

СПОСТЕРЕЖЕННЯ СОНЯЧНОГО ЗАТЕМНЕННЯ 22 ЛИПНЯ 1990 РОКУ

*Ярослав БЛАГОДИР, Марія КОВАЛЬЧУК,
Марія ГІРНЯК, Іван ЛАБА*

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

Редакція отримала статтю 10 липня 2010 р.

Науковці Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка проводили спостереження повного сонячного затемнення 22 липня 1990 р. у найбільш зручному місці – в селищі Марково Анадирського району Магаданської області (Російська Федерація). Тут повне затемнення було видно при максимальній висоті Сонця над горизонтом (40°). Для спостережень виготовлено триоб'єктивний коронограф.

Отримано 33 фотографії внутрішньої і середньої корони. Корону фотографували в інтегральному світлі, у синій і жовтій областях спектра та в поляризованому світлі.

Сонячна корона 22 липня 1990 р. за формою відповідає короні епохи максимуму сонячної активності. Розподіл яскравості в короні не залежить від геліографічної широти. Стиск корони досягає найбільшого значення на далеких ($> 1.5 R_{Sun}$) віддалях від Сонця. На середній віддалі $1.55 R_{Sun}$ визначено кольорову температуру – 5160 К. Обчислено ступінь і площину поляризації; випромінювання корони поляризоване радіально.

1. ВСТУП

Повне сонячне затемнення 22 липня 1990 р. є повторенням через сарос (через 6585 діб) затемнення, що відбулось 10 липня 1972 р. Усі фази цього затемнення проходили по території колишнього СРСР, смуга повної фази затемнення почалася в 1 год 53 хв всесвітнього часу при сході Сонця в акваторії з $\lambda=1$ год 34.9 хв ($23^\circ 44'$ східної довготи) і $\varphi = 5^\circ 46'$, що розміщена у Фінській затоці на північний захід від острова Найсаар (Естонія). Далі тінь попрямувала на північний схід, вийшла до Білого моря, потім – до Баренцового моря, перетнула море Лаптевих і, сповільнюючи швидкість, вступила на материк, залишивши позаду річку Колиму. Тут повне затемнення було видно при максимальній висоті Сонця над горизонтом (40°). Ще більше

сповільнюючи швидкість, тінь протягом 20 хв. ковзала по території Чукотського національного округу, перетнула річку Анадир у районі селища Марково і вийшла до Берінгового моря. Далі тінь пройшла по акваторії Тихого океану і покинула Землю при заході Сонця о 4 год 12.2 хв за всесвітнім часом між Гавайськими островами і Північною Америкою.

2. ЗАДАЧІ ВИВЧЕННЯ СОНЯЧНОГО ЗАТЕМНЕННЯ

Дослідження сонячної корони проводили в таких напрямках:

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

3. УМОВИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ ЕКСПЕДИЦІЇ

Науковці Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка проводили спостереження повного сонячного затемнення 22 липня 1990 р. у найбільш зручному місці – в селищі Марково Анадирського району Магаданської області (тепер Російська Федерація).

Наведемо характеристики видимості в смузі повної фази для пункту с.Марково: момент початку часткового затемнення T_1 – 1 год 56.38 хв; момент початку повного затемнення T_2 – 3 год 2.61 хв; момент найбільшої фази T_m – 3 год 3.90 хв; момент кінця повного затемнення T_3 – 3 год 5.19 хв; момент кінця часткового затемнення T_4 – 4 год 8.77 хв (всі моменти часу подано за всесвітнім часом); найбільша фаза затемнення Φ_m – 1.018; кути положень зовнішніх і внутрішніх контактів: $Z_1 = 283^\circ$; $Z_2 = 88^\circ$; $Z_3 = 282^\circ$ і $Z_4 = 90^\circ$ [1].

Для запланованих досліджень в обсерваторії виготовлено триоб'єктивний коронограф. Фокусна віддаль об'єктивів становить 1500 мм, світлосила 1:1.5. Фотографування проводили на ізопанхроматичну аерофотоплівку зразка 38 на триацетатцелюлозній протиореольній основі шириною 6 см, розміри кадру 5 x 5 см². Для камерної частини застосовували широкоформатні фотоапарати "Київ-600". Це дало змогу, використовуючи їх барабани експозицій, будувати шкалу експозицій для різних об'єктивів і з допомогою спеціального пристрою забезпечити одночасність експозицій в усіх об'єктивах. Місткість касети кожного об'єктива 12 кадрів.

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

Коронограф встановлений на паралактичному монтуванні, часове ведення якого здійснюється за допомогою крокового двигуна. Час реєстрували спеціально створеним хронометром з пам'яттю, куди записувався час проведення експозиції.

Отримано 33 фотографії внутрішньої і середньої корони. Корону фотографували в інтегральному світлі, в синій і жовтій областях спектра через відповідні світлофільтри.

Усі ці комбінації повторили в поляризованому світлі через 3 поляроїди, площина поляризації яких була встановлена під кутом 60° відповідно в трьох об'єктивах.

4. ЗАГАЛЬНА ФОТОМЕТРІЯ КОРОНИ

Фотометрію корони проводили на кращих негативах із застосуванням світлофільтрів у синій і жовтій областях спектра. Негативи вимірювали вздовж радіальних напрямів, розташованих у різних позиційних кутах через кожні 10° . На негативи було нанесено положення добової паралелі Сонця. На негативах за тло приймали почорніння в центрі місячного диска. За край місячного диска приймали віддаль, на якій інтенсивність становила половину інтенсивності в максимумі.

Для побудови ізофот із характеристичних кривих знімали 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. Із отриманих значень були проведені ізофоти. Для синьої та жовтої областей спектра вони показані на рис. 1 і 2.

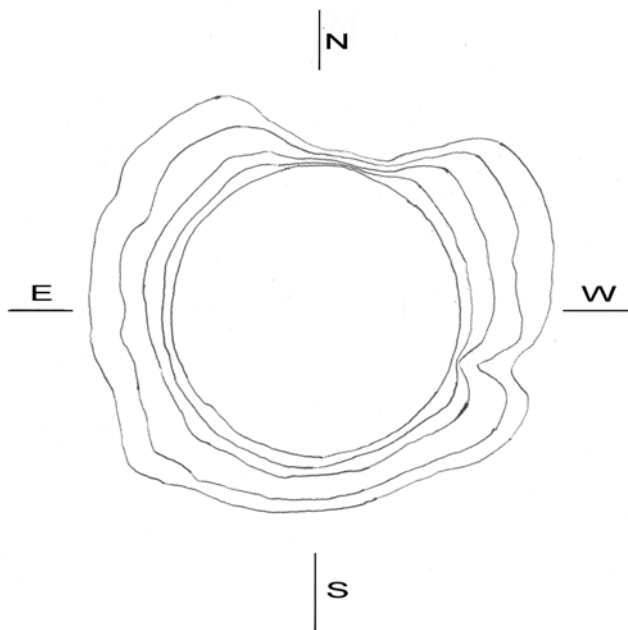


Рис. 1. Ізофоти корони 22 липня 1990 р. у синіх променях.

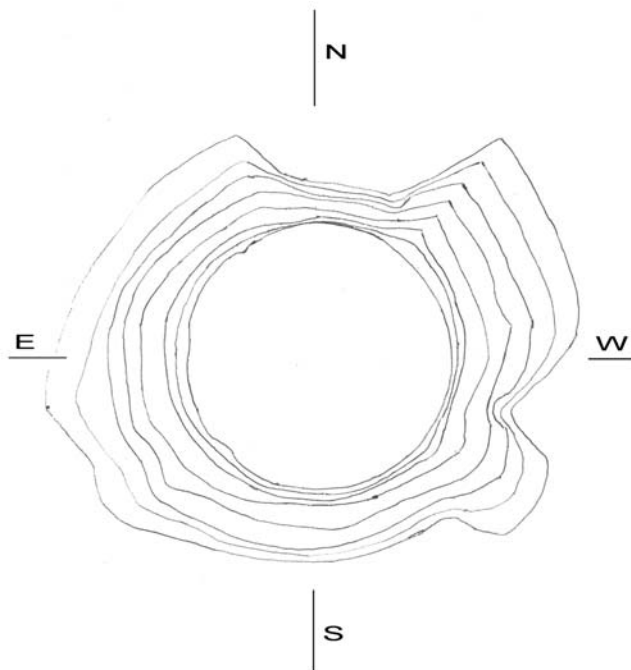


Рис. 2. Ізофоти корони 22 липня 1990 р. у жовтих променях.

Загальну форму ізофот характеризує коефіцієнт стиску ізофот, який визначається за формулою Людендорфа [2]:

$$\epsilon = \frac{d_e - d_p}{d_p}.$$

Тут d_e – екваторіальний діаметр ізофоти, що визначається як середній вимір по екватору і по двох діаметрах, нахилених до нього під кутом 22.5° ; d_p – полярний діаметр, що визначається аналогічно. Для ряду ізофот за методом вимірювання площ обчислено ефективний радіус [2]:

$$r_{ef} = \left(\frac{S_{izoph}}{S_{Sun}} \right)^{1/2},$$

де S_{izoph} – площа ізофот, S_{Sun} – площа сонячного диска. Графіки показника зображені на рис.3.

5. ФОРМА І СТРУКТУРА КОРОНИ

Як бачимо з рис. 3, стиск ізофот незначний. Збільшення стиску з віддаллю від Сонця виражене слабо (табл.1), що цілком узгоджуєть-

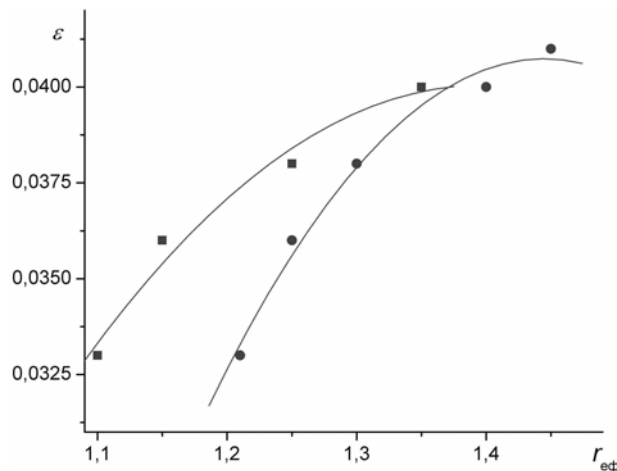


Рис. 3. Стиск ізофот.

ся зі структурою корони в максимумі сонячної активності. Це підтверджується розташуванням корональних променів у синій та жовтій ділянках 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° . Найбільш чітко виділяється північно-західне віяло. Уся ця система віял височіє над активними утвореннями в хромосфері. Це свідчить про тісний зв'язок характерних деталей корональної структури із проявами сонячної активності.

Очевидно, що стиск досягає найбільшого значення на далеких ($> 1.5 R_{Sun}$) віддалях від Сонця. У роки максимуму це викликане слабким впливом компоненти F , що переважає в зовнішній короні та має майже нульовий стиск. У табл. 1 наведена зміна ефективного радіуса ізофот із віддаллю від Сонця.

Таблиця 1. Зміна ефективного радіуса ізофот із віддаллю від Сонця

Ділянка спектра	$r_{эф}$				
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Синя	0.029	0.037	0.043	0.048	0.054
Жовта	0.007	0.012	0.015	0.047	0.069

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

6. РОЗПОДІЛ ЯСКРАВОСТІ У РІЗНИХ УЧАСТКАХ КОРОНИ

За допомогою системи ізофот, ми визначили віддалі R відповідних ізофот від центра Сонця у позиційних кутах від 0° до 350° через кожні 10° . На отримані знімки корони (негативи) було нанесено положення добової паралелі Сонця. Орієнтацію за позиційним кутом виконали за знімками часткових фаз. Позиційний кут добової паралелі виявився на 6° відхиленим від кута фотометрування. Тому потім позиційні кути перерахували так, що на рис. 1 і 2 вони рахуються від півночі до східної точки сонячного диска. Число виміряних на кожному даному радіусі точок залежить від протяжності корони в цьому напрямі. Діаметр сонячного диска дорівнює 14.127 мм (виміряно на приладі МИР-12).

Для кожного радіуса будували графік залежності відносної яскравості $I(\rho)$ від віддалі від краю диска ρ/R_{Sun} . Ми досліджували характер зміни функції $I(\rho)$ для низки близькоекваторіальних і близькополярних кутів. Для цього вивчали, чи задовольняють криві $I(\rho)$ степеневий закон:

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

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 таких: жодна крива 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 $0.9 < \rho < 1.5R_{Sun}$ функція $I_i(\rho_i)$ задовольняє степеневий закон (1). Усереднені результати представлені на рис.4.

Таблиця 2. Спад яскравості корони залежно від позиційного кута

Ділянка спектра	Екваторіальна область		Полярна область	
	n	I_0	n	I_0
Синя	15.3	89.6	14.8	67.7
Жовта	12.7	72.7	12.1	63.5

У табл. 2 наведені зняті з графіків значення n і I_i . Як бачимо, повільніше яскравість падає в синіх променях, тоді як у жовтих – трохи швидше. Згідно з уявленнями про максимальну корону, розподіл $I(\rho)$ не залежить від геліографічної широти.

Крім цього, порівняли градієнт падіння яскравості для різних областей корони. З'ясувалося, що це значення більше для яскравих частин корони (вздовж віял і корональних променів), де спостерігається найповільніший спад яскравості. Показник n для віял має значення близько 15.9, тоді як у більш спокійних корональних областях він близький до 14.8 (рис.5).

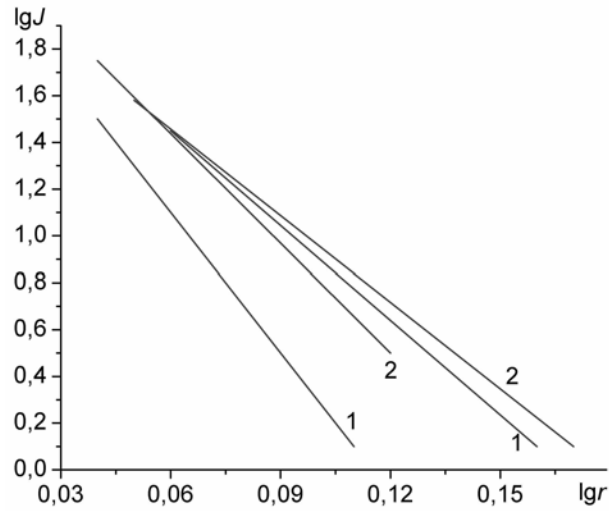


Рис. 4. Спад яскравості корони 1 – біляполярна (жовта) область; 2 – біляекваторіальна (синя) область.

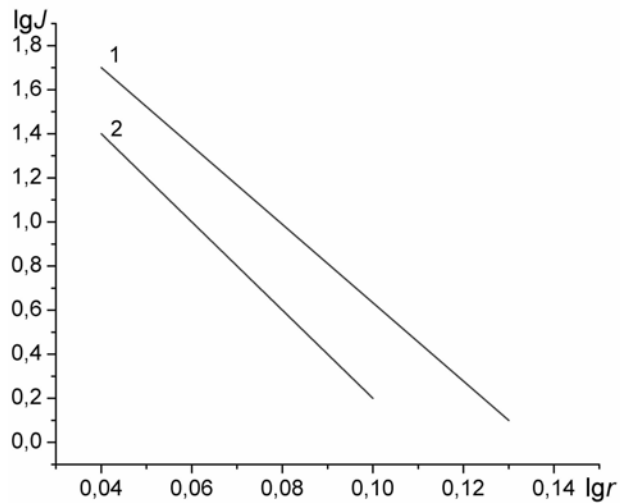


Рис. 5. Спад яскравості у різних учасках корони: 1 – віяла, 2 – міжвіяльна область.

7. КОЛОРИМЕТРІЯ КОРОНИ

Однією з суттєвих характеристик випромінювання сонячної корони є розподіл енергії за спектром, що вивчається колориметрично. Тут

під терміном “кольорова температура” корони мається на увазі така температура абсолютно чорного тіла, при якій колір його випромінювання не відрізняється від кольору даного джерела світла.

Для визначення кольорової температури корони застосовували формулу Планка у логарифмічному вигляді [3]:

$$(\lg I_1 - \lg I_{1,0}) - (\lg I_2 - \lg I_{2,0}) = \left[\lg \left(\exp\left(\frac{a}{\lambda_2 T}\right) - 1 \right) - \lg \left(\exp\left(\frac{a}{\lambda_1 T}\right) - 1 \right) \right] - \left[\lg \left(\exp\left(\frac{a}{\lambda_2 T_0}\right) - 1 \right) - \lg \left(\exp\left(\frac{a}{\lambda_1 T_0}\right) - 1 \right) \right]$$

де $\lambda_1 = 4.4 \cdot 10^{-5}$ 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 λ_1 і λ_2 , відповідно. $I_{1,0}$ і $I_{2,0}$ – інтенсивності відповідних засвіток від сонячних променів, що відповідають тим же довжинам хвиль; T_0 – кольорова температура поверхні Сонця, що дорівнює 6000° ; T – шукана кольорова температура даної точки корони; $a = \frac{hc}{k}$ – загальноприйняті фізичні константи.

У доброму узгодженні з попередніми дослідженнями корони [4] кольорова температура корони зростає з віддаллю від краю сонячного диска. Із цими даними по середньому радіусу ізофоти на середній віддалі $1.55 R_{Sun}$ кольорова температура дорівнювала 5160 К.

8. СТУПІНЬ І ПЛОЩИНА ПОЛЯРИЗАЦІЇ ВИПРОМІНЮВАННЯ КОРОНИ

Як відомо, сонячна корона складається переважно з двох частин. Перша складова – електронний газ (внутрішня частина) K ; друга складова – пилова (зовнішня корона) F . З метою розділення корони на дві складові можна скористатись також даними про поляризацію, тобто для кожного значення P визначене відношення між електронним газом і пиловою частиною корони. З відношення складових K і F отримують фактор f :

$$f = \frac{K}{F + K}.$$

Якщо фактор f помножити на теоретичне значення P , то отримується спостережуване значення ступеня поляризації.

За Шварцшільдом [3], поляризація випромінювання сонячної корони є результатом електронного розсіяння випромінювання Сонця, оскільки електронний газ має здатність поляризувати випромінювання при його розсіянні. Як з'ясувалося, максимум поляризації при розсіянні електронами відповідає куту розсіяння, що дорівнює 90° . З формули Томсона [5]

$$\delta_e = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 = 0.66 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$$

розсіяння випромінювання електронами не залежить від довжини хвилі, а це своєю чергою означає, що ступінь поляризації корони

вздовж даного радіуса має зростати швидше в синіх променях, ніж у жовтих. Ми провели дослідження поляризації в різних променях лише у внутрішній частині корони.

Ступінь і площину поляризації ми обчислювали за формулами Фесенкова [6]. У випадку, якщо аналізатор повертається за позиційним кутом α на 60° і отримано інтенсивність випромінювання корони I_1 , I_2 і I_3 для трьох положень аналізатора, ступінь поляризації має такий вигляд:

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

Ступінь поляризації визначали для віддалей 1.0 – 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 напрямі трохи вища, ніж у протилежному – південно-східному.

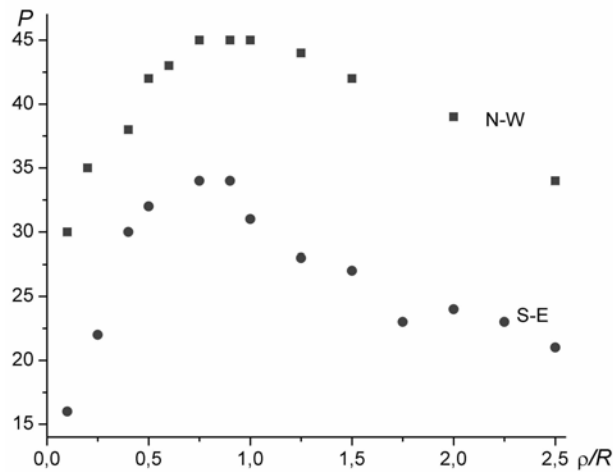


Рис. 6. Залежність ступеня поляризації (у відсотках) від віддалі від краю сонячного диска для екваторіальної зони.

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

Площину поляризації визначали за формулою:

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

Ця формула дає змогу отримати орієнтацію площини поляризації лінійно поляризованого світла, маючи інтенсивності I_1 , I_2 , I_3 .

Як бачимо, α не може перевищувати 45° . Це означає, що при зміні радіусів по позиційному колу від 0° до 360° максимальне відхилення може мати 4 максимуми і 4 мінімуми. Це означає, що до досягнення $\alpha = 45^\circ$ починає переважати інша складова і знак відразу змінюється, а відхилення α стає -45° . Потім цей кут зменшується при досягненні 90° від першого положення аналізатора. Далі, в інших чвертях картина повторюється. Отже, випромінювання корони поляризоване радіально.

9. ВИСНОВКИ

1. Сонячна корона 22 липня 1990 р. за формою відповідає короні епохи максимуму сонячної активності.
2. Стиск ізофот незначний і досягає найбільшого значення на далеких $> 1.5 R_{Sun}$ віддалях від Сонця.
3. Значення градієнта падіння яскравості вище для яскравих частин корони – вздовж віял і корональних променів.
4. Визначено кольорову температуру корони: 5160 К на середній віддалі $1.55 R_{Sun}$ від Сонця.
5. Визначено ступінь і площину поляризації у внутрішній короні в синій і жовтій ділянках спектру, причому при порівнянні негативів не виявлено відмінностей у середніх значеннях поляризації.
6. Поляризація у північно-західній частині корони вища, ніж у південно-східній, оскільки ці частини корони дещо відрізняються у структурному розвитку.
7. Позиційний кут α не перевищує 45° , отже найбільше відхилення має 4 максимуми і 4 мінімуми, а це означає, що випромінювання корони поляризоване радіально.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] *Астрономический календарь на 1990 год.* Под ред. Д.Н.Пономарева. М.: Наука, 1989. 336 с.
- [2] *Полные солнечные затмения 25 февраля 1952 г. и 30 июня 1954 г.: Тр. экспедиций по наблюдению затмений.* М.: Изд-во АН СССР, 1958. 358 с.
- [3] *Стоянова К.Т.* Труды экспедиций по наблюдению полного солнечного затмения 21 сентября 1941 года. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 169 с.
- [4] *Михайлов А.А.* Теория затмений. М.: ГИТТЛ, 1954. 272 с.
- [5] *Солнечное затмение 31 июля 1981 года и его наблюдение.* Под ред. А.А.Михайлова. М.: Наука, 1980. 159 с.

- [6] *Положенцев Д.Д.* Полное солнечное затмение 31 июля 1981 года. Л.: Наука, 1981. 27с.

SOLAR ECLIPSE ON JULY 22-ND 1990 AND ITS OBSERVATION

*Yaroslav BLAGODYR, Mariya KOVALCHUK,
Mariya HIRNYAK, Ivan LABA*

Lviv Ivan Franko National University,
8 Kyrylo and Mefodiy Str., Lviv 79005
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua

Scientists of Astronomic Observatory at the Lviv Ivan Franko National University observed a full solar eclipse on July 22 nd 1990 at the most convenient place – village Marcovo of Anadyr district of Magadan region (Russian Federation). The place has been chosen due to the maximal altitude of the Sun above the horizon – 40° .

The three-objective coronagraph was constructed for observations. There were obtained 33 photographs of the inner and middle corona. The corona was photographed in integral light, in blue and yellow ranges of the spectrum and in polarized light.

The solar corona on July 22nd 1990 is of the shape that corresponds to corona of the maximum of solar activity. The distribution of brightness in the corona does not depend on heliographic latitude. The compression of corona reaches its maximum value at far (> 1.5) distances from the Sun. The colour temperature was determined at the middle distance of 1.5 – it turned out to be 5160 K. The value and plane of polarization were calculated; the radiation of corona has got a radial polarization.