

ті атмосфери та яскравості фону неба; 4) визначення заатмосферних зоряних величин та показників кольору; 5) знаходження об'єктів, що переміщуються; 6) вибір та побудова часових залежностей для вибраних об'єктів. При необхідності перелік модулів і задач, які вирішує програмний комплекс може бути розширений. Наприклад, в перспективі планується включити набір модулів, які дозволять працювати з протяжними зображеннями.

Запропонований програмний комплекс буде сприяти ефективному використанню автоматизованого інтернет-телескопу і дозволить швидко отримувати результати спостережень.

**Висновки.** 1. Представлений проект для автоматизованої обробки великої кількості кадрів ПЗЗ спостережень Київського інтернет-телескопу, який враховує його особливості, зокрема наявність змінного електронного підсилення.

2. Програма **identify** з пакету автоматизованої обробки ототожнення зір в ПЗЗ кадрі побудована на оригінальному алгоритмі, який забезпечує гнучку роботу в пакетному режимі, і може забезпечувати прийнятну швидкість роботи навіть на полях з великою кількістю зір.

1. Романюк Я.О., Клецюнок В.В., Данилевський В.О., Решетник В.М., Лук'яник І.В., Святогоров О.О. Автоматизований київський Інтернет телескоп // Наука та інновації – 2010. – № 2. – С. 8-17. 2. Andrews, Peter; Baltay, Charles; Bauer, Anne; Ellman, Nancy; Jerke, Jonathan; Lauer, Rochelle; Rabinowitz, David; Silge, Julia. The QUEST Data Processing Software Pipeline // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – V. 120. – Issue 868. – P. 703-714. 3. Shamir, L.; Nemiroff, R. J.; Torrey, D. O.; Pereira, W. E. Software design for panoramic astronomical pipeline processing. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – V. 366. – Issue 2. – P. 353-357. 4. Banse, K.; Crane, P.; Grosbol, P.; Middleburg, F.; Ounnas, C.; Ponz, D.; Waldthausen, H. MIDAS – ESO's new image processing system // ESO Messenger (ISSN 0722-6691) – March 1983. – P. 26-28. 5. Spratling, B. and Mortari, D. A Survey on Star Identification Algorithms // Algorithms (ISSN 1999-4893) – 2009. – № 2. – P. 93-107. 6. Воронцова Л.А., Чейдо Г.П. Алгоритм автоматического отождествления звезд снимка с каталогом // Автометрия –1974. – №4. – С. 8-17.

Надійшла до редколегії 10.06.10

УДК 523.987

О. Ботигіна, В. Лоцицький

## СПІВСТАВЛЕННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ В АКТИВНИХ ПРОТУБЕРАНЦЯХ, ВИМІРЯНИХ ПО ЛІНІЯХ $D_3\text{HeI}$ ТА $\text{H}\alpha$

*Наведено аналіз нових спектрально-поляризаційних спостережень, проведених на ГСТ АО КНУ. Проаналізовано стоксові профілі  $I \pm V$  ліній  $D_3\text{HeI}$  і  $\text{H}\alpha$  у трьох активних протуберанцях, які спостерігались на Сонці 24.07.1999, 4.07.1981 та 12.07.2004. Вимірювання магнітних полів методом "центрів ваги" показали, що усереднене магнітне поле  $B_{\text{eff}}$  в протуберанцях було в межах від  $-600$  до  $+600$  Гс (різним для різних висот протуберанціє). Вимірювання амплітудного магнітного поля  $B_{0,9}$  по розщепленню бісекторів профілів  $I \pm V$  в їх ядрах на рівні інтенсивності 0.9 показали, що такі поля були значно сильніші, до  $2000-3000$  Гс. Виявлено цікавий ефект – антикореляцію виміряних індукцій по лініям гелію та водню.*

*An analysis of new spectral-polarized observations carried out on horizontal solar telescope of the Astronomical Observatory of Kyiv Taras Shevchenko National University is presented. The  $I \pm V$  Stokes profiles of three active prominences occurred 24 July 1999, 4 July 1981 and 12 July 2004 are analysed. Measurements of the magnetic fields by the method of "centers of gravity" shown, that averaged magnetic field  $B_{\text{eff}}$  in prominences was in range from  $-600$  to  $+600$  G (different for various heights of prominences). Measurements of amplitude magnetic field  $B_{0,9}$  determined by bisector splitting of  $I \pm V$  profiles in their cores on intensity level of 0.9 shown, that such fields were much stronger, till  $2000-3000$  G. An interesting effect was found – anticorrelation of measured magnetic strengths in helium and hydrogen lines.*

**Вступ.** Магнітні поля в короні визначають велику кількість явищ – від переносу МГД хвиль до синхротронного випромінювання у радіодіапазоні. Сонячні протуберанці є корональними об'єктами, але питання про магнітні поля в них досі залишається відкритим. Прямих даних про корональні магнітні поля дуже мало. За різними даними магнітні поля в протуберанцях – від декількох до трьох тисяч гаусс [1, 3, 5, 6–12], тобто відрізняються на 2-3 порядки. На сьогодні невідомо, чим обумовлений такий широкий діапазон виміряних значень магнітного поля в протуберанцях: дійсною відмінністю магнітних полів на різних висотах протуберанців, на різних фазах їх розвитку чи методичними проблемами.

Фізичні умови в протуберанцях визначені давно: ці утворення світяться в результаті пере- випромінювання радіації від нижніх шарів атмосфери Сонця з невеликою часткою переходів під дією електронних ударів. Цим визначається їх температура  $\approx 7000$  К і електронна густина – від  $10^9$  до  $10^{11}$   $\text{cm}^{-3}$  [13]. Прирівнюючи магнітний тиск  $p_m = B^2/8\pi$  газовому  $p_g = nkT$ , легко оцінити, що для однорідної нескрученої силової трубки, зануреної у протуберанець, рівноважна величина магнітного поля складає лише кілька гаусс. Якщо в протуберанцях дійсно існують сильніші магнітні поля, ці поля мають чимось додатово утримуватись – наприклад, скрученістю силових ліній в безсилових структурах [2]. Для перевірки цього та інших припущень необхідні нові спостережні дані.

**Матеріал спостережень.** Досліджувались три активні протуберанці, які виникли на лімбі Сонця 24.07.1999, 4.07.1981 та 12.07.2004 р. Спектри протуберанців сфотографовані з експозицією 1 хв. на ешеліному спектрографі горизонтального сонячного телескопу Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка (ГСТ АО КНУ). Інструмент дозволяє спостерігати одночасно область від  $3800$  до  $6600$   $\text{\AA}$  зі спектральним розділенням  $40$   $\text{\AA}$  в області лінії  $D_3\text{HeI}$  і  $50$   $\text{\AA}$  в області лінії  $\text{H}\alpha$ . Моменти початку експозицій були такими: 6:49, 6:30 та 8:48 УТ, відповідно. При фотографуванні спектрів використовувався аналізатор кругової поляризації (пластинка  $\lambda/4$  та призма-розщиплювач з ісландського шпату).

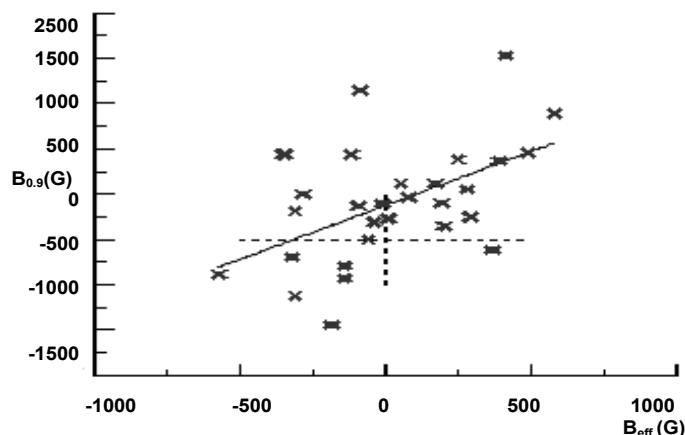


Рис. 1. Співставлення вимірювань  $B_{0.9}$  та  $B_{eff}$ , по лінії  $H\alpha$  у досліджених протуберанцях для висот 2–10 Мм

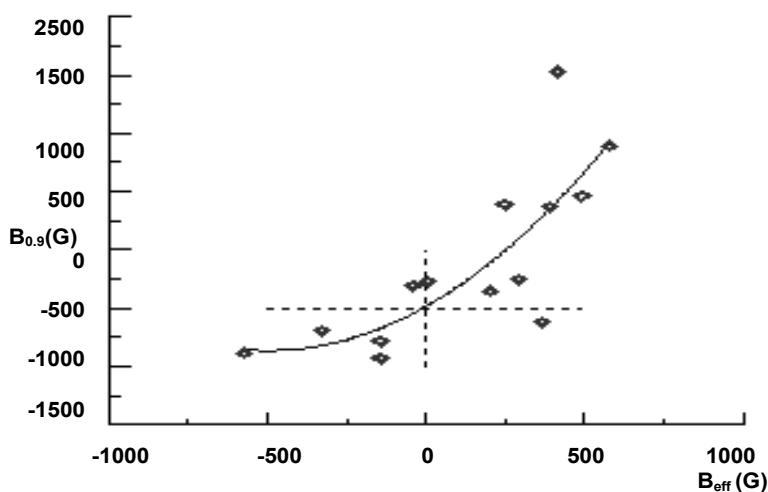


Рис. 2. Те ж, що й на Рис. 1, але по лінії  $D_3 \text{ HeI}$

Всі протуберанці виникли після проявів активності у пов'язаних з ними активних областях. Зокрема, протуберанець 12 липня 2004 року виник після лімбового сонячного спалаху балу M1.6, який по даних GOES мав пік рентгєнівського випромінювання о 8:10 UT. Після проявлення та фіксування фотопластинки виявилось, що нормальні почорніння фотоемульсії мають лише лінії  $H\alpha$  і  $D_3 \text{ HeI}$ , а інші лінії сильно недоекспоновані. Тому вивчались лише дві вказані лінії, що мають ефективні фактори Ланде  $g=1.05$  і  $1.06$ , відповідно. Лінії фотометрувались на мікрофотометрі МФ-4; після переведення почорнінь у інтенсивності були отримані профілі  $\pm V$ . Взаємна прив'язка цих профілів по довжинах хвиль здійснювалась по телуричних лініях. Неузгодженість положень телуричних ліній на реєстрограмах дозволяла оцінити похибки вимірювань; вони виявились в межах  $\pm 100$  Гс для обох ліній.

**Співставлення вимірювань  $B_{eff}$  та  $B_{0.9}$ .** Магнітні поля в протуберанцях вимірювались двояко: а) методом "центрів ваги", та б) по розщепленню бісекторів профілів  $\pm V$  у їх ядрах. Дані "центра ваги" відображають усереднене поле  $B_{eff}$ , знайдене в наближенні його однорідності в межах площі вхідної щілини. Щоб знайти величину поля, близьку до його амплітудних (локальних) значень, доцільно виміряти розщеплення не "центрів ваги", а вершин емісії. Це пов'язано з тим, що в профілях як емісійних, так і абсорбційних ліній часто спостерігається своєрідний "V-ефект" [4], коли ядро лінії розщеплюється більше, ніж крила, а взаємне розміщення бісекторів  $I + V$  та  $I - V$  профілів нагадує латинську літеру V.

Для цього після побудови профілів ліній в інтенсивностях знаходились їх бісектори. Розщеплення бісекторів калібрувалось у напруженостях магнітного поля. Оскільки в центрі лінії завжди є деякі особливості типу плато або подвійної-потрійної вершини, то краще вимірювати максимальне розщеплення не в самому центрі лінії, а дещо нижче по рівню інтенсивності – наприклад, на рівні 0.9 від максимальної інтенсивності, де хід інтенсивності вже достатньо крутий, а величина розщеплення менше залежить від "шумових" спотворень інтенсивності. Таке поле, позначене як  $B_{0.9}$ , представлено на рис.1 та 2 у співставленні з величиною  $B_{eff}$ , для всіх трьох протуберанців.

З рис. 1 та 2 випливає, що в той час як  $B_{eff}$  змінюється у межах від  $-600$  до  $+600$  Гс, величина  $B_{0.9}$  досягає вищих значень по абсолютній величині – приблизно до 2000 Гс. Це і є числовим відображенням V-ефекту (більшого виміряного поля в ядрі лінії, ніж в її крилах). Як відомо авторам даної роботи, раніше на цей ефект в протуберанцях не звертали уваги, хоча подібні особливості давно відомі у спалахах і неспалахових областях [2].

Співставлення вимірювань  $B_{0.9}$  в лініях  $D_3$  та  $H\alpha$ . Це співставлення подано на рис. 3. У порівнянні з рис. 1 та 2, тут додана одне значення для висоти 10 Мм у протуберанці 12.07.2004 р., для якого виявлена у профілях тонка але сильно розщеплена особливість, що відповідає магнітному полю +3000 Гс. Оскільки вона спостерігалась як другий максимум інтенсивності у "фіолетових" крилах ліній, для неї не можна було вказати величину  $B_{\text{eff}}$ , а лише  $B_{0.9}$ .

З рисунка видно, що має місце цікавий ефект: антикореляція магнітних полів в лініях  $D_3$  та  $H\alpha$ , причому ця антикореляція поширюється навіть на зміну полярності поля. Ще одна цікава деталь: лінія регресії не проходить через точку (0,0) на залежності. Для порівняння варто нагадати, що для фотосферних магнітних полів подібні залежності для різних пар магніточутливих ліній завжди мають позитивну кореляцію, а лінія регресії проходить там через точку (0,0) [2]. Можна припустити, що це є непрямим свідченням того, що магнітні поля в протуберанцях є не менш неоднорідними, ніж магнітні поля у фотосфері Сонця.

**Висновки та їх обговорення.** Отримані дані свідчать про те, що в протуберанцях навіть на висотах 10 Мм можливі досить сильні поля "кілогаусового" діапазону. Хоча усереднене магнітне поле  $B_{\text{eff}}$ , виміряне методом "центрів ваги" всього профіля лінії, було в межах від -600 до +600 Гс (різним для різних висот протуберанців), локальні поля, ймовірно, були в 3–5 разів сильнішими. На користь цього свідчить значне розщеплення бісекторів профілів  $I \pm V$  в ядрах ліній на висоті 0.9 від рівня центральної інтенсивності.

Цілком несподівано виявлено ефект антикореляції вимірених значень магнітного поля по лініях водню і гелію (рис. 3). Як відомо авторам, цей ефект зафіксовано вперше. Принаймні, для вимірювань магнітного поля на рівні фотосфери завжди відмічається позитивна кореляція даних по різних спектральних лініях.

Ймовірною причиною вказаного ефекту є те, що лінії водню і гелію світяться в областях з різною температурою: водень світиться при нижчій температурі, а гелій – при вищій. Якщо в неоднорідному протуберанці існують маломасштабні магнітні волокна, в яких температура поступово спадає з наближенням до їх внутрішніх областей, тоді як магнітне поле – навпаки зростає, то якісно можлива ситуація, подана на рис. 3.

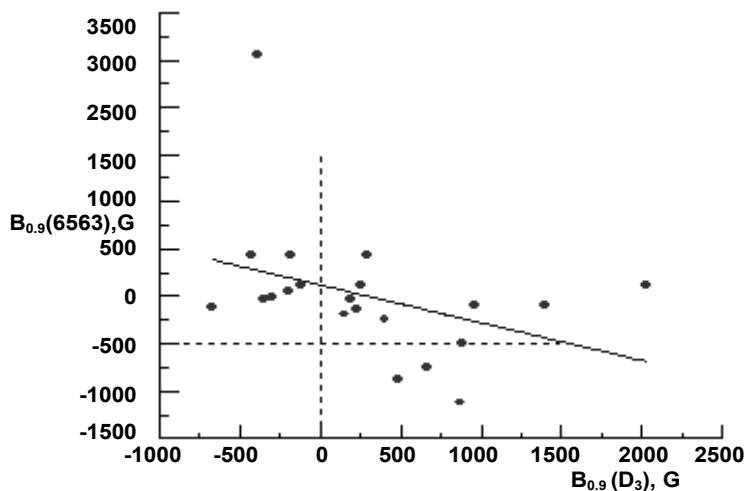


Рис. 3. Співставлення вимірювань  $B_{0.9}$  по лініях  $D_3$  і  $H\alpha$  для висот 2–10 Мм у досліджених протуберанцях

1. Башкирцев В.С., Смольков Г.Я., Шмулевский В.Н. Об измерениях магнитного поля в солнечных активных протуберанцах // В сб.: Исслед. по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца. – Вып. 20. – М.: Наука. – 1971. – С. 212 – 221. 2. Лоцицкий В.Г. Сильные магнитные поля в мелкомасштабных структурах и вспышках на Солнце. Дисс. доктора ф.-м. наук: 01.03.03 – Киев, 2003. – 299 с. 3. Лоцицкий В.Г., Пасечник М.Н. О магнитных полях в активном протуберанце, измеренных по линиям различных элементов // Вестник Киевского университета, Астрономия. – 1986. – Вып. 28. – С.40-43. 4. Лоцицкий В.Г., Стаценко М.М. Исследование магнитного поля в лимбовой солнечной вспышке // Известия Крым. Астрофиз. обсерватории. – 2008. – Т. 104, № 2. – С. 28–28. 5. Шпитальная А.А., Вяльшин Г.Ф. О магнитных полях в протуберанцах // Солнечные данные. – 1970, № 4. – С. 100-107. 6. Casini R., Lopez Ariste A., Tomczyk S., Lites W.B. Magnetic maps of prominences from full Stokes analysis of the HeI D3 line / Ap. J. Let. – 2003. – V. 598. – P.L67–L70. 7. Klepikov V.Yu. Magnetic field and Doppler velocity correlation in quiescent solar prominences / Radiophysics and quantum electronics. – 1996. – V.39, N10. – P.857–861. 8. Kuckein C., Centeno R., Martinez Pillet V., Casini R., Manso Sainz R., Shimizu T. On the magnetic field strength of active region filaments // Astronomy and Astrophysics. – 2009. – V. 501, Iss. 3. – P. 1113–1121. 9. Paletou F., Lopez Ariste A., Bommier V., Semel M. Full-Stokes spectropolarimetry of solar prominences / Astron. Astroph. – 2001. – V.375. – P.L39–L42. 10. Ramelli R., Bianda M., Trujillo Bueno J., Belluzzi L., Landi Degl'Innocenti E. Observation of the joint action of the Hanle and Zeeman effects in the D2 line of Ba II // Solar Polarization 5. ASP Conference Series. – 2009. – Vol. 405. – P. 1-9. 11. Smolkov G.Ya., Bashkirtsev V.S. Magnetic fields in solar prominences / Contribution of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. – 1976. – V.6. – P.175–194. (Proceedings of the 7th Regional Consultation on Solar Physics "Solar Activity and Solar-Terrestrial Relations", September 24-28, 1973). 12. Trujillo Bueno J., Merenda L., Centeno R., Collados M., Landi Degl'Innocenti E. The Hanle and Zeeman effects in solar spicules: a novel diagnostic window on chromospheric magnetism / Ap. J. Let. – 2005. – V.619. – P.L191–L194. 13. Yakovkin N.A., Zeldina M.Yu. The helium radiation in prominences / Sol. Phys. – 1971. – V.19. – P.414–430.