

УДК 523.9+520.8

С. Осіпов, канд. фіз.-мат. наук
Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОТРИВАЛИХ ЗМІН ФРАУНГОФЕРОВИХ ЛІНІЙ В СПЕКТРІ СОНЦЯ

Представлено програму досліджень довготривалих змін фраунгоферових ліній, яка реалізується на голосіївському сонячному телескопі АЦУ-5. Запропоновано методи врахування впливу основних дестабілізуючих факторів, а саме розсіяного світла в спектрографі, інструментального контура, внутрішніх паразитних променевих швидкостей в спектрографі. Інструментальний контур, вимірюваний за допомогою монохроматичного когерентного випромінювання He-Ne лазера, перераховувався для некогерентного випромінювання. Розпочато перші програмні спостереження.

Ключові слова: сонце, фраунгоферові лінії, інструментальний контур, розсіяне світло, внутрішні променеві швидкості, когерентне випромінювання.

Вступ. Дослідження довготривалих змін фраунгоферових ліній, як правило, ґрунтуються на спостереженнях, тривалість яких не перевищувала один-два роки. Винятком є роботи Дойл та ін. [4], які протягом 1978–1993 рр. дослідили зміни ліній Mn I 539.5 нм та Ca II H 393.3 нм і виявили добру кореляцію таких змін з амплітудою < 1%. Широко відомі роботи Лівінгстона (напр.[5,6]), який провів тривалі спостереження на протязі 35 років різних, в основному хромосферних, ліній і, як правило, в світлі від усього диску Сонця. Справжньою загадкою виявилась поведінка ліній верхньої фотосфери – сонячний мінімум 1985 р. ясно відображається на поведінці цих ліній, але наступний мінімум 1996 р. майже не проявився. В експерименті SOLIS [7] розпочато з 2006 р. автоматизовані спостереження деяких ліній від всього диску Сонця. Слід зауважити, що спостереження від усього диску свідчать про зміну активності Сонця і не дають можливості оцінювати зміни спокійного немагнітного Сонця. Моніторинг змін параметрів спектральних ліній на лімбах Сонця взагалі ніким не проводився.

Цікавість до такого роду досліджень посилюється стрімкою втратою проявів активності Сонця впродовж останніх десятиріч. Як змінюється на таких вікових масштабах часу стан атмосфери Сонця наразі взагалі невідомо.

Програма спостережень. Програма моніторингу стану сонячної атмосфери розпочата в 2012 р. на голосіївському горизонтальному сонячному телескопі АЦУ-5 Ернеста Гуртовенка [1]. Спостереження проводяться у 9-ти ділянках спектру (393.0–393.7, 524.4–525.2, 532.0–532.8, 537.6–538.5, 539.0–539.8, 558.4–559.2, 624.9–625.7, 632.6–633.3, 655.3–657.3 нм) в трьох позиціях на диску Сонця (центр, південний та північний полюси) при висоті вхідної щілини спектрографа 2 кутові хвилини. Кожна виділена ділянка спектру реєструється 10 разів на протязі 5 хвилин і пізніше усереднюється. Час експозиції для більшості ділянок складає 1.0–2.5 секунди. Спостереження проводяться в четвертому порядку спектру. Перекриваючи порядки відрізняються світлофільтрами розміщеними перед вхідною щілиною. Телескоп дозволяє проводити спостереження з початку березня до початку листопада.

Вибрані для аналізу лінії дозволяють слідкувати за станом сонячної атмосфери від самих глибоких шарів фотосфери (лінія C I 538.0 нм) до верхньої хромосфери (K Ca II 393.3 нм та H $_{\alpha}$ 656.3 нм).

Ми плануємо проаналізувати різноманітні параметри ліній (інтенсивність, еквівалентна ширина, напівширина, бісектор). В області 632.6–633.3 нм одночасно зі спектром Сонця прописується спектр газового He-Ne лазера ЛГН-302 для можливості контролю абсолютного положення сонячних ліній.

Враховуючи, що зміни з часом найбільш досліджуваних параметрів є незначними, надзвичайно важливою стає проблема калібровки телескопа на довготривалій перспективі і контроль таких основних чинників:

- розсіяне світло в спектрографі;
- інструментальний контур;
- внутрішні паразитні променеві швидкості в спектрографі.

Інструментальні проблеми. Телескоп АЦУ-5 після модернізації в 2011 р. оснащено ПЗЗ-камерою SBIG ST-8300M (3326 x 2504 пікселів, 17.96 x 13.52 мм). Спостереження проводяться в класичному автоколімаційному режимі однократного проходження світла через дифракційну ґратку. В порівнянні з режимом двократного проходження така схема погіршує якість інструментального контуру спектрографа, проте дає можливість значно підвищити швидкість реєстрації спектру і зменшити шкідливий вплив нестабільності прозорості земної атмосфери.

Розсіяне світло в спектрографі виникає внаслідок розсіювання світла на оправках ґратки, коліматорного та камерного дзеркал, пилу на поверхнях оптичних елементів, а також внаслідок оптичних дефектів системи.

В телескопі АЦУ-5 розсіяне світло обмежується системами діафрагм та захисними екранами. Спеціальна додаткова реєстрація спектру з малою висотою вхідної щілини і аналіз освітлення ПЗЗ-камери поза межами спектру дає можливість побудувати двомірну функцію розсіяного світла для кожної ділянки спектру кожного дня спостережень і виправити спостережені спектри за вплив розсіяного світла. Величина таких корекцій, як правило, не перевищує 1%.

Після модернізації телескопа покращено термостабілізацію спектрографа. Для оцінки величини внутрішніх паразитних променевих швидкостей в спектрографі ми провели 27-хвилинну серію спостережень спектру центру Сонця одночасно з реєстрацією випромінювання від лазера ЛГН-302 (рис. 1а). Спектри усереднювались по всій висоті щілини спектрографа, час експозиції становив 2 секунди, а інтервал між кадрами 30 секунд. Середнє положення сонячних ліній (Ni I 632.76 нм, Sr I 633.01 нм, Fe I 633.09 нм) і лінії лазера змінювалось з часом (рис. 1б). Параболічний тренд пояснюється дрейфом викликаним механізмом обертання ґратки. Він виникає, швидше за все, внаслідок дії залишкових напружень в деталях приводу. Такий самий тренд має бути і для спектру Сонця. Тому ми вимірюємо для лазера тренд підігнали і для кривої зсувів сонячного спектру. Розкид даних положення лінії лазера навколо тренду визначається внутрішніми променевими швидкостями спектрографу. Стандартне відхилення цього розкиду даних ~0.06 пікселів, або, враховуючи дисперсію, ~6 м/сек. Розкид даних сонячного спектра навколо тренду характеризує нестабільність випромінювання сонячної поверхні і є в декілька разів більшим.

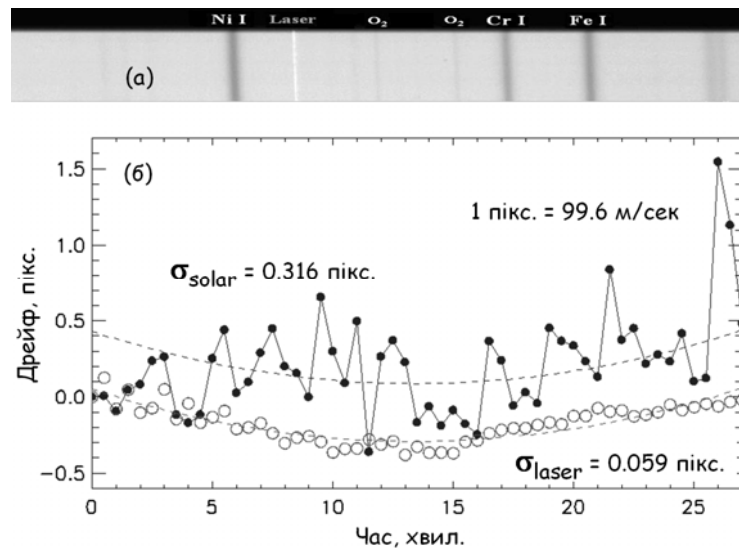


Рис. 1. Сонячний спектр зареєстрований одночасно з випромінюванням від He-Ne лазера в області 632.6–633.3 нм (а). Залежність положення спектральних ліній з часом (б)

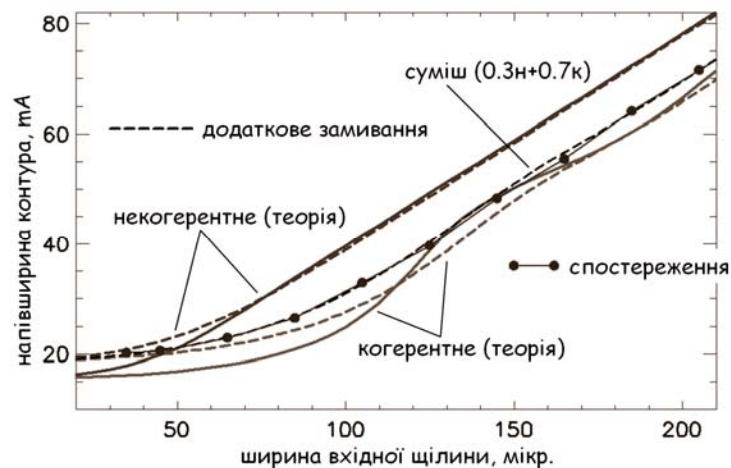


Рис. 2. Залежність напівширини ІК спектрографа від ширини вхідної щілини для когерентного і некогерентного випромінювання

Найбільшою проблемою є врахування впливу інструментального контуру (ІК) спектрографу.

Для швидких і точних вимірювань ІК нами розроблено і введено в експлуатацію пристрій для моніторингу ІК на базі лазера ЛГН-302 на хвилі λ 632.9 нм [2]. Проте лазер, на відміну від Сонця, є джерелом когерентного світла. Як відомо (напр. [3]), ІК при когерентному і при некогерентному випромінюваннях суттєво відрізняються. Нескладно розрахувати ІК для некогерентного світла виходячи з виміряного ІК когерентного світла. Але просторова когерентність лазерного світла помітно погіршується при проходженні когерентного випромінювання через оптично неоднорідні матеріали пристрою та телескопа. Як оцінити степінь когерентності при вимірах нами ІК?

Ми пропонуємо зробити таку оцінку шляхом порівняння спостережених і розрахункових залежностей напівширини ІК від вибраної ширини вхідної щілини спектрографа. На рис. 2 видно, що такі залежності для когерентного і некогерентного світла суттєво відрізняються, причому крива для когерентного світла демонструє сильний хвилеподібний характер.

Нами проведені також розрахунки ІК при додаванні фактора замивання, який моделює спільний паразитний вплив погрешностей фокусування дзеркал, їх аберацій, тремтіння зображення і тому подібне. Таке замивання згладжує хвилеподібну поведінку кривої для когерентного світла. З рис. 2 видно, що найкраще узгодження розрахунків із спостереженнями досягається при мірі когерентності 0.7 (суміш 70% когерентного і 30% некогерентного світла). На рис. 2 така залежність показана середньою пунктирною кривою. Саме така суміш когерентного і некогерентного світла використовується при обробці спостереженого профілю ІК.

Окрім того, ми провели вимірювання ІК за допомогою твердотілого лазера з діодною накачкою LCM-T-111, який випромінює на довжині хвилі λ 532 нм. Завдяки цьому з'явилась можливість дослідити зміну ІК з довжиною хвилі. В цілому зміна ІК відповідає теоретичним очікуванням (пропорційно λ). При умові, що міра когерентності випромінювання від обох лазерів однакова, це свідчить про те, що паразитні розфокусування ІК також залежать від λ .

Результати. Починаючи з 25 травня 2012 р. по 24 червня 2014 р. за представленою програмою проведено 116 днів спостережень. Загалом отримано 19122 записів спектру Сонця в центрі диска і на лімбах.

Висновки. Технічні характеристики оновленого телескопа АЦУ-5 свідчать про високу метрологічну точність реєстрації сонячного спектру. Це дозволяє проводити дослідження змін фраунгоферових ліній на довготривалих шкалах часу.

Список використаних джерел

1. Гуртовенко Э. А. Солнечный горизонтальный телескоп АЦУ-5 с монохроматором двойной дифракции // Астрометрия и астрофизика. – 1969. – Вып.8. – С. 77-84.
2. Осипов С. Н. Инструментальный контур спектрографа голосеевского солнечного телескопа АЦУ-5 // Кинематика и физика небесн. тел. (в печати).
3. Зайдель А. Н., Островская Г. В., Островский Ю. И. Техника и практика спектроскопии // изд. Наука., Москва – 1976. – с. 392.
4. Doyle J. G., Jevremovic D., Short C. I., Hauschildt P. H., Livingston W., and Vince I. Solar Mn I 5432/5395 Å line formation explained // Astron. and Astrophys. – 2001. – Vol. 369. – L13-L16.
5. Livingston W., Wallace L., White O. R., and Giampapa M. S. Sun-as-a-Star Spectrum Variations 1974-2006 // Astrophysical Journal. – 2007. – Vol. 657. – P. 1137-1149.
6. Livingston W., White O. R., Wallace L., and Harvey J. Sun-as-a-Star, Chromospheric Lines, 1974-2009 // Mem.S.A.It. – 2010. – Vol. 81. – P. 643-645.
7. http://solis.nso.edu/vsm/vsm_mnfield.html

Надійшла до редколегії 27.06.14

С. Осипов, канд. физ.-мат. наук
Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФРАУНГОФЕРОВЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ СОЛНЦА

Представлено программу исследований долговременных изменений фраунгоферовых линий на голосеевском солнечном телескопе АЦУ-5. Предложены методы учета влияния основных дестабилизирующих факторов, а именно рассеянного света в спектрографе, инструментального контура, внутренних паразитных лучевых скоростей в спектрографе. Инструментальный контур, измеренный с помощью монохроматического когерентного излучения He-Ne лазера, пересчитывался для некогерентного излучения. Начаты первые программные наблюдения.

Ключевые слова: солнце, фраунгоферовые линии, инструментальный контур, рассеянный свет, внутренние лучевые скорости, когерентное излучение.

S. Osipov, Ph.D. in Phys. and Math. Sciences
Main Astronomical Observatory, national Academy of Sciences, Kyiv

THE PROGRAM OF INVESTIGATIONS OF LONG TERM CHANGES OF FRAUNHOFER LINES IN SOLAR SPECTRA

The program of investigations of long term changes of Fraunhofer lines in solar spectra is presented. It is realized in the Golosiiv solar telescope ATsU-5. The methods for corrections of influence of main destabilizing factors, notably scattering light in spectrograph, instrument function, inner LOS velocity, are proposed. The instrument function measured using monochromatic coherent radiation of He-Ne laser recalculated to the case of incoherent radiation. The first program observations started.

Key words: Fraunhofer lines, instrument function, scattering light, inner LOS-velocity, coherent radiation.

УДК 523.98

М. Пішкало, канд. фіз.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ПОПЕРЕДНІЙ ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРІВ 25-ГО ЦИКЛУ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ

На основі знайдених раніше кореляційних зв'язків і регресійних співвідношень між деякими характеристиками 1–24 циклів сонячної активності (Pishkalo, 2014: Solar Phys., vol. 289, 1815) дано прогноз 25-го циклу. Розрахунки виконані за схемою: час максимуму 24-го циклу визначає тривалість фази росту циклу, далі знаходимо очікувану тривалість 24-го циклу і прогнозовані параметри 25-го циклу. Отримано, що мінімум 25-го циклу становитиме біля 5 у квітні–червні 2020 р., а максимум – біля 105–110 у жовтні–грудні 2024 р. 25-й цикл сонячної активності буде вищим за поточний 24-й цикл. Настання глибокого мінімуму сонячної активності, схожого на мінімуми Дальтона чи Маундера, не очікується.

Ключові слова: сонячна активність, сонячний цикл.

Вступ. Сонячна активність змінюється з періодом близько 11 років. Найбільш уживаною характеристикою сонячної активності є відносне число сонячних плям – число Вольфа. Цикли сонячної активності суттєво різняться своїми параметрами, зокрема амплітудою і тривалістю. Зміни сонячної активності викликають зміни в міжпланетному та навколоземному просторі, які, у свою чергу, певним чином впливають на функціонування космічних та наземних технологічних систем, на життєдіяльність живих організмів на Землі, на клімат. Тому важливо знати наперед, коли і яким буде максимум сонячної активності.

На рис. 1 показано, як змінюється щорічне відносне число сонячних плям приблизно за останні 300 років (тонкою і жирною лініями – відповідно щорічне і тричі згладжене за 11-ма точками значення числа Вольфа). Найнижчим за вказаний період був максимум шостого сонячного циклу у середині 1816 р., найвищим – дев'ятнадцятого циклу у кінці 1957 р. Мінімум 1800–1830-х років називають мінімумом Дальтона. Крім 11-річної циклічності, можна виділити т.зв. віковий період, близький до 100 років. З рис.1 також можна бачити, що наразі сонячна активність перебуває поблизу максимуму 24-го циклу і поблизу мінімуму вікового циклу. Залишається відкритим питання, чи буде цей віковий мінімум поглиблюватися, чи сонячна активність почне зростати. Певною мірою відповісти на ці питання можуть прогнози наступного, 25-го циклу сонячної активності.