

УДК 523.98

В. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук,  
В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

## ПОДВІЙНИЙ ЦИКЛ ХЕЙЛА У ЗМІНАХ ДІАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ПЛЯМ. ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ

*Аналізуються інтегральні розподіли діаметрів сонячних плям у циклах активності № 12–24. Для визначення показника інтегрального розподілу  $\alpha$  приймаються до уваги лише великі плями діаметра 50–90 Мм; для підвищення точності визначення величини  $\alpha$  всі дані усереднюються за кожен 11-річний цикл. Основні результати є такими: (а) за 13 останніх циклів середнє значення  $\alpha$  дорівнює 5.4, (б) віковий тренд у змінах  $\alpha$  відсутній, однак (в) є достовірні свідчення наявності подвійного циклу Хейла (близько 44 років). Зокрема, мінімальні значення  $\alpha$  відмічені у циклах № 14, 17–18 та 22. Поскілки величина  $\alpha$  відображає дисперсію діаметрів сонячних плям, отримані дані вказують на те, що конвективна зона Сонця генерує зародки активних областей у різних статистичних режимах, які змінюються з циклом близько 44 років.*

*Ключові слова:* Сонце, сонячна активність, сонячні плями, інтегральний розподіл діаметрів сонячних плям, подвійний цикл Хейла.

**Вступ.** Характерною особливістю сонячної активності є її 11-річний цикл. Однак це тільки найбільш інтенсивний і очевидний цикл активності Сонця, свого роду його "пульс". Більш детальний аналіз показує, що у спектрі коливань сонячної активності є близько 20 менш інтенсивних, але достовірних циклів, зокрема, також цикли тривалістю 11.89 та 9.97 року [12]. Ці цикли близькі до періодів обертання Юпітера навколо Сонця (11.86 року) і повторення квадратур в системі "Юпітер–Сатурн" (9.90 року).

Існування у спектрі коливань сонячної активності "планетних" періодів близько 12 і 10 років указує на можливий вплив планет на сонячну активність. Ця гіпотеза розглядалась багатьма вченими, зокрема, П. Р. Романчуком [11]. Цікаво, що "планетні" періоди належать не лише до сонячних плям, але й до спалахів на Сонці. Наприклад, Л.А. Акімов та ін. [1], вивчаючи рентгенівські й оптичні спалахи на Сонці методом фур'є-аналізу, виявили, що у спектрах потужності цих спалахів є достовірні періоди у 36.5, 73, 88 та 116 діб. Перший період майже точно збігається із середнім періодом осьового обертання Сонця, видимим з Меркурія, другий – це його подвоєне значення. Період 88 діб – це сидеричний (відносно нерухомих зірок) період обертання Меркурія навколо Сонця, а 116 діб – синодичний (видимий із Землі) період обертання планети навколо Сонця. Виявилось також, що спалахів на Сонці виникає більше тоді, коли Меркурій найбільше віддаляється від Сонця.

Для подальшого більш детального вивчення циклічності сонячної активності слід використовувати якомога більш довгі ряди однорідних спостережень. Фактично, регулярні спостереження рентгенівського випромінювання Сонця ведуться близько 40 років, тоді як телескопічні спостереження кількості сонячних плям – більше 400 років (від їх перших спостережень Галілеєм, Шейнером і Фабріціусом). Однак слід врахувати, що такий загальновідомий параметр сонячної активності як кількість сонячних плям – це фактично числа Вольфа, які визначаються не зовсім однозначно, поскілки залежать і від кількості груп плям на Сонці, і від кількості всіх підгруп порохочених плям. Розбиття всіх спостережених на Сонці плям на їх групи проводиться за магнітними характеристиками плям. Основний критерій тут такий: в групі плям має бути головна і хвостова магнітні полярності, причому ці полярності змінюються за певним законом і від одного 11-річного циклу до іншого, і при переході через сонячний екватор. Тому, наприклад, наявність на Сонці однієї компактно розташованої групи плям ще не означає, що цю групу при підрахунку чисел Вольфа слід розглядати як одну групу. Це можуть бути і дві тісно зближені групи плям. Вирішити тут питання (про наявність однієї чи двох груп плям) можна лише на основі спектрально-поляризаційних спостережень на основі ефекту Зеємана, які дають змогу визначити і напруженість магнітного поля в плямах, і їх магнітну полярність. Однак проблема тут в тім, що самі такі спостереження ведуться близько 100 років (з 1908 р.), тоді як телескопічні спостереження плям і прями визначення чисел Вольфа – з 1610 р. Більше того, правило магнітних полярностей у групах сонячних плям встановлено Хейлом і Нікольсоном [5] лише у 1925 р. Тому всі визначення чисел Вольфа до 1925 р. є дещо умовними – фактично в них є невідомим фактор магнітних полярностей груп плям.

Про існування певних проблем в підрахунку кількості сонячних плям свідчить і той факт, що з липня 2015 р. Міжнародний Центр даних при Бельгійській Королівській обсерваторії пропонує новий, ревізований ряд відносної кількості сонячних плям [3]. Основні зміни полягають у тому, що за основу взято спостережний ряд Альфреда Вольфера, а не Рудольфа Вольфа, що приблизно в 1.7 раза збільшує більш ранні значення, наближаючи їх до сучасних оцінок. Тому більш виправданим у даному випадку було б використання якогось іншого параметра сонячної активності, який не тільки визначається досить тривалий час, але й не залежить від магнітних полярностей плям. Таким параметром є площі плям (виправлені за ефект проекції) або ж їх діаметри. Ці параметри вже аналізувались в роботах [2, 4], але для обмежених часових інтервалів, які не включають всі наявні на сьогодні дані. Отже, метою даної роботи є аналітичний аналіз для більш широкого часового інтервалу, який охоплює цикли активності № 12–24.

**Спостережні дані та схема їх аналізу.** Було використано дані Грінвіцького каталогу і його продовження NOAA-USEF (<http://solar.science.msfc.nasa.gov/greenwich/>). Детальне порівняння даних різних каталогів, виконане в роботі [9], показує, що це найбільш надійний, довгий і однорідний ряд площ груп сонячних плям. Оскільки сонячні плями дуже рідко мають правильну круглу форму (що полегшує вимірювання їх діаметрів), то був використаний інший підхід: для кожної групи плям визначався еквівалентний діаметр  $d_{\text{екв}}$ . Величина  $d_{\text{екв}}$  знаходилась по площі груп плям  $S_p$ , виправленій за ефект проекції. Щоб встановити зв'язок між  $d_{\text{екв}}$  і  $S_p$ , були спеціально відібрані одиночні і круглі за формою сонячні плями, по яких будувалась допоміжна калібровочна залежність [4]. Для прискорення опрацювання даних, була складена одним із авторів (В.Є.) машинна програма, яка здійснювала селекцію плям по площам і розмірам в автоматичному режимі, без ручного втручання. Крім того, в основному приймалися до уваги тільки великі плями, що мають діаметри більше 40 мега-

метрів (Мм). Це пов'язано з тим, що лінійна ділянка на інтегральній залежності для сонячних плям, по якій визначається показник  $\alpha$ , знаходиться здебільшого в діапазоні діаметрів 50–90 Мм [2].

Розгляд отриманих інтегральних залежностей показав, що величина параметра  $\alpha$  досить надійно визначається в роки максимумів 11-річного циклу, коли плям на Сонці багато, і менш надійно – в роки мінімумів, коли сонячних плям відносно мало. Тому спершу були визначені усереднені характеристики за всі роки кожного 11-річного циклу.

**Результати та їх обговорення.** Виявилось, що величина параметра  $\alpha$  суттєво змінюється від циклу до циклу (рис. 1), що підтверджує результати роботи [2]. Однак були встановлені також нові закономірності, а саме такі (рис. 2). Для 13 останніх циклів (№ 12–24) середнє значення показника інтегрального розподілу  $\alpha$  для діаметрів сонячних плям дорівнює 5.4. Раніше в роботі [5] для семи останніх циклів було знайдено середнє значення параметра  $\alpha$  близько 6.0. Віковий тренд у змінах  $\alpha$  відсутній, однак є достовірні свідчення наявності подвійного циклу Хейла (близько 44 років). Зокрема, мінімальні значення  $\alpha$  відмічені у циклах № 14, 17–18 та 22.

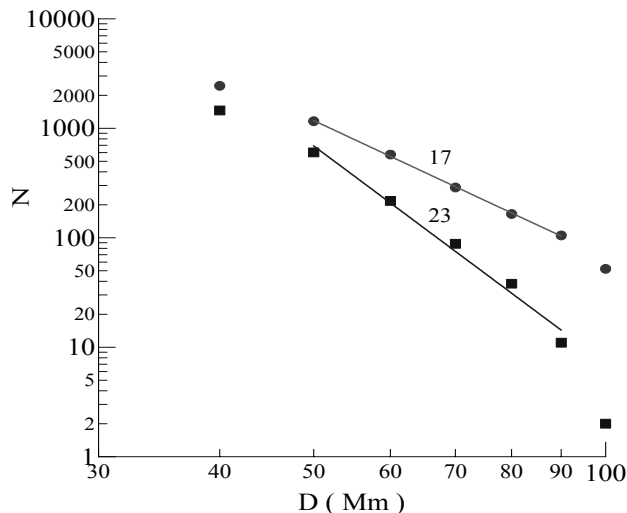


Рис. 1. Порівняння інтегральних розподілів для діаметрів сонячних плям  $D$  у циклах активності № 17 та 23. Апроксимуючі прямі, за якими визначався параметр розподілу  $\alpha$ , проведені за даними діапазону  $D = 50$ – $90$  Мм

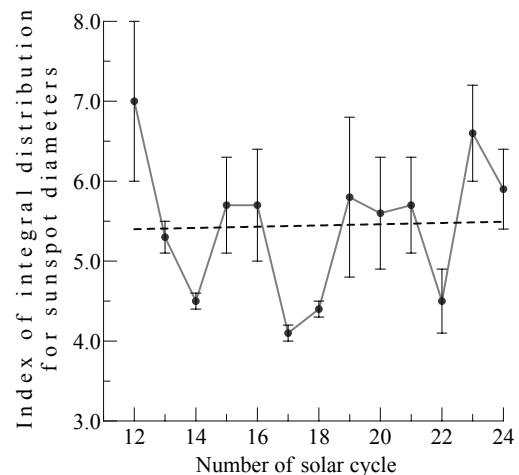


Рис. 2. Порівняння показника інтегрального розподілу  $\alpha$  для циклів активності № 12–24. (Штриховою лінією показано віковий тренд у змінах параметра  $\alpha$ )

Варто нагадати, що перші вказівки на 44-річний цикл у змінах чисел Вольфа були отримані в роботі [12]. Однак там цей цикл є лише п'ятим по потужності після циклів тривалістю приблизно 11, 12, 10 та 95 років (наведений порядок циклів відповідає спаданню їх потужності). Припущення про існування подвійного циклу Хейла висловлено також в роботі [7] на основі вивчення швидкості диференційного обертання Сонця у різних циклах. Відповідні ефекти є досить слабкими і спостерігаються на фоні значного вікового тренду, що дорівнює 0.7 % впродовж останніх 130 років (з 12-го циклу по 23-й). Таким чином, цей результат (стосовно тренду) суттєво відрізняється від наведених на рис. 2 даних, згідно з якими віковий тренд у змінах показника інтегрального розподілу для діаметрів сонячних плям взагалі відсутній (принаймні, він менший 0.2 %).

Можливо, 44-річний цикл існує також у змінах напруженостей магнітного поля великих сонячних плям. Зокрема, згідно з роботою [8], мінімальні напруженості в таких плямах були у 1965 р. і 2008–2009 р., тобто з інтервалом у 43–44 роки. Відповідно до даних роботи [8], більш очевидним тут є 11-річний цикл.

Автором роботи [6] підмічена цікава закономірність: найбільш видатні досягнення в дослідженнях сонячних магнітних полів мали місце з інтервалом у чотири сонячні 11-річні цикли, тобто також з інтервалом приблизно 44 роки. Наприклад, перше спостереження розщеплених спектральних ліній у спектрах сонячних плям було зроблено Лок'єром у 1866 р. (10-й цикл), і тільки у 1908 р. (14-й цикл) це розщеплення було правильно трактовано Хейлом як прояв ефекту Зеемана. У 1952 р. (18-й цикл) був створений Бебкоками сонячний магнітограф, а у 1956 р. (початок 19-го циклу) була розроблена теорія переносу випромінювання в магнітному полі (W. Unno та В.Є. Степановим). Виходячи з цієї закономірності, Harvey [6] висловив припущення, що у 22-му циклі (1990-ті роки) можна очікувати нових видатних досягнень в дослідженнях сонячних магнітних полів. Як можливий варіант щодо цього, називалось створення телескопів високого розділення, зокрема THEMIS і SOT. Тут корисно нагадати, що перші прямі спостережні свідчення про існування у сонячних спалахах надпотужних магнітних полів ( $\sim 10^4$  Гс) були отримані саме у 22-му циклі [10].

Поскілки величина  $\alpha$  відображає дисперсію діаметрів сонячних плям, отримані дані вказують на те, що конвективна зона Сонця генерує зародки активних областей у різних статистичних режимах, які змінюються з циклом близько 44 років. З цієї точки зору, вказаний цикл є суто сонячним циклом, який проявляється також у кількості сонячних плям, швидкості їх обертання і напруженості в них магнітного поля. Однак якщо підмічена автором роботи [6] закономірність не є чистою випадковістю, не виключена і інша гіпотеза, що 44-річний цикл, можливо, є деяким глобальним циклом, тобто зовнішнім по відношенню до Сонця і всієї сонячної системи. Ця гіпотеза вимагає ретельної перевірки при майбутніх дослідженнях.

**Висновки.** Підтверджено результати роботи [2] про значну відмінність показника інтегрального розподілу  $\alpha$  для різних 11-річних циклів сонячної активності. З'ясовано, що у циклах активності № 12–24 середнє значення  $\alpha$  дорівнює 5.4, причому віковий тренд у змінах  $\alpha$  відсутній. Однак є достовірні свідчення наявності подвійного циклу Хейла (близько 44 років). Зокрема, мінімальні значення  $\alpha$  відмічені у циклах № 14, 17–18 та 22. Оскільки величина  $\alpha$  відображає дисперсію діаметрів сонячних плям, то отримані дані вказують на те, що конвективна зона Сонця генерує зародки активних областей у різних статистичних режимах, які змінюються з циклом близько 44 років. Із порівняння

отриманих даних з результатами інших авторів [7, 8, 12] можна зробити висновок, що подвійний цикл Хейла існує також серед сонячних плям, швидкості їх обертання і напруженості в них магнітного поля. Можливо, цей цикл проявляється також у деяких процесах [6] на Землі.

#### Список використаних джерел

1. Akimov L. O. Solar activity during the cycles 21–23 from X-ray and optical observations / L. O. Akimov I. L. Belkina and T. P. Bushueva // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, 2005. – Vol. 21, No. 4. – P. 267–277.
2. Babij V. P. Statistical characteristics of large sunspots in solar activity cycles 17–23 / V. P. Babij, V. M. Efimenko, V. G. Lozitsky // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2011. – Vol. 27, N 4. – P. 191–196.
3. Clette F. Cliver Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle / Clette F., L. Svalgaard J.M. E. W. Vaquero // Space Sci. Rev., 2014. – Vol. 186, Iss. 1–4. – P. 35–103.
4. Efimenko V. Statistical peculiarities of 24<sup>th</sup> cycle of solar activity / V. Efimenko, V. Lozitsky (in ukr.: Статистичні особливості 24-го циклу сонячної активності) // Bull. Kyiv. Nation. Univ., Astronomy, 2016. – № 53. – P. 52–55.
5. Hale G. E. The law of sun-spot polarity / G. E. Hale, S. B. Nicholson // Astrophysical Journal, 1925. – Vol. 62. – P. 270.
6. Harvey J. Small-scale photospheric magnetic fields: observational methods and limitations / J. Harvey // Proc. of a Workshop held in Göttingen, 1–3 October, 1985; Ed. by W. Deinzer, M. Knölker and H. H. Voigt // Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. Göttingen: Vandenhoeck&Ruprecht, 1986. – P. 25.
7. Javaraiah J. Long-term variations in the solar differential rotation / J. Javaraiah // Solar Phys., 2003. – Vol. 212, Iss. 1. – P. 23–49.
8. Lozitska N. I. Indexes of groups of sunspots for long-term forecasting of geomagnetic activity / N. I. Lozitska, V. M. Efimenko (in ukr.: Індекси груп сонячних плям для довгострокового прогнозування геомагнітної активності) // Bull. Kyiv. Nation. Univ., Astronomy, 2015. – № 52. – P. 43–47.
9. Lozitska N. I. Problem of mistakes in databases, processing and interpretation of observations of the Sun / N. I. Lozitska // Odessa Astronomical Publications, 2015. – Vol. 28, N 2. – P. 236–237.
10. Lozitsky V. G. Problem of superstrong magnetic fields in solar atmosphere / V. G. Lozitsky (in ukr.: Проблема надпотужних магнітних полів в атмосфері Сонця) // Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, 1993. – Vol. 9, № 3. – P. 23–32.
11. Romanchuk P. R. The nature of solar cyclicity / P. R. Romanchuk // Soviet Astronomy, 1981. – Vol. 25, N 1. – P. 87–92.
12. Tsurulnik L. B. Forecasting the 23<sup>rd</sup> and 24<sup>th</sup> solar cycles on the basis of MGM spectrum / L. B. Tsurulnik, T. V. Kuznetsova and V. N. Oraevsky // Advances in Space Research, 1997. – Vol. 20, Iss. 12. – P. 2369–2372.

Надійшла до редколегії 12.02.17

В. Лоцицкий, д-р фіз.-мат. наук,  
В. Ефименко, канд. фіз.-мат. наук,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

### ДВОЙНОЙ ЦИКЛ ХЕЙЛА В ИЗМЕНЕНИЯХ ДИАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализируются интегральные распределения диаметров солнечных пятен в циклах активности № 12–24. Для определения показателя интегрального распределения  $\alpha$  принимаются во внимание лишь большие пятна диаметра 50–90 Мм; для повышения точности определения величины  $\alpha$  все данные усреднены за каждый 11-летний цикл. Основные результаты таковы: (а) для 13 последних циклов среднее значение  $\alpha$  равно 5.4, (б) вековой тренд в изменениях  $\alpha$  отсутствует, однако (в) имеются достоверные свидетельства наличия двойного цикла Хейла (около 44 лет). В частности, минимальные значения  $\alpha$  отмечены в циклах № 14, 17–18 и 22. Поскольку величина  $\alpha$  отражает дисперсию диаметров солнечных пятен, полученные результаты указывают на то, что конвективная зона Солнца генерирует зародыши активных областей у различных статистических режимах, которые изменяются с циклом около 44 лет.

Ключевые слова: Солнце, солнечная активность, солнечные пятна, интегральное распределение диаметров солнечных пятен, двойной цикл Хейла.

V. Lozitsky, Dr. Sci.,  
V. Efimenko, Ph. D.,  
Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

### DOUBLE HALE'S CYCLE IN CHANGES OF SUNSPOT DIAMETERS. PRELIMINARY RESULTS

Integral distributions for diameters of sunspots are analyzed in cycles Nos. 12–24. For determination of index of integral distribution  $\alpha$ , the large sunspots of 50–90 Мm are taken into account; all data are averaged for each 11-year cycle for better accuracy. The main results are following: (a) the mean value of  $\alpha$  index is 5.4 for last 13 cycles; (b) secular trend in changes of  $\alpha$  index is absent, and (c) there are reliable evidences of double Hale's cycle (about 44 years). In particular, the lowest values of  $\alpha$  index were found for cycles Nos. 14, 17–18 and 22. Since this index reflects the dispersion of sunspot diameters, obtained results indicate that convective zone of the Sun generates the embryos of active regions in different statistical regimes which change with cycle about 44 years.

Key words: Sun, solar activity, sunspots, integral distribution for diameters of sunspots, double Hale's cycle.

УДК 523.98

В. Криводубський, д-р фіз.-мат. наук,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

### АЛЬФА-ЭФЕКТ БЕБКОКА–ЛЕЙТОНА В ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ СОНЦЯ

Проведено аналіз недавніх досліджень циклічності магнітної активності Сонця на основі  $\alpha\Omega$ -динамо моделі. Згідно з моделлю  $\alpha\Omega$ -динамо радіальний градієнт кутової швидкості  $\partial\Omega/\partial r$  діє на полоїдальне магнітне поле  $V_p$ , у результаті чого генерується тороїдальне магнітне поле  $V_T$  ( $\Omega$ -ефект). Водночас спіральна турбулентність, діючи на тороїдальне поле  $V_T$ , регенерує нову полоїдальну магнітну компоненту протилежного знака –  $V_p$  (альфа-ефект). Оскільки диференційному обертанню  $\partial\Omega/\partial r$  притаманна майже стабільна регулярність в часі, то між спостереже-

© Криводубський В., 2017