

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2024.01.065>

УДК 523.942

Р. І. Костик

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
вул. Академіка Заболотного 27, Київ, Україна, 03143
kostik@mao.kiev.ua

Сонячні факели та флокули: спектрополяриметричні та фільтрові спостереження у лініях Fe I, Ba II та Ca II

Обговорюються результати спектрополяриметричних та фільтрових спостережень факельної ділянки біля центра сонячного диска, отримані на німецькому вакуумному баштовому телескопі (о. Тенерифе, Іспанія). Спостереження факельної ділянки велись одночасно у трьох спектральних діапазонах: спектрополяриметричні спостереження параметрів Стокса I, Q, U, V двох ліній нейтрального заліза Fe I 1564.8 нм та Fe I 1565.2 нм з часовою роздільною здатністю 6 хв 50 с; фільтрові спостереження у 37 ділянках профіля лінії іонізованого барію Ba II 455.4 нм з часовою роздільною здатністю 25.6 с; фільтрові спостереження тільки у центрі лінії іонізованого кальцію Ca II H 396.8 нм з часовою роздільною здатністю 4.9 с. Для подальших досліджень використано такі спостережені величини: 1) напруженість магнітного поля на висоті утворення неперервного спектру біля ліній Fe I 1564.8 нм та Fe I 1565.2 нм ($h \approx -100$ км); 2) хвильові швидкості на 14 висотах в атмосфері Сонця, де утворюється випромінювання у спектральній лінії Ba II 455.4 нм ($h = 0 \dots 650$ км) та розраховані на їхній основі зсуви фаз $F(V, V)$ між коливаннями швидкості V у фотосфері на висоті формування випромінювання у центрі цієї лінії ($h \gg 650$ км) та коливаннями швидкості на інших 13 висотах; 3) контраст факельної ділянки на висоті утворення випромінювання центру лінії Ca II H 396.8 нм ($h \approx 1600$ км). Показано, що потужність коливань швидкості в залежності від частоти коливань сильно змінюється з висотою в атмосфері Сонця. На висотах від 0 до 300 км

© Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, 2024

© Видавець ВД «Академперіодика» Національної академії наук України, 2024

максимум потужності коливань припадає на частоту біля 3.5 МГц. На висоті $h = 650$ км виникає ще один максимум біля частоти 4.5 МГц, а на висоті $h = 1600$ км досить помітний максимум потужності коливань на частоті біля 1.5 МГц. Контраст в центрі лінії Ca II H 396.8 нм ($h = 650$ км) немонотонно збільшується з ростом напруженості фотосферного магнітного поля, як можна було очікувати із загальних міркувань. При потужних магнітних полях ($B > 140$ мТл) така залежність стає зворотною.

Ключові слова: Сонце, факели, спектрополяриметричні спостереження, хвильові рухи, магнітні поля.

ВСТУП

Сонячні факели — яскраві фотосферні утворення, які спостерігаються по всій поверхні Сонця. У центрі сонячного диска вони яскравіші від навколишньої атмосфери на 10...15 %, і цей контраст збільшується при наближенні до краю сонячного диска. Як правило, вони тісно пов'язані з сонячними плямами, але можуть спостерігатися і за межами активної ділянки. Спостереження з високою просторовою роздільною здатністю показують, що факельні ділянки мають вигляд комірок, утворених ланцюжками яскравих зерен, розміри яких становлять 500...800 км, а тривалість життя — декілька хвилин. Діаметри окремих комірок в середньому становлять біля 5000 км. Вважається, що всі ці утворення являють собою набір дрібномасштабних магнітних елементів (трубок) розмірами у межах 50...70 кілометрів та з напруженістю магнітного поля 1000...2000 Гс.

Прямим продовженням фотосферних факелів є хромосферні флокули. Вони мають дещо більші розміри та живуть довше, ніж факели, а магнітне поле може досягати 700...800 Гс. Їх краще спостерігати в лінії водню Н β та в лініях іонізованого кальцію H і K. Хромосферні флокули мають неоднорідну структуру, основними елементами якої є ниткоподібні утворення завдовжки до 100000 км та яскраві маленькі точки діаметром біля 1500 км.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

Дослідження властивостей факельних та флокульних ділянок є важливим з декількох причин: 1) варіації яскравості факелів можуть призвести до зміни космічної погоди та до зміни клімату Землі; 2) знаходження причин підвищеної яскравості флокулів може бути корисним при аналізі механізмів нагрівання хромосфери та корони.

Насьогодні опубліковано досить багато робіт, присвячених дослідженню факелів. Перш за все це спостережні роботи, в яких особлива увага зверталась на зміни яскравості (контрасту) факелів при пе-

реході від центра до краю диска [5, 9, 10, 13, 17, 18, 38]. Інший напрямок досліджень — вивчення тонкої структури факельних ділянок [3, 15, 20, 22, 23, 31, 35, 36, 37]. Відомо, що наявність у факелах сильних магнітних полів призводить до модифікації конвекції. В результаті факели порівняно зі спокійною атмосферою стають більш структурованими, що приводить до появи окремих яскравих точок (bright points), ланцюгів (string) з цих точок, темних мікропор, стрічок (ribbons) та круглих квіткових структур (circular flower structures). Ще один напрямок досліджень факельних ділянок — вивчення в них різноманітних хвильових рухів [1, 2, 4, 8, 16, 24, 29, 30, 32]. Нагадаємо, що згідно з даними Хоменко і Каллі [11, 12] в намагніченій сонячній атмосфері генеруються три види МГД-хвиль: альвенівські, повільні та швидкі магнітоакустичні хвилі. При цьому низькочастотні МГД-хвилі можуть бути важливим джерелом енергії, а їхнє проникнення у хромосферу та подальша дисипація могла би приводити до нагрівання. Зауважимо, що, як правило, ці хвилі не можуть поширюватись з фотосфери у хромосферу, оскільки їхня частота виявляється меншою від фотосферної граничної частоти $\omega_c = 5.2$ мГц. Але в ділянках, де фотосферне магнітне поле нахилене відносно вектора сили тяжіння, гранична частота може зменшитись [16, 19, 33]. У результаті хвилі з частотами, меншими за 5.2 мГц (період $P \approx 3$ хв), можуть проникати у верхні шари атмосфери. Підтвердженням такого висновку служить аналіз фільтрових, спектральних та спектрополяриметричних спостережень факельної ділянки, які були виконані Костиком і Хоменко [16, 19]. Згідно цим дослідженням максимум потужності коливань у фотосфері, температурному мінімумі та в середній хромосфері припадає на період $P \approx 5$ хв. На висоті утворення випромінювання в центрі лінії Ca II H добре помітний ще один період коливань $P \approx 12$ хв. Проникненню п'ятихвилинних коливань з фотосфери у хромосферу сприяють два фактори: нахил силових ліній магнітного поля до вектора сили тяжіння та відхилення процесу поширення хвилі від адіабатичного. Максимальна потужність п'ятихвилинних коливань на висоті h

1600 км приходить на кути нахилу магнітного поля в діапазоні $11^\circ \dots 13^\circ$ та на зсув фаз між коливаннями температури та швидкості, що дорівнює $30^\circ \dots 40^\circ$.

Мета нашої роботи — проаналізувати потужність хвильових коливань швидкості в одній із спостережних факельних ділянок.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ВХІДНІ ВЕЛИЧИНИ

Ми використали результати спостережень факельної ділянки біля центра сонячного диска, які були проведені 13 листопада 2007 р. на німецькому вакуумному баштовому телескопі VTT (обсерваторія дель Тейде, о. Тенерифе, Іспанія) Хоменко разом зі співробітниками Інституту Астрофізики на Канарських островах [27, 39]. Оскільки

умови спостережень, а також методика їхньої первинної обробки були детально викладені в роботах [15—17, 19], то зараз ми опишемо тільки ті результати, які ми використали в наших дослідженнях. Нагадаємо, що спостереження факельної ділянки велись одночасно у трьох спектральних діапазонах:

1) спектрополяриметричні спостереження параметрів Стокса I , Q , U , V двох ліній нейтрального заліза Fe I 1564.8 нм та Fe I 1565.2 нм з часовою роздільною здатністю 6 хв 50 с, спектральною роздільною здатністю 1.473 пм/пкл, просторовою — 0.185 /пкл. Вхідна щільність з шириною 0.35 сканувала факельну ділянку з розмірами 5.5×8.4 з допомогою інфрачервоного поляриметра TIR-II [6];

2) фільтрові спостереження у 37 ділянках профіля лінії іонізованого барію Ba II 455.4 нм з часовою роздільною здатністю 25.6 с, спектральною — 1.60 пм/пкл, просторовою — 0.089 /пкл. Поле зору фільтра становило 45.6×46.6 . Для цієї мети використовувався спектрометр TESOS [39].

3. Фільтрові спостереження тільки в центрі лінії іонізованого кальцію Ca II H 396.8 нм з часовою роздільною здатністю 4.9 с, просторовою — 0.123 /пкл. Поле зору фільтра становило 110×110 .

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНЄ ОБГОВОРЕННЯ

Ми знайшли напруженість магнітного поля та кут нахилу його силових ліній на висоті утворення випромінювання в далеких крилах ліній Fe I 1564.8 нм та Fe I 1565.2 нм шляхом інверсії профілів Стокса I , Q , U , V цих ліній. Розрахунки велись за допомогою інверсійної програми SIR (Stokes Inversion based on Responce functions) [26], яку нам люб'язно передали співробітники Інституту Астрофізики на Канарських островах. За початкове наближення було використано Гарвард-смітсоніанська стандартна модель атмосфери Сонця HRSA [7]. Магнітне поле в кожному пікселі приймалось однокомпонентним та постійним по висоті. Отримані напруженості магнітного поля в нижній фотосфері факельної ділянки (в середньому на висоті $h \approx -100$ км) перебували у межах 270...1700 Гс.

Варіації швидкості, які обумовлені конвективними та хвильовими рухами, були знайдені з контурів лінії іонізованого барію Ba II 455.4 нм за допомогою «лямбда-метр-методу» [28, 34]. Цей метод оснований на припущенні, що лінія барію утворюється в оптично тонкому шарі. Згідно із Стеббінсом і Гуде [34] зміщення кожної точки бісектора, що відповідає ширині контура лінії, є результатом доплерівського зсуву коефіцієнта поглинання цієї лінії, зумовленого нетепловою швидкістю в шарі, де він утворюється. Рухаючись до все менших значень, ми зміщуємось до все більшої висоти в атмосфері Сонця, що дає можливість отримати варіації поля швидкостей з висотою. Згідно з даними Щукіної, Ольшевського і Хоменко [28] лінія

Ва II 455.4 нм утворюється у межах від $h = 0$ км (фотосфера) і до $h = 650$ км (область температурного мінімуму).

Для того щоб розділити конвективну та хвильову складові флуктуацій швидкості, ми побудували k -діаграму, на якій потужність цих флуктуацій представлено в залежності від часової частоти та просторового хвильового числа k . Методика такого розділення описана в роботі [14]. Як ми уже зазначали раніше [18, 21], максимум потужності коливань у фотосфері, в температурному мінімумі та в середній хромосфері припадає на частоту коливань 3.3 МГц (період $P = 5$ хв). На висоті утворення випромінювання в центрі лінії Ca II H добре помітно ще одну частоту 1.4 МГц ($P = 11.7$ хв).

Для подальших досліджень ми використали чотири спостережні величини.

1. Напруженість магнітного поля на висоті утворення неперервного спектру біля ліній Fe I 1564.8 нм та Fe I 1565.2 нм (нижня фотосфера, $h = -100$ км).

2. Хвильові швидкості на 14 висотах в атмосфері Сонця, де утворюється випромінювання у спектральній лінії Ва II 455.4 нм ($h = 0 \dots 650$ км) та розраховані на їхній основі зсуви фаз (V, V) між коливаннями швидкості V у фотосфері на висоті формування випромінювання в далекому крилі цієї лінії ($h = 0$ км) та коливаннями швидкості на інших 13 висотах. Зауважимо, що для хвиль, які рухаються з фотосфери у хромосферу, зсуви фаз від'ємні ($(V, V) < 0$), а для хвиль, які рухаються у протилежному напрямку — додатні ($(V, V) > 0$). Контраст (яскравість) факельної ділянки обчислюється як інтенсивність випромінювання I_0 у центрі лінії Ca II H, пронормована до середньої інтенсивності випромінювання I_{quiet} у спокійній атмосфері Сонця.

3. Контраст (яскравість) факельної ділянки на висоті утворення випромінювання центра лінії Ca II H 396.8 нм. Згідно з даними [21, 25] ця висота у випадку плоскопаралельної одновимірної моделі атмосфери Сонця приблизно дорівнює $h = 1600$ км.

4. Потужність коливань швидкості хвилі на висоті утворення випромінювання у центрі лінії Ва II 455.4 нм ($h = 650$ км) та на різних висотах в лінії Ca II H 396.8 нм.

Розмір ділянки, у межах якої велись дослідження хвильових рухів, становив 5.5×18.5 .

На рис. 1 показано, як змінюється потужність спостережних коливань швидкості в залежності від частоти коливань на різних висотах в атмосфері Сонця в лінії іонізованого кальцію Ca II. Потужність коливань виражена в умовних одиницях. Її величина пропорційна квадрату швидкості хвилі. На висотах від 0 до 300 км максимум потужності коливань припадає на частоту приблизно 3.5 МГц. На висоті $h = 650$ км, як видно з рис. 1, виникає ще один максимум біля частоти 4.5 МГц. А на висоті $h = 1600$ км досить помітний максимум потужності коливань швидкості на частоті біля 1.5 МГц.

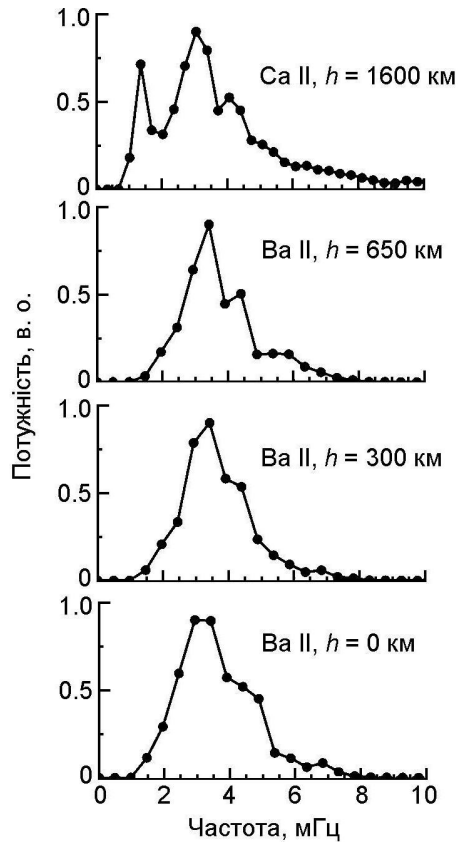


Рис. 1. Потужність коливань швидкості в залежності від частоти коливань на різних висотах в атмосфері Сонця. Потужність коливань виражена у відносних одиницях

На рис. 2а показано, як контраст в центрі лінії Ca II H 396.8 нм ($h = 650$ км) залежить від величини напруженості фотосферного магнітного поля. Як і передбачалось, із загальних міркувань цей контраст і повинен збільшуватись з ростом напруженості магнітного поля [25], але для нас виявилось несподіваним, що при сильних магнітних полях ($B > 140$ мТл) така залежність стає зворотною: напруженість магнітного поля продовжує і далі збільшуватись, а контраст, навпаки, — зменшується.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу спектрополяриметричних та фільтрових спостережень факельної ділянки біля центра сонячного диска в лініях Fe I 1564.3, Fe I 1565.8 нм, Ba II 455.4 нм та Ca II H 396.8 нм, які були отримані на німецькому вакуумному баштовому телескопі (о. Тенеріфе, Іспанія) отримано такі результати.

1. Потужність коливань швидкості в залежності від частоти коливань сильно змінюється з висотою в атмосфері Сонця. На висотах від

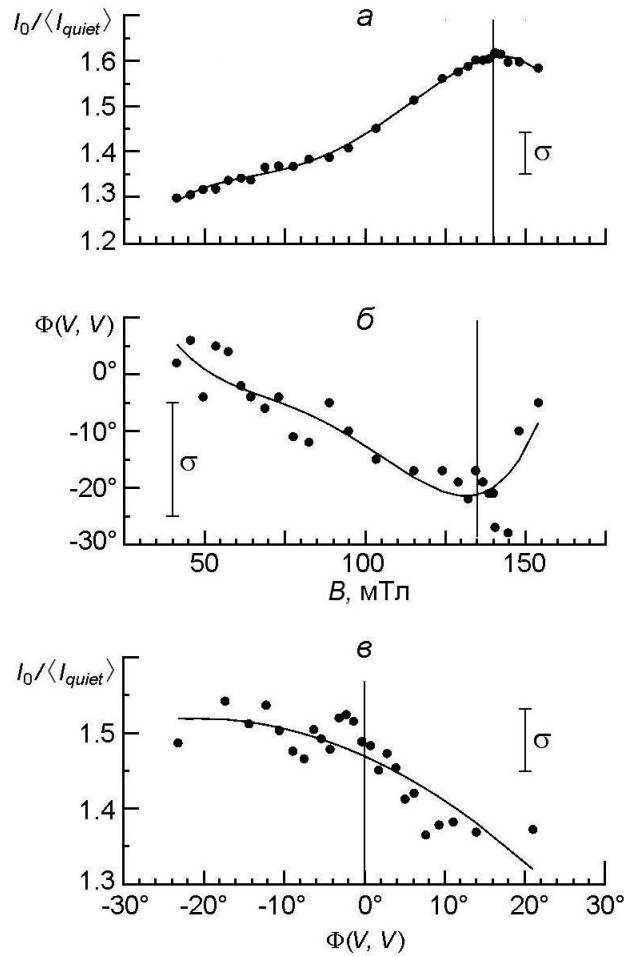


Рис. 2. а — залежність контрасту в центрі лінії Ca II 396.8 нм ($h = 1600$ км) від напруженості фотосферного магнітного поля ($h = 0$ км); б — різниця фаз $\Phi(V, V)$ між коливаннями швидкості V у фотосфері на висоті формування випромінювання в далекому крилі лінії Ba II 455.4 нм ($h = 0$ км) та коливаннями швидкості V на інших 13 висотах, де утворюється ця лінія ($h = 50 \dots 650$ км) в залежності від напруженості B фотосферного магнітного поля; в — залежність контрасту в центрі лінії Ca II від зсувів фаз $\Phi(V, V)$

0 до 300 км максимум потужності коливань припадає на частоту приблизно 3.5 мГц. На висоті $h = 650$ км виникає ще один максимум біля частоти 4.5 мГц. А на висоті $h = 1600$ км досить помітний максимум потужності коливань біля частоти 1.5 мГц.

2. Контраст в центрі лінії Ca II 396.8 нм ($h = 650$ км) немонотонно збільшується з ростом напруженості фотосферного магнітного поля, як і очікувалось із загальних міркувань. При потужних магнітних полях ($B > 140$ мТл) така залежність стає зворотною.

Автор щиро вдячний співробітникам Інституту Астрофізики на Канарах проф. Маноло Кайадосу та проф. Олені Хоменко за допомогу при спостереженнях на вакуумному баштовому телескопі VTT (обсерваторія дель Тейде, о. Тенерифе, Іспанія) та за передану нам про-

граму SIR (Stokes Inversion based on Responce functions), а також рецензенту за слушні зауваження.

REFERENCES

1. Abbasvand V., Sobotka M., Heinzel P., et al. (2020) Chromospheric heating by acoustic waves compared to radiative cooling. II. Revised grid of models. *Astrophys. J.* 890. 22—28.
2. Beck C., Khomenko E., Rezaei R., Collados M. (2009) The energy of waves in the photosphere and lower chromosphere I. Velocity statistics. *Astron. and Astrophys.* 507. 453—467.
3. Berger T. E., Rouppe van der Voort L. H. M., Löfdahl M. G., et al. (2004) Solar magnetic elements at 0.1 arcsec resolution. General appearance and magnetic structure. *Astron. and Astrophys.* 428. 613—628.
4. Cally P. S., Khomenko E. (2015) Fast-to-Alfvén mode conversion mediated by the Hall current. I. Cold plasma model. *Astrophys. J.* 814. 106—116.
5. Carlsson M., Stein R. F., Nordlund Å., Scharmer G. B. (2004) Observational manifestations of solar magnetoconvection: center-to-limb variation. *Astrophys. J.* 610. L137—L140.
6. Collados M., Lagg A., Díaz García J. J., et al. (2007) Tenerife infrared polarimeter II. The physics of chromospheric plasmas, eds.: P. Heinzel, I. Dorotović, R. J. Rutten. *ASP Conf. Ser.* 368. 611—616.
7. Gingerich O., Noyes R.W., Kalkofen W., Cuny Y. (1971) The Harvard-Smithsonian reference atmosphere. *Solar Phys.* 18. 347—365.
8. Gonzalez-Morales P. A., Khomenko E., Vitas N., Collados M. (2020) Joint action of Hall and ambipolar effects in 3D magneto-convection simulations of the quiet Sun. I. Dissipation and generation of waves. *Astron. and Astrophys.* 642. A220—A237.
9. Hirzberger J., Wiehr E. (2005) Solar limb faculae. *Astron. and Astrophys.* 438. 1059—1065.
10. Keller C. U., Schüssler M., Vögler A., Zakharov V. (2004) On the Origin of Solar Faculae. *Astrophys. J.* 607. L59—L62.
11. Khomenko E. (2009) Simulations of waves in sunspots. Solar-stellar dynamos as revealed by helio- and asteroseismology: GONG 2008/SOHO 21, eds.: M. Dikpati, T. Arentoft, I. González Hernández, C. Lindsey and F. Hill. *ASP Conf. Ser.* 416. 31—40.
12. Khomenko E., Cally P. S. (2012) Numerical simulations of conversion to Alfvén waves in sunspots. *Astrophys. J.* 746. 68—77.
13. Kobel P., Solanki S. K., Borrero J. M. (2011) The continuum intensity as a function of magnetic field. I. Active region and quiet Sun magnetic elements. *Astron. and Astrophys.* 531. A112—A123.
14. Kostik R. I., Khomenko E. (2007) Observations of a bright plume in solar granulations. *Astron. and Astrophys.* 476. 341—347.
15. Kostik R., Khomenko E. (2012) Properties of convective motions in facular regions. *Astron. and Astrophys.* 545. A22—A30.
16. Kostik R., Khomenko E. (2013) Properties of oscillatory motions in a facular region. *Astron. and Astrophys.* 559. A107—A116.
17. Kostik R., Khomenko E. (2016) The possible origin of facular brightness in the solar atmosphere. *Astron. and Astrophys.* 589. A6—A12.
18. Kostyk R. (2013) What are solar faculae? *Kinematic and Phys. Celestial Bodies.* 29(1). 32—36.

19. Kostyk R. I. (2015) What mechanisms allow 5-minute oscillations in active regions of the solar surface to penetrate from the photosphere into the chromosphere? *Kinematic and Phys. Celestial Bodies*. 31(4). 188—192.
20. Kostyk R. I. (2018) Effect of wave motions in the active region of the solar surface on convection. *Kinematic and Phys. Celestial Bodies*. 34(2). 82—87.
21. Linsky J. L., Avrett H. E. (1970) The solar *H* and *K* lines. *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 82. 485. 169—248.
22. Montagne M., Mueller R., Vigneau J. (1996) The photosphere of the Sun: statistical correlations between magnetic field, intensity and velocity. *Astron. and Astrophys.* 311. 304—310.
23. Narayan G., Scharmer G. B. (2010) Small-scale convection signatures associated with a strong plage solar magnetic field. *Astron. and Astrophys.* 524. A3—A18.
24. Rajaguru S. P., Sangeetha C. R., Tripathi D. (2019) Magnetic fields and the supply of low-frequency acoustic wave energy to the solar chromospheres. *Astrophys. J.* 871. 155—169.
25. Rezaei R., Bruls J. H. M. J., Schmidt W., Beck C., Kalkofen W., Schlichenmaier R. (2008) Reversal-free Ca II *H* profiles: a challenge for solar chromosphere modeling in quiet inter-network. *Astron. and Astrophys.* 484. 503—509.
26. Ruiz Cobo B., del Toro Iniesta J. C. (1992) Inversion of Stokes profiles. *Astrophys. J.* 398. 375—385.
27. Schroeter E. H., Soltau D., Wiehr E. (1985) The German solar telescopes at the Observatorio del Teide. *Vistas in Astron.* 28. 519—525.
28. Shchukina N. G., Olshevsky V. L., Khomenko E. V. (2009) The solar Ba II 4554 Å line as a Doppler diagnostic: NLTE analysis in 3D hydrodynamical model. *Astron. and Astrophys.* 506. 1393—1404.
29. Shelyag S., Khomenko E., de Vicente Á., Przybylski D. (2016) Heating of the partially ionized solar chromosphere by waves in magnetic structures. *Astrophys. J.* 819. L11—L16.
30. Sobotka M., Heinzel P., Svanda M., et al. (2016) Chromospheric heating by acoustic waves compared to radiative cooling. *Astrophys. J.* 826. 49—56.
31. Solanki S. K. (1993) Small scale solar magnetic fields. An overview. *Space Sci. Rev.* 63. 188.
32. Srivastava A. K., Ballester J. L., Cally P. S., et al. (2021) Chromospheric heating by MHD waves and instabilities. Manuscript submitted to *J. Geophys. Research - Space Phys.* eprint arXiv:2104.02010.
33. Stangalini M., Del Moro D., Berrilli F., Jeeries S. M. (2011) MHD wave transmission in the Sun's atmosphere. *Astron. and Astrophys.* 534. A65—A71.
34. Stebbins R., Goode P. R. (1987) Waves in the solar photosphere. *Solar Phys.* 110. 237—253.
35. Stodilka M. I., Kostyk R. I. (2020) Solar faculae: microturbulence as an indicator of inclined magnetic fields. *Kinematic and Phys. Celestial Bodies*. 36(4). 153—160.
36. Stodilka M. I., Prysiazhnyi A. I., Kostyk R. I. (2019) Features of convection in the atmosphere layers of the solar facula. *Kinematic and Phys. Celestial Bodies*. 35. 261—270.
37. Title A. M., Topka K. P., Tarbell T. D., et al. (1992) On the differences between plage and quiet Sun in the solar photosphere. *Astrophys. J.* 393. 782—794.
38. Topka K. P., Tarbell T. D., Title A. M. (1997) Properties of the smallest solar magnetic elements. II. Observations versus hot wall models of faculae. *Astrophys. J.* 484. 479—486.

39. Tritschler A., Schmidt W., Langhans K., Kentischer T. (2002) High-resolution solar spectroscopy with TESOS — Upgrade from a double to a triple system. *Solar Phys.* 211. 17—29.

R. I. Kostik

Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

SOLAR FACULAE AND FLOCCULES: SPECTROPOLARIMETRIC
AND FILTER OBSERVATIONS IN Fe I, Ba II, AND Ca II LINES

The results of spectropolarimetric and filter observations of a facula region located near the solar disc center in the lines of Fe I 1564.3 nm, Fe I 1565.8 nm, Ba II 455.4 nm and Ca II H 396.8 nm are discussed. The observations were obtained at the German Vacuum Tower Telescope of the Observatorio del Teide (Tenerife, Spain). Observations of the faculae region were obtained simultaneously in three spectral regions: spectropolarimetric observations of I , Q , U , V Stokes parameters of two lines of neutral iron Fe I 1564.8 nm and Fe I 1565.2 nm with a time resolution of 6 minutes 50 seconds; filter observations in 37 sections of the profile of the line of ionized barium Ba II 455.4 nm with a time resolution of 25.6 seconds; filter observations only in the center of the line of ionized calcium Ca II H 396.8 nm with a time resolution of 4.9 seconds. For the investigations we used the following observational values: 1) the power of the magnetic field at the height of the formation of a continuous spectrum near Fe I 1564.8 nm and Fe I 1565.2 nm ($h \approx 100$ km) lines; 2) wave velocities at 14 heights in the atmosphere of the Sun, where radiation in Ba II 455.4 nm spectral line is formed ($h = 0 \dots 650$ km) and calculated phase shifts (V, V') between velocity fluctuations V in the photosphere at the height of radiation formation in the center of this line ($h = 650$ km) and velocity fluctuations at the other 13 heights; 3) the facula contrast at the height of the formation Ca II H 396.8 nm line center ($h = 1600$ km). It is shown that: 1) the power of velocity oscillations, depending on the frequency of oscillations, varies greatly with the height in the atmosphere of the Sun. At the heights from 0 to 300 km the maximum oscillation power occurs at a frequency of 3.5 mHz. At the height of $h = 650$ km another maximum occurs near the frequency of 4.5 mHz, and at height of $h = 1600$ km the maximum oscillation power at a frequency near 1.5 mHz is quite noticeable. 2) The contrast in the center of the line Ca II H 396.8 nm ($h = 650$ km) does not monotonically increase with the increasing of the intensity of the photospheric magnetic field, as might be expected from general considerations. At large magnetic fields ($B > 140$ mT) this dependence becomes inverse.

Keywords: Sun, faculae, spectropolarimetric observations, oscillations, magnetic fields.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2023

Після доопрацювання 01.05.2023

Прийнята до друку 10.08.2023