

7. Fedorova E., Beckmann V., Neronov A., Soldi S. // MNRAS. – 2011. – Vol. 417. – P. 1140.
8. Soldi S., Beckmann V., Gehrels N., De Jong S., Lubinski P. // 2011, in: proc. of the Workshop "Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe". ArXiv:1105.5993.
9. Soldi S., Beckmann V., Bassani L., Courvoisier T.J.-L. et al. // A&A, 2005. – Vol. 444. – P. 431.
10. Vasylenko A., Zhdanov V., Fedorova E. // Astroph. Space Sci., 2015. – Vol. 360. – P. 71.
11. Arnaud K., Gordon C., Dorman B. An X-Ray Spectral Fitting Package // <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/manual/manual.html>.
12. Magdziarz P., Zdziarski, A. A. // MNRAS, 1995. – Vol. 273. – P. 837.
13. Kalberla P. M. W., Burton W. B., Hartmann D., Arnal E. M., Bajaja E., Morras R., Poppel W. G. L. // A&A, 2005. – Vol. 440. – P. 775.
14. Fedorova E., Zhdanov V.I. // Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 2016. – Vol. 32, is. 4. – P. 172-180.
15. Chesnok N.G., Sergeev S.G., Vavilova I.B. // Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 2009. – Vol. 25, N 2. – P. 107–113.

Надійшла до редколегії 15.06.16

Федорова О., канд. фіз.-мат. наук,
Астрономічна обсерваторія
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ
Василенко А., канд. фіз.-мат. наук,
Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ
Жданов В., проф.,
Астрономічна обсерваторія
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕКУЛЯРНІ АЯГ ЗА ДАНИМИ INTEGRAL ТА RXTE

Проведено аналіз залежності спектральних параметрів первинного континууму активних ядер галактик від типу їх активності в радіодіапазоні, використовуючи дані космічних місій INTEGRAL та RXTE з метою перевірки відповідності форми їх спектра до передбачень моделі будови центральної машини АЯГ "спін-парадигма". Е результаті виявлено, що для більшості РТ АЯГ значення експоненційного завалу на високих енергіях значно перевищує 100 кеВ, або навіть відсутнє, що відповідає передбаченням спін-парадигми, тоді як для РГ АЯГ блтзько 25 % об'єктів не вкладаються у спін-парадигму і мають експоненційний завал у спектрі на енергіях вище 150 кеВ, або ж не мають такого завалу зовсім. Складено вибірку таких об'єктів для подальшого детального дослідження.

Федорова Е., канд. фіз.-мат. наук,
Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев,
Василенко А., канд. физ.-мат. наук,
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев,
Жданов В., проф.,
Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Киев

ПЕКУЛЯРНЫЕ АЯГ ПО ДАННЫМ INTEGRAL И RXTE

Проведен анализ зависимости спектральных параметров первичного континуума активных ядер галактик от типа их активности в радиодиапазоне, с использованием данных космических миссий INTEGRAL и RXTE, для проверки соответствия формы их спектров предсказаниям, сделанным на основе модели строения центральной машины АЯГ "спин-парадигма". В результате обнаружено, что для большинства РТ АЯГ значения экспоненциального завала на высоких энергиях существенно превышает 100 кеВ, или вообще отсутствует, в соответствии с предсказаниями "спин-парадигмы", тогда как для РГ АЯГ около 25 % объектов не соответствуют "спин-парадигме", демонстрируя экспоненциальный завал в спектре на энергиях, превышающих 150 кеВ, или даже не имеют такого завала вообще. Собрано выборку таких объектов для дальнейшего более детального их исследования.

УДК 523.982

В. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
С. Осіпов, канд. фіз.-мат. наук,
Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ У СОНЯЧНИХ ПЛЯМАХ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ ЛІНІЯМИ З РІЗНИМИ ФАКТОРАМИ ЛАНДЕ

Представлено результати прямих вимірювань магнітного поля в сонячних плямах, які спостерігались на горизонтальному сонячному телескопі АЦУ-5 ГАО НАН України у червні-липні 2015 р. Магнітні поля вимірювались за зєєманівським розщепленням кількох ліній FeI, MnI та NiI, розташованих у спектрі поблизу ліній FeI 5434.5 Å та FeI 6093.66 Å. Ефективні фактори Ланде g_{eff} цих ліній – у межах від -0.22 до 2.14 . Виявлено суттєві відмінності вимірюваних напруженостей як для ліній з різними, так і близькими величинами g_{eff} . Лінія FeI 5434.5 Å ($g_{\text{eff}} = -0.014$) у деяких місцях сонячних плям виявляє достовірне розщеплення, що відповідає магнітним полям напруженістю до 2.5 кГс. У всіх досліджених випадках лінія FeI 6094.419 Å з негативним фактором Ланде ($g_{\text{eff}} = -0.22$) розщеплюється у спектрах плям подібно до ліній з позитивним фактором Ланде ($g_{\text{eff}} > 0$). Обговорено можливі причини цього ефекту.

Ключові слова: Сонце, сонячні плями, ефект Зєємана, магнітні поля, прями вимірювання, фактори Ланде.

Вступ. Вимірювання магнітних полів по спектральних лініях з різними факторами Ланде важливі для досліджень магнітних полів, які є неоднорідними у горизонтальній площині. Теоретично при однорідному магнітному полі величина вимірюваного поля V_{obs} не повинна залежати від фактора Ланде і має відповідати дійсному магнітному полю V_{true} . Однак при неоднорідних магнітних полях це не так; зокрема, якщо спостерігається поверхнева неоднорідність магнітного поля у формі поєднання більш слабого фонового поля і більш сильного поля, зосередженого у маломасштабних (просторово нероздільних) силових трубках, то за певних умов виникає ефект "зєєманівського насичення" [9]. При цьому лінії з різними факторами Ланде можуть давати суттєво відмінні (у кілька разів) виміряні магнітні поля, якщо використовувати традиційні методи інтерпретації спостережень. Перші результати щодо цього були отримані в роботі [1] магнітографічним методом на основі порівняння даних вимірювань в 13 спектральних лініях. Було виявлено, що для слабких магнітних полів за межами сонячних плям (≤ 100 Гс) існує залежність вимірюваного поздовжнього

© Лозицький В., Осіпов С., 2017

магнітного поля B_{\parallel} від фактора магнітної чутливості $g\lambda^2$: в цілому, величина B_{\parallel} тим більша, чим менше $g\lambda^2$. Аналогічна залежність отримана в роботі [5] фотографічним методом по 9 лініях, притому за даними в неполяризованому світлі (стоксовий параметр I) і для ширшого діапазону напруженостей, ≤ 1000 Гс. На основі розрахунків в рамках двохкомпонентної моделі показано, що подібна залежність виникає при дуже сильних просторово нероздільних магнітних полях (≈ 10 кГс), занурених у більш слабе фонове поле [5].

Одночасно з роботою [1], була опублікована робота Стенфло [12], у якій порівнюються магнітографічні вимірювання методом "відношення ліній" лише у двох лініях, Fe I 5247.1 Å та 5250.2 Å. Вони мають майже однакові глибини формування в атмосфері Сонця і температурні чутливості, але помітно відмінні ефективні фактори Ланде g_{eff} , 2.0 та 3.0, відповідно. Для спокійних областей на Сонці знайдено, що $B_{\parallel}(5247.1) / B_{\parallel}(5250.2) \neq 1$; виявилось, що це відношення певним чином залежить від віддалі від центрів вказаних ліній. Було показано, що отримані дані можна пояснити наявністю на Сонці просторово нероздільних (субтелескопічних) силових трубок із дійсним полем $B_{\text{true}} = 1.1\text{--}2.3$ кГс. Варто зауважити, що висновки робіт [5] та [12] щодо величини B_{true} (≈ 10 кГс та $1.1\text{--}2.3$ кГс, відповідно) не слід вважати суперечливими, оскільки у другому випадку використовувались спектральні лінії з великими факторами Ланде. Вимірювання по таких лініях, з методичних причин, адаптовані на більш вузький діапазон магнітного поля – не вище 4-5 кГс.

Семель [8] порівняв одночасні вимірювання магнітного поля з допомогою лямда-метра у 12 спектральних лініях для різних областей на Сонці: сонячних плям, факелів активних і спокійних областей. Він виявив дуже добре узгодження результатів вимірювань (з точністю до 10%) для сонячних плям, але значну (до 5 раз) розбіжність отриманих даних для факелів. Це було трактовано як свідчення просторово нероздільної структури магнітного поля за межами сонячних плям.

Стенфло та ін. [13] вивчали статистичні характеристики стоксових профілів I та V для 400 неблендованих ліній Fe I в областях фотосферної сітки та факелів. Спостереження були проведені з фур'є-спектрометром обсерваторії Кітт Пік (США). Зроблено висновок, що величина B_{true} у силових трубках дорівнює типово $1.4\text{--}1.7$ кГс, а фактор заповнення $3\text{--}4\%$ для сітки і $5\text{--}15\%$ для факелів. Окрім того, було знайдено, що для 12 спектральних ліній високих мультиплетів (№ 823–1177) існує суттєва відмінність між теоретичними (для LS -зв'язку) і емпіричними факторами Ланде. Стосовно лінії Fe I 5434.527 Å (мультиплет № 15, $g_{\text{eff}} = -0.014$) автори зазначають: "Наші дані не показують ознак присутності цієї лінії у стоксових профілях V , що відповідає $g_{\text{eff}} = 0$ ". Однак пізніше саме в цій лінії виявлено значне по величині (до 40 мÅ) розщеплення емісійних піків в профілях $I \pm V$, що спостерігались у потужних сонячних спалахах. Якщо це розщеплення вважати проявами ефекту Зеємана, то відповідна величина магнітного поля – кілька десятків кілогаусс [3, 4].

Венгліньський і Лозицький [14] порівнювали магнітні поля у сонячних плямах по 146 лініях різних хімічних елементів, що мають ефективні фактори Ланде g_{eff} у межах від 0.50 до 2.50. Виявлено вказівки на негативний висотний градієнт магнітного поля величиною $0\text{--}4$ Гс/км, а також залежність вимірюваного поля B_{obs} від величини g_{eff} , але лише в області північній. Розрахунками показано, що фактична величина B_{true} локальних магнітних полів має однаковий порядок ($\sim 10^3$ Гс) як у тіні, так і в північній плямі. Істотно змінюється при цьому лише фактор заповнення площі сильною компонентою: зокрема, в тіні плями він близький до одиниці, тоді як в північній – межах $5\text{--}20\%$.

Лозицький і Ключева [7] виявили, що лінія Fe I 5434.527 Å має у деяких місцях тіней плям дуже слабе розщеплення (≤ 5 мÅ), що відповідає магнітним полям $B \approx 12.9 \pm 3.9$ кГс. Відповідні спостережні дані отримані на ГСТ АО КНУ. Важливо з'ясувати, чи існує подібний ефект за даними з іншого інструменту а також у інших сонячних плямах. У цьому відношенні, предствляють значний інтерес і інші магніточутливі лінії з невеликими факторами Ланде. Вивчення цих питань на новому спостережному матеріалі і було основним завданням даної роботи.

Спостереження були проведені на горизонтальному сонячному телескопі АЦУ-5 ГАО НАН України. Спектри Сонця реєструвались з допомогою ПЗЗ-камери SBIG ST-8300. Для отримання спектрів $I + V$ та $I - V$ використовувалась поляризаційна мозаїка В.Й.Скоморовського [10] і чвертьхвильова пластинка. І поляризаційна мозаїка, і чвертьхвильова пластинка розміщувались перед вхідною щільною спектрографа на відстані близько 1 см. Поскілки ширина смужок мозаїки є досить малою – всього 0.4 мм, і під час спостережень через неї проходили непаралельні пучки променів (діаметр головного дзеркала телескопа 44 см, фокус 17.5 м), неминуче виникало часткове накладання променів ортогональних поляризацій на границі між сусідніми смужками мозаїки. Щоб зменшити ширину зони такого накладання (яке, по суті, замість спектрів $I \pm V$ дає спектри I) доводилося діафрагмувати вхідний пучок по висоті до величини ~ 12 см. Це практично ніяк не впливало на просторову роздільну здатність прямих спостережень, оскільки в умовах астроклімату Києва дрижання та замивання зображення істотно перевищує дифракційну межу інструмента.

Впродовж червня-липня 2015 р., на АЦУ-5 спостерігались кілька великих сонячних плям недалеко від центра диска Сонця. Зокрема, спостерігались найбільші плями на диску у такі дати: 10, 20, 23 і 26 червня, 8 і 18 липня а також 25 серпня 2015 р. Спектри $I \pm V$ реєструвались в діапазоні приблизно ± 4 Å навколо таких довжин хвиль: 5434.5 та 6094.4 Å (рис. 1). Зареєстровані спектри були виправлені за ефекти площинності поля, паразитичну інтерференцію і кривизну спектральних ліній. У вказаних ділянках спектра спостерігалось одразу кілька ліній із добре видимим зеєманівським розщепленням; зокрема, як видно з рис. 1, у діапазоні $\lambda = 5434.5$ Å таких ліній було близько десятка.

Спостереження одного і того самого місця на Сонці виконувались двічі, при різних орієнтаціях чвертьхвильової пластинки, які відрізнялись на 90° . Це робилось для зменшення впливу ефекту Евершеда. Адже різні смужки мозаїки відповідають різним місцям на Сонці, де можуть бути різні доплерівські зсуви $\Delta\lambda_E$. Тому, якщо при першому положенні чвертьхвильової пластинки (яке, умовно, відповідає куту 45°) різниця положень спектральної лінії у двох сусідніх смужках мозаїки була $2\Delta\lambda_H + \Delta\lambda_E$ (де $\Delta\lambda_H$ – зеєманівське розщеплення), то при куті -45° – вже $2\Delta\lambda_H - \Delta\lambda_E$. Беручи середнє значення, отримуємо лише $2\Delta\lambda_H$, а по ньому – правильну величину магнітного поля B . Правда, це буде лише тоді, коли реєстрація спектрів при обох орієнтаціях чвертьхвильової пластинки відповідає строго одному і тому ж місцю на Сонці. У дійсності ж, внаслідок того, що спектри при цих двох орієнтаціях чвертьхвильової пластинки знімались неодноразово (з інтервалом до 1 хв), дрижання зображення і неточне гідвання могло призвести до деякого "сповзання" зображення Сонця на вхідній щільній спектрографа. Однак для центральних частин великих плям, особливо спостережуваних поблизу центра диска Сонця, вплив цих факторів має бути відносно незначним.

Fe I 5434.527 Å ($g_{\text{eff}} = -0.014$)

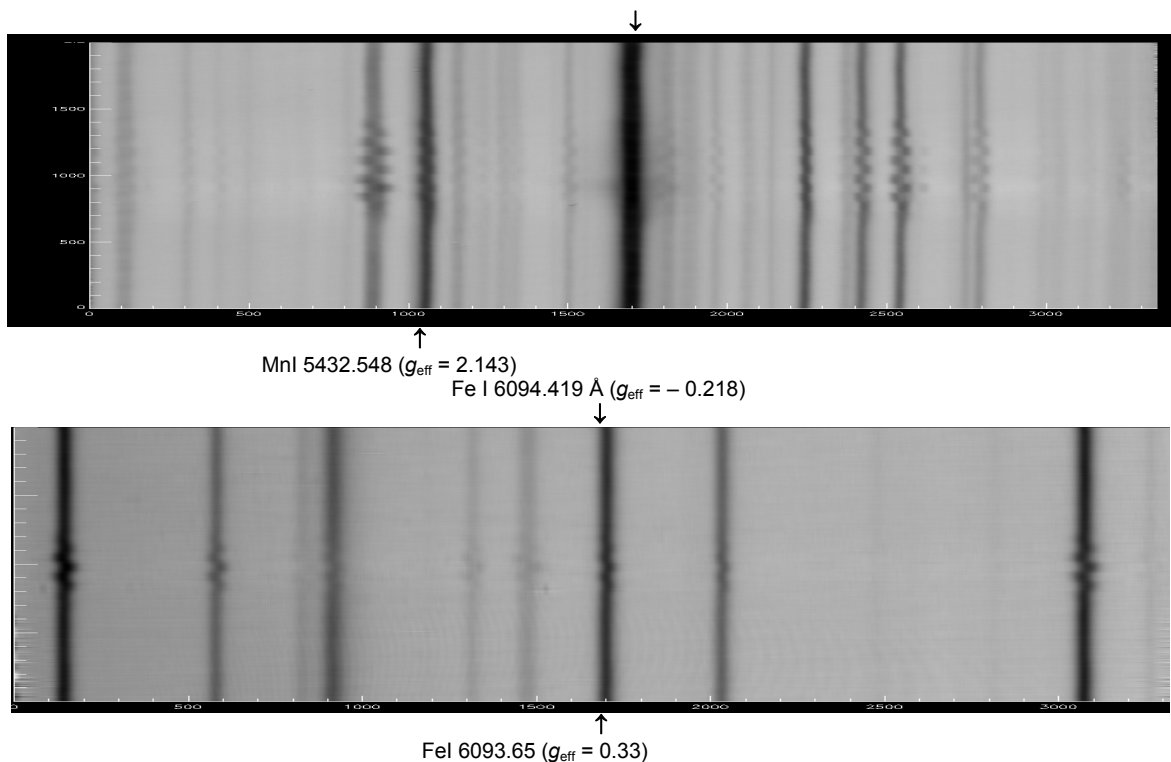


Рис. 1. Спостережені картини зєманівського розщеплення ліній у сонячних плямах для спектральних ділянок поблизу $\lambda = 5434.5 \text{ \AA}$ (08.07.2015, 7^h 12^m UT, AR 2381) та $\lambda = 6094.4 \text{ \AA}$ (18.07. 2015, 7^h 20^m UT)

Для ілюстрації на рис. 2 показано розподіл положень спектральної лінії Mn I 5432.548 ($g_{\text{eff}} = 2.143$) уздовж на-пряму вхідної щілини інструмента для двох орієнтацій чвертьхвильової пластинки, які представлені кривими з різним типом усереднення (лише згладжені криві для орієнтації пластинки +45°, і незгладжені криві + згладжені – для орієнтації –45°). Ці дані стосуються плями 08.07.2015 р.; загальний вигляд спектра для цього місця на Сонці показаний у верхній частині рис. 1. Тут видно: а) періодичні коливання положення лінії при переході до сусідньої смужки мозаїки і б) дискретна зміна відхилення лінії на протилежне положення при зміні орієнтації чвертьхвильової пластинки. Саме це й доводить магнітну природу цього ефекту. У цьому випадку величина виміряного магнітного поля у деяких місцях плями доходить до 1500 Гс. Однак, як буде показано нижче, величина виміряного поля може суттєво відрізнятися по різних спектральних лініях.

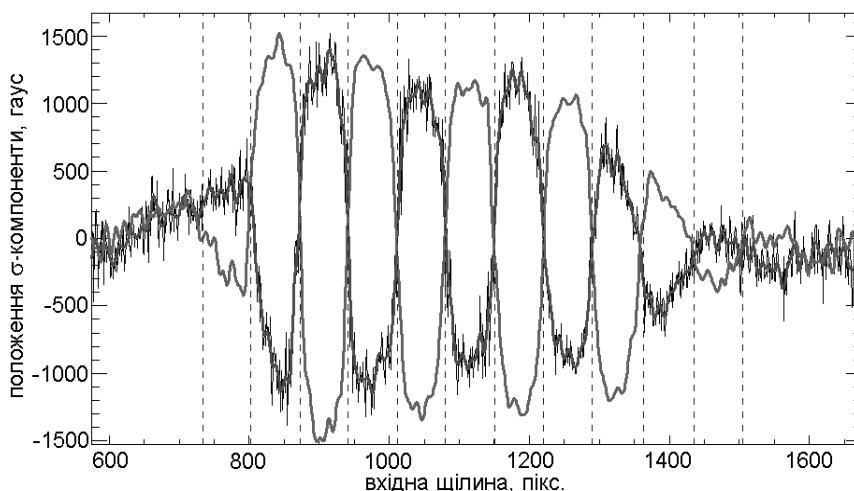


Рис. 2. Розподіл зєманівського розщеплення (у Гс) у лінії Mn I 5432.548 ($g_{\text{eff}} = 2.143$) уздовж перерізу сонячної плями 08.07.2015, 7^h 12^m UT, AR 2381).

Вертикальними штриховими прямими показано межі смужкополяризаційної мозаїки (ширина однієї смужки відповідає 3.3 Мм на Сонці).

Вказано положення лінії при двох орієнтаціях чвертьхвильової пластинки, які відрізняються на 90°

Результати та їх обговорення. Магнітні поля в плямах вимірювались по спектральних лініях, представлених в таблиці 1. У цій таблиці, фактори Ланде ліній № 3 та 5–8 відповідають лабораторним значенням згідно з роботою [15], для інших ліній фактори Ланде є теоретичними для випадку LS-зв'язку.

Таблиця 1.

Вибрані магніточутливі лінії, за якими вимірювались магнітні поля в сонячних плямах

№ п/п	Елемент, мультиплет	λ , Å	EP, eB	g_{eff}
1	MnI – 1	5432.548	0.00	2.143
2	Fel – 1143	5432.950	4.43	0.666
3	Fel – 15	5434.527	1.01	- 0.014
4	Nil – 70	5435.871	1.98	0.500
5	Fil – 1161	5436.299	4.37	1.440
6	Fil – 113	5436.594	2.27	1.816
7	Fel – 1177	6093.66	4.59	0.339
8	Fel – 1177	6094.419	4.63	- 0.218

Вимірювання магнітних полів проводились методом фіксації "центрів ваги" профілів $I + V$ та $I - V$. Різниця положень цих профілів у спектрі вважалась рівною $2\Delta\lambda_H$. Щоб уникнути суттєвого впливу "шумів" в далеких крилах ліній, приймалися до уваги лише центральні частини профілів в межах, що не перевищували напівширину лінії.

Із порівняння даних вимірювань по лініях, представлених у табл. 1, можна зробити такі висновки.

1. Зазвичай лінії з найбільшими факторами Ланде дають найбільші виміряні магнітні поля B_{obs} . Це можна пояснити частковим спектральним розділенням π - та σ -компонентів у ефекті Зеемана при непоздовжніх магнітних полях, коли кут γ між силовою лінією і променем зору не дорівнює 0° або 180° . У такому випадку, отримані дані близькі до поздовжньої компоненти вектора магнітного поля, тобто $B_{\text{obs}} \approx B \cos \gamma = B_{\parallel}$. Для кількісного порівняння результатів по різних лініях використовувалась відносна величина середнього магнітного поля R_i , обчислена за формулою Семеля [8]

$$R_i = \frac{N \sum_{\alpha} B_{i\alpha}}{\sum_i \sum_{\alpha} B_{i\alpha}} \quad (1)$$

У цій формулі $B_{i\alpha}$ означає виміряне магнітне поле в лінії i а також в точці α на Сонці; N – кількість ліній.

На рис. 3 наведено порівняння величин R_i по лініях № 1–6 для сонячної плями 8.07.2015 р. Видно, що лінії з найвищими факторами Ланде ($g_{\text{eff}} = 1.44$ – 2.14) показують однакове (у межах похибок) відносне поле R_i , тоді як лінії з $g_{\text{eff}} = 0.5$ – 0.7 – достовірно менше (на $\approx 50\%$) поле. Таким чином, величина розбіжностей величини R_i у нашому випадку значно більша, ніж в роботі Семеля [8]. Це можна пояснити тим, що в роботі Семеля майже всі лінії мають $g_{\text{eff}} \geq 1$ (лише одна лінія, Fe II 5234.6, має $g_{\text{eff}} = 0.93$). У нашому ж випадку, як видно з табл. 1, п'ять ліній із восьми – це лінії з $-0.22 \leq g_{\text{eff}} \leq 0.666$. Крім того, у різних місцях плям можуть бути ділянки як однакового, так і суттєво відмінного магнітного поля [2, 11].

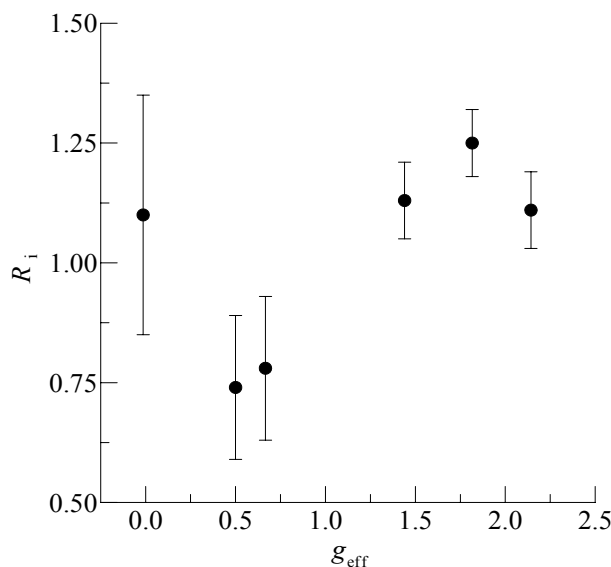


Рис. 3. Порівняння магнітних полів, виміряних у плямі 8.07.2015 р. за лініями з різними факторами Ланде

2. Лінія Fe I 5434.527 Å ($g_{\text{eff}} = -0.014$) у деяких місцях плям виявляє дуже слабе розщеплення, що відповідає магнітним полям у 2–2.5 кГс. Це ілюструє рис. 4, де показано положення вказаної лінії у різних смужках мозаїки, але лише при одній орієнтації чвертьхвильової пластинки. Це зроблено для більшої наочності спостережних даних – щоб краще було видно дискретну зміну спектрального положення лінії при переході від однієї смужки мозаїки до іншої. Із рис. 4 видно (особливо в інтервалі значень абсциси 800–1300), що "центр ваги" лінії періодично змінює своє положення відносно тренду, обумовленого, передусім, ефектом Евершеда. Вважаючи, що ці відхилення від тренду дорівнюють зееманівському розщепленню $\Delta\lambda_H$, можна знайти величину відповідного магнітного поля. Для наочності по осі ординат наведено відповідну калібровку зміщень лінії в напруженостях, припускаючи $g_{\text{eff}} = 0.01$. З рисунка 4 випливає, що область зареєстрованого розщеплення лінії Fe I 5434.527 Å у плямі була досить значною – вона займала 7 смужок мозаїки, тобто близько 20 Мм на Сонці.

Згідно з рис. 3 лінія Fe I 5434.527 Å (якій на графіку відповідає точка з $g_{\text{eff}} \approx 0$), показує в середньому приблизно таке ж вимірне середнє поле, як і лінії з $g_{\text{eff}} = 1.44-2.14$. Однак виявилось, що у різних місцях цієї самої плями а також в інших плямах величина R_i для Fe I 5434.527 Å може бути дуже різною – від 0 до 2, тобто навіть значно вищою, ніж в середньому по всіх інших лініях. Наприклад, у тій самій плямі 8.07.2015 р. напруженість магнітного поля по цій лінії досягала 2.3 кГс, тоді як по лініях з великими факторами Ланде – до 1.5 кГс. Це непрямим чином вказує на те, що ця лінія згідно з її емпіричним фактором Ланде ($g_{\text{eff}} = -0.014$), дійсно може виявляти ознаки ефекту Зеємана у сонячних спалахах [3, 4], але при достатньо сильних магнітних полях. Поскілки таких ознак у сонячних факелах автори роботи [13] не зареєстрували, то це, можливо, вказує на вузький діапазон напруженостей магнітного поля у факелах.

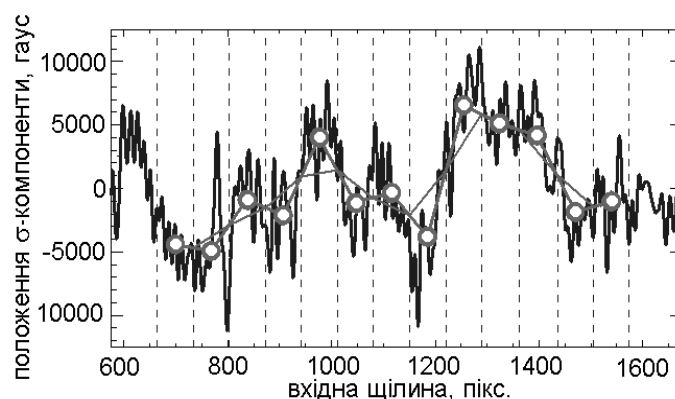


Рис. 4. Розподіл виміряного положення "центра ваги" лінії Fe I 5434.527 Å вздовж одновимірного перерізу плями 8.07.2015 р. Кружечками показані середні положення лінії у кожній смужці, тонкою ламаною лінією – тренд

3. Виявилось також, що у всіх досліджених випадках лінія Fe I 6094.419 Å з негативним фактором Ланде ($g_{\text{eff}} = -0.22$) розщеплюється у спектрах плям так, наче в неї позитивний фактор Ланде ($g_{\text{eff}} > 0$). Це не можна пояснити неправильним значенням цього фактора, поскілки у цієї лінії відоме емпіричне його значення ($g_{\text{eff}} = -0.218$), визначене в лабораторних умовах [15]. Також малоімовірним є такий інструментальний фактор, як випадкові зміщення спектральних ліній (наприклад, внаслідок ефекту Евершеда або турбулентності у спектрографі), поскілки вказаний ефект є регулярним і завжди відповідає $g_{\text{eff}} > 0$. Залишаються, таким чином, лише можливі ефекти сонячного походження, а саме такі: а) дійсна зміна полярності магнітного поля у тому діапазоні висот, де формується ця лінія, і б) ефект Пашена–Бака [6]. Щодо першої можливості, то вона уявляється малоімовірною, оскільки близьку висоту формування в атмосфері має також сусідня лінія Fe I 6093.66 з позитивним фактором Ланде $g_{\text{eff}} > 0.33$. Вона, як і інші сусідні лінії з $g_{\text{eff}} > 0$, завжди показує правильну (не протилежну) магнітну полярність (рис. 1). Щодо ефекту Пашена–Бака, то він можливий для ліній Fe I лише при магнітних полях рівня ~ 105 Гс [6]. Якщо такі поля на Сонці дійсно існують, то ефект Пашена–Бака має виникати передусім у тих спектральних лініях, які відповідають мінімальному енергетичному проміжку між атомними термами сусідніх мультиплетів. Поскілки цей проміжок прогресивно зменшується саме при переході до ліній високих мультиплетів, то той факт, що Стенфло та ін. [13] виявили "неправильні" фактори Ланде саме для ліній високих мультиплетів (№ 823–1177) є вагомим аргументом саме на користь ефекту Пашена–Бака. Однак тоді доводиться припускати, що магнітні поля рівня ~ 105 Гс зустрічаються не лише у сонячних спалахах, але й у сонячних факелах. На сьогодні це уявляється також малоімовірним, однак потребує додаткової перевірки у майбутньому.

Висновки. Основним висновком роботи є те, що в області сонячних плям магніточутливі лінії Fe I 5434.5 Å та Fe I 6094.419 Å з ефективними факторами Ланде $g_{\text{eff}} = -0.014$ та -0.22 , відповідно, виявляють ознаки ефекту Зеємана з такими особливостями: а) лінія Fe I 5434.5 Å має достовірне розщеплення, що відповідає магнітним полям напруженістю до 2.5 кГс (тобто таким самим за величиною або навіть сильнішим, ніж інші лінії з $g_{\text{eff}} > 0$), б) лінія Fe I 6094.419 Å розщеплюється у спектрах плям подібно до ліній з позитивним фактором Ланде ($g_{\text{eff}} > 0$). Другий ефект можна пояснити ефектом Пашена–Бака, але при дуже сильних магнітних полях рівня ~ 105 Гс. На сьогодні існування таких полів у сонячних плямах є вельми дискусійним і вимагає спеціального розгляду при майбутніх дослідженнях.

Список використаних джерел

1. *The comparison of the magnetographic magnetic field measured in different spectral lines* / S. I. Gopasyuk, V. A. Kotov, A. B. Severny, T. T. Tsap // Solar Phys., 1973. – Vol. 31, N 2. – P. 307–316.
2. *Lozitsky V. G. Indications of 8-kilogauss magnetic field existence in the sunspot umbra* / V. G. Lozitsky // Adv. Space Res., 2016. – Vol. 57. – P. 398–407.
3. *Lozitsky V. G. Observational evidences for extremely strong magnetic fields in solar flares* / V. G. Lozitsky // Intern. J. Astron. Astrophys., 2011. – Vol. 1, N 3. – P. 147–154.
4. *Lozitsky V. G. Observations of magnetic fields with strength of a few tesla in solar flares* / V. G. Lozitsky (in rus.: Наблюдения магнитных полей напряженностью в несколько тесла в солнечных вспышках) // Kinematics and Phys. of Celestial Bodies, 1998. – Vol. 14, № 5. – P. 401–414.
5. *Lozitsky V. G. On calibration of magnetographic measurements with account of spatially unresolved inhomogeneities* / V. G. Lozitsky (in rus.: О калибровке магнитографических измерений с учетом пространственно неразрешимых неоднородностей) // Physica Solariterrestris. – Potsdam, 1980. – N 14. – P. 88–94.
6. *Lozitsky V. G. Solar magnetic fields and Pashen-Back effect* / V. G. Lozitsky (in rus.: Солнечные магнитные поля и эффект Пашена–Бака) // Bulletin of Crimea astrophysical observatory, 2009. – Vol. 104, № 6. – P. 132–137.
7. *Lozitsky V. G. Peculiarities of the Zeeman splitting of lines with small Lande factors in a sunspot spectra* / Lozitsky V. G., Klyuyeva A. I. (in ukr.: Особливості зеєманівського розщеплення ліній з малими факторами Ланде у спектрі сонячної плями) // Bull. Astron. Shkoly, 2011. – Vol. 7, № 1. – P. 17–23.
8. *Semel M. Magnetic field observed in a sunspot and faculae using 12 lines simultaneously* / M. Semel // Astron. and Astrophys., 1981. – Vol. 97. – P. 75–78.

9. Severny A. B. Some instrumental problems of magnetic field measurements of the Sun and stars / A. B. Severny (in rus.: Некоторые инструментальные вопросы измерения магнитных полей Солнца и звезд) // Bulletin of Crimea astrophysical observatory, 1977. – Vol. 56. – P. 142–148.
10. Skomorovsky V. I. Mosaic for magnetic field measurements / V. I. Skomorovsky (in rus.: Мозаика для измерения магнитных полей) // Issledovaniye po geomagnetizmu, aeronomii s fizike Solnza, 1974. – Vol. 26. – P. 220–221.
11. Solanki S. K. Sunspots: An overview / S. K. Solanki // Astron. Astroph. Rev., 2003. – Vol. 11. – P. 153–286.
12. Stenflo J. O. Magnetic-field structure of the photospheric network / J. O. Stenflo // Solar Phys., 1973. – Vol. 32, № 1. – P. 41–63.
13. Stenflo J. O. Diagnostics of solar magnetic fluxtubes using a Fourier transform spectrometer / J. O. Stenflo, J. W. Harvey, J. W. Brault, S. Solanki // Astron. Astrophys. – 1984. – Vol. 131. P. 333–346.
14. Venglinsky E. Direct magnetic field measurements in sunspot umbra and penumbra by 146 spectral lines / E. Venglinsky, V. Lozitsky (in ukr.: Прямі вимірювання магнітного поля в тіні й півтіні сонячних плям по 146 спектральних лініях) // Bulletin Kyiv. Nation. Univ., Astronomiya, 2012. – № 49. – P. 25–27.
15. Zemanek E. N. Splitting of some spectral FeI lines in magnetic field / E. N. Zemanek, A. P. Stefanov (in rus.: Расщепление некоторых спектральных линий FeI в магнитном поле) // Bulletin Kyiv. Nation. Univ., Astronomiya, 1976. – № 18. – P. 20–36.

Надійшла до редколегії 21.10.16

В. Лоцицкий, д-р физ.-мат. наук,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев
С. Осипов, канд. физ.-мат. наук,
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

ІЗМЕРЕННЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СОЛНЕЧНЫХ ПЯТНАХ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ЛИНИЯМ С РАЗЛИЧНЫМИ ФАКТОРАМИ ЛАНДЕ

Представлены результаты прямых измерений магнитного поля в солнечных пятнах, которые наблюдались на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 ГАО НАН Украины в июне-июле 2015 г. Магнитные поля измерялись по зеемановскому расщеплению нескольких линий FeI, MnI и NiI, расположенных в спектре близости линий FeI 5434.5 Å и FeI 6093.66 Å. Эффективные факторы Ланде g_{eff} этих линий – от –0.22 до 2.14. Обнаружены существенные отличия измеренных напряженностей как для линий с разными, так и близкими величинами g_{eff} . Линия FeI 5434.5 Å ($g_{\text{eff}} = -0.014$) в некоторых местах солнечных пятен обнаруживает достоверное расщепление, соответствующее магнитным полям напряженностью до 2.5 кГс. Во всех исследованных случаях линия FeI 6094.419 Å с отрицательным фактором Ланде ($g_{\text{eff}} = -0.22$) расщепляется в спектрах пятен подобно линиям с позитивным фактором Ланде ($g_{\text{eff}} > 0$). Обсуждены возможные причины этого эффекта.

Ключевые слова: Солнце, солнечные пятна, эффект Зеемана, магнитные поля, прямые измерения, факторы Ланде.

V. Lozitsky, Dr. Sci.,
Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv
S. Osipov, Ph. D.,
Main Astronomical Observatory of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

MAGNETIC FIELD MEASUREMENTS IN SUNSPOTS USING SPECTRAL LINES WITH DIFFERENT LANDE FACTORS

Results of direct measurements of magnetic fields in sunspots are presented. Observations were carried out in June-July 2015 on Horizontal Solar Telescope AtsU-5 of Main Astronomical Observatory of National Academy of Science of Ukraine. Magnetic fields were measured by the Zeeman splitting of some spectral lines of FeI, MnI and NiI placed nearby FeI 5434.5 Å and FeI 6093.66 Å. Effective Lande factors of these lines, g_{eff} , are in range from –0.22 to 2.14. Significant differences were found both for lines with different and closest values of g_{eff} . In some places of sunspots, FeI 5434.5 Å line ($g_{\text{eff}} = -0.014$) displays a reliable splitting which corresponds to magnetic field strengths up to 2.5 kG. In all cases under study, FeI 6094.419 Å line with negative Lande factor ($g_{\text{eff}} = -0.22$) has the sign of splitting as a line with positive Lande factor ($g_{\text{eff}} > 0$). The possible reasons of this effect are discussed.

Key words: Sun, sunspots, Zeeman effect, magnetic fields, direct measurements, Lande factors.

УДК 521

М. Ковальчук, канд. фіз.-мат. наук,
Є. Вовчик, канд. техн. наук,
М. Стоділка, д-р фіз.-мат. наук,
А. Білінський, інж.,
О. Баран, канд. фіз.-мат. наук,
М. Гірняк, інж., К. Мартинюк-Лотоцький, інж.,

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка, Львів

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ІСНУВАННЯ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ОРБИТИ

Для опису руху штучних супутників Землі (ШСЗ) у нецентральному полі земного тяжіння за наявності опору атмосфери використано диференціальні рівняння Лагранжа для елементів орбіти. Досліджено зв'язок між елементами орбіти ШСЗ на певний момент часу та подальшою тривалістю існування супутника. Описано методику, що дає можливість швидко і надійно оцінити час існування ШСЗ на орбіті. Для порівняння наведено спостережувані терміни існування супутників на орбіті, що дало змогу провести тестування запропонованої методики розрахунку. Різниця між розрахованим і спостережуваним часом існування ШСЗ не перевищує 2–3 дб, що достатньо для отримання прогностів про час життя супутників на орбіті.

Ключові слова: штучні супутники Землі, елементи орбіти, час існування супутника.

Вступ. Одним із важливих питань, що пов'язані з проблемою збурення орбіти ШСЗ, є досить надійне визначення часу його існування на орбіті.

На рух ШСЗ діє цілий ряд збурюючих факторів, найважливішими з яких є:

- 1) несферичність Землі;
- 2) опір атмосфери;
- 3) гравітаційний вплив Місяця і Сонця;
- 4) світловий тиск.

© Ковальчук М., Вовчик Є., Стоділка М., Білінський А., Баран О., Гірняк М., Мартинюк-Лотоцький К., 2017