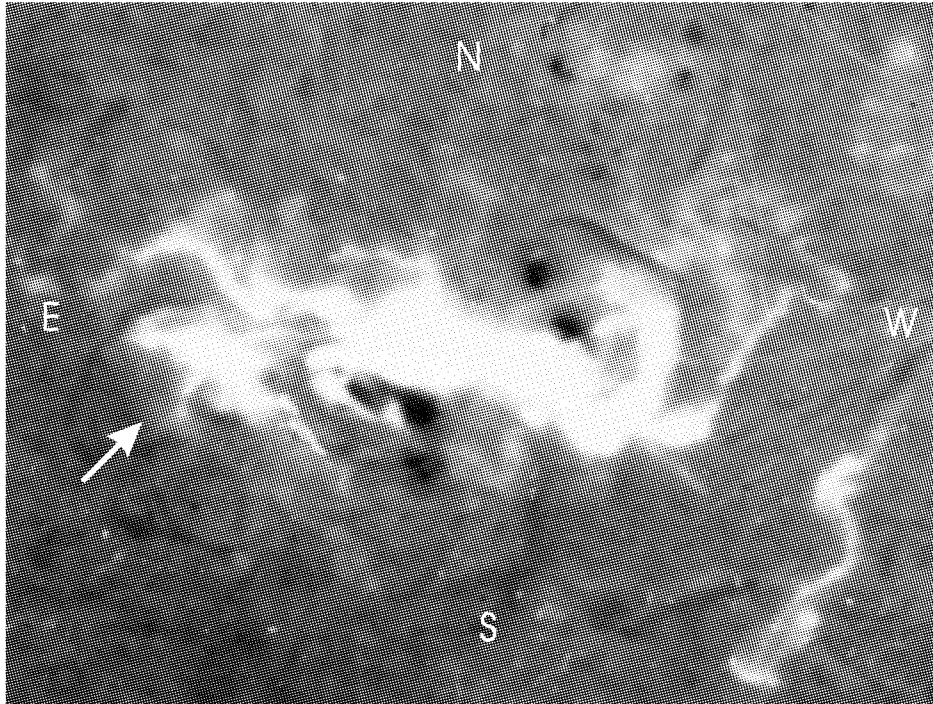


Рис. 1. H_{α} -фільтрограма потужного протонного спалаху 28 жовтня 2003 р. у максимумі інтенсивності і площі (11:05:25 UT), отримана з допомогою сонячного телескопа астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка. Стрілкою вказано положення вузла № 7

і цілі хмари високоенергійних частинок збурювали кліматичну систему Землі (магнітосферу і атмосферу) і викликали в ній цілий ряд явищ (магнітні бурі, полярні сяйва, блекаути, раптові іоносферні збурення, поглинання у полярній шапці та ін.), спричиняючи негативну дію як на життєдіяльність людей, так і на космічні апарати.

У цей період в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету ім. Івана Франка за допомогою хромосферного телескопа провадились кінематографічні спостереження повного диска Сонця. Зокрема, були одержані зображення Сонця, на яких добре видно еволюцію потужного протонного двострічкового (найвищого в оптичному діапазоні балу 4В) спалаху (рис. 1). Наша робота присвячена результатам їхнього фотометричного дослідження.

Раніше в роботах [3—8, 10, 11, 13, 14, 16—21] провадились дослідження потужних двострічкових спалахів на Сонці балу 3, 3⁺. Сукупність спостережуваних даних свідчить про те, що потужні протонні двострічкові спалахи виникають вздовж і по обидві сторони лінії розділу полярностей у великих компактних активних областях або комплексах з складними магнітними $\beta\gamma\delta$ -конфігураціями. За декілька днів до спалахового процесу формується видовжене (у більшості випадків S-подібне) основне волокно-протуберанець, яке, як відомо, розміщується над лінією розділу полярностей і підтримується системою магнітних петель (аркадою); воно проявляється в оптичному діапазоні як темне (через поглинання випромінювання фотосфери) густе і холодне структурне утворення.

В еволюції потужних протонних спалахів виявлено характерний передспалаховий період. За 10—60 хв до початку потужного спалаху починається передспалахова активізація темних і світлих структурних утворень, викиди темної і світлої речовини, зникнення та поява петель і петельних систем, виникнення яскравих елементів і слабких спалахів, переміщення магнітних вузлів і вихрові рухи вздовж лінії розділу полярностей, скручення петель, ріст однієї полярності за рахунок зменшення площі іншої полярності, зближення плям і збільшення їхньої напруженості. Частота активізації збільшується в міру наближення спалахового процесу. Передспалахова активізація структурних утворень, що пов'язана з впливанням з-під фотосфери нового магнітного потоку, спричиняє еволюційні зміни, нагрівання, веде до перебудови магнітного поля активної області, ускладнюючи її структуру і накопичуючи енергію у верхніх шарах атмосфери (у петельних системах). Важливим результатом досліджень у Кримській астрофізичній обсерваторії [1, 6—8, 10, 16—21] є висновок, що крім магнітного поля, важко знайти джерело енергії, здатне забезпечити спостережуване в спалахах виділення енергії у вигляді механічного руху плазми, тепла та випромінювання (до 10^{25} Дж за весь процес спалаху). Максимальною є енергія магнітного поля активної області безпосередньо перед спалахом. Фактично, як відмічено у роботах [1, 7], джерелом енергії спалаху є загальний енергозапас активної області, який відображається у величині глобального електричного струму (адже магнітне поле активної області значною мірою струмове). Під час спалахового процесу відбувається різке зменшення потоку магнітного поля [10] $\Delta\Phi/\Delta t$, яке спричиняє електро-рушійну силу порядку 10^9 В, здатну генерувати сонячні космічні промені і струми в контурі, що охоплюють всю активну область. Для джоульової дисипації струмів необхідно понизити провідність приблизно в 1000 разів, що досягається за рахунок виникнення ряду нестійкостей [2, 12] або введенням в область енерговиділення холодної (частково іонізованої) плазми (протуберанця) [9].

Кожний окремих потужний спалах є унікальним процесом і вимагає окремого дослідження. Вельми важливим є також встановлення причинно-наслідкових зв'язків, які ведуть до виникнення передспалахової ситуації та до реалізації спалахового процесу.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ І ОБРОБКА ДАНИХ

Спостереження повного диску Сонця в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету ім. Івана Франка провадяться за допомогою хромосферного телескопа. Телескоп оснащено кінокамерою з часовою роздільною здатністю 1 кадр/с. Діаметр зображення Сонця в кадрі 50 мм; кутове розділення $1''$. Як світлоприймач використовується аерофотоплівка «Ізопанхром 38-ТП» на протиореольній основі з контрастом 2.5 і світлочутливістю 250 од. ГОСТУ («Свема»). Важливою складовою частиною оптичної схеми телескопа є інтерференційно-поляризаційний фільтр (ПФ-4) з смугою пропускання 0.05 нм, центрований на бальмерівську лінію H_{α} (656.3 нм), що власне і дає можливість провадити спостереження на рівні хромосфери. На кожному кадрі фотоплівки поряд з зображенням Сонця вдруковуються час і дата спостереження, а також ступінчастий послаблювач. Керування роботою телескопа здійснюється пультом управління, в пам'ять якого вводяться дані про умови фотографування. Телескоп може працювати у ручному і автоматичному режимах. Режимну стабільну температуру фільтра (38.8 °C) підтримує термостат.

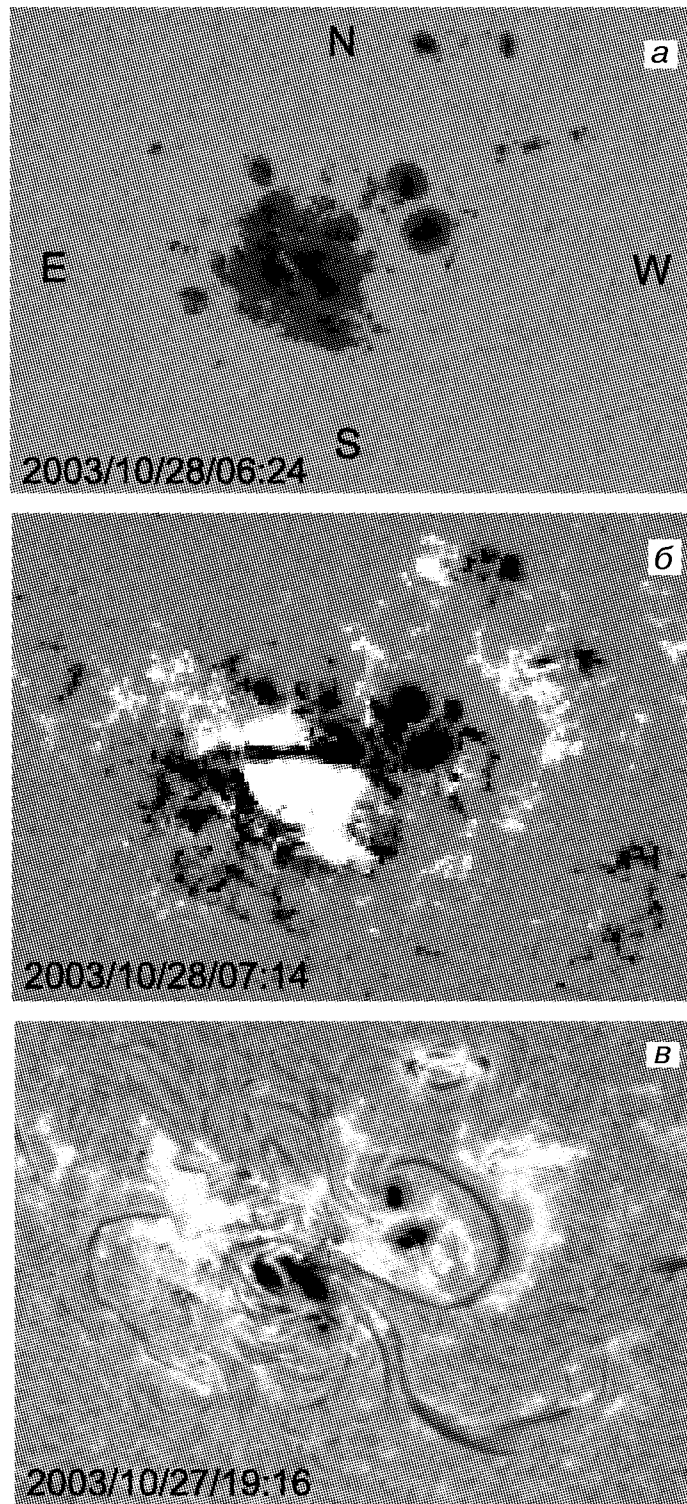


Рис. 2. Активна область (NOAA AR0486) на фотосферному (*a* — в континуумі, *b* — магнітограма — дані космічного апарата SOHO/MDI (<http://sxi.ngdc.noaa.gov/>) і хромосферному (*B*, H α -фільтрограма до початку спалахового процесу — дані обсерваторії BBSO, США, <http://bbso.njit.edu/>) рівнях

Спостереження Сонця 28 жовтня 2003 р. почалось о 10:02:07 UT при температурі фільтра 36 °С. У цей час у великій і дуже складній активній області 10486 виявлено спалах у розвитку: спостерігалось випромінювання спалахових вузлів з нижніх шарів хромосфери і, мабуть, з області температурного мінімуму (досить чітко видно обриси тіні і півтіні плям). У міру збільшення температури фільтра і наближення її до режимної збільшувалась кількість спалахових вузлів, їхня яскравість і розміри, і нарешті проявилась тонка структура хромосфери (10:12:34 UT) і спалахових вузлів. Згідно з даними NOAA (<http://www.sec.noaa.gov/>) спалах розпочався о 09:30 UT.

Експонована фотоплівка піддавалась хімічній обробці, після чого проводилась фотометрія ступінчастого послаблювача з метою побудови характеристичної кривої.

Одержано 64 негативних кадри H_{α} -фільтрограм повного диска Сонця, на яких відображено еволюцію потужного двострічкового протонного спалаху. Для фотометрування і побудови світлових кривих вибрано 39 вузлів, локалізованих в різних ділянках активної області. Далі на кожному кадрі для кожного із 39 спалахових вузлів фотометрувався участок із максимальною густиною почорніння (A_1), незбурена хромосфера A_0 і фон A_{ϕ} . Для виключення фону за значеннями відношень A_1/A_{ϕ} і A_0/A_{ϕ} на характеристичній кривій знаходились значення I_1/I_0 і I_0/I_0 . Далі обчислювалась відносна інтенсивність I_1/I_0 спалахових вузлів, виражена в одиницях незбуреної хромосфери.

Для визначення балу (потужності) спалаху використовувався вираз

$$I_1/I_0 \cdot 0.4 \cdot 100 \text{ \%}.$$

Отже, маючи для вибраних вузлів в кожному кадрі обчислену відносну інтенсивність і час одержання знімка, будемо так звану світлову (фотометричну) криву — зміну відносної інтенсивності спалахового вузла з часом.

На рис. 3 приведено лише дві (характерні для даного спалаху) світлові криві. Бал (потужність) спалаху визначається двома параметрами: максимальними значеннями інтенсивності і площі. Наші оцінки максимальної площі і особливо максимальної інтенсивності перевищують характерні значення для найвищого в оптичному діапазоні балу 4В. Так, для декількох спалахових вузлів у максимумі відносна інтенсивність становила 280 % і більше. Площа спалаху $S_0 > 25 \text{ град}^2$.

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНЄ ОБГОВОРЕННЯ

Активна область, що продукувала потужний протонний спалах 28 жовтня 2003 р. (рис. 2) АО 10486 — була рекордно великою у циклі № 23 (понад 15 земних діаметрів) і мала складну магнітну $\beta\gamma\delta$ -конфігурацію (рис. 2, б); крім цього, активна область мала S-подібне головне волокно-протуберанець, розташоване над лінією розділу полярностей (рис. 2, в). Магнітограма (рис. 2, б) підтверджує складну компактну магнітну конфігурацію з великим фактором заповнення (N-полярність — світлий колір; S — темний). H_{α} -фільтрограма (рис. 2, в) підтверджує вихрову структуру всієї активної області.

Згідно із повідомленнями світового центру даних в даній активній області спостерігалось постійне витікання нового магнітного потоку, супроводжуване виникненням нових плям і цілих областей сателітів, підсиленням магнітного поля, активізацією структурних утворень, появою яскравих елементів, слабких спалахів, нових магнітних петель та їхніх систем, а також вихрових рухів вздовж лінії розділу полярностей. Спостережуване

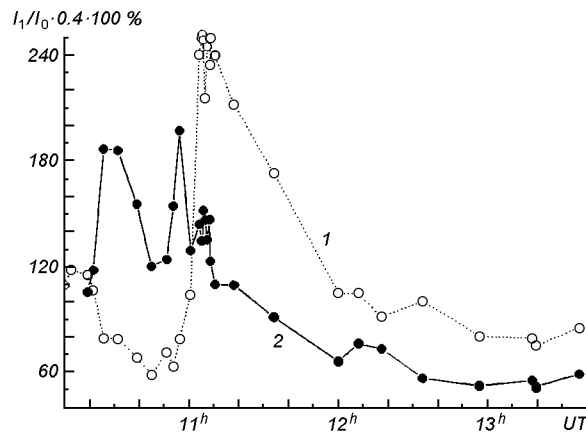


Рис. 3. Фотометричні криві: 1 — усереднена для восьми спалахових вузлів; 2 — для одного вузла № 7

витікання нового потоку спричинювало еволюційні зміни і нагрівання призводило до перебудови, ускладнення магнітного поля і, врешті, до накопичення загального енергозапасу активної області.

Отримано H_{α} -фільтрограми з еволюцією потужного протонного спалаху в активній області АО 10486 і 39 світлових кривих як результат фотометрії спалахових вузлів. Всі світлові криві явно вказують на два періоди еволюції спалаху.

Перший період — передспалаховий — порівняно незначна зміна інтенсивності спалахових вузлів (крім одного). Цей період тривав до 11:01 UT. Для 38 спалахових вузлів виявлено однаковий хід інтенсивності. Тому з них вибрано лише 8 характерних для цього спалаху, локалізованих в різних частинах активної області, і обчислено для них середнє значення інтенсивності (лінія 1 на рис. 3). Тільки для одного спалахового вузла № 7 характер зміни інтенсивності був іншим (лінія 2 на рис. 3); локалізація вузла показана на рис. 1 стрілкою. Із рис. 3, лінія 1, видно, що інтенсивність вузлів, досягнувши деякого максимального значення, різного для кожного вузла, почала зменшуватись до мінімального (10:45 UT). На кінець періоду спаду інтенсивності припадає виникнення в активній області нових волокон і активізація старих; поступово налагоджуються контакти між окремими периферійними волокнами і основним волокном, виникають вихрові рухи біля лінії розділу полярностей. Під кінець першої стадії (10:45—11:01 UT) утворилась і почала взаємодіяти складна «система» із волокон і петель, яка охопила всю активну область. Спочатку повільна взаємодія системи з впливаючим новим магнітним потоком виразилась на фотометричній кривій (рис. 3, лінія 1) невеликим збільшенням інтенсивності вузлів; тоді як для вузла № 7 — максимальне збільшення інтенсивності (рис. 3, лінія 2). По обидва боки S-подібного волокна з'явилися стрічки невеликої інтенсивності. Місце найбільшого енерговиділення на першій стадії належить вузлу № 7, що перебувало біля місця розриву основного волокна у південно-східній його частині з максимумом випромінювання о 10:56 UT (другий сплеск інтенсивності). Перший сплеск інтенсивностей вузла № 7 припадає на зменшення яскравості всіх інших вузлів. Спалаховий вузол № 7 у передспалаховий період (за площею та інтенсивністю) відповідав спалаху балу 1В. Наприкінці першої стадії достат-

ньо збільшилась інтенсивність спалахових вузлів, а також з'явилися нові вузли.

Через погодні умови пропущено важливий момент в еволюції спалаху — початок другої стадії. Це відбулося приблизно о 11:02 UT, коли розпочався бурхливий і великий ріст інтенсивності і площі всіх (крім № 7) вузлів. Протягом 8 хв велика частина активної області навколо основного волокна покрилась інтенсивною спалаховою емісією (рис. 1). Перший кадр другого періоду отримано лише о 11:04 UT під кінець т.зв. флеш-фази; на світловій кривій (лінія 1 на рис. 3) — безпосередньо перед максимумом інтенсивності спалаху. Вже на початку другої стадії чітко проявилась важлива роль S-подібного волокна як центра енерговиділення. Оскільки спалахова емісія формується навколо основного волокна, то в цілому вигляд спалаху теж S-подібний. У максимумі інтенсивності спалах проявляє флюктуаційний характер. До речі, флюктуації випромінювання на 38 світлових кривих виявляють синфазність і є реальними. Така синфазність підтверджує спряженість спалахових вузлів і їхній зв'язок з єдиним джерелом енергії, що обумовлює їхнє випромінювання. Проте еволюція випромінювання вузла № 7 має інший характер. Вузол № 7 локалізувався в кінці південно-східної частини головного волокна (рис. 1) поруч з місцем контакту двох волокон. Місце контакту стало місцем розриву головного волокна при його взаємодії з новим магнітним полем, що вийшло з-під фотосфери [22]. Згідно з моделлю Хейвертса та ін. [23], піднімаючись вгору, розірвана частина волокна висипала вниз (у хромосферу) високоенергетичні частинки. Випромінювання вузла № 7 — своєрідний відгук тієї частини хромосфери, куди вривались високоенергетичні частинки. Згідно з [23] спочатку виникають спалахові вузли на кінцях головного волокна або в місцях його розриву, що й отримано для вузла № 7. У післямаксимальний період спостерігається повільний спад інтенсивності всіх вузлів. Фаза загасання спалаху займає більшу частину його часу життя.

Приведена на рис. 2, в H_{α} -фільтрограма є доказом того, що на хромосферному рівні АО 10486 має вихрову структуру. Такі активні області [14] при наявності навіть середньої напруженості (0.2—0.25 Тл) магнітних полів плям є найбільш спалахово-продуктивними. Їхня вихрова структура здатна нагромаджувати особливо велику енергію, яка при певних умовах може вивільнитись.

З точки зору причинно-наслідкових зв'язків, які дають можливість відтворити сценарій зародження і реалізації спалахового процесу, найважливішим є динаміка речовини і магнітного поля (магнітогідродинаміка), яка охоплює структурні утворення різних масштабів і викликає взаємодію між ними. Фактично діє схема, згідно з якою енергія гідродинамічних рухів трансформується у надлишкову (вільну) енергію магнітного поля (енергію електричних струмів у «системі», що охоплює всю активну область). Так відбувається [1, 2, 6, 7, 10, 12, 15, 16, 21] накопичення енергії, і через локальну взаємодію — її перехід в нерівноважний стан. У такому стані можуть продукуватись спалахи порівняно невеликої яскравості, (що і спостерігалось у першій стадії). В кінці нагромадження енергії «система» наближається до деякого критичного значення і стає дуже нестійкою. Власне на початку другої стадії створилась така ситуація, при якій впливаючий з-під фотосфери новий магнітний потік [22, 23] шляхом магнітного перез'єднання з магнітним полем активної області спричинив вивільнення нагромадженої енергії. Якщо взяти до уваги факт «перекачки» енергії активної області у місце енерговиділення, центром якого є S-подібне основне волокно [1, 7], то стане зрозумілою сутність потужного спалахового енерговиділення (як наслідок ряду приведених вище взаємопов'язаних

процесів). Оскільки загальний енергозапас активної області оцінюється значенням глобального електричного струму 10^{12} А [7], для джоульової дисипації необхідне зменшення електропровідності на три порядки, до чого можуть спричинитись ряд нестійкостей [2, 12] або проникнення в область енерговиділення холодної (частково іонізованої) плазми (протуберанця) [9].

ВИСНОВКИ

Для появи потужного протонного спалаху в активній області визначальним є виникнення відповідної ситуації. До необхідних умов спалаху відноситься насамперед наявність великої і складної активної області з S-подібним основним волокном, тобто з вихровою структурою магнітного поля. Така активна область здатна накопичувати особливо велику енергію. Процес накопичення енергії триває 1-2 доби і завершується безпосередньо перед спалюванням енергії в активній області. Для накопичення енергії в активній області важливим є динаміка плазми і магнітного поля, яка охоплює структурні утворення різних масштабів та рівнів і викликає взаємодію між ними: енергія гідродинамічних рухів трансформується в надлишкову, вільну енергію (енергію електричних струмів «системи», що охоплює всю активну область). Далі система завершує накопичення енергії, що наближається до порогового значення і стає вельми нестійкою. Достатньою умовою є тригерний механізм взаємодії впливаючого магнітного потоку шляхом перез'єднання протилежно спрямованих магнітних полів з існуючою системою, у центрі якої перебувало S-подібне головне волокно і «перекачки» туди накопиченої енергії з усієї активної області, внаслідок чого утворилось потужне спалахове енерговиділення.

1. Абраменко В. И., Гопасюк С. И., Огирь М. Б. Эволюция активной области, ее токовых систем и вспышечная активность // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1988.—78.—С. 151—170.
2. Алтынцева А. Г., Банин В. Г., Куклин Г. В. и др. Солнечные вспышки. — М.: Наука, 1982.—247 с.
3. Банин В. Г. О коррелированности флуктуации яркости вспышек // Солнеч. данные.—1976.—5.—С. 80—85.
4. Банин В. Г., Трифонов В. Д., Афанасьев С. Г. Об особенностях фотометрического развития вспышки 5 ноября 1970 года // Исслед. по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца.—1974.—Вып. 31.—С. 33—45.
5. Банин В. Г., Федорова А. С. Сильная хромосферная вспышка 5 ноября 1970 г. // Исслед. по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца.—1971.—Вып. 20.—С. 73—84.
6. Гопасюк С. И. Магнитные поля, электрические токи и вспышки в солнечных активных областях (наблюдения с магнитографом в Крыму) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1995.—92.—С. 15—23.
7. Гопасюк С. И. Магнитные поля Солнца и звезд // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1998.—94.—С. 98—109.
8. Гопасюк С. И., Огирь М. Б., Северный А. Б. Структура магнитных полей и ее изменения в районе солнечных вспышек // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1963.—29.—С. 15—67.
9. Зайцев В. В., Степанов А. В. Природа вспышечного энерговыделения на Солнце и диагностика плазмы солнечных вспышек // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1994.—92.—С. 25—43.
10. Зверева А. М., Северный А. Б. Магнитные поля и протонные вспышки 7 июля и 2 сентября 1966 года // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1970.—41—42.—С. 97—157.
11. Ишков В. Н. Связь характеристик больших солнечных вспышек с параметрами АО // Симпозиум КАПГ «Прогнозы солнечной активности и наблюдения солнечных активных явлений»: Тез. докл., 18—22 мая 1987 г. — Л., 1987.—С. 59.
12. Каплан С. А., Пикельнер С. Б., Цытович В. Н. Физика плазмы солнечной атмосферы. — М.: Наука, 1977.—255 с.
13. Коваль А. Н. Зависимость вспышечной активности групп пятен от направления линии раздела полярностей // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1974.—51.—С. 13—18.

14. Коробова З. Б., Могилевский Э. И. О спиральной структуре сложной вспышечно-активной группе пятен // Астрон. циркуляр.—1990.—№ 543.—С. 19—20.
15. Матюхин Г. Ю., Томазов В. М. О влиянии фотосферных движений на топологическую эволюцию магнитной петли // Исслед. по геомагнетизму, аэронамии и физике Солнца.—1989.—Вып. 87.—С. 36—42.
16. Огирь М. Б. О некоторых особенностях возникновения и движения вспышек, сопровождающихся всплесками радиоизлучения IV типа // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1967.—37.—С. 94—104.
17. Огирь М. Б. Некоторые виды движений в хромосферных вспышках // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1970.—70.—С. 25—44.
18. Огирь М. Б. О некоторых условиях возникновения двухленточных хромосферных вспышек // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1974.—51.—С. 19—31.
19. Огирь М. Б., Цап Т. Т. Структура магнитного поля и вспышечная активность в области McMh9740 (октябрь 1968 г.) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1981.—63.—С. 46—65.
20. Огирь М. Б., Шапошникова Е. Ф. О связи возникновения мощных вспышек с появлением и усилением пятен // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1965.—34.—С. 272—277.
21. Северный А. Б. Расположение сильных вспышек в магнитных полях групп пятен // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1963.—30.—С. 161—184.
22. Archontis V., Moreno-Insertis F., Galsgaard K., et al. Emergence of magnetic flux from the convection zone into the corona // Astron. and Astrophys.—2004.—426, N 3.—P. 1047—1063.
23. Heyvaerts I., Priest E. R., Rust D. M. An emerging flux model for the solar flare phenomenon // Astrophys. J.—1977.—216, N 1.—P. 123—137.

Надійшла до редакції 28.04.06