

УДК 523.985+52-337

М. Громов, студ.,
І. Яковкін, асп.,
В. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ У ЛІМБОВОМУ СОНЯЧНОМУ СПАЛАХУ 12 липня 2012 року НА ВИСОТІ БЛИЗЬКО 40 МЕГАМЕТРІВ

Наведено результати вимірювань магнітного поля у лімбовому сонячному спалаху 12 липня 2012 р. бала M7.7, отримані на основі аналізу профілів $I \pm V$ лінії H_{α} . Результати стосуються моменту 06:45:50 UT, коли вершина спалахової аркади досягла 40 Мм за даними космічної обсерваторії SDO. Спостережені профілі лінії H_{α} мають характерні ознаки неоднорідності магнітного поля, зокрема і неоднакове за величиною розщеплення бісекторів профілів $I \pm V$ на різних віддальях від їхніх центрів. У цілому розщеплення бісекторів зростає у процесі переходу від крил спектральної лінії до її ядра, причому величина цього розщеплення відповідає напруженостям у межах 400–1200 Гс. Однак на фоні вказаного тренда виявлено також локальний максимум розщеплення бісекторів на віддалі близько 420 мА, який може вказувати на локальні магнітні поля напруженістю приблизно 20 кГс. Як відомо авторам, спостережені вказівки на такі дуже сильні магнітні поля на висоті 40 Мм виявлено вперше. Очевидно, такі магнітні поля можуть існувати у розрідженій сонячній короні лише за певної особливої структури магнітного поля, напевно безсилового типу, що передбачає сильну скрученість силових ліній.

Ключові слова: Сонце, сонячна активність, лімбові сонячні спалахи, спектральний аналіз, ефект Зеємана, магнітні поля, метод бісекторів, надсильні магнітні поля.

Вступ. Магнітні поля у сонячних спалахах на лімбі Сонця (лімбових) вивчені значно менше, ніж у спалахах на диску, а також, тим більше, у сонячних плямах. Сонячні плями є дуже зручними об'єктами для спостережень, оскільки вони виникають на Сонці досить часто (особливо у максимумі 11-річного циклу), існують довго (від кількох днів до кількох тижнів) і мають досить великі розміри (іноді до 100 Мм [13]) – значно більші, ніж типове розділення сучасних сонячних телескопів (< 1 Мм). Крім того, у сонячних плямах існують досить сильні магнітні поля (2000–8000 Гс [5, 7]), за яких у спектрі можна спостерігати повне спектральне розділення компонент розщеплення в ефекті Зеємана, якщо використовувати спектрально вузькі лінії (приблизно 0.1 Å) із великими факторами Ланде ($g = 2.5-3.0$). Саме у цьому випадку надійно вимірюється модуль напруженості магнітного поля, притому незалежно від нахилу силових ліній магнітного поля, впливу інструментальної поляризації і розсіяного світла [14].

Сонячні спалахи виникають значно рідше, ніж сонячні плями, завжди несподівано і тривають від кількох хвилин до кількох годин. Для глибшого вивчення їхньої фізичної природи важливо дослідити магнітні поля в них в області найінтенсивнішого енерговиділення, що відповідає діапазону висот "хромосфера – сонячна корона". Однак спектральні лінії, що формуються у цьому діапазоні висот, є досить широкими ($\geq 0.3-1$ Å), а їхні фактори Ланде – невеликими, близькими до 1.0. Унаслідок цього, з методичних причин тут може бути вимірний не модуль напруженості магнітного поля, а його поздовжня компонента, яку позначають звичайно як B_{\parallel} або B_{LOS} . Саме така характеристика вимірюється, наприклад, на магнітографі орбітальної обсерваторії SOHO [12]. Точніше, це лише у тому випадку, якщо магнітне поле є однорідним. Якщо ж воно неоднорідне і містить, наприклад, дуже тонкі силові трубки з фактором заповнення f , занурені у немагнітний фон, то тоді прямі вимірювання відображають величину добутку fB_{LOS} [15] (фактор заповнення – це сумарна частка площі відної щільності телескопа, зайнята горизонтальними перерізами силових трубок). Зауважимо, що напруженості магнітного поля у різних силових трубках можуть відрізнятися і це можна виявити за формою бісекторів профілів $I \pm V$ спектральних ліній [9].

Лімбові сонячні спалахи приваблюють для досліджень тим, що дають відносно простий спектр, який стосується лише самого спалаху, а не спалаху і фотосфери під ним, як у випадку спалахів на диску. Крім того, для лімбових спалахів можна більш надійно і просто визначити висоту в атмосфері Сонця, для якої виконано вимірювання. Для спалахів на диску це можна зробити лише на основі модельних розрахунків за певних припущень, що вносить певну невизначеність у кінцеві результати.

Величина магнітного поля у лімбових сонячних спалахах, виміряна різними авторами і різними методами, відрізняється дуже суттєво – від 10^2 до 10^5 Гс (див. наприклад, роботи [2, 3, 4, 17, 18], а також посилання у цих роботах). Слід зауважити, що оскільки лімбові сонячні спалахи виникають у нижній сонячній короні, де дуже низька концентрація плазми (10^8-10^9 см⁻³), то навіть магнітні поля близько 10^2 Гс є "надто сильними" для простих однорідних нескручених силових трубок – у таких трубках теоретична величина магнітного поля, знайдена з умови рівноваги магнітного тиску всередині трубки і газового тиску зовні трубки, не повинна перевищувати 10 Гс. Насправді ж, як сказано вище, спостереженнями відмічено на 1–4 порядки сильніші поля. Це свідчить про те, що внутрішня структура магнітних полів в області спалахів має якісь специфічні особливості, які суттєво відрізняють їх від вказаного вище простого випадку, який, до того ж, цілком задовільно пояснює величину магнітних полів на фотосферному рівні – у сонячних плямах. Саме тому є дуже актуальними нові дослідження магнітних полів у лімбових спалахах, особливо для максимальної можливої висот у сонячній атмосфері. Метою цієї роботи є представлення і короткий аналіз результатів, які стосуються потужного лімбового спалаху бала M7.7 на достатньо великій висоті в атмосфері – близько 40 Мм.

Матеріал спостережень і його первинна обробка. Спостережений матеріал був отриманий В. Г. Лоцицьким на ешельному спектрографі горизонтального сонячного телескопа Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка (ГСТ АО КНУ). Основні характеристики інструмента наведено в роботі [7]. Одночасне спостереження на ньому майже всієї видимої області спектра (від 3800 до 6600 Å) забезпечується тим, що порядки дифракції від дифракційної ґратки розводяться скляною призмою. Спектральне розділення у червоній

© Громов М., Яковкін І., Лоцицький В., 2022

області спектра становить 50 \AA , тобто близьке до спектрального розділення на орбітальній обсерваторії Hinode [16]. Хоча просторове розділення на ГСТ майже на порядок гірше (до $1\text{--}2 \text{ Мм}$), ніж на Hinode, спостереження на ГСТ забезпечують на три порядки більшу ширину одночасної реєстрації спектра, ніж на вказаній орбітальній обсерваторії. Завдяки цьому на ешельних спектрограмах можуть бути зареєстровані одночасно багато тисяч спектральних ліній, що особливо важливо для вивчення процесів сонячної активності на різних висотах в атмосфері Сонця.

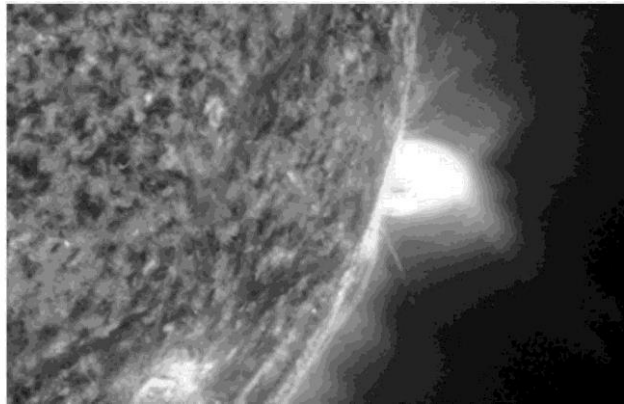


Рис. 1. Геліограма дослідженого спалаху на момент 07:06 UT згідно з даними орбітальної обсерваторії SDO, отриманими на довжині хвилі 304 \AA

Сонячний спалах 19 липня 2012 р. виник на західному лімбі Сонця (рис. 1). Він пов'язаний з активною областю NOAA 1520, яка мала велику сонячну пляму (діаметром близько 50 Мм) із магнітним полем 2500 Гс . Згідно з даними детекторів GOES, максимум рентгенівського випромінювання на довжинах хвиль $1\text{--}8 \text{ \AA}$ спостережено приблизно о 06:00 UT. Цей спалах був повільний – його фаза зростання тривала близько 1 год 40 хв, а фаза затухання – більше 4 год.

Згідно з даними орбітальної обсерваторії SDO (Solar Dynamics Observatory) на довжинах хвиль 171 і 211 \AA , із самого початку спалаху на лімбі виникла яскрава система магнітних петель (аркада), яка була найяскравішою у своїй вершині й підіймалась угору із середньою швидкістю $4\text{--}5 \text{ км/с}$.

Під час спостережень на ГСТ АО КНУ зроблено близько десяти експозицій спектра цього спалаху з використанням аналізатора циркулярної поляризації, що дозволяло потім вивчати комбінації профілів Стокса $I + V$ та $I - V$. Спектри були сфотографовані на фотопластинки WP3 ORWO при експозиціях $20\text{--}30 \text{ с}$.

У цій роботі досліджено зєсман-спектрограму спалаху, отриману, починаючи з 06:45:50 UT, коли вершина спалахової аркади досягла висоти приблизно 40 Мм . Цю спектрограму проскановано І. І. Яковкіним за допомогою сканера Epson Perfection V 550 scanner. Подальші кроки у первинному опрацюванні матеріалу спостережень були такими.

Оцифровані результати сканування, які представляли почорніння на спектрограмі, перетворювались на інтенсивності з урахуванням характеристичної кривої фотоматеріалу, а також нелінійності самого сканера. У підсумку отримувалися ".dat" файли, які містили близько 2500 точок у форматі "довжина хвилі в умовних одиницях (кроках сканування) – інтенсивність у профілі лінії". Потім для кожного фотометричного розрізу співставлено профілі $I + V$ та $I - V$ з використанням застосунку Origin. Зазначимо, що графіки для різних поляризацій суміщувались так, щоб оптимально збігалися в них телуричні лінії. При цьому, як виявилось, спостерігалось деяке відносне зміщення профілів лінії H_{α} в цілому (рис. 2). Це трактувалось як прояви ефекту Зєсмана у випадку слабкого розщеплення $\Delta\lambda_n$, коли це розщеплення набагато менше за спостережену півширину $\Delta\lambda_{1/2}$ спектральної лінії.

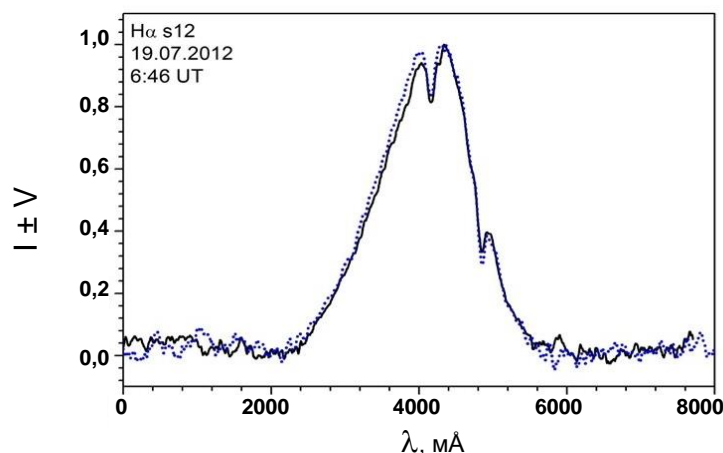


Рис. 2. Спостережені незгладжені профілі лінії H_{α} у спалаху для фотометричного розрізу № 12. Відліки по горизонтальній осі нанесено у mÅ відносно умовного нуля. Крім широкого емісійного профілю лінії H_{α} , видно вузькі телуричні лінії H_2O (на $\lambda \approx 4100$ та 4800 mÅ), по яких здійснювалась відносна "прив'язка" профілів в ортогональних поляризаціях

Після того, як профілі $I + V$ та $I - V$ були оптимально суміщені по телуричних лініях, вони згладжувались для зменшення впливу "шумів" за допомогою програми *smooth*, створеної Іваном Яковкіним. Для згладжених графіків побудовано бісектори за допомогою програми *Median*, що також розроблена Іваном Яковкіним. Згладжені графіки та відповідні їм бісектори були попарно побудовані для кожного з профілів в *Origin*. Далі за графіками бісекторів визначено, наскільки вони відрізняються один від одного по довжинах хвиль, тобто яка між ними відстань на кожній висоті профілю лінії. За отриманими даними про відстань між бісекторами обчислено значення напруженості магнітного поля з використанням калібровочної формули

$$\Delta\lambda_n = 2.01 \times 10^{-5} B, \quad (1)$$

де $\Delta\lambda_n$ виражено в ангстремах (Å), а магнітне поле B – у гаусах (Гс). Формула (1) відповідає фактору Ланде для H_{α} , рівному 1.0, що справедливо за дуже сильних полів, коли настає ефект Пашена – Бака [1].

Профілі лінії H_{α} і магнітні поля у спалаху. Спостережені профілі лінії H_{α} є помітно розширеними, їхня півширина $\Delta\lambda_{1/2}$ – близько 1.5 Å, тоді як у спектрі фотосфери цей параметр приблизно 1 Å. Це вказує, імовірно, на розширення профілю лінії в основному турбулентними швидкостями, хоча розширення температурою також може відігравати певну роль. Це видно з порівняння цього спалаху з іншим лімбовим спалахом – 17 липня 1981 р., в якому саме турбулентне розширення було домінуючим [18]. Нижче, однак, це питання детально не розглядається, оскільки воно потребує порівняння ширин профілів ліній, що стосуються різних хімічних елементів, тобто атомів із різною масою. У цій роботі аналізується лише одна спектральна лінія і лише ті спектральні ефекти, які стосуються магнітних полів.

З рис. 2 видно, що спостережені профілі мають помітну асиметрію, що свідчить про градієнт променевих швидкостей уздовж променя зору. Візуально це проявляється у тому, що далекі крила лінії в інтервалі інтенсивностей 0.1–0.2 мають більші довжини хвиль λ , ніж ядро лінії, яке відповідає інтервалу інтенсивностей приблизно 0.7–1.0. Слід врахувати, що емісія в лінії H_{α} ймовірно є оптично товстою, тобто непрозорою для власного випромінювання. Ця непрозорість суттєвіша в ядрі лінії і практично відсутня в її крилах. Отже, у цілому ядро лінії відображає більше ті шари спалаху, які ближче до спостерігача, тому що випромінювання від більш далеких шарів не проходить через спалах. Однак у крилах лінії весь спалах прозорий і тому випромінювання доходить до нас як від ближніх, так і від віддалених його областей. У цілому це має такий ефект: ядро лінії дає інформацію про ближчі області спалаху, а крила – про більш віддалені. А те, що ядро і крила мають дещо різні довжини хвиль, означає, що променеві швидкості для них, у цілому, є різними.

Для вимірювань магнітного поля використовували лише "чисті" ділянки профілю лінії H_{α} , тобто такі, де немає телуричних ліній-бленд. Зауважимо, що ці бленди можна врахувати (тобто "зрізати"), але це дає не дуже надійні результати. Саме тому висновки цієї роботи базуються на аналізі лише "чистих" ділянок профілю лінії, які відповідають інтервалу інтенсивностей 0.45–0.95.

Вплив телуричної бленди на $\lambda \approx 4800$ мÅ добре видно з рис. 3, на якому зображено дуже згладжені профілі лінії H_{α} ; згладжування проводилось по 100 точках, тобто по спектральному інтервалу приблизно 300 мÅ. Можна бачити, що бісектори профілів в інтервалі інтенсивностей 0.2–0.4 мають локальний максимум розщеплення, який, імовірно, є фіктивним. Саме тому краще звертати увагу в цьому випадку на ті ділянки профілю, які не мають впливу бленд. Щодо цього, то з рис. 3 видно, що під час переходу від крил лінії в її ядро (тобто від менших інтенсивностей до більших) маємо прогресивне зростання розщеплення бісекторів. Це свідчить про неоднорідність магнітного поля: у разі однорідного поля ці бісектори мали б бути паралельними між собою, якщо спостережене розщеплення значно менше, ніж півширина лінії (тобто $\Delta\lambda_n \ll \Delta\lambda_{1/2}$) [6, 9].

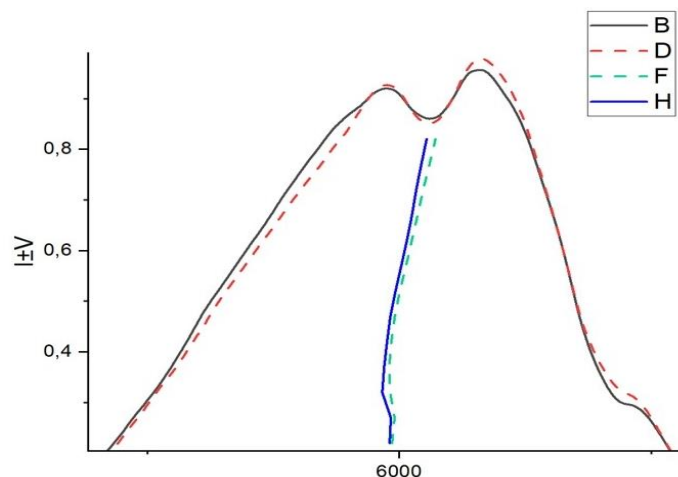


Рис. 3. Спостережені згладжені профілі лінії H_{α} у спалаху для фотометричного розрізу № 12. Ці дані аналогічні зображеним на рис. 2, але тут показано також бісектори профілів. Позначеннями B, D, F і H вказано профілі $I + V$, $I - V$, а також відповідні їм бісектори

Для виявлення тонших ефектів у розщепленні бісекторів опрацьовано незгладжені профілі ліній (рис. 4 і 5). Таке опрацювання виявило достовірний локальний максимум розщеплення на $\Delta\lambda = 410$ – 470 мÅ. Цей максимум дещо відрізняється за положенням у сусідніх фотометричних розрізах № 8, 10 і 12, однак усереднення всіх даних по цих роз-

різах підтверджує два основні ефекти: (а) – прогресивне зростання розщеплення бісекторів під час переходу від крил лінії до її ядра, (б) – максимум розщеплення на $\Delta\lambda \approx 420$ мÅ (рис. 5). Можливо, там є ще один максимум розщеплення на $\Delta\lambda \approx 660$ мÅ, але він менш достовірний.

Обидва ефекти (а) і (б) можливі у двокомпонентній структурі магнітного поля, коли у спектрі накладаються дві картини ефекту Зеемана, що відповідають більш слабкій і більш сильній компонентам [9]. Причому ефект (а) дозволяє оцінити реальне магнітне поле на основі моделювання, що дає не зовсім однозначні результати. Зокрема з роботи [6] впливає таке: якщо виміряна напруженість у ядрі лінії згідно з рис. 5 досягає приблизно 800 Гс, то насправді локальні напруженості можуть бути у 3–6 разів більшими, тобто досягати 4–5 кГс.

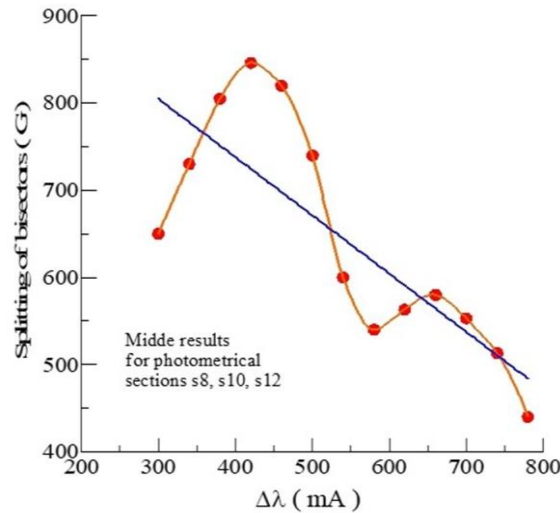


Рис. 4. Залежність виміряного розщеплення бісекторів від віддалі $\Delta\lambda$ від середини лінії для фотометричних розрізів № 8 і 12, які відрізняються розташуванням у картинній площині на 4 Мм (див. текст)

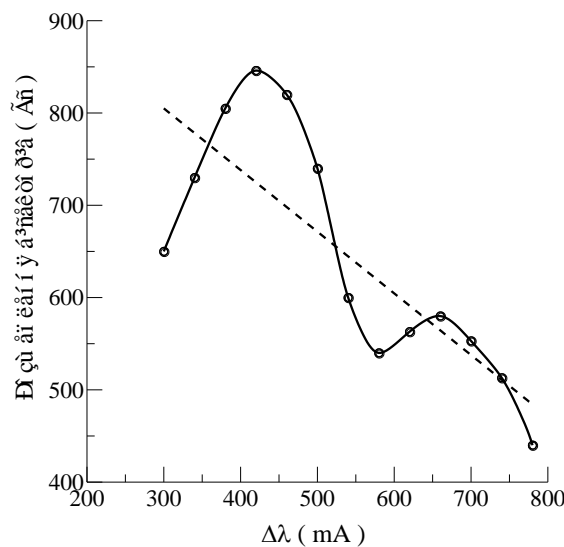


Рис. 5. Те саме, що й на рис. 4, але для усереднених спостережних даних по сусідніх розрізах № 8, 10 і 12

Ефект (б) допускає точніші оцінки магнітного поля в межах таких припущень. Локальні максимуми розщеплення бісекторів, імовірно, не тільки відображають двокомпонентну структуру магнітного поля, але і те, що напруженість магнітного поля у сильній компоненті є настільки великою, що спектрально реалізується режим сильного магнітного поля, коли для відповідних зееманівських сигма-компонент справджується така нерівність: $\Delta\lambda_n \geq \Delta\lambda_{1/2}$. Ще однією умовою тут є те, що відповідний фактор заповнення сильної компоненти є невеликим, тобто $f \ll 1$. Якщо ці припущення справедливі, то тоді положення максимуму на рис. 5 дає фактично положення зееманівських сигма-компонент, тобто тоді $\Delta\lambda_{\max} \approx \Delta\lambda_n \approx 0.42 \text{ \AA}$. Тоді, згідно з формулою (1), для такого значення $\Delta\lambda_n$ маємо $B \approx 20.8$ кГс. Однак враховуючи, що на рис. 4 положення цього максимуму дещо відрізняється у різних фотометричних розрізах, причому ця різниця може бути частково внаслідок указаних там похибок вимірювань, правомірніше вказати, що $B \approx 20$ кГс.

Таким чином, отримані результати вказують на можливе існування у дослідженому сонячному спалаху дуже сильних магнітних полів рівня $10^3 - 10^4$ Гс. Щодо порядку величини магнітного поля, то ці результати подібні до раніше отриманих у роботах [8,17,18], однак вони стосуються дуже високого рівня в атмосфері – близько 40 Мм. Як відомо авторам цієї статті, такий випадок відмічено вперше.

Висновки. Найбільш переконливим висновком представленого дослідження є те, що у лімбовому сонячному спалаху 12 липня 2012 р. бала M7.7 величина магнітного поля досягала приблизно 1 кГс на висоті 40 Мм над рівнем фотосфери. Знайдено свідчення того, що у цьому спалаху існували також значно сильніші магнітні поля, зосереджені у просторово нероздільних структурах із малим фактором заповнення. На це вказують характерні ознаки неоднорідності магнітного поля, зокрема і неоднакове за величиною розщеплення бісекторів профілів $I \pm V$ лінії H_{α} на різних віддалях від центра її емісії. У цілому розщеплення бісекторів зростає під час переходу від крил спектральної лінії до її ядра, причому величина цього розщеплення відповідає напруженостям у межах 400–1200 Гс. Однак на фоні вказаного тренда виявлено також локальний максимум розщеплення бісекторів на віддалі близько 420 мА, який може вказувати на локальні магнітні поля напруженістю приблизно 20 кГс. Такі магнітні поля можуть існувати у розрідженій сонячній короні лише за певної особливої структури магнітного поля, очевидно безсилового типу, що передбачає сильну скрученість силових ліній [10,11].

Подяка. Це дослідження профінансовано Київським національним університетом імені Тараса Шевченка, держбюджетна тема № 22БФ023-03.

Список використаних джерел

1. Фриш И. Е. Оптические спектры атомов. – М.–Л.: Физматгиз, 1963. – 640 с.
2. Kirichek E. A., Solov'ev A. A., Lozitskaya N. I., Lozitskii V. G. Magnetic fields in a limb flare on July 19, 2012 // *Geomagn.and Aeronomy.* – 2013. – Vol. 53., No. 7. – P. 831–834.
3. Koval A. N. On magnetic field measurements in prominences and flares using photographic method // *Krymskaia Astrofizicheskaia Observatoriia, Izvestiia.* – 1977. –Vol. 5. – P. 133–143.
4. Kuridze D., Mathioudakis M., Morgan H., Oliver R. et al. Mapping the magnetic field of flare coronal loops // *The Astrophys. Journ.* – 2019. – Vol. 874., Iss.2, article id. 126, 12 pp.
5. Livingston, W., Harvey, J. W., Malanushenko O. V. Sunspots with the strongest magnetic fields // *Solar Phys.* – 2006. – Vol. 239. – P. 41–68.
6. Lozitsky V., Masliukh V., Botygina O. Estimations of local magnetic fields in prominences which have large optical thickness in emissive // *Bull. of Taras Shevchenko Nation.Univ. of Kyiv. Astronomy.* – 2015. – Vol. 52. – P. 7–11.
7. Lozitsky V. G. Indications of 8-kilogauss magnetic field existence in the sunspot umbra // *Advances in Space Research.* – 2016. – Vol. 57. – P. 398–407.
8. Lozitsky V. G. Observations of magnetic fields with strength of several tesla in solar flares // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* – 1998. – V. 14., № 5. – P. 401–414.
9. Lozitsky V. G. Small-scale magnetic field diagnostics in solar flares using bisectors of $I \pm V$ profiles // *Advances in Space Research.* – 2015. – Vol. 55., Iss.3. – P. 958–967.
10. Parker E. N. Solar activity and classical physics // *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics.* – 2001. – Vol. 1., No. 2. – P. 99–124.
11. Schatzman E. Model of a force free field // *IAU Symp. No. 22 "Stellar and Solar Magnetic Fields".* – Amsterdam, 1965. – P. 337.
12. Scherrer P. H., Bogart R. S., Bush R. I. et al. The solar oscillations investigation – Michelson Doppler imager // *Solar Phys.* – 1995. – Vol. 162. – P. 129–188.
13. Solanki S. Sunspots: An overview // *The Astron. Astrophys. Rev.* – 2003. – Vol.11., No. 2–3. – P. 153–286.
14. Staude J. On the interpretation of some peculiarities observed in eeman-split line contours in sunspots // *Solar Phys.* – 1973. – Vol. 32., No 2. – P. 403–408.
15. Stenflo J. O. Collapsed, uncollapsed, and hidden magnetic flux on the quiet Sun // *Astronomy & Astrophysics.* – 2011. – Vol. 529., id.A42, 20 pp.
16. Tsuneta S., Ichimoto K., Tatsukawa Y. et al. The solar optical telescope for the Hinode mission: an overview // *Solar. Phys.* – 2008. – Vol. 249., № 2. – P. 167–196.
17. Yakovkin I. I., Lozitsky V. G. Signatures of superstrong magnetic fields in a limb solar flare from observations of the H α line // *Advances in Space Research.* – 2022. – Vol. 69., Iss. 12. – P. 4408–4418, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.012>
18. Yakovkin I. I., Veronig A. M., Lozitsky V. G. Magnetic field measurements in a limb solar flare by hydrogen, helium and ionized calcium lines // *Advances in Space Research.* – 2021. – Vol. 68., Iss. 3. – P. 1507–1518. DOI: [10.1016/j.asr.2021.03.036](https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.03.036)

References

1. Frish S. E., 2010, Optical atom spectra. St.-Peterburg. Moscow. Krasnodar, 656 p.
2. Kirichek E. A., Solov'ev A. A., Lozitskaya N. I., Lozitskii V. G. Magnetic fields in a limb flare on July 19, 2012 // *Geomagn.and Aeronomy.* – 2013. – Vol. 53., No. 7. – P. 831–834.
3. Koval A. N. On magnetic field measurements in prominences and flares using photographic method // *Krymskaia Astrofizicheskaia Observatoriia, Izvestiia.* – 1977. –Vol. 5. – P. 133–143.
4. Kuridze D., Mathioudakis M., Morgan H., Oliver R. et al. Mapping the magnetic field of flare coronal loops // *The Astrophys. Journ.* – 2019. – Vol. 874., Iss.2, article id. 126, 12 pp.
5. Livingston, W., Harvey, J. W., Malanushenko O. V. Sunspots with the strongest magnetic fields // *Solar Phys.* – 2006. – Vol. 239. – P. 41–68.
6. Lozitsky V., Masliukh V., Botygina O. Estimations of local magnetic fields in prominences which have large optical thickness in emissive // *Bull. of Taras Shevchenko Nation.Univ. of Kyiv. Astronomy.* – 2015. – Vol. 52. – P. 7–11.
7. Lozitsky V. G. Indications of 8-kilogauss magnetic field existence in the sunspot umbra // *Advances in Space Research.* – 2016. – Vol. 57. – P. 398–407.
8. Lozitsky V. G. Observations of magnetic fields with strength of several tesla in solar flares // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* – 1998. – V. 14., № 5. – P. 401–414.
9. Lozitsky V. G. Small-scale magnetic field diagnostics in solar flares using bisectors of $I \pm V$ profiles // *Advances in Space Research.* – 2015. – Vol. 55., Iss.3. – P. 958–967.
10. Parker E. N. Solar activity and classical physics // *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics.* – 2001. – Vol. 1., No. 2. – P. 99–124.
11. Schatzman E. Model of a force free field // *IAU Symp. No. 22 "Stellar and Solar Magnetic Fields".* – Amsterdam, 1965. – P. 337.
12. Scherrer P. H., Bogart R. S., Bush R. I. et al. The solar oscillations investigation – Michelson Doppler imager // *Solar Phys.* – 1995. – Vol. 162. – P. 129–188.
13. Solanki S. Sunspots: An overview // *The Astron. Astrophys. Rev.* – 2003. – Vol.11., No. 2–3. – P. 153–286.
14. Staude J. On the interpretation of some peculiarities observed in eeman-split line contours in sunspots // *Solar Phys.* – 1973. – Vol. 32., No 2. – P. 403–408.
15. Stenflo J. O. Collapsed, uncollapsed, and hidden magnetic flux on the quiet Sun // *Astronomy & Astrophysics.* – 2011. – Vol. 529., id.A42, 20 pp.
16. Tsuneta S., Ichimoto K., Tatsukawa Y. et al. The solar optical telescope for the Hinode mission: an overview // *Solar. Phys.* – 2008. – Vol. 249., № 2. – P. 167–196.
17. Yakovkin I. I., Lozitsky V. G. Signatures of superstrong magnetic fields in a limb solar flare from observations of the H α line // *Advances in Space Research.* – 2022. – Vol. 69., Iss. 12. – P. 4408–4418, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.012>
18. Yakovkin I. I., Veronig A. M., Lozitsky V. G. Magnetic field measurements in a limb solar flare by hydrogen, helium and ionized calcium lines // *Advances in Space Research.* – 2021. – Vol. 68., Iss. 3. – P. 1507–1518. DOI: [10.1016/j.asr.2021.03.036](https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.03.036)

Надійшла до редколегії 27.11.22

M. Gromov, Student,
I. Yakovkin, PhD Student,
V. Lozitsky, Dr Hab.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

MAGNETIC FIELD PECULIARITIES IN LIMB SOLAR FLARE OF 12 JULY 2012 ON HEIGHT ABOUT 40 MEGAMETERS

We present results of magnetic field measurements in limb solar flare of 12 July 2012 of M7.7 class based on analysis of $I \pm V$ profiles of $H\alpha$ line. Our results relate to moment 06:45:50 UT when top of flare arcade reached ≈ 40 Mm according to observations of space observatory SDO. Observed $H\alpha$ profiles have specific signs of magnetic field inhomogeneity, in particular, unequal splitting of bisectors of $I \pm V$ profiles on various distances from their centers. In general, splitting of bisectors increases from line wings to its core, and value of this splitting corresponds to magnetic field in range 400–1200 G. In addition to this trend, local peak of bisector splitting was found on distance about 420 mÅ which may indicate local magnetic field with strength about 20 kG. As the authors know, observational indications of such very strong magnetic fields at a height of 40 mm have been detected for the first time. Obviously, such magnetic fields can exist in the rarefied solar corona only with a certain special structure of the magnetic field, obviously of the force-free type, which implies strong twisting of the lines of force.

Keywords: Sun, solar activity, limb solar flares, spectral analysis, Zeeman effect, magnetic fields, method of bisectors, super-strong magnetic fields.