

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНИХ УТВОРЕНЬ У ФОТОСФЕРІ НА СОНЯЧНОМУ ТЕЛЕСКОПІ АЦУ-26

С. М. Чорногор¹, М. В. Карпов², О. В. Андрієнко², Ю. С. Іванов², Л. І. Карпова²

¹Головна астрономічна обсерваторія НАН України,
вул. Заболотного, 27, Київ, 03143, Україна

² Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України,
вул. Заболотного, 27, Київ, 03143, Україна
e-mail: karrov@tao.kiev.ua

(Отримано 02 травня 2018 р., в остаточному вигляді — 29 жовтня 2018 р.)

Наведено можливості та сучасний стан горизонтального сонячного телескопа АЦУ-26. Розглянуто апаратно-програмний комплекс наведення та гідуювання телескопа. Досліджено спалахи у великому діапазоні висот сонячної атмосфери. Визначено фізичний стан фотосфери перед сонячними спалахами та на їхній початковій стадії на основі спостережного матеріалу.

Ключові слова: багаточастинкові поля, диференціальний переріз, пружне розсіяння адронів, квадрат переданого чотириімпульсу.

DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.23.1902>

PACS number(s): 95.55.Ev, 96.60.Mz

I. ВСТУП

Прогрес наземних досліджень Сонця можна пов'язати зі спостереженнями в умовах високогір'я із застосуванням методів поліпшення роздільної здатності. Як продемонстрували спостереження на піку Терскол (висота 3100 м над рівнем моря) на телескопі АЦУ-26, за умов дуже доброї прозорості та практично відсутності тремтіння зображення Сонця в спектрах сонячних спалахів вдається просторово розділити емісійні деталі розміром до 1–2" [1]. Така якість спостережень дає змогу вивчати фізику активних утворень, а саме, досліджувати їхню тонку структуру на сучасному рівні.

Спектральні спостереження, проведені на телескопі АЦУ-26, показують, що вміст водяної пари над піком Терскол у літньо-осінній період у ясні дні становить у середньому всього 2–6 мм осадженої води на одиницю повітряної маси, що дозволяє ефективно проводити дослідження в різних діапазонах спектра [2,3].

На піку Терскол спостереження сонячних активних утворів виконано разом із співробітниками Головної астрономічної обсерваторії НАН України та Астрономічної обсерваторії Київського національного університету. В обробці та інтерпретації даних брали участь також співробітники КРАО [5]. Для виявлення передспалахових змін стану фотосфери спектрографування окремих елементів активної ділянки проводили серіями тривалістю приблизно 1 год з частотою близько 1 хв. Якщо виникали спалахи, їх знімали неперервно до моменту закінчення..

II. КОМПЛЕКС ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СОНЯЧНОГО ТЕЛЕСКОПА АЦУ-26

Телескоп АЦУ-26 є єдиним таким горизонтальним сонячним телескопом у дії: діаметр целостатних та го-

ловного дзеркала — 65 см, фокусна відстань — 17750 см. Телескоп оснащений 5-ти камерним спектрографом високої роздільної здатності. Діаметри коліматорного та камерних дзеркал — 30 см, фокусна відстань — 800 см, дифракційна ґратка — 20 × 25 см, 600 штрихів на мм, спектральна роздільна здатність — близько 400 000.

5-камерний спектрограф дозволяє одночасно отримувати спектрограми ліній, розташованих у різних ділянках спектра Сонця [1]. Завдяки цьому можна дібрати лінії, що утворюються на різних глибинах в атмосфері Сонця. Це особливо актуально під час спостережень таких динамічних процесів, як сонячні спалахи. Одночасні спостереження в кількох спектральних лініях дають змогу отримати інформацію про фізичний стан атмосфери Сонця на різних висотах.

Похибки вимірювань спектра Сонця на спектрографі високої спектральної роздільної здатності великою мірою залежать від точності наявних даних про профіль інструментального контуру (ІК). За своєю природою ІК не сталий у часі й залежить від якості юстування приладу, температурних змін дзеркал, усадок фундаментів, ступеня когерентності світла та від інших чинників [4].

Для вимірювання інструментального контуру (ІК) спектрографа використано газовий гелій — неоновий лазер, довжина хвилі випромінювання якого $\lambda = 632.99$ нм. При цьому була реалізована така оптична схема — монохроматичний пучок лазерного випромінювання пропускали через розсіювальну й циліндричну лінзи. У фокусі останньої було матове скло. Далі пучок світла перетворювався сферичним об'єктивом і відбивався від плоского дзеркала, установленого в безпосередній близькості від вхідної щілини. Потім світло проходило оптичний шлях: діагональне дзеркало телескопа, головне дзеркало — додаткове дзеркало целостатної групи і назад до вхідної щілини. У

результати на вхідній щілині спектрометра будувалося збільшене зображення вузької смуги світла — зображення, отримане за допомогою циліндричної лінзи на матовому склі. Світлосилу об'єктива вибирали такою, щоб повністю заповнити ґратку спектрографа. Подібну схему вимірів використовували для регулярних вимірювань інструментального профілю подвійного монохроматора телескопа АЦУ-5 в ГАО НАНУ, м. Київ [4]. ІК вимірювали в четвертому дифракційному порядку для випадку, коли кут падіння на ґратку дорівнює куту відбивання. Форма ІК майже симетрична, ширина на половині інтенсивності становить 3.5 нм. Інтенсивність крил швидко спадає до величини 10^{-5} (ширина близько 0.025 нм), інтенсивність “духів” дифракційної ґратки також не перевищує цієї величини, що свідчить про гарні оптичні якості ґратки і спектрометра загалом.

Зазначимо, що лазер як монохроматичне джерело був обраний не тільки з погляду простоти використання. Він має достатню потужність для того, щоб забезпечити освітленість приймача порівняну з освітленням під яас спостереження Сонця. Це дає змогу вимірювати за схожих експозицій, а значить, і за однакових внутрішніх променевих швидкостей у спектрографі.

III. АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС НАВЕДЕННЯ ТА ГІДУВАННЯ ТЕЛЕСКОПА

Телескоп має гід, систему наведення, H_{α} -монітор, 3-и каналну систему побудови зображення дзеркальної щілини спектрографа, кілька цифрових робота, установлених на спектрографі. Проведена робота з інтеграції всіх засобів у єдиний апаратно-програмний комплекс; розроблено та виготовлено кілька макетів системи компенсації тремтіння зображення. Завданням цього комплексу є автоматичне наведення телескопа за заданими координатами на диску Сонця та утримання в заданому положенні (гідування). Гід виконаний за оригінальною оптичною схемою й розташований на фундаменті біля вхідного люка телескопа в нижній частині пучка світла.

Зображення з відеокамери надходить на плату захоплення (frame-grabber) в комп'ютер в апаратній кімнаті та обробляється програмою solguide, яка видає через плату виводу сигнали керування на оптичні реле, що вмикають серводвигуни цілоstaatної установки АЦУ-26. Програма solguide дозволяє операторові:

- проводити калібрування з метою прив'язки інструментальних систем координат гіда та телескопа;
- наводити телескоп у задану точку на диску Сонця за координатами в одній з 3-х геліографічних систем координат в автоматичному режимі;
- наводити телескоп на певну ділянку диска Сонця в ручному режимі.

H_{α} монітор-телескоп потрібен для отримання та аналізу зображень повного диска Сонця в лінії водню H_{α} .

Він призначений для моніторингу активності на диску Сонця з метою раннього виявлення сонячних спалахів та визначення їхніх геліографічних координат.

Для інтерпретації спектральних спостережень Сонця необхідно мати зображення ділянки Сонця навколо щілини спектрографа. Для цього розроблено, виготовлено та змонтовано систему побудови зображення дзеркальної щілини. Система складається з 3-х каналів, у яких встановлено вузькосмугові інтерференційно-поляризаційні фільтри, що пропускають випромінювання в лініях К кальцію та H_{α} водню, а також інтерференційний фільтр, що пропускає випромінювання в континуумі на 530 нм (канал “білого” світла), та розроблено нову версію програмного забезпечення комплексу, в якій зокрема:

- поліпшено алгоритм визначення інструментальних координат центру диска Сонця;
- поліпшено алгоритм калібрування інструментальних координат гіда та телескопа;
- додано можливість урахувати диференційне обертання Сонця. Розроблено автоматичне наведення телескопа за командою з програми H_{α} -монітора. Монітор оснащений цифровою камерою ST-7, для якої розроблено програму, що виконує такі завдання:
- калібрування інструментальних систем гіда та H_{α} -монітора;
- виведення на екран зображення повного диска Сонця в лінії водню H_{α} з урахуванням темного струму та плоского поля;
- вибір на диску Сонця певної ділянки, визначення її геліографічних координат, передача команди програмі гіда для наведення на задану ділянку;
- вибір на диску Сонця до 10-ти активних регіонів для моніторингу, виведення на екран яскравості у вибраних регіонах, автоматичне визначення початку спалаху у вибраних регіонах, вибір координати спалаху та наведення телескопа.

Вивчаючи активні процеси в сонячній атмосфері, крім спектральних спостережень, важливо мати також фільтрові спостереження. Для цього призначена система побудови зображення дзеркальної щілини спектрографа.

Для каналу “білого” світла встановлено CMOS-камеру PixeLink та за допомогою SDK для камер PixeLink розроблено програму, яка дозволяє виконувати такі завдання:

- виводити на екран відео з урахуванням темного струму та плоского поля;
- подавати команди програмі гіда для наведення телескопа;
- визначати тремтіння зображення та подавати команди на блок керування активним дзеркалом із частотою до 200 Гц.

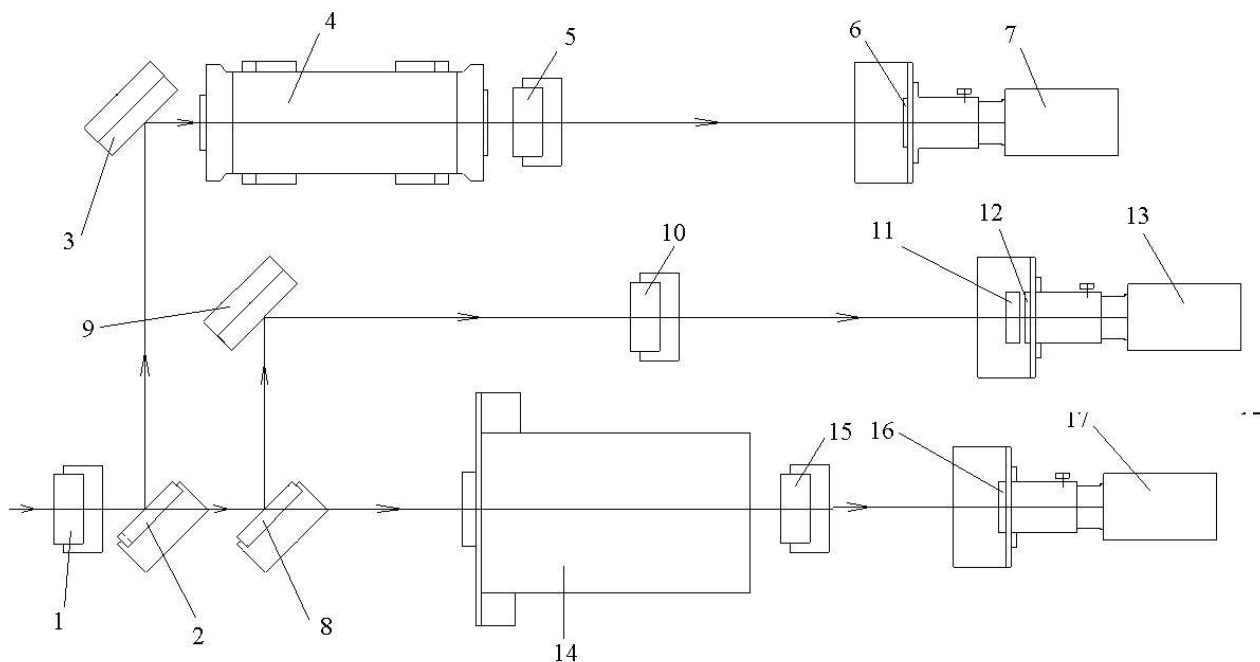


Рис. 1. Оптична схема 3-канальної системи побудови зображення дзеркальної щілини. 1 — колімаційна лінза, 2, 8 — діхроїчні поділювачі, 3, 9 — плоскі дзеркала, 4 — Ca K ППФ, 5, 10, 15 — лінзові об'єктиви, 6, 12, 16 — нейтральні фільтри, 7, 13, 17 — цифрові камери PixeLink, 11 — інтерференційний фільтр на 530 нм, 14 — ППФ.

Усі провідні сучасні сонячні телескопи мають системи компенсації тремтіння зображення чи оснащені системами адаптивної оптики. На жаль, в Україні сонячні телескопи не мають навіть систем компенсації тремтіння зображення.

На телескопі АЦУ-26 ми взяли за розробку макета системи компенсації тремтіння зображення. Основним елементом такої системи є активне дзеркало — це невелике тонке плоске дзеркало, змонтоване на п'єзоелектричному циліндрі, внутрішня й зовнішня поверхні циліндра покриті електродами, причому зовнішній електрод циліндра розділений на чотири сектори. Якщо на відповідні електроди циліндра подати напругу, то дзеркало відхиляється в потрібному напрямку. Розроблено технологію кріплення дзеркала до п'єзоелектричного циліндра, яка б забезпечувала потрібну амплітуду відхилення дзеркала за прийнятних значень напруги. Після серії спроб нам вдалося досягти необхідної амплітуди рухів за напруги в 1 кВ.

Зображення дзеркальної щілини спектрографа, отримані з каналу "білого" світла, надходять з камери PixeLink до USB2.0-порту комп'ютера, на якому встановлене програмне забезпечення, коротко описане в попередньому розділі. Ці зображення обробляємо й визначаємо їх зміщення щодо опорного кадру. Команди руху активного дзеркала надходять в електронний блок керування двома LPT-портами та використовую-

ються для зміни напруги, що подається на електроди п'єзоциліндра.

Активне дзеркало змонтовано на металевій опорі, встановленій на металевій плиті, що закріплена на фундаменті біля спектрографа. За допомогою штучної зірки, введеної в оптичну схему телескопа, ми дослідили АЧХ (амплітудно-частотні характеристики) активного дзеркала. З використанням цього дзеркала значно поліпшено просторову роздільну здатність телескопа.

Об'єднання наземних телескопів і космічних засобів у дослідженнях Сонця робить їх комплексними й високоефективними. Під час підготовки спостережень на телескопі АЦУ-26 враховуємо всю доступну оперативну інформацію про стан процесів у фотосфері та хромосфері Сонця.

На сьогодні в навколосонячному просторі перебувають космічні станції:

SOHO — Solar and Heliospheric Observatory cod "249";

STEREO — observatory for 3D Sun imaging;

SDO — Solar Dynamics Observatory NASA.

Наземна підтримка зосереджена в National Solar Observatory USA (NSO) і в центрах космічної погоди. У плануванні і проведенні спостережень на телескопі АЦУ-26 активно використовують оперативні дані SDO — <https://sdo.gsfc.nasa.gov/> та GONG — <https://>

gong.nso.edu, а також із центру космічної погоди — SpaceWeather.com.

На сайті SDO подані 16 динамічних зображень Сонця для різних приладів і довжин хвиль, включаючи магнітограми та діаграму інтенсивності. Посилання на ці дані — “Courtesy of NASA / SDO and the AIA, EUV and HMI science teams”.

На сайті GONG в онлайн-режимі об'єднано дані від семи сонячних обсерваторій, які ведуть безперервний моніторинг Сонця. Крім цього, подано три усереднені магнітограми повного диска. Для всіх зображень вбудована система демонстрації за певний період часу для пошуку активного процесу й передбачення його координат.

Апаратно-програмний комплекс сонячного телескопа отримує всі необхідні дані з глобальної мережі Інтернет у захищеному режимі в реальному часі.

IV. ФІЗИЧНИЙ СТАН ФОТОСФЕРИ ПЕРЕД СОНЯЧНИМИ СПАЛАХАМИ ТА НА ЇХНІЙ ПОЧАТКОВІЙ СТАДІЇ

Спостереження активних ділянок (АО) має низку особливостей. Накопичення енергії відбувається в потокових шарах, які виникають у результаті фотосферних рухів джерел поля: спіливання нового магнітного потоку з-під фотосфери або неоднорідних горизонтальних течій у ділянці лінії розділу полярностей фотосферного магнітного поля, так званих ширових рухів [8]. Вони викликають імпульсні зміни магнітної спіральності перед і під час спалахів. Виявлено, що ці зміни корелюють зі зростанням потоку рентгенівського випромінювання [6,7].

Вивченню ширових горизонтальних рухів перед спалахами присвячено багато праць. Однак горизонтальні рухи на фотосферному рівні під час спалахів дуже мало досліджені. Більшість робіт стосується до вертикального складника швидкостей.

Спостереження АО з визначенням горизонтальних рухів у фотосфері ускладнюється тремтінням диска Сонця на краях зображень. Застосування адаптивної оптики істотно спрощує це завдання й підвищує точність вимірювань.

Якщо спалах супроводжувався викидом, то ми можемо вивчити також, чи змінюється швидкість на рівні фотосфери під час викиду. Можна проаналізувати рух хромосферної речовини в цьому спаласі й у викиді, що дозволяє порівнювати зміни рухів на фотосферному та хромосферному рівнях.

Дослідження останніх двох десятиріч свідчать, що спектральні властивості хромосферного випромінювання спалахів значною мірою залежать від властивостей потоків нетеплових електронів. Форма спектральних ліній, що утворюються в низькотемпературній частині атмосфери, доплерівські зсуви, асиметрія та інші характеристики дають інформацію:

- а) про властивості потоків нетеплових електронів;
- б) про механізм перенесення енергії спалаху від місця

первинного звільнення в нижні шари атмосфери;

в) про динамічні процеси в нижніх шарах спалахової атмосфери.

Детальний аналіз рухів речовини спочатку в низькотемпературних шарах атмосфери та в спалахових ділянках на Сонці є важливим фактором для розуміння процесів розповсюдження збурення з ділянки первинного вивільнення енергії в результаті магнітних перез'єднань у спалахах різних типів.

Дослідження поля швидкостей спалахової ділянки, за спостереженнями в широкому спектральному діапазоні, дає змогу перевірити реальність сучасних уявлень про механізми перенесення спалахової енергії. З метою вивчення передспалахового фізичного стану на фотосферно-хромосферному рівні було досліджене поле променевиких швидкостей перед чотирма спалахами.

Із даних GOES про рентгенівське випромінювання отримано висновок, що в розглянутих інтервалах часу спалахам в H_{α} передують короткотривалі сплески рентгенівського випромінювання в діапазоні 0.05–0.4 нм без видимих проявів в H_{α} -випромінюванні. Появу рентгенівських передвісників спалахів неодноразово зазначали й інші автори, зокрема [9,10]. Моменти спектральних спостережень здебільшого припадають на сплески рентгенівського випромінювання, які передують розглянутим у роботі спалахам.

Найцікавішими є найближчі до початку спалаху моменти спостереження. Спектри, отримані в ці моменти, викликають зацікавлення, оскільки на спектрограмах емісія в лінії H_{α} зображена як дві перехресні нахилені деталі. Це можуть бути дві H_{α} -петлі. На думку авторів, такий характер спектра свідчить про рухи типу “кілець диму”. У роботі [11] показано, що в спалахових петлях рух речовини відбувається по спіралі. Наші спостереження свідчать, що рухи речовини по спіралі можуть виникати й на передспалаховій стадії.

Аналіз спектрів передспалахових флокулів дав змогу виявити деякі особливості фотосферно-хромосферного поля променевиких швидкостей у період менше однієї години перед спалахами різних балів. Це дозволяє експериментально підтвердити важливу роль фотосфери на передспалаховій стадії, як зв'язувальної ланки між процесами на підфотосферному рівні з наступними спалаховими проявами у хромосфері та короні.

Основні висновки:

1. Дані GOES свідчать про появу багатьох рентгенівських передвісників спалахів, які не супроводжуються проявами в H_{α} -випромінюванні. Помічено, що є залежність між інтенсивністю рентгенівських сплесків та наступних спалахів в H_{α} [21].

2. В усіх спостережених випадках менше, ніж за 40 хв. перед спалахом у спектрі виникають нахилені емісійні деталі (на більш ранній стадії вони відсутні). Характер спектра зумовлений зміною променевої швидкості вздовж H_{α} -петлі в межах від -10 км/с до

10 км/с. Наші спостереження показують, що нахилі H_{α} -спектри можуть з'являтися й перед спалахами як результат виходу спіральних магнітних петель з наближенням початку спалаху. Це вказує на тісний зв'язок процесів на хромосферному й фотосферному рівнях і може свідчити про можливе перез'єднання в нижніх шарах сонячної атмосфери на передспалаховій стадії. У передспалахових флокулах променеві швидкості у хромосфері та фотосфері суттєво відрізняються від швидкості в сусідніх з флокулом ділянках. Проведено порівняння отриманих променевих швидкостей по лініях Fe I з результатами визначення швидкостей за абсолютними зсувами спектральних ліній нейтрального заліза в спокійній атмосфері Сонця і в активних ділянках у праці [12]. Згідно з [12] в активних ділянках сині зсуви ліній відповідають швидкостям, що не перевищують 700 м/с. Передспалахові швидкості значно перевищують ці значення (від -1 до -3 км/с).

3. Характер розподілу променевих швидкостей з висотою у фотосфері відображає наявність неоднорідностей швидкості. Це може бути наслідком розповсюдження повздовжньо-поперечних МГД хвиль унаслідок збурення на рівні основи фотосфери. Цей процес супроводжує підйом магнітних петель перед спалахами.

Для отримання повної інформації про процеси, що призводять до спалахів, необхідні подальші дослідження передспалахового стану нижніх шарів атмосфери активних ділянок, що може мати прогностичне значення.

Двострічкові спалахи посідають особливе місце серед проявів сонячної активності [5]. На зображеннях, отриманих за допомогою H_{α} -фільтра, вони мають вигляд яскравих стрічок, що лежать уздовж темного волокна, де проходить лінія розділу полярностей або нейтральна лінія магнітного поля. Ці стрічки — хромосферні підніжжя аркади петель.

Приклад зображення такого спалаху, отримане на телескопі АЦУ-26 за допомогою H_{α} -фільтра наведено на фото, на якому показано положення щілини спектрографа, що перетинала вузол А та вузол Б однієї зі спалахових стрічок.

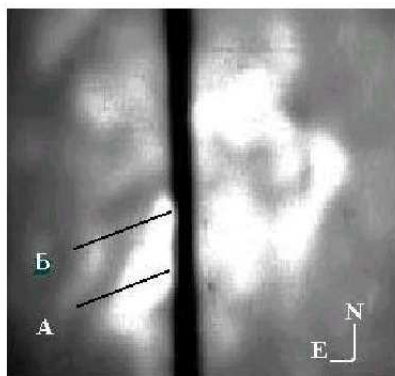


Рис. 2. Положення щілини спектрографа, що перетинала вузол А та вузол Б однієї зі спалахових стрічок.

Перед та під час спалаху спостерігалися сплески м'якого рентгенівського випромінювання. Перший момент спостережень збігається зі сплеском на передімпульсній стадії, можливим передвісником спалаху, а другий — з основним сплеском в імпульсній фазі.

Згідно зі спостереженням з високою просторовою роздільністю активні ділянки на Сонці складаються з невеликих магнітних елементів, що є в навколишньому середовищі. Тому наші моделі — двокомпонентні: магнітна силова трубка та навколишня фотосфера. За вихідну модель трубки взято модель флокула [13], а середовища — модель незбуреної фотосфери HSRA.

Деякі лінії мають властивості, які привертають увагу як засоби гарної діагностики поля швидкостей у сонячній атмосфері та були відібрані як інструмент для 5 камер спектрографа сонячного телескопа АЦУ-26. Для фотометричної обробки й подальшого аналізу рухів на рівні фотосфери використовували дев'ять фраунгоферових ліній Fe I, Si I, Ni I, C I і Ti II в інтервалі довжин хвиль: $X = 650 \dots 660$ нм. Їхні характеристики наведені в таблиці. Значення довжин хвиль ліній X і потенціалів збудження нижнього рівня EPL взято з праці [16], їхні центральні глибини — з роботи [17]. Лінії утворюються на різних висотах у фотосфері в широкому діапазоні від 115 до 580 км. Висоти їх формування для незбуреної фотосфери обчислено за програмою SPANSAT [18].

L, нм	Елемент	EPL, eV	d_0	h_0 , km
655.9576	Ti II	2.05	—	252
658.0233	Ni I	4.42	0.083	213
658.1218	Fe I	1.48	0.178	280
658.3710	Si I	5.95	0.099	202
658.6319	Ni I	1.95	0.368	347
658.7622	C I	8.53	0.083	115
659.1326	Fe I	4.59	0.096	220
659.2522	Ni I	4.23	0.176	246
659.3884	Fe I	2.43	0.646	579

Модельовані спостереження були просторово розмиті, щоб обчислити вплив земної атмосфери на реальні спостереження. Для цього використано передатну функцію атмосфери з різними вхідними параметрами Фріда R_0 [19]. Щоб оцінити точність вимірювання поля швидкостей за допомогою лінії, до розрахованих профілів може бути застосований метод λ -метра [20].

V. ВИСНОВКИ

Проведено спостереження та дослідження фізичного стану фотосферних та хромосферних шарів сонячної атмосфери перед та в початковій фазі спалахів на основі наземних спостережень та використання даних з космічних супутників. Це дало змогу зрозуміти механізми накопичення та звільнення енергії під час сонячних спалахів.

Аналіз спектрів передспалахових флокулів дозволив виявити деякі особливості фотосферно-хромосферного поля променевих швидкостей у період менше однієї години перед 4 спалахами різних балів (наявність нахилених емісійних деталей, підйом фотосферної речовини перед спалахами, наявність неоднорідностей швидкості).

Оснащення телескопа АЦУ-26 комплексами

науково-допоміжної апаратури дало змогу проводити: автоматичне наведення та гідуювання телескопа; моніторинг активності на всьому диску Сонця в лінії H_{α} ; отримувати зображення дзеркальної щілини спектрографа в лінії H_{α} , лінії $K Ca$ та у "білому світлі", надалі це буде використовуватися для коректної інтерпретації спектральних спостережень.

-
- [1] К. В. Аликаева, К. А. Бурлов-Васильев, И. Э. Васильева, Э. А. Гуртовенко, Ю. Б. Матвеев, *Кинем. физ. небес. тел* **12**, 65 (1996).
- [2] В. И. Троян, *Астрометр. астрофиз.* **47**, 80 (1982).
- [3] К. А. Бурлов-Васильев, Э. А. Гуртовенко, Ю. Б. Матвеев, *Кинем. физ. небес. тел* **10**, 3 (1994).
- [4] С. Н. Осипов, *Кинем. физ. небес. тел* **31**, 72 (2015).
- [5] E. A. Baranovskii, N. N. Kondrashova, M. N. Pasechnik, V. P. Tarashchuk, *Bull. Crim. Astrophys. Observ.* **110**, 101 (2014).
- [6] R. C. Canfield *et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* **44**, L111 (1992).
- [7] H. Kurokawa, T. Takakura, K. Ohki, *Publ. Astron. Soc. Jpn* **40**, 357 (1988).
- [8] J.-P. Wulser *et al.*, in *Proceeding of Kofu Symposium (NRO Report No 360)*, edited by E. Enome, T. Hiroshima (Nagano, Japan, 1994), p. 195.
- [9] D. F. Webb, *Solar Phys.* **97**, 321 (1985); <https://doi.org/10.1007/BF00165993>.
- [10] H. Q. Zhang *et al.*, *Astron. Astrophys.* **357**, 725 (2000).
- [11] A. Osin, S. Volin, P. Ulmschneider, *Astron. Astrophys.* **351**, 359 (1999).
- [12] П. Н. Брандт, А. С. Гадун, В. А. Шеминова, *Кинем. физ. небес. тел* **13**, 75 (1997).
- [13] L. R. Bellot Rubio, B. Ruiz Cobo, M. Collados, *Astrophys. J.* **535**, 489 (2000); <https://doi.org/10.1086/308807>.
- [14] E. Avrett, R. Loeser, *Spec. Report SAO*, No. 303 (1969).
- [15] J. E. Vernazza, E. K. Avrett, R. Loeser, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **45**, 635 (1981).
- [16] C. E. Moore, M. G. J. Minnaert, J. Houtgast, *The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å* (National Bureau of Standards, Washington, 1966).
- [17] Э. А. Гуртовенко, Р. И. Костык, *Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов* (Наукова думка, Киев, 1989).
- [18] А. С. Гадун, В. А. Шеминова, препринт Ин-та теор. физ. АН УССР, № ИТФ-88-87Р (Киев, 1988).
- [19] D. L. Fried, *J. Opt. Soc. Am.* **56**, 1372 (1966).
- [20] R. Stebbins, P. Goode, *Sol. Phys.* **110**, 237 (1987); <https://doi.org/10.1007/BF00206421>.
- [21] Н. Н. Кондрашова, М. Н. Пасечник, *Кинем. физ. небес. тел* **26**, 57 (2010).

STUDIES OF ACTIVE FORMATIONS IN THE PHOTOSPHERE WITH A SOLAR TELESCOPE ATsU-26

S. M. Chornogor¹, M. V. Karpov², O. V. Andrienko², Yu. S. Ivanov², L. I. Karpova²

¹Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine,
27, Akademik Zabolotny St., Kyiv, UA-03143, Ukraine

²International Center for Astronomical and Medico-Ecological Research NAS of Ukraine
27, Akademik Zabolotny St., Kyiv, UA-03143, Ukraine

e-mail: karpov@mao.kiev.ua

The paper describes the capabilities and the current state of the horizontal solar telescope AZU-26, as well as considers a control hardware–software complex targeting and guiding the telescope. Studies of flares in a large range of heights in the solar atmosphere have been carried out. The physical state of the photosphere before solar flares and at their initial stage has been determined on the basis of the observations. We have observed and studied some variations of chromospheric thermodynamic parameters at the initial stage of a flare and a two-ribbon flare. Nonhomogeneous semiempirical models of the flare chromosphere and surge have been built for the moments of the flare observations. Our calculations in the framework of two-component chromospheric models point to a possible existence of some details with deep heating chromospheric layers. Some twist motions were observed in the active region photosphere and chromosphere. The temporal changes of the horizontal velocities in the kernel sites and their surroundings were of a wave character and were nearly synchronous throughout the whole height of the photosphere. A detailed analysis of the motion of matter initially in the low-temperature atmospheric layers and in the flare regions on the Sun is an important factor for understanding the processes of propagation of turbulence from the region of the primary energy release as a result of magnetic reunions in flares of various types. The study of the field of velocity of the flare area by observations in a wide spectral range enables us to verify the validity of existing ideas about the mechanisms of the transfer of flare energy.