

УДК 523.9

М. І. Пішкало, Є. В. Садовенко

Фізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
03127 Київ-127, просп. Акад. Глушкова 2

### Структура і форма сонячної корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р.

*Досліджено структуру і форму сонячної корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р. Тип корони був проміжним передмінімальним. У ній виділялись північна та південна полярні променеві системи над полярними корональними дірами і шість променів-стрімерів різної яскравості на середніх і низьких геліоширотах. Для всіх структурних деталей корони знайдено відповідні активні утворення на фотосферно-хромосферному рівні на лімбі або поблизу нього. Індекс фотометричної стиснутості сонячної корони становить 0.17.*

*СТРУКТУРА И ФОРМА СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 29 МАРТА 2006 г., Пишкало Н. И., Садовенко Е. В. — Исследованы структура и форма солнечной короны во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. Тип короны был промежуточным предминимальным. В ней выделяются северная и южная полярные лучевые системы над полярными корональными дырами и шесть лучей-стримеров различной яркости на средних и низких гелиоширотах. Для всех структурных деталей короны найдены соответствующие активные образования на фотосферно-хромосферном уровне на лимбе или вблизи него. Индекс фотометрического сжатия солнечной короны составляет 0.17.*

*STRUCTURE AND SHAPE OF THE SOLAR CORONA DURING THE TOTAL SOLAR ECLIPSE ON 29 MARCH 2006, by Pishkalo M. I., Sadovenko I. V. — Structure and shape of the solar corona during the total solar eclipse on 29 March 2006 were studied. Corona on 29 March 2006 was classified as corona of the intermediate pre-minimal type with northern and southern polar ray systems over polar coronal holes and six streamers of different brightness, located in middle and low heliographic latitudes. It was found that all of the coronal structural features have their counterparts on photosphere-chromosphere level at the limb or near it. The flattening index was determined to be 0.17.*

**Вступ.** Як відомо, форма сонячної корони змінюється із сонячним циклом від «мінімальної» корони, що характеризується двома яскравими променя-

ми-стрімерами, орієнтованими вздовж екватора, до «максимальної» корони із великою кількістю орієнтованих по всьому лімбі переважно радіальних яскравих променів. На даний час встановлено, що форма і структура корони визначаються глобальним і локальними великомасштабними магнітними полями Сонця.

Безпосередньо у сонячній короні напруженість магнітного поля не вимірюється прямими методами. Оцінки напруженості магнітного поля в деяких утвореннях у короні можна отримати на основі аналізу спектру і поляризації радіовипромінювання цих утворень на радіокартах Сонця при певних припущеннях щодо механізму та геометрії областей радіовипромінювання [1, 2, 12]. Корональні магнітні поля можна змодельювати при певних спрощених припущеннях за відомими значеннями і розподілом магнітних полів на фотосферному рівні (де вони вимірюються головним чином на основі ефекту Зеемана), оскільки як структура, так і величина магнітного поля в короні значною мірою визначаються умовами у фотосфері. Найбільшого поширення здобули моделі екстраполяції фотосферних магнітних полів у корону в потенційному (безструмовому) наближенні з використанням фотосферних даних низького просторового розділення для всього диска Сонця [10, 14, 15]. Останніми роками з'явилося багато робіт, де запропоновано низку нових моделей розрахунку структури і величини магнітного поля в короні, що базуються, наприклад, на потенційному наближенні і магнітограмах високого просторового розділення обсерваторії Кітт-Пік [20], на потужному чисельному магнітогідродинамічному моделюванні [16, 19] чи враховують об'ємні електричні струми в короні [24].

Тривалий час сонячна корона спостерігалася лише під час повних сонячних затемнень. Відкриття Бернардом Ліо позазатемненого коронографа та інтерференційно-поляризаційного фільтра на початку 1930-х рр. дозволило провадити систематичні наземні спостереження корони як у білому світлі, так і в окремих емісійних лініях. Успіхи в освоєнні космосу і в комп'ютерній галузі останньої третини 20-го століття дали можливість вивчати корону із навколоземної орбіти в різних діапазонах довжин хвиль і суттєво збагатили наші знання про структуру і природу сонячної корони. Коронографи LASCO C2 і C3 на борту орбітальної обсерваторії SOHO (а тепер і коронографи системи STEREO) дозволяють систематично спостерігати «білу» корону на відстанях 2–30  $R_{\odot}$ , а рентгенівські та ультрафіолетові телескопи на борту SOHO, STEREO, Hinode та TRACE «бачать» і найнижчі корональні шари, що дає можливість систематично вивчати тонку структуру внутрішньої корони. Однак просторова роздільна здатність космічних телескопів залишається, як правило, недостатньою, а космічні коронографи білого світла взагалі не «бачать» внутрішньої корони до  $2R_{\odot}$ , де знання про структуру корони є дуже важливими. Саме тому наземні спостереження корони під час повних сонячних затемнень залишаються актуальними, оскільки вони є чи не найінформативнішими з точки зору знань про тонку структуру внутрішньої корони Сонця, а отже, і про структуру магнітного поля в короні.

Робота присвячена дослідженню форми і структури білої сонячної корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р. та зв'язку корональних деталей із фотосферно-хромосферними утвореннями.

#### СПОСТЕРЕЖНІ ДАНІ

Для фотометричного дослідження та при побудові структурного рисунка корони були використані знімки сонячної корони, отримані В. М. Єфіменком, членом наукової експедиції Київського національного університету

імені Тараса Шевченка, що спостерігала повне сонячне затемнення 29 березня 2006 р. в Туреччині поблизу м. Анталія [5]. Досліджувалась серія із 13 знімків корони у білому світлі з експозиціями від 1/1000 до 4 с на плівці Kodak «ProFoto-100-4». Крім того, для уточнення структури корони було використано чудовий знімок корони з радіальним нейтральним фільтром, отриманий експедицією Паризького Астрофізичного Інституту в Єгипті (<http://www.iap.fr>), знімки коронографів LASCO C2 і C3 орбітальної сонячної обсерваторії SOHO (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>) та знімки лімба-вого  $H_{\alpha}$ -коронографа обсерваторії Пік дю Міді (<http://bass2000.obspm.fr>).

При побудові синоптичної карти були використані щоденні зображення Сонця у світлі ліній  $H_{\alpha}$  та  $K Ca II$ , отримані на Медонській обсерваторії, обсерваторіях Біг Бер, Катанія, та Канзельхьох (взяті із архівів <http://bbso.njit.edu> і <http://bass2000.obspm.fr>, а також знімки Сонця, отримані за допомогою інструмента MDI на борту SOHO <http://sohowww.nascom.nasa.gov>).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Сонячне затемнення 29 березня 2006 р. відбулося незадовго до мінімуму поточного 23-го циклу сонячної активності. Фаза сонячної активності для моменту затемнення була обчислена за відомою формулою  $\Phi = (T_{\text{зат}} - T_{\text{мін}}) / |T_{\text{макс}} - T_{\text{мін}}|$ , де  $T_{\text{зат}}$  — момент затемнення,  $T_{\text{мін}}$  і  $T_{\text{макс}}$  — моменти найближчих мінімуму і максимуму сонячного циклу. Значення  $T_{\text{макс}}$  було знайдено за місячними числами Вольфа (<http://sidc.oma.be>), що були попередньо двічі згладжені ковзним усередненням за 13 точками. Правий мінімум поточного 23-го циклу взято згідно з даними [22]. Ми отримали, що  $\Phi = -0.18$ .

Структура корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р. характеризується наявністю шести великих променів різної яскравості, розташованих на низьких і середніх широтах, і може бути класифікована як корона проміжного передмінімального або післямінімального типу [8, с. 77]. На рис. 1 наведено структурний рисунок сонячної корони 29 березня 2006 р., основні промені позначені латинськими буквами A—F. Промені на W-лімбі дещо яскравіші від променів на E-лімбі; промені A, D і F мають помітні шоломи-віяла. В обох півкулях дуже добре помітні розвинуті полярні променеві системи.

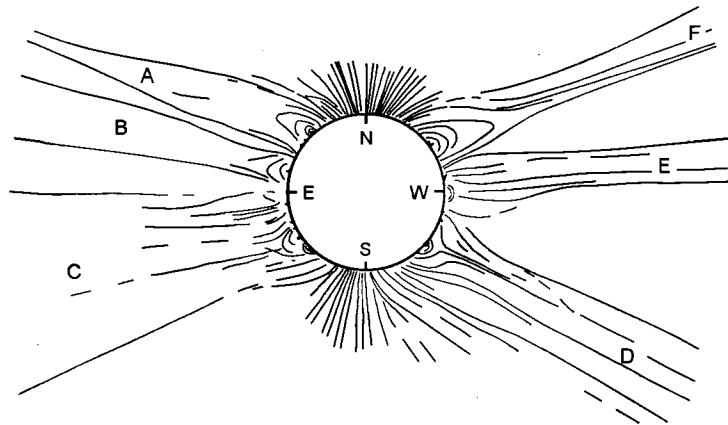


Рис. 1. Структура сонячної корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р.

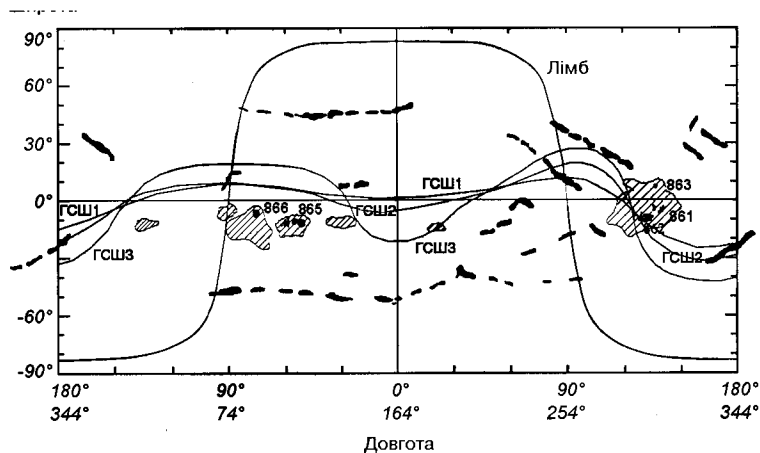


Рис. 2. Синоптична карта деталей сонячної активності на момент затемнення 29 березня 2006 р. Тонкими суцільними лініями нанесено розраховане положення сонячного лімба на момент затемнення і положення магнітної нейтральної лінії коронального магнітного поля на «поверхні джерела», розрахованого за потенційними класичною (ГСШ3) і радіальною (ГСШ1 і ГСШ2) моделями на відстанях  $(2.5-3.25)R_{\odot}$  (<http://wso.stanford.edu>)

Для порівняння структурних деталей корони з «підстильними» утвореннями на фотосферно-хромосферному рівні було побудовано синоптичну карту фотосферно-хромосферної активності, центровану на момент затемнення. Вона показана на рис. 2. Тут також нанесено розраховане нами положення сонячного лімба на момент затемнення і положення магнітних нейтральних ліній магнітного поля корони, розрахованого в Сонячній обсерваторії імені Вілкокса у потенційному наближенні для керрінгтонівського оберта 2041 (<http://wso.stanford.edu>). Лінія ГСШ3 відповідає магнітній нейтральній лінії, розрахованій в потенційному класичному (по променю зору) наближенні на відстані  $2.5R_{\odot}$ , лінії ГСШ1 і ГСШ2 — у потенційному радіальному наближенні на відстанях відповідно  $3.25R_{\odot}$  і  $2.5R_{\odot}$ . Нагадаємо, що ці магнітні нейтральні лінії визначають розраховане положення уявної поверхні геліосферного струмового шару на так званій «поверхні джерела», свого роду положення сонячного магнітного екватора, що розділяє навколосонячний простір на дві півсфери із протилежним напрямком магнітного поля.

Трохи детальніше опишемо структурні деталі корони 29 березня 2006 р. і їхній зв'язок із фотосферно-хромосферними утвореннями.

**Північна полярна променева система** ( $p = 336-24^{\circ}$ ) є симетричною відносно проекції північного полюса. Вона складається із 12 променів (полярних «щіточок») шириною  $(0.05-0.15)R_{\odot}$ , які, у свою чергу, складаються з багатьох тонких променів шириною до  $0.01R_{\odot}$ . Нахил полярних щіточок відносно локального перпендикуляра на лімбі є мінімальним на полюсі і збільшується з відхиленням від полюса в обидва боки, досягаючи значень  $40-43^{\circ}$  для крайніх E- і W-променів. Продовження північних полярних щіточок, що визначаються як дотичні до променів на висоті  $(0.4-0.6)R_{\odot}$ , перетинаються на відстані  $0.70R_{\odot}$  від центра диска, і точка перетину лежить на прямій, що з'єднує проекції на лімбі північного і південного полюсів. E-край північної полярної променевої системи трохи деформований сусіднім шоломоподібним стримером А. Крайня східна полярна щіточка виглядає дещо незвично: як листочок із загостреною конічною верхівкою чи язик полум'я. На знімках приладу EIT на борту супутника

SOHO в лініях  $\lambda\lambda$  17.1, 19.5 і 28.4 нм (<http://sohowww.nascom.nasa.gov>) тут спостерігається незначне зниження яскравості, що свідчить про наявність полярної корональної діри.

**Промінь А** ( $p = 24\text{--}61^\circ$ ) є яскравим шоломоподібним променем, нахиленим відносно локальної нормалі на лімбі на  $22^\circ$  у бік екватора. Промінь поступово звужується, має мінімальний поперечний розмір на відстані  $4.7R_\odot$ , і далі трохи розширюється. На хромосферному рівні в основі променя знаходиться спокійне волокно на середніх широтах ( $\varphi = 46^\circ \text{ N}$ ); у внутрішній короні поблизу лімба спостерігається невеликий протуберанець, який охоплюють дугові системи.

**Промінь В** ( $p = 61\text{--}84^\circ$ ) є слабким потоком із невеликим нахилом ( $i = 3^\circ$ ) у бік екватора. У його основі знаходяться невеликі протуберанці на лімбі, охоплені дуговими системами.

Між променями В і С знаходиться область зниженої яскравості, яка розпочинається на відстані приблизно  $1.35R_\odot$ , і за даними коронографа LASCO C2 на відстані  $2.5R_\odot$  має поперечний розмір до  $0.35R_\odot$ .

**Промінь С** ( $p = 88\text{--}158^\circ$ ) є дуже широким променем-потоким з нахилом  $7^\circ$  у бік екватора. Ймовірно, він є результатом проекції двох променів — променя над *активною областю* AO 10866 і слабого шоломоподібного променя над середньоширотним волокном ( $\varphi = 47^\circ \text{ S}$ ). У внутрішній короні в основі цього променя спостерігаються протуберанець і дугові системи над ним, а також корональна конденсація над AO 10866, яким на хромосферному рівні на синоптичній карті відповідають спокійне волокно і яскраві флукули наявної на момент затемнення AO 10866 та майбутньої AO 10877. Південний край променя С, а саме його слабка шоломоподібна складова, частково накладається на південну полярну променеву систему.

**Південна полярна променева система** ( $p = 149\text{--}193^\circ$ ) частково перетинається із південною частиною променя С і не є симетричною відносно проекції S-полюса. Вона складається із дев'яти променів-щіточок шириною  $(0.05\text{--}0.15)R_\odot$ . Деякі щіточки у свою чергу складаються із двох, а більшість — із багатьох променів з поперечником до  $0.01R_\odot$ . Дотичні до південних полярних щіточок перетинаються в точці, що знаходиться на відстані приблизно  $0.65R_\odot$  від центра диска і на  $0.06R_\odot$  у напрямку E-лімба від проекції осі обертання Сонця. Нахил променів відносно локальної нормалі є мінімальним вздовж лінії, що з'єднує центр диска і точку умовного перетину південних полярних щіточок, і збільшується в напрямку E- і W-лімбів до  $20\text{--}40^\circ$ . На знімках Сонця в лініях  $\lambda\lambda$  17.1, 19.5 і 28.4 нм тут спостерігається значне зниження яскравості, що вказує на наявність потужної полярної корональної діри. Варто також відзначити, що на синоптичних картах корони, побудованих на обсерваторії Сакраменто Пік (<http://nsosp.nso.edu/data>), в обох полярних областях 29.03.2006 р. спостерігаються корональні діри.

Північна і південна полярні променеві системи на фотосферному рівні відповідають спокійним уніполярним магнітним областям з протилежними полярностями поля — корональним дірам. Як було показано в роботі [7], у поточному 23-му циклі сонячної активності переполюсовка глобального магнітного поля Сонця відбулася у північній півкулі в момент 2001.2, а в південній півкулі — в момент 2001.9. Тобто, в полярних областях Сонця під час повного сонячного затемнення 2006 р. були розвинені полярні корональні діри протилежної полярності.

**Промінь D** ( $p = 193\text{--}253^\circ$ ) нахилений у бік екватора на  $9^\circ$ . Він у своїй основі має середньоширотний ( $\varphi = 43^\circ \text{ S}$ ) протуберанець, який охоплюють невисокі дугові системи.

**Промінь-потік E** ( $p = 255\text{--}287^\circ$ ) є радіальним. Він, як і промінь C, ймовірно, є результатом проекції на картинну площину двох корональних променів-стрімерів — шоломоподібного променя над волокном-протуберанцем і променя активної області. На синоптичній карті йому відповідають хвостова частина комплексу активності, що складається із АО 10861, 10862 і 10863, і низькоширотне волокно на  $\varphi = 8\text{--}10^\circ$  N, яке проявляється на лівій у вигляді слабкого протуберанця. Варто відзначити, що у структурі корони немає добре помітних утворень, які б відповідали невеликим протуберанцям, що спостерігаються при допомозі  $H_\alpha$ -лімбового коронографа обсерваторії Пік дю Міді на W-лімбі на  $\varphi = 15\text{--}20^\circ$  S і нанесені на синоптичній карті (рис. 2).

**Промінь F** ( $p = 287\text{--}336^\circ$ ) є досить яскравим стримером, він найдужче нахилений у бік екватора ( $24^\circ$ ). У внутрішній короні цей промінь має добре виражений шолом, в основі якого знаходяться невеликі протуберанці на лівій, які охоплюються дуговими системами. Шолом несиметричний, північний його край має значно більшу кривизну, ніж південний, а південний край, у свою чергу, чіткіший і різкіший, ніж північний. На синоптичній карті променю F відповідає середньоширотне волокно на  $\varphi = 35^\circ$  N, основна частина якого знаходиться за лімбом.

Якщо порівняти корону 29 березня 2006 р. із коронами із каталогів [8] і [17] та роботи [11], то слід відзначити, що вона є подібною до білямінімальних корон, що спостерігалися 21.08.1914, 20.09.1922, 15.01.1925, 30.05.1965 та 26.02.1998 рр. Вказані корони також мали розвинуті полярні променеві системи і по кілька стримерів на низьких і середніх широтах на східному і західному лімбах. Точки перетину дотичних до полярних променів визначають положення так званих ефективних магнітних фокусів полярного магнітного поля Сонця [6]. Для корони 29 березня 2006 р. відстань між магнітними фокусами становить  $0.67R_\odot$ , що добре узгоджується із даними для інших затемнень в епоху мінімуму сонячної активності [6, 8].

У роботі [4] на матеріалі повних сонячних затемнень 1976—2001 рр. було знайдено, що кутові положення яскравих корональних стримерів досить непогано узгоджуються із положеннями магнітних нейтральних ліній коронального магнітного поля, розрахованого на Сонячній обсерваторії імені Вілкокса на «поверхні джерела» у потенційному наближенні. В цілому модельні положення магнітної нейтральної лінії, розраховані за класичною потенційною моделлю, краще узгоджуються із спостереженими кутовими положеннями корональних променів, ніж у випадку радіальної потенційної моделі. Аналогічний висновок зроблено також у роботі [9] після порівняння модельних розрахунків магнітного поля у короні із конфігурацією поясу корональних стримерів за даними коронографа LASCO C2.

Цей же висновок є справедливим також і для корони 29 березня 2006 р. У таблиці подано порівняння кутових положень корональних стримерів для корони 29 березня 2006 р. на відстані  $2.5R_\odot$  із геліографічними широтами точок перетину лімба і розрахованих магнітних нейтральних ліній у короні

Порівняння кутових положень корональних променів-стрімерів на відстані  $2.5R_\odot$  із геліографічними широтами (на лімбі) розрахованих магнітних нейтральних ліній у короні

| Лімб   | Корональний промінь |      |      |      |     |      | Магнітна нейтральна лінія |      |      |
|--------|---------------------|------|------|------|-----|------|---------------------------|------|------|
|        | A                   | B    | C    | D    | E   | F    | ГСШ1                      | ГСШ2 | ГСШ3 |
| E-лімб | +31°                | +15° | -16° |      |     |      | 8°                        | 10°  | 18°  |
| W-лімб |                     |      |      | -32° | +6° | +29° | 11°                       | 18°  | 27°  |

(рис. 2). Бачимо, що лінія ГСШ3, яка відображає магнітну нейтральну лінію, розраховану в рамках потенційної класичної моделі, краще, ніж лінії ГСШ1 і ГСШ2, що відповідають потенційній радіальній моделі, узгоджується із кутовими положеннями променів  $A$  і  $F$ , які є найяскравішими на  $E$ - і  $W$ -лімбах відповідно.

Загалом же питання зв'язку структури корони із розрахованими в короні магнітними полями і положенням геліосферного струмового шару є досить непротим і потребує окремого детального вивчення.

Одним із кількісних параметрів, що характеризує форму сонячної корони під час затемнення і був введений Людендорфом у 1928 р. [18], є індекс фотометричної стиснутості сонячної корони  $\varepsilon$ . Він 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  $\pm 22.5^\circ$  від  $d_0$ ,  $D_0$  — полярний діаметр ізофоти,  $D_1$  і  $D_2$  — діаметри ізофот на відстанях  $\pm 22.5^\circ$  від  $D_0$ . Залежність  $\varepsilon$  від відстані від центра сонячного диска може бути апроксимована виразом  $\varepsilon = a + b(r - 1)$ , де  $r$  — середній екваторіальний радіус ізофоти. При  $r = 2$ ,  $\varepsilon = a + b$  і є класичним параметром Людендорфа.

Для визначення стиснутості сонячної корони під час затемнення всі знімки корони у білому світлі були оцифровані за допомогою сканера із високою роздільною здатністю, потім для кожного знімка було отримано ізоденси (від 2 до 8 ізоденс для різних знімків) на різних відстанях від центра сонячного диска, і визначено параметр  $\varepsilon$  для кожної ізоденси. На рис. 3 показано отриману за всіма 13 знімками залежність стиснутості сонячної корони від екваторіального радіуса ізоденси. Тут суцільною прямою лінією показано лінійне наближення спостережних точок на відстанях до  $2R_\odot$  від центра сонячного диска, штриховою лінією — наближення поліномом третього степеня всіх спостережних точок. З цього рисунка випливає, що на відстані  $2R_\odot$  від центра сонячного диска параметр  $\varepsilon$  становить приблизно 0.17. Якщо порівняти це значення із значеннями  $\varepsilon$  для інших затемнень [8, 17, 21], то виходить, що стиснутість сонячної корони 29 березня 2006 р. дещо менша від середнього ходу  $\varepsilon$  від фази сонячної активності за матеріалами багаторічних спостережень попередніх затемнень

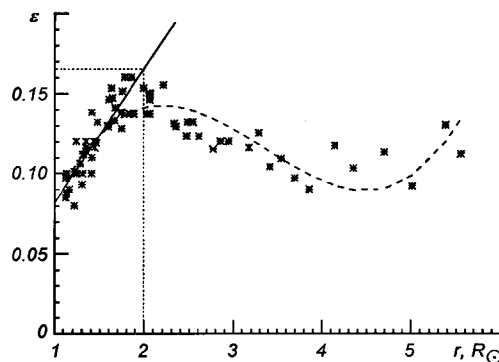


Рис. 3. Стиснутість сонячної корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р. Суцільна пряма лінія — лінійне наближення для точок до  $2R_\odot$ , штрихова лінія — кубічне наближення всіх точок даних, точками — значення стиснутості на відстані  $2R_\odot$

Сонця. Така відмінність може бути пояснена як наявністю у короні яскравих стримерів на широтах вище  $40^\circ$ , які дещо деформують видиму форму корони у бік «максимальної» корони, так і можливою неточністю використаного нами прогнозованого мінімуму поточного циклу.

Дослідження останніх років вказують на те, що корона завжди є певною мірою «сплюснутою» у напрямку геліомагнітного екватора, а корональні промені-стрімери розташовуються переважно вздовж лінії розділу полярностей глобального магнітного поля Сонця, утворюючи пояс корональних стримерів [3, 13, 23]. У такому випадку індекс фотометричної стиснутості корони  $\epsilon$ , хоча і досить добре відображає у першому наближенні зміну форми сонячної корони в залежності від фази сонячної активності, є певною мірою фіктивним індексом, а видима форма корони визначається не стільки фазою сонячної активності, скільки взаємним розташуванням «сплюснутої» корони відносно осі обертання Сонця і спостерігача на Землі.

#### ВИСНОВКИ

Можна стверджувати, що корона 29 березня 2006 р. є короною проміжного передмінімального типу. Вона характеризується наявністю шести низько- та середньо-широтних променів різної яскравості та розвиненими північною і південною полярними променевими системами над полярними корональними дірами.

Шляхом порівняння структури корони із синоптичною картою фотосферно-хромосферної активності на момент затемнення для всіх помітних структурних деталей корони знайдено відповідні активні утворення на фотосферно-хромосферному рівні на лімбі або поблизу нього.

Для корони 29 березня 2006 р. характерна незначна E/W- і N/S-асиметрія. Корона на E-лімбі активніша і яскравіша, ніж на W-лімбі. Північна полярна променева система трохи протяжніша вздовж лімба, ніж південна полярна променева система. Крім того, північна полярна променева система симетрична відносно проекції осі обертання Сонця, а південна — несиметрична.

Досліджено фотометричну стиснутість корони в залежності від відстані від центра сонячного диска. Індекс фотометричної стиснутості корони  $\epsilon$  на відстані  $2R_\odot$  становить 0.17, що в середньому менше, ніж для близьких значень фази сонячної активності під час сонячних затемнень у минулому.

Автори щиро вдячні В. М. Єфіменку за знімки корони, а також співробітникам консорціуму SOHO, Паризького астрофізичного інституту, Медонської обсерваторії, обсерваторій Біг Бер, Пік дю Міді, Сакраменто Пік, Катанія, Канзельхьох за можливість роботи з даними їхніх спостережень через інтернет.

1. Боровик В. Н., Медарь В. Г., Коржавин А. Н. Первые измерения магнитного поля в корональной дыре на основе радиоастрономических наблюдений на РАТАН-600 // Письма в Астрон. журн.—1999.—25, № 4.—С. 250—257.
2. Гельфрейх Г. Б. Результаты и проблемы измерений магнитных полей в хромосфере и короне Солнца на основе радионаблюдений // Солнечно-земная физика.—2004.—Вып. 6.—С. 106—109.
3. Гуляев Р. А., Филиппов Б. П. Структура солнечной короны и гелиосферный токовый слой // Докл. АН СССР. Сер. А.—1992.—322, № 2.—С. 268—271.
4. Іванчук В. Г., Пішкало М. І. Нахил геліосферного струмового шару під час повних сонячних затемнень 1976—2001 років // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія.—2002.—38.—С. 13—17.
5. Івченко В., Єфіменко В., Буромський М. та ін. Спостереження повного затемнення Сонця 29 березня 2006 року експедицією Київського національного університету імені Тараса



- Шевченка // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія.—2006.—43.—С. 54—57.
6. Клепиков Д. В., Филиппов Б. П., Аджабширизаде А., Платов Ю. В. Эволюция положений магнитных фокусов полярного поля Солнца с фазой цикла солнечной активности // Астрон. журн.—2006.—83, № 10.—С. 932—939.
  7. Пішкало М. І., Бабій В. П., Іванчук В. Г. Північно-південна асиметрія сонячної активності та переполосовки глобального магнітного поля Сонця у 21—23 циклах активності // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія.—2005.—41—42.—С. 86—90.
  8. Солнечная корона и корпускулярное излучение в межпланетном пространстве / Под ред. С. К. Всехсвятского. — Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1965.—216 с.
  9. Файнштейн В. Г., Манженко А. А. Конфигурация пояса корональных стримеров по данным коронографа LASCO/SOHO и расчетам магнитного поля в короне: сравнительный анализ // Солнечно-земная физика.—2004.—Вып. 4.—С. 33—39.
  10. Altschuler M. D., Newkirk G. Magnetic fields and the structure of the solar corona // Solar Phys.—1969.—9, N 1.—P. 131—149.
  11. Belik M., Markova E., Rusin V. White-light coronal structures during the 1988—1998 eclipses // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.—1999.—28, N 3.—P. 230—236.
  12. Gelfreikh G. B., Pilyeva N. A., Ryabov B. I. On the gradient of coronal magnetic fields from radio observations // Solar Phys.—1997.—170, N 2.—P. 253—264.
  13. Gulyaev R. A. The solar corona: flat formation // Solar Phys.—1992.—142, N 2.—P. 213—216.
  14. Hoeksema J. T. The solar magnetic field 1985 through 1990 / Center for space science and astrophysics.—Report CSSA-ASTRO 91-01.—1991.—205 p.
  15. Hoeksema J. T., Scherrer P. H. The solar magnetic field 1976 through 1985 / World data center A for solar-terrestrial physics.—Report UAG-94. — Boulder, Co., 1996.—352 p.
  16. Linker J. A., Mikic Z., Biesecker D. A., et al. Magnetohydrodynamic modeling of the solar corona during Whole Sun Month // J. Geophys. Res.—1999.—104, N A5.—P. 9809—9830.
  17. Loucif M. L., Koutchmy S. Solar cycle variations of coronal structures // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1989.—77.—P. 45—66.
  18. Ludendorff H. Über die Abhängigkeit der Form der Sonnenkorona von der Sonnenfleckenhäufigkeit // Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-Math. Klasse.—1928.—16.—P. 185—192.
  19. Riley P., Linker J. A., Mikic Z. An empirically-driven global MHD model of the solar corona and inner heliosphere // J. Geophys. Res.—2001.—106, N A8.—P. 15889—15902.
  20. Rudenko G. V. Extrapolation of the solar magnetic field within the potential-field approximation from full-disk magnetograms // Solar Phys.—2001.—198, N 1.—P. 5—30.
  21. Rusin V., Rybansky M. The eclipse corona: reality and possible research during the 1999 eclipse // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.—1999.—28, N 3.—P. 187—200.
  22. Rybansky M., Minarovjech M., Rusin V. Evolution of the green corona in 1996—2002 // Solar Phys.—2003.—217, N 1.—P. 109—118.
  23. Sykora J., Badalyan O. G., Obridko V. N. Connections between the white-light eclipse corona and magnetic fields over the solar cycle // Solar Phys.—2003.—212, N 2.—P. 301—318.
  24. Zhao X., Hoeksema J. T. A coronal magnetic field model with horizontal volume and sheet currents // Solar Phys.—1994.—151, N 1.—P. 91—105.

Надійшла до редакції 09.02.07