

**ДОПОВІДІ АКАДЕМІЇ НАУК  
УКРАЇНСЬКОЇ РСР**

**Серія „А“**

**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ  
ТА ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

**ОКРЕМИЙ ВІДБИТОК**

**№ 7**

**КИЇВ — 1979**

В. М. ДУДИНОВ, В. М. ЄРОХІН, С. Г. КУЗЬМЕНКОВ,  
В. С. РИЛОВ, В. С. ЦВЕТКОВА, М. Ф. ШАБАНОВ

## ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ ДІАМЕТРІВ ЗІРОК НА ВТА

(Представлено академіком АН УРСР С. Я. Брауде)

Однією з головних проблем спостережної астрономії є проблема підвищення просторового розділення при спостереженнях через турбулентне середовище. Значна активізація досліджень у цьому напрямку зумовлена досягненнями методу плямистої інтерферометрії [1—7], який дозволяє одержувати інформацію про зображення на дифракційній межі розділення великих телескопів.

В ізопланатичній області зв'язок між зображенням та істинною функцією об'єкта описується рівнянням згортки

$$F(x, y) = f(x, y) \otimes g(x, y), \quad (1)$$

де  $f(x, y)$  — розподіл інтенсивності в об'єкті,  $F(x, y)$  — розподіл інтенсивності в зображенні.

При спостереженні через турбулентне середовище апаратна функція  $g(x, y)$ , яка визначає якість одержаного зображення, є випадковою і залежить від тривалості експозиції та стану атмосфери в момент одержання зображення. Лабейрі [1] помітив, що при досить коротких експозиціях, для яких параметри атмосфери можна вважати незмінними, енергетичний спектр просторових частот таких «миттєвих» зображень  $F(x, y)$  можна виміряти до межової частоти, яка визначається діаметром телескопа  $D$ . При тривалій експозиції  $g(x, y)$ , як відомо, досить добре описується функцією Гауса з дисперсією  $\sim 1''$ .

Обробка миттєвих зображень полягає в усередненні квадратів перетворювань Фур'є окремих зображень. При такій процедурі фазова інформація відносно спектра об'єкта губиться і результатом обробки буде лише функція автокореляції обробленого зображення. Автокореляційна функція може бути використана при побудові астрофізичних моделей зірок, а також для визначення відстаней та позиційних кутів між компонентами тісних зоряних пар. Але найбільший інтерес викликає задача відтворення істинної функції об'єкта, яка вимагає складніших алгоритмів обробки. Зараз ця проблема перебуває в стадії активного обговорення (наприклад, [2, 4, 6, 7]).

У даному повідомленні наведені результати спостережень деяких яскравих зірок методом плямистої інтерферометрії. Плямисті зображення були одержані на 6-метровому телескопі ВТА Спеціальної Астрофізичної обсерваторії АН СРСР у рамках договору про науково-технічне співробітництво між САО АН СРСР та Астрономічною обсерваторією Харківського державного університету. Обробка спостережного матеріалу виконувалася на когерентно-оптичному обчислювачі АО ХДУ [8].

Усереднення квадратів перетворювань Фур'є окремих плямистих зображень, зареєстрованих на фотоплівці, зручно виконувати на когерентно-оптичному спектроаналізаторі. Єдина умова, яку необхідно виконати, це забезпечити лінійність сигналу на вході спектроаналізатора відносно інтенсивності світла у фокальній площині телескопа. Наступна обробка квадратів спектрів може проводитися із звичайною для відносно фотометрії точністю — 2—3 проценти.

У когерентно-оптичному обчислювачі АО ХДУ значне зниження шуму, властивого таким обчислювальним приладам, реалізується зменшенням більш ніж удвічі кількості оптичних елементів та скороченням шляху проміння у склі. Перше досягається відмовленням від коліматор-

ра, формуючого паралельний світловий пучок, та використанням оптико-механічних вузлів, що виконують одночасно функції імерсійних кювет та Фур'є-перетворюючих об'єктивів. Друге — використанням замість складних багатокомпонентних об'єктивів найпростішої сферичної оптики з малою (1 : 24) світлосилою.

Були оброблені плямисті зображення  $\alpha$  Lyr,  $\alpha$  Boo,  $\alpha$  CMi,  $\alpha$  Ori та  $\alpha$  Aug, одержані у 400-метровому еквівалентному фокусі телескопа ВТА. Спостережений матеріал був експонований на високочутливий

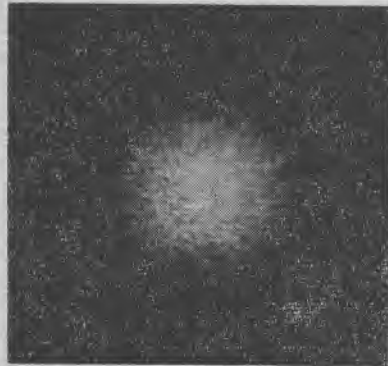


Рис. 1. Плямисте зображення  $\alpha$  Aug, одержане у 400-метровому еквівалентному фокусі ВТА.

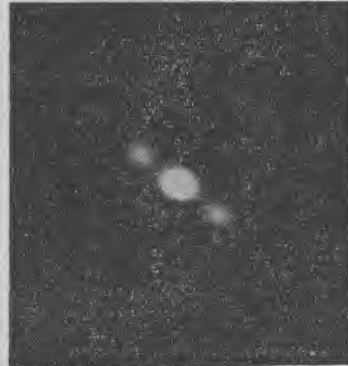


Рис. 2. Автокореляційна функція  $\alpha$  Aug, одержана по 50-ти плямистих зображеннях.

плівці Тип-22, при проявленні якої, як і на наступному етапі одержання позитивних копій, ретельно додержувалися вимоги лінійності. Усредненню піддавалися від 100 до 200 спектрів плямистих зображень, при цьому кінострічка із зображеннями для компенсації фазового шуму протягувалась у вхідній площині спектроаналізатора в імерсійній рідині.

На рис. 1 подано плямисте зображення зірки  $\alpha$  Aug, на рис. 2 — її автокореляційна функція. Відстань між компонентами  $\alpha$  Aug для епохи 2 443 523, 138 дорівнює  $0'',054 \pm 0'',003$  при позиційному куті  $227^\circ \pm 4^\circ$ .

На рис. 3 зображені фотометричні розрізи усереднених квадратів спектрів  $\alpha$  CMi (крива 1) та  $\alpha$  Ori (крива 2). По вертикальній осі відкладено інтенсивність у відносних одиницях, по горизонтальній — просторову частоту в одиницях дифракційного розділення 6-метрового телескопа. Зірки  $\alpha$  Lyr та  $\alpha$  CMi використовувалися як опорні.

Зірка  $\alpha$  Ori є надгігантом з кутовим діаметром, який, згідно з існуючими оцінками, міститься в інтервалі  $0'',04 - 0'',07$ , маючи тенденцію до зростання у короткохвильовій частині спектра [2]. Наші результати —  $0'',043 \pm 0'',004$  при  $\lambda_{\text{eff}} = 6600 \text{ \AA}$  у припущенні рівномірно світлого диска для епохи 2 443 565, 180. Кутовий діаметр  $\alpha$  Boo при  $\lambda_{\text{eff}} = 6200 \text{ \AA}$  для епохи 2 443 262, 625 дорівнює  $0'',018 \pm 0'',004$ , також у припущенні рівномірно світлого диска. Відзначимо, що наші оцінки належать до більш довгохвильового спектрального діапазону, ніж існуючі [2, 3, 5].

Вимірювання усереднених квадратів спектрів проводилися до частоти, що дорівнює 0,8 межової, операція ж ділення спектра протяжного джерела на усереднену оптичну передаточну функцію зупинялася на частоті 0,6 межової, де похибка вимірювання спектральної щільності, зумовлена в основному фотографічним носієм на вході спектроаналізатора, дорівнює 10 процентів.

Недоліком методу Лабейрі є занадто велика втрата енергії при одержанні плямистих зображень, пов'язана з необхідністю застосовувати дуже малі ( $\tau \approx 0,001$  сек) експозиції при досить жорстких обмеженнях на часову когерентність (ширина спектрального інтервалу  $\Delta\lambda = 50 \text{ \AA}$ ). В цій роботі вивчалася можливість підвищення експозиції і розширення спектрального інтервалу в умовах реальних спостережень на 6-метровому телескопі ВТА.

Для якісного аналізу впливу ширини спектрального інтервалу на вигляд плямистої картини, одержаної від точкового джерела, турбулентне середовище зручно розглядати як глибоку випадкову фазову решітку, розміщену у вхідній зіниці телескопа. При глибокій фазовій решітці, коли різниця ходу інтерферуючих пучків, відрахована від середньої площини, перевищує довжину хвилі, нульовий максимум розділяється на ряд яскравих плям, кожна з яких є ре-

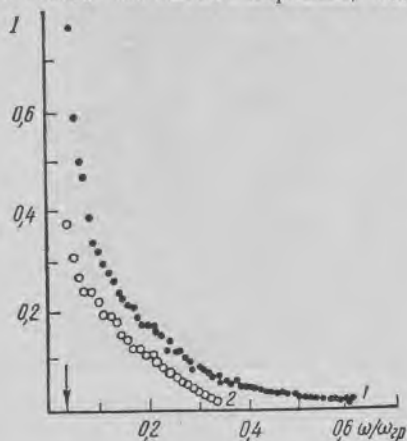


Рис. 3. Середній квадрат ОПФ системи телескоп+атмосфера (1) і спектральна щільність плямистих зображень  $\alpha$  Огі (2).

зультатом інтерференції пучків, відбитих від різних ділянок дзеркала. В максимумах нульового порядку різниця ходу інтерферуючих пучків дорівнює нулю і не залежить від довжини хвилі. Максимуми інтенсивності плямистого зображення будуть спостерігатися також у точках, де різниця ходу дорівнює  $n\lambda$  ( $n$  — ціле). У монохроматичному світлі інтерференційні максимуми різних порядків не розрізняються. При відсутності атмосферної дисперсії з розширенням спектральної смуги яскравість підвищується лише в максимумах нульового порядку, максимуми ж вищих порядків розтягуються в радіальних напрямках. Кут дифракції першого порядку визначається характерним розміром турбулентності  $d$  і складає величину  $\lambda/d$ . При обраному спектральному інтервалі  $\Delta\lambda$  величина розтягування максимумів першого порядку повинна бути значно меншою за ширину максимуму, тобто:

$$\frac{\Delta\lambda}{d} \ll \frac{\lambda}{D}, \quad (2)$$

що приводить до умови

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \gg \frac{D}{d}. \quad (3)$$

Для 6-метрового телескопа величина  $D/d \approx 60$ , що накладає досить жорсткі обмеження на ширину спектрального інтервалу, а саме: при  $\lambda_{\text{eff}} = 6000 \text{ \AA}$   $\Delta\lambda < 100 \text{ \AA}$ .

Наявність атмосферної дисперсії приводить до розтягування максимумів нульового порядку та до додаткового викривлення максимумів вищих порядків. При нормальних атмосферних умовах при  $\lambda_{\text{eff}} = 6200 \text{ \AA}$  та  $\Delta\lambda = 50 \text{ \AA}$  розтягування нульових максимумів за рахунок атмосферної дисперсії складає  $0'',018$  при  $z = 45^\circ$ , тобто стає порівняльним з дифракційним розділенням 6-метрового телескопа.

При наших спостереженнях умова (3) не виконувалася. Ширина спектрального інтервалу вибиралася із міркувань досягнення нормаль-

ної густини негативу і дорівнювала 600 Å для  $\alpha$  CMi,  $\alpha$  Ori і 1400 Å для  $\alpha$  Lyr,  $\alpha$  Boo. Використання такого широкого спектрального діапазону зменшує відношення сигнал — шум на частотах, близьких до дифракційної границі. Вплив атмосферної дисперсії приводить до додаткової втрати розділення по одній координаті, тому фотометрія усереднених квадратів спектрів виконувалась лише у напрямку, перпендикулярному атмосферній дисперсії, де її вплив мінімальний.

Збільшення експозиції також викликає зменшення внеску вищих просторових частот. У цій роботі експозиції були від 0,03 до 0,006 сек. Використання ширшого спектрального інтервалу та порівняльно тривалих експозицій ставить додаткові вимоги до рівності умов одержання зображень досліджуваної зірки і зірки порівняння, зокрема до різниці зенітних відстаней, експозицій та спектральних діапазонів, що враховувалося при одержанні спостережного матеріалу.

### Література

1. *Labeyrie A.* Attainment of diffraction-limited resolution in large telescopes by Fourier analysing speckle patterns in star images.— *Astron. a. Astrophys.*, 1970, 6, N 5, p. 85—87.
2. *Lynds C. R., Worden S. P., Harvey J. W.* Digital image reconstruction applied to Alpha Orionis.— *Astrophys. Journ.*, 1976, 207, N 1, p. 174—180.
3. *Worden S. P.* Digital analysis of speckle photographs: the angular diameter of Arcturus.— *Publ. of the Astron. Soc. of Pac.*, 1976, 88, p. 69—72.
4. *Bates R. H. T., McDonnell M. J., Gough P. T.* Imaging through randomly fluctuating media.— *Proc. IEEE*, 1977, 65, N 1, p. 138—143.
5. *Blazit A., Bonneau D., Koechlin L., Labeyrie A.* The digital speckle interferometer: preliminary results on 59 stars a. 3C 273.— *Astrophys. Journ.*, 1977, 214, L79—L84.
6. *Knox K. T., Thompson B. J.* Recovery of images from atmospherically degraded short-exposure photographs.— *Astroph. Journ.*, 1974, 193, L45—L48.
7. *Stachnik R. V., Nisenson P., Ehn D. C., Hudgin R. H., Shirf V. E.* Speckle image reconstruction of solar features.— *Nature*, 1977, 266, N 10, p. 149—151.
8. *Дудинів В. Н., Цветкова В. С., Кришталь В. А.* и др. Когерентно-оптический вычислитель Харьковского университета.— *Вестн. Харьк. ун-та. Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия*, 1977, № 160, с. 65—76.

Астрономічна обсерваторія  
Харківського державного університету

Надійшла  
12.XII 1978 р.

V. N. DUDINOV, V. N. EROKHIN, S. G. KUZ'MENKOV,  
V. S. RYLOV, V. S. TSVETKOVA, M. F. SHABANOV

### MEASURING OF ANGULAR DIAMETERS OF STARS BY LTA

(Presented by S. Ya. Braude, Member Academy of Sciences Ukrainian SSR)

#### Summary

Speckle interferometric study of  $\alpha$  Lyr,  $\alpha$  Boo,  $\alpha$  CMi,  $\alpha$  Ori and  $\alpha$  Aur is presented. The speckle images were obtained with the Special Astrophysical Observatory 6-meter telescope LTA, using the photographic registration technique. The Fourier transforms averaging was realized with the coherent optical processor of the Kharkov Astronomical Observatory. The well-known spectroscopic binary  $\alpha$  Aur is clearly resolved, component separation being  $0''.54$ . The estimated angular diameters of  $\alpha$  Boo and  $\alpha$  Ori are  $0''.018 \pm 0''.004$  and  $0''.043 \pm 0''.004$ , respectively, for a uniformly illuminated disk model. The results, as compared with those of other authors, belong to somewhat larger wave lengths. The problems of extreme bandwidth and exposure for the LTA real seeing conditions are also discussed.