Таким чином, гравітаційне лінзування відіграє ключову роль у зондуванні космічних структур різних масштабів, позаяк воно реагує на всі типи матерії. Першочерговою задачею є створення більш широких та глибоких оглядів неба і покращення точності та надійності вимірювань слабкого лінзування. У найближчі 10-15 років планується, використовуючи наземні та космічні інструменти, створити огляди, які покриватимуть до 20000 *кв. град.* з ефективним числом фонових об'єктів до 100 в одній кв. мінуті (для більш детальної інформації див. [5] або сайти відповідних проектів). Якщо ці плани будуть реалізовані, можна буде не тільки значно покращити існуючі результати, але й розширити саме коло розв'язуваних задач, включаючи зсування природи темної енергії, тестування альтернативних теорій гравітації тощо.

1. Bartelmann M., Schneider P. Weak gravitational lensing // Phys. Repts – 2001. – Vol. 340, No. 4-5. – P. 291-472. 2. Clowe D., Bradac M., Gonzalez A. H. et al. A direct empirical proof of the existence of dark matter // Astrophys. J. – 2006. – Vol. 348, No. 1. – P. L109–L113. 3. Fu E., Semboloni H., Hoekstra M. et al. Very weak lensing in the CFHTLS Wide: Cosmology from cosmic shear in the linear regime // Astron. Astrophys. – 2000. – Vol. 479, No. 1. – P. 9-25. 4. Hanson D., Challinor A., Lewis A. Weak lensing of the CMB // arXiv:0911.0612v1 [astro-ph.CO]. 5. Hoekstra H., Jain B. Weak gravitational lensing and its cosmological applications // Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. – 2008. – Vol. 58. – P. 99-123. 6. Huterer D. Weak lensing, dark matter and dark energy // arXiv:1001.1758v2 [astro-ph.CO]. 7. Kaiser N. Weak gravitational lensing and the growth of structure // Astrophys. J. Suppl. – 2007. – Vol. 172, No. 1. – P. 239-253. 9. The Shear TEsting Programme STEP // http://www.physics.ubc.ca/~heymans/step.html

Надійшла до редколегії 16.06.10

УДК 523.947; 523.98:523.985-125

М. Пішкало

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ІНДЕКСУ СТИСНУТОСТІ СОНЯЧНОЇ КОРОНИ ВІД РІВНЯ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Зібрано 165 значень величини індексу фотометричної стиснутості сонячної корони є = a+b (за визначенням Людендорфа) за матеріалами спостережень під час 59 повних сонячних затемнень 1851–2009 pp. Досліджено залежність індексу a+b від фази сонячної активності та від щоденного і середньомісячного значення числа Вольфа. Індекс стиснутості a+b антикорелює із величиною сонячної активності. Значення індексу стиснутості корони поблизу мінімуму 24-го циклу сонячної активності використано як передвісник для прогнозу максимальної амплітуди 24-го циклу. Отримано, що максимальна амплітуда 24-го циклу сонячної активності за числами Вольфа приблизно становитиме 92.5.

165 values of the solar corona photometric flattening index  $\varepsilon = a+b$  (according to Ludendorff) were collected using data on 59 total solar eclipses in 1851–2009. The flattening index a+b dependences on phase of solar activity and daily and monthly sunspot numbers were investigated. The flattening index a+b is in anti-correlation with solar activity. The value of the flattening index at the minimum epoch of solar cycle 24 was used as precursor to forecast maximal amplitude of the cycle. It was found that maximal amplitude of solar cycle 24 in terms of the Wolf's numbers will amount to about 92.5.

Форма сонячної корони змінюється із сонячним циклом від "мінімальної" корони, що характеризується двома яскравими променями-стрімерами, орієнтованими вздовж екватора, до "максимальної" корони із великою кількістю орієнтованих по всьому лімбу переважно радіальних яскравих променів. На даний час установлено, що форма і структура корони визначаються глобальним і локальними великомасштабними магнітними полями Сонця.

У 1928 р. Людендорф [7] запропонував для кількісної характеристики форми сонячної корони під час затемнення використовувати параметр фотометричної стиснутості корони є, що визначається як деяка функція протяжності корони у полярних і екваторіальних напрямках за формулою

$$\varepsilon = \frac{d_0 + d_1 + d_2}{D_0 + D_1 + D_2} - 1,$$

де  $d_0$  – екваторіальний діаметр ізофоти (чи ізоденси),  $d_1$  і  $d_2$  – діаметри ізофот на відстанях ±22.5° від  $d_0$ ,  $D_0$  – полярний діаметр ізофоти,  $D_1$  і  $D_2$  – діаметри ізофот на відстанях ±22.5° від  $D_0$ . Спостережена поблизу лімба залежність  $\varepsilon$  від відстані від центра сонячного диска може бути апроксимована лінійним виразом  $\varepsilon = a+b(r-1)$ , де r – середній екваторіальний радіус ізофоти, виражений у сонячних радіусах. Коли r = 2, то  $\varepsilon = a+b$ . Тобто, a+b – це екстрапольоване на відстань двох сонячних радіусів значення параметра фотометричної стиснутості корони  $\varepsilon \cdot a+b$  і є класичним параметром Людендорфа; його ще називають індексом фотометричної стиснутості сонячної корони. Саме за цим параметром порівнюються корони під час різних повних сонячних затемненнях. Цей індекс є досить чутливим до довжини хвилі, характеристик приймача випромінювання і кількості точок, вибраних дослідником для лінійної апроксимації початкової спостереженої залежності  $\varepsilon(r)$  при r = 1.1-1.6.

У даній роботі нами зібрані і проаналізовані 165 визначень параметра  $\varepsilon = a+b$  за різними літературними джерелами для 59 повних сонячних затемнень 1851–2009 рр., з них 28 визначень отримано безпосередньо нами з аналізу зображень сонячної корони або її ізофот. На рис. 1 і 2 показані залежності параметра a+b від середньомісячного числа Вольфа і від фази сонячної активності. Фаза сонячної активності для моменту затемнення була обрахована за відомою формулою

 $\Phi = (T_{sam} - T_{mih})/|T_{makc} - T_{mih}|$ , де  $T_{sam}$  – момент затемнення,  $T_{mih}$  і  $T_{makc}$  – моменти найближчих мінімуму і максимуму сонячного циклу. Значення  $T_{mih}$  і  $T_{makc}$  були знайдені нами за середньомісячними числами Вольфа (*http://sidc.oma.be*), що були попередньо двічі згладжені ковзаючим усередненням по 13-ти точках.



Рис. 1. Залежність індексу стиснутості сонячної корони є =a+b від середньомісячного числа Вольфа

На рис. 1 пунктирна лінія показує прямолінійну залежність параметра a+b від згладженого середньомісячного числа Вольфа, інтерпольованого на момент затемнення. На рис. 2 пунктирною лінією зображено квадратичну залежність параметра a+b від фази сонячної активності, лінії крапками знаходяться на відстані  $\pm 0.2$  по осі ординат від пунктирної лінії. Пунктирна лінія описується рівнянням  $\varepsilon(\Phi) = 0.256 - 0.017 \cdot \Phi - 0.230 \cdot \Phi^2$ , де  $\Phi$  – фаза сонячної активності. Суцільна лінія на рис. 2 описується залежністю  $\varepsilon(\Phi) = 0.108 + 0.157 \cdot \cos(1.97 \cdot \Phi)$ . Як бачимо, індекс стиснутості сонячної корони є максимальним в епоху мінімуму сонячної активності і навпаки. Залежність  $\varepsilon(\Phi)$  є приблизно симетричною відносно мінімуму активності, коли  $\Phi = 0$ . Всі спостережені значення параметра a+b знаходяться в межах від 0.0 до 0.4.



Рис. 2. Залежність індексу стиснутості сонячної корони є =a+b від фази сонячної активності Ф

Згідно з теорією сонячного динамо типу Бебкока-Лейтона [4, 6], величина полоїдального магнітного поля Сонця в мінімумі сонячної активності визначає величину тороїдального поля в наступному максимумі активності. Полоїдальне і тороїдальне магнітні поля Сонця спостерігаються відповідно як полярні магнітні поля і магнітні поля активних областей (сонячних плям). Тому різні спостережені характеристики полярного поля у мінімумі активності є, певною мірою, передвісниками амплітуди наступного максимуму активності.

Індекс стиснутості сонячної корони, спостереженої під час повних сонячних затемнень поблизу мінімуму активності, також є непрямою характеристикою полярного магнітного поля Сонця. ВІн був використаний нами для прогнозу амплітуди 24-го циклу сонячної активності. Ми відібрали для цього лише ті затемнення, які відбулися не більше ніж ±1 рік від моменту мінімуму активності у кожному циклі. Таких затемнень 11, визначень параметра *a+b* – 26. На рис. З згладжені середньомісячні числа Вольфа і спостережені значення індексу стиснутості корони поблизу мінімуму активності показані відповідно на верхній і нижній панелях. Можна бачити, що існує певна кореляція між індексом стиснутості корони поблизу мінімуму активності і числом Вольфа у наступному максимумі. Ця кореляція є досить значимою (P < 0.01, r = 0.62).



Рис. 3. Середньомісячні числа Вольфа W (вгорі) і значення індексу стиснутості сонячної корони ε =a+b під час повних сонячних затемнень в мінімумі активності ±1 рік (внизу)

Рис. 4 ілюструє залежність максимального згладженого середньомісячного числа Вольфа  $W_{max}$  від параметра *a+b* в мінімумі циклу; пряма лінія описується рівнянням  $W_{max} = -4.0+459.4 \cdot (a+b)$ . Якщо ми підставимо в це рівняння значення 0.21 [2] індексу стиснутості сонячної корони під час повного сонячного затемнення 2008 р., що відбулося поблизу мінімуму сонячного циклу 24, то можемо отримати прогнозоване значення максимальної амплітуди 24-го циклу. Таким шляхом отримуємо, що максимальна амплітуда поточного 24-го циклу сонячної активності за числами Вольфа приблизно становитиме 92.5. Цей прогноз є нижчим від більшості опублікованих прогнозів максимальної амплітуди 24-го циклу (див., наприклад [8]), зокрема й дещо нижчим від нашого попереднього прогнозу [1], але добре узгоджується із прогнозами, зробленими у роботах [3] і [5], де отримано, що  $W_{max}$  у 24-му циклі становитиме 88 і 87.5 відповідно.

Варто відзначити, що більшість прогнозів максимальної амплітуди 24-го циклу сонячної активності, зокрема й наш прогноз [1], мали попередній характер, оскільки вони грунтувалися на даних про незакінчений 23-й цикл, тобто були зроблені ще до настання мінімуму 24-го циклу. Тепер, коли мінімум циклу вже пройдено, прогноз максимальної амплітуди 24-го циклу за середніми характеристиками циклів можна скорегувати. Проведений нами аналіз середньомісячних чисел Вольфа, згладжених за 13-ти точками (дані були взяті із сайту *http://sidc.oma.be*), показав, що мінімум по числах Вольфа, згладжених за 13-ти точками (дані були взяті із сайту *http://sidc.oma.be*), показав, що мінімум по числах Вольфа *W<sub>min</sub>* становив приблизно 1.8 у момент часу 2009.1. Користуючись цим значенням *W<sub>min</sub>* і рівняннями (1) і (3) із роботи [1], знаходимо, що максимальне число Вольфа у 24-му циклі, отримане на основі кореляційних зв'язків між середніми характеристиками циклів, становитиме 88±17 на початку 2014 р. Отримане вище на основі даних про індекс стиснутості корони поблизу мінімумів активності прогнозоване значення *W<sub>max</sub>* досить добре узгоджується із цим скорегованим прогнозом. Обидва прогнози вказують на те, що 24-й цикл сонячної активності буде слабшим за попередні цикли.



Рис. 4. Середньомісячне число Вольфа в максимумі активності W<sub>max</sub> в залежності від індексу стиснутості корони ε =a+b в мінімумі активності

Таким чином, проведене нами дослідження показує, що індекс фотометричної стиснутості сонячної корони *a+b* змінюється у межах від 0 до 0.4, має максимальне значення поблизу мінімуму сонячної активності і навпаки. Розкид значень *a+b* становить біля 0.4 і майже не залежить від фази активності. Залежність індексу *a+b* від фази сонячної активності приблизно симетрична відносно мінімуму активності. Спостережене значення індексу фотометричної стиснутості сонячної сонячної корони *a+b* зактивності. Спостережене значення індексу фотометричної стиснутості сонячної корони поблизу мінімуму активності може бути використано для прогнозування величини наступного максимуму активності. Для 24-го циклу сонячної активності отримано прогноз, що максимальне значення середньомісячного згладженого числа Вольфа становитиме приблизно 92.5.

1. Пішкало М. І. Попередній прогноз 24-го і 25-го циклів сонячної активності на основі кореляції між характеристиками циклів // Кинематика и физика небес. тел. – 2008. – Т. 24, № 5. – С. 370–378. 2. Пішкало М. І., Баранський О. Р. Сонячна корона під час повного сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. // Кинематика и физика небес. тел. – 2009. – Т. 25, № 6. – С. 474–481. 3. Чистяков В. Ф. Прогноз солнечной активности до 2030 года // Солнеч. данные. – 1983. – № 1. – С. 97–100. 4. Babcock H.W. The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle // Astrophys. J. – 1961. – Vol. 133. – Р. 572–587. 5. Duhau S. An early prediction of maximum sunspot number in solar cycle 24 // Solar Phys. – 2003. – Vol. 213, N 1. – P. 203–212. 6. Leighton R.B. A magneto-kinematic model of the solar cycle // Astrophys. J. – 1969. – Vol. 156. – P. 1–26. 7. Ludendorff H. Über die Abhängigkeit der Form der Sonnenkorona von der Sonnenfleckenhäufigkeit // Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-Math. Klasse. – 1928. – Vol. 16. – P. 185–192. 8. Pesnell W.D. Predictions of solar cycle 24 // Solar Phys. – 2008. – Vol. 252. – P. 209–220. – DOI:10.1007/s11207-008-9252-2.

Надійшла до редколегії 10.06.10