

УДК 523.98  
PACS 96.60 P

## ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ КОРОНИ ПІД ЧАС ЗАТЕМНЕННЯ 1990 РОКУ

**Я. Благодир, М. Ковальчук, М. Гірняк,  
І. Лаба, М. Стоділка**

*Астрономічна обсерваторія ЛНУ імені Івана Франка  
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна  
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua*

Досліджено результати спостереження повного сонячного затемнення 22 липня 1990 р. З'ясовано, що властивості корони залежать від фази циклу сонячної активності: корона 22 липня 1990 р. за формою відповідає короні епохи максимуму; стиск корони найбільший на далеких відстанях від краю сонячного диску. Встановлено, що випромінювання корони поляризоване радіально.

**Ключові слова:** сонячна корона, кольорова температура, поляризація випромінювання.

Спостереження повного сонячного затемнення 22 липня 1990 р. проводилось Астрономічною обсерваторією ЛНУ імені Івана Франка поблизу с. Марково Анадирського району Магаданської області. Для спостережень було виготовлено трьохоб'єктивний коронограф. Дослідження сонячної корони проводилось у таких напрямках:

- 1) загальна фотометрія корони;
- 2) форма і структура корони;
- 3) колориметрія корони;
- 4) поляризація випромінювання корони.

**Апаратура для спостережень.** Для запланованих досліджень був виготовлений в обсерваторії трьохоб'єктивний коронограф. Фокусна відстань об'єктивів становить 1500 мм, світлосила 1:1,5. Фотографували на ізопанхроматичну аерофотоплівку типу 38 на триацетатцелюльозній протиореольній основі шириною 6 см, розміри кадру  $5 \times 5$  см<sup>2</sup>. Для камерної частини були використані широкоформатні фотоапарати "Київ-600". Це дало змогу, використавши їх барабани експозицій, будувати шкалу експозицій для різних об'єктивів і з допомогою спеціального пристрою забезпечити одночасність експозицій в усіх об'єктивах. Ємність касети кожного об'єктива 12 кадрів.

Конструкція коронографа дає змогу вводити в передфокальну площину комбінації фільтрів і поляроїдів, які розміщені на спеціально сконструйованих лінійках.

Корonoграф встановлений на паралактичному монтували, часове ведення якого здійснюється з допомогою крокового двигуна. Реєстрували час спеціально розробленим хронометром з пам'яттю, куди записувався час проведення експозиції.

Отримано 33 фотографії внутрішньої і середньої корони. Фотографували корону в інтегральному світлі, у синій та жовтій областях спектра через відповідні світлофільтри (рис. 1).

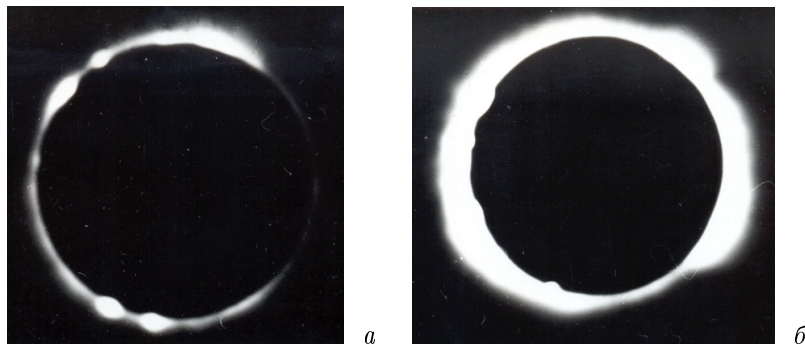


Рис. 1. Корона 22 липня 1990 р.: *а* — у синіх променях; *б* — у жовтих променях

Усі ці комбінації були повторені в поляризованому світлі через 3 поляроїди, площина поляризації яких була встановлена під кутом  $60^\circ$  відповідно в трьох об'єктивах.

**Структура корони.** Фотометрія корони проводилась на кращих негативах із застосуванням світлофільтрів у синій і жовтій областях спектра. Негативи вимірювались вздовж радіальних напрямків, які розташовувались у різних позиційних кутах через кожні  $10^\circ$ . На негативи було нанесено положення добової паралелі Сонця. На негативах за фон приймалось почорніння в центрі місячного диску. За край місячного диску брали відстань, на якій інтенсивність становила половину інтенсивності в максимумі.

Для побудови ізофот із характеристичних кривих знімались логарифми інтенсивності у відносних одиницях. Ці відносні інтенсивності, зняті для віддалі від центра сонячного диска в одиницях радіуса останнього для різних позиційних кутів, що відраховуються від полярної осі Сонця з півночі на схід. З отриманих значень були проведені ізофоти. Для синьої та жовтої областей спектра вони зображені на рис. 2.

Як видно, сонячна корона 22 липня 1990 р. по формі відповідає короні епохи максимуму сонячної активності. Це підтверджується розташуванням корональних променів у синій та жовтій областях спектра, які простягаються в різних напрямках. На отриманих ізофотах досить чітко видно системи віял, положення яких (максимуми на ізофотах) відповідають позиційним кутам  $50, 140, 170, 320^\circ$ . Найбільш чітко виділяється північно-західне віяло. Уся ця система віял височіє над активними утвореннями в хромосфері.

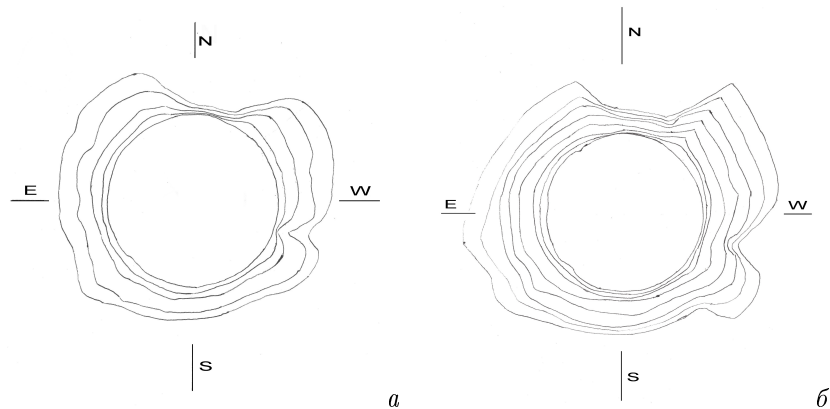


Рис. 2. Ізофоти корони 22 липня 1990 р.: *a* – у синіх променях; *б* – у жовтих променях

Загальну форму ізофот характеризує коефіцієнт стиску ізофот, який визначається за формулою Людendorфа [1]:

$$\varepsilon = \frac{d_e - d_p}{d_p},$$

$d_e$  – екваторіальний діаметр ізофоти, що визначається як середній вимір по екватору і по двох діаметрах, що нахилені до нього під кутом  $22,5^\circ$ ;  $d_p$  – полярний діаметр, що визначається аналогічно. Для низки ізофот за методом вимірювання площ було вираховано ефективний радіус [2]:

$$r_{\text{еф}} = \left( \frac{S_{\text{ізопф}}}{S_{\text{Sun}}} \right)^{1/2} \cdot R_{\text{Sun}},$$

де  $S_{\text{ізопф}}$  – площа ізофот,  $S_{\text{Sun}}$  – площа сонячного диска;  $R_{\text{Sun}}$  – радіус Сонця. Графіки показника  $\varepsilon$  показано на рис. 3.

Стиск ізофот незначний і його збільшення з віддаленням від Сонця виражене слабо (табл. 1), що цілком узгоджується із структурою корони в максимумі сонячної активності. Це вказує на тісний зв'язок характерних деталей корональної структури із проявами сонячної активності.

Табл. 1. Зміна стиску ізофот із відстанню від Сонця (в радіусах Сонця)

Область спектра	$r_{\text{еф}}/R_{\text{Sun}}$				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
синя	0,029	0,037	0,039	0,040	–
жовта	0,007	0,032	0,038	0,040	0,041

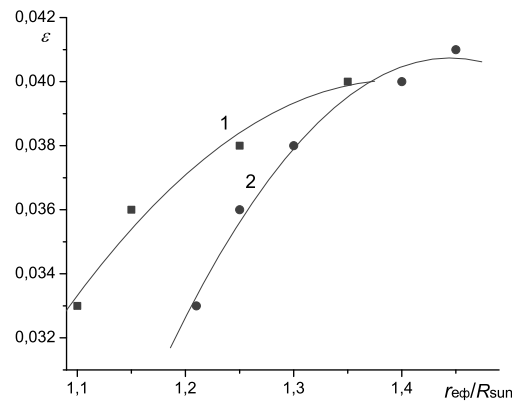


Рис. 3. Стиск ізофот: 1 — у синіх променях; 2 — у жовтих променях

Очевидно, що стиск досягає найбільшого значення на далеких ( $>1,5 R_{Sun}$ ) відстанях від Сонця. У роки максимуму це спричинене слабким впливом компоненти  $F$ , що переважає у зовнішній короні та має майже нульовий стиск. У табл. 1 наведено зміну ефективного радіуса ізофот із відстанню від Сонця.

Отже, властивості корони, як і інших активних явищ на Сонці, залежать від фази циклу сонячної активності.

**Розподіл яскравості корони.** Для кожного радіуса будувався графік залежності відносної яскравості  $I$  від відстані від краю диска  $r$ , у відносних одиницях  $\rho = r/R_{Sun}$ . Ми досліджували характер зміни функції  $I(\rho)$  для низки близько-екваторіальних і близькополярних кутів. Для цього вивчено чи відповідають криві  $I(\rho)$  степеневому закону:

$$I(\rho) = a/\rho^n \quad (1)$$

Логарифмуючи це рівняння, переходимо до рівняння прямих

$$I_i = -n\rho_i + a_i,$$

для яких за допомогою методу найменших квадратів визначали значення  $n$  і  $a_i$ .

Результат проведеного дослідження більшості кривих такий: жодна з кривих не може бути на всій своїй протяжності представлена у вигляді (1), оскільки графіки функції  $I_i(\rho_i)$  не були прямими лініями; лише в невеликому проміжку  $0-1,5R_{Sun}$  функція  $I_i(\rho_i)$  відповідає степеневому закону (1). Усереднені по областях результати представлені на рис. 4.

У табл. 2 наведено зняті з графіків (рис. 4) значення  $n$  і  $I$ . Як видно з рис. 4, повільніше яскравість падає в синіх променях, тоді як в жовтих — трохи швидше. Згідно з уявленнями про максимальну корону з'ясовано, що розподіл  $I(\rho)$  не залежить від геліографічної широти.

Табл. 2. Спад яскравості корони залежно від позиційного кута

Область спектра	Екваторіальна область		Полярна область	
	$n$	$I$	$n$	$I$
синя	15,3	89,6	14,8	67,7
жовта	12,7	72,7	12,1	63,5

Крім того, було проведене порівняння градієнта падіння яскравості для різних областей корони. З'ясовано, що це значення вище для яскравих частин корони (вздовж віял і корональних променів), де спостерігається найповільніший спад яскравості. Показник  $n$  для віял має значення порядку 15,9, тоді як в більш спокійних корональних областях він близький до 14,8 (рис. 5).

**Кольорова температура корони.** Для визначення кольорової температури корони ми застосовували формулу Планка у логарифмічному вигляді [3]:

$$(\lg I_1 - \lg I_{1,0}) - (\lg I_2 - \lg I_{2,0}) = \left[ \lg \left( \exp \left( \frac{a}{\lambda_2 T} \right) - 1 \right) - \lg \left( \exp \left( \frac{a}{\lambda_1 T} \right) - 1 \right) \right] -$$

$$- \left[ \lg \left( \exp \left( \frac{a}{\lambda_2 T_0} \right) - 1 \right) - \lg \left( \exp \left( \frac{a}{\lambda_1 T_0} \right) - 1 \right) \right]$$

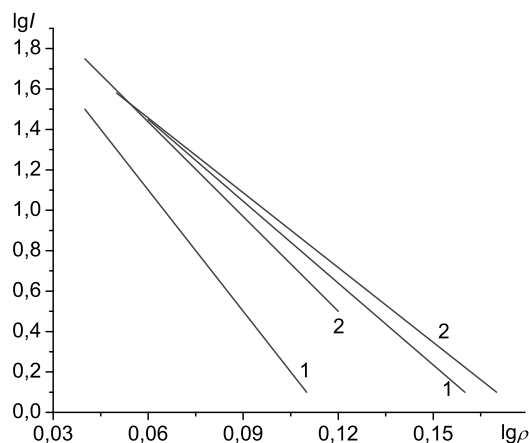


Рис. 4. Спад яскравості корони: 1 — біляполярна (жовта) область; 2 — біляекваторіальна (синя) область.

Тут  $\lambda_1 = 4,4 \cdot 10^{-5}$  см,  $\lambda_2 = 6,2 \cdot 10^{-5}$  см — довжини хвиль у синій і жовтій областях спектра,  $I_1$  і  $I_2$  — відносні інтенсивності точок корони для довжини хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ , відповідно;  $I_{1,0}$  і  $I_{2,0}$  — інтенсивності відповідних засвіток від сонячних променів, що відповідають тим самим довжинам хвиль;  $T_0$  — кольорова температура поверхні Сонця, що прийнята рівною  $6000^\circ$ ,  $T$  — шукана кольорова температура даної точки корони,  $a = hc/k$  — загальноприйняті фізичні постійні.

Добре узгоджені з попередніми дослідженнями корони [1], кольорова температура корони підвищується з відстанню від краю сонячного диску. Із цими даними по середньому радіусу ізофоти на відстані  $1,55 R_{Sun}$  кольорова температура дорівнює 5160 К.

**Поляризація випромінювання корони.** Згідно з Шварцшільдом [2], поляризація випромінювання сонячної корони є результатом електронного розсіяння випромінювання Сонця, оскільки електронний газ має здатність поляризувати випромінювання при його розсіянні. Як з'ясовано, максимум поляризації при розсіянні електронами відповідає куту розсіяння, що дорівнює  $90^\circ$ . З формули Томсона [3],

$$\delta_e = \frac{8\pi}{3} \left( \frac{e^2}{mc^2} \right)^2 = 0,66 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2,$$

розсіяння випромінювання електронами не залежить від довжини хвилі, а це в свою чергу означає, що степінь поляризації корони вздовж даного радіуса швидше зростатиме в синіх променях, ніж у жовтих. Ми дослідили поляризацію в різних променях лише у внутрішній частині корони.

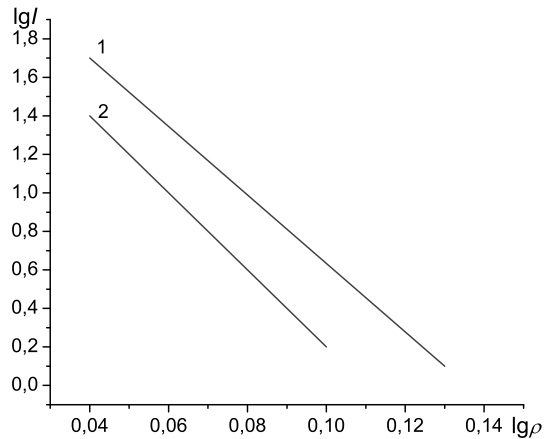


Рис. 5. Спад яскравості у різних частках корони: 1 — віяла; 2 — міжвіяльна область

Степінь і площину поляризації ми обчислювали по формулах Фесенкова [3]. У випадку, коли аналізатор повертається за позиційним кутом  $\alpha$  на  $60^\circ$  і отримані інтенсивності випромінювання корони  $I_1$ ,  $I_2$  і  $I_3$  для трьох положень аналізатора, степінь поляризації має вигляд:

$$p = \frac{I_1(I_1 - I_2) + I_2(I_2 - I_3) + I_3(I_3 - I_1)}{I_1 + I_2 + I_3}, \quad (2)$$

тут  $p$  — степінь поляризації,  $\alpha$  — позиційний кут, що відраховується від площини поляризації аналізатора,  $I_1$ ,  $I_2$  і  $I_3$  — інтенсивності випромінювання в різних напрямках. Степінь поляризації визначалась для відстаней  $(0 - 1,9)R_{Sun}$  від сонячного лімба.

На рис. 6 представлені усереднені криві для північно-західної і південно-східної частин корони. Північно-західна частина більш розвинена і тому поляризація в цьому напрямку є дещо вища, ніж у протилежному — південно-східному.

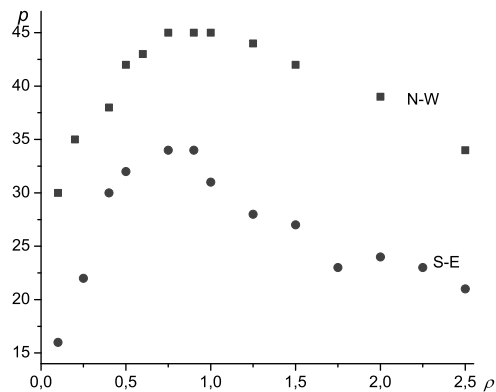


Рис. 6. Залежність степені поляризації (у відсотках) від відстані від краю сонячного диску для екваторіальної зони

При порівнянні негативів у синій і жовтій областях ми не виявили відмінності в середніх значеннях поляризації в цих областях.

Для визначення площини поляризації ми скористалися формулою з роботи [1]:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{(I_3 - I_2)}{I_1 - I_2 - I_3}.$$

Як видно з формули,  $\alpha$  не може перевищувати  $45^\circ$ . Це означає, що в разі зміни радіусів по позиційному крузі від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  максимальне відхилення може мати 4 максимуми і 4 мінімуми. Отже, до досягнення  $\alpha = 45^\circ$  починає переважати

інша складова і знак відразу змінюється, а відхилення  $\alpha$  стає  $-45^\circ$ , згодом цей кут зменшується при досягненні  $90^\circ$  від першого положення аналізатора; далі, в інших чвертях, картина повторюється. Це означає, що випромінювання корони поляризоване радіально.

#### **Висновки.**

1. Сонячна корона 22 липня 1990 року по формі відповідає короні епохи максимуму сонячної активності.
2. Стиск ізофот незначний і досягає найбільшого значення на далеких, більших за  $R_{Sun}$  відстанях від Сонця.
3. Значення градієнта падіння яскравості вище для яскравих частин корони — вздовж віял і корональних променів, нижче — у спокійних корональних областях.
4. Визначено кольорову температуру корони, що дорівнює 5160 К на відстані  $1,55 R_{Sun}$  від Сонця.
5. Визначено степінь і площину поляризації у внутрішній короні в синій і жовтій областях спектра, причому при порівнянні негативів у цих областях не виявлено відмінностей в середніх значеннях поляризації. Випромінювання корони поляризоване радіально.

- 
1. Полные солнечные затмения 25 февраля 1952 г. и 30 июня 1954 г. : Труды экспедиций по наблюдению затмений. — М. : Изд. АН СССР, 1958. — 358 с.
  2. Михайлов А. А. Теория затмений / А. А. Михайлов. — М. : ГИТТЛ, 1954. — 272 с.
  3. Положенцев Д. Д. Полное солнечное затмение 31 июля 1981 года / Д. Д. Положенцев. — Л. : Наука, 1981. — 27 с.



## INVESTIGATION OF SOLAR CORONA DURING THE ECLIPSE OF 1990

Ya. Blahodyr, M. Koval'chuk, M. Hirnyak,  
I. Laba, M. Stodilka

*Astronomikal Observatory  
of the Ivan Franko National University of Lviv  
Kyrylo and Mefodiy str., 8, 79005 Lviv, Ukraine  
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua*

We study the results of observation of the full solar eclipse that occurred on July 22, 1990. The properties of the corona are revealed to depend upon the phase of solar activity: the shape of the corona corresponding to July 22, 1990 represents that of epoch of the maximum and the compression of the corona is the largest on large distances from the edge of the solar disk. It is found that the coronal radiation is radially polarized.

**Key words:** solar corona, colour temperature, polarization of radiation.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ВО ВРЕМЯ ЗАТМЕНИЯ 1990 ГОДА

Я. Благодыр, М. Ковальчук, М. Гирняк,  
И. Лаба, М. Стодилка

*Астрономическая обсерватория ЛНУ имени Ивана Франко  
ул. Кирилла и Мефодия, 8, 79005 Львов, Украина  
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua*

Исследованы результаты наблюдений полного солнечного затмения 22 июля 1990 г. Выяснено, что особенности короны зависят от фазы цикла солнечной активности: корона 22 июля 1990 г. по форме отвечает короне эпохи максимума; сжатие короны достигает наибольшего значения на больших расстояниях от края солнечного диска. Установлено, что излучение короны поляризовано радиально.

**Ключевые слова:** солнечная корона, цветовая температура, поляризация излучения.

Статтю отримано: 27.10.2010  
Прийнято до друку: 14.07.2011