

УДК 523.64-355

**Часові варіації інтенсивностей  
окремих спектральних ліній комети Галлея  
та дослідження їхніх кореляцій**

С. А. Борисенко, Г. К. Назарчук, Л. М. Шульман

Головна астрономічна обсерваторія НАН України  
03680, МСП, Київ-127, Голосіїв

*Проаналізовано результати спектрофотометрії комети Галлея, виконаної Г. К. Назарчук у 1985 р. за допомогою телевізійного сканера 6-м телескопа САО (Росія). Досліджено варіації з часом інтенсивностей ліній CN, CH, C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub> у серії спектрів, отриманих 13 листопада 1985 р. в спектральному діапазоні λλ 410—510 нм. Обчислено автокореляційні функції для всіх ліній вищевказаних елементів та проведено аналіз Фур'є для визначення частот та періодів варіацій.*

*ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ КОРЕЛЯЦИЙ, Борисенко С. А., Назарчук Г. К., Шульман Л. М. — Проанализированы результаты спектрофотометрии кометы Галлея, выполненной Г. К. Назарчук в 1985 г. с помощью телевизионного сканера 6-м телескопа САО (Россия). Исследованы временные вариации интенсивностей линий CN, CH, C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub> в серии спектров, полученных 13 ноября 1985 г. в спектральном диапазоне λλ 410—510 нм. Вычислены автокорреляционные функции для всех линий вышеуказанных элементов и выполнен анализ Фурье для определения частот и периодов вариаций.*

*TIME VARIATIONS OF SOME LINES IN COMET HALLEY SPECTRA AND INVESTIGATION OF THEIR CORRELATIONS, by Borysenko S. A., Nazarchuk H. K., Shulman L. M. — Some results of the analyses of the Comet Halley spectrophotometry which has been carried out by H. K. Nazarchuk in 1985 with the TV scanner of the 6-meter telescope (SAO, Russia) are presented. Time variations in the intensities of the CN, CH, C<sub>2</sub>, and NH<sub>2</sub> bands were investigated using the series of spectra obtained on 13 November in the spectral region λλ 410—510 nm. Autocorrelation functions for all bands and their Fourier transformations are calculated for the determination of frequencies and periods of the variations.*

**ВСТУП**

Використання спектральних часових рядів для дослідження комет дає змогу визначити ряд важливих фізичних характеристик цих небесних тіл, зокрема

Таблиця 1. Серії кометних спектрів

Дата	Діапазон	Метод	Спостережачі
Листопад 11	<i>V</i>	N(1), C(1)	А, Л, Ш
Листопад 12	<i>V</i>	N(1), C(1)	А, Л, Ш
	<i>B</i>	N(1), C(1)	
	<i>G</i>	N(1), C(1)	
	<i>R</i>	N(1), C(1)	
	<i>R</i>	N(4)	
Листопад 13	<i>B</i>	N(29), S(7)	А, Л, Ш, Н
Листопад 14	<i>VB</i>	N(13)	А, Л, Н, Ш
Листопад 15	<i>VB</i>	N(36), S(7)	А, Л, Н, Ш
Грудень 8	<i>R</i>	N(1), NN(1), C(1)	Н
	<i>G</i>	N(1), NN(1), C(1)	
	<i>B</i>	N(1), NN(1), C(1)	
	<i>V</i>	C(1)	
Грудень 9	<i>V</i>	N(1), NN(1), C(1)	Н
	<i>B</i>	N(1), NN(1), C(1)	
	<i>R</i>	NN(31)	
Грудень 10	<i>R</i>	NN(17)	Н
	<i>B</i>	NN(15)	
Грудень 11	<i>G</i>	NN(27)	Н
Грудень 12	<i>R</i>	NN(34)	Н

Спостережачі: А — В. Л. Афанасьєв, Л — В. Д. Липовецький, Н — Г. К. Назарчук, Ш — Л. М. Шульман

з'ясувати ступінь хімічної однорідності ядра. Такого роду спостереження вимагають застосування великих телескопів і стали можливими лише в останні 20 років завдяки впровадженню високоефективних приймачів світла та комп'ютерної обробки інформації.

Унікальні серії спектروفотометричних спостережень були виконані в листопаді-грудні 1985 р. під час проходження комети Галлея поблизу перигелію. Спостереження, попередній аналіз даних та ідентифікацію ліній проводила Г. К. Назарчук [1] з допомогою колег з САО (Росія). Отримані часові спектральні ряди характеризуються досить доброю комбінацією високої спектральної (менше 0.1 нм на канал), кутової (4") та часової (5—10 хв) роздільної здатності. Досліджувались спектральні участки *R*, *G*, *B*, *VB*, *V*. Всього отримано біля 500 спектрів (табл. 1). В даній роботі серії спектральних спостережень від 13 листопада 1985 р. в області *B* (410—510 нм) використана для дослідження часових варіацій в спектральних лініях.

#### СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Як спектральний прилад застосовувався TV-сканер, встановлений у фокусі Несміта 6-м телескопа БТА. Використана дифракційна ґратка з дисперсією 5 нм/мм. Вся довжина спектру у вхідному вікні розміром 18 мм розподілялась по 1024 спектральних каналах, які одночасно реєстрували фотоелектрони. Діапазон чутливості фотокатода  $\lambda\lambda$  332—660 нм.

Маска з двома прямокутними діафрагмами розміром 4" вирізала з вхідної щілини спектрографа дві області комети, розділені проміжком 40". Таким чином, сканер отримував два спектри одночасно. Використовувались чотири положення діафрагм (рис. 1): положення *N* — ядро та область коми на відстані 40" від ядра; *C* — дві області коми на відстані 20" по обидва боки ядра; *NN* — область на відстані 4" від ядра та точка в голові комети на відстані 36" від ядра; *S* — кома та зоря покрита комою.

Всі спектри являють собою масиви з 1024 відліків. Кожний відлік є цілим числом фотоелектронів, що потрапили в один з 1024 каналів. Для обох просторових каналів було отримано дисперсійні криві та проведено

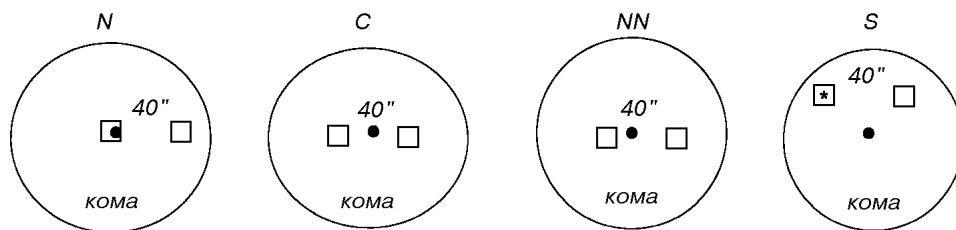


Рис. 1. Орієнтація діафрагми при спостереженнях

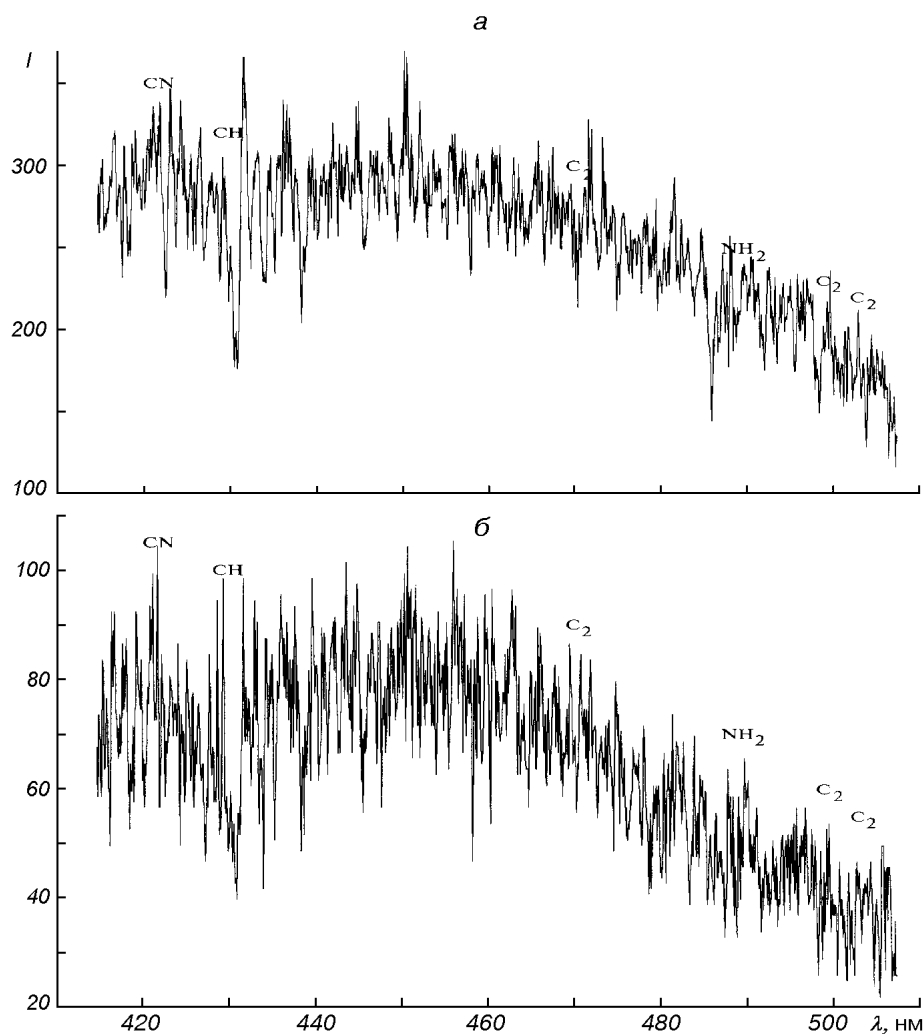


Рис. 2. Спектри, отримані 13 листопада 1985 р.: а — спектр ядра  $20^{\text{h}}41^{\text{m}}33.5^{\text{s}}$ , б — спектр коми  $21^{\text{h}}11^{\text{m}}57^{\text{s}}$

калібровку з використанням зір порівняння. Під час попередньої обробки даних були враховані ефекти впливу геомагнітного поля та атмосферна екстинкція.

Для детального дослідження було вибрано серію від 13 листопада 1985 р., що складається з 28 спостережень спектрів, виконаних впродовж 3 год. Оскільки експозиція індивідуальних спектрів вар'ювалася від 200 до 300 с, для подальших обчислень всі дані були зведені до експозиції 300 с.

На рис. 2 наведено два типових спектри відносної інтенсивності  $I$  (кількість фотоелектронів на канал) для ядра та коми. Видно велику

кількість спектральних деталей. Відношення сигналу до пуассонівського шуму лежить в межах 15—18 для спектрів ядра і 5—8 для спектрів коми, що цілком достатньо для обґрунтування висновків даної статті.

**ВАРІАЦІЇ ІНТЕНСИВНОСТІ В ОКРЕМИХ ЛІНІЯХ**

З досліджуваної серії були визначені пікові інтенсивності смуг C<sub>2</sub>, CN, CH, NH<sub>2</sub> (табл. 2) та побудовано графіки їх зміни з часом. Внесок випромінювання континууму в кожний пік не визначався. На рис. 3 подано графіки  $I_m + I_k = f(t)$ , на яких видно характерну для всіх ліній зміну інтенсивності з проміжком між максимумами близько 2 год 15 хв. Очевидно, що такі швидкі зміни інтенсивності не можуть бути проявом обертання ядра комети, період якого становив 59 годин, спричинені внутрішніми процесами.

Таблиця 2. Список досліджуваних спектральних ліній

$\lambda$ , нм	$\lambda$ , нм	$\lambda$ , нм	$\lambda$ , нм
— CN —	468.35	501.80	501.50
419.65	469.50	502.25	502.25
419.90	470.25	503.35	— CH —
420.50	471.30	503.90	429.05
420.80	473.50	505.40	429.35
421.10	494.20	505.65	430.00
421.35	496.65	— NH <sub>2</sub> —	430.35
— C <sub>2</sub> —	497.00	492.50	431.35
436.30	499.15	493.75	433.05
436.50	499.65	494.50	433.55
437.10	500.60	495.45	433.85
438.20	501.40	499.20	

Наприклад, тим, що в активних областях ядра відбувається виверження пилу та газу, яке дає збільшення інтенсивності у всіх лініях. Частина пилу осідає та закриває вихід газу з активної області. Маємо зменшення інтенсивності в лініях. Згодом з підвищенням газового тиску під пиловим шаром активна область відкривається, і процес повторюється. Звичайно немає підстав твердити, що значення 2 год 15 хв є справжнім періодом, бо часовий ряд занадто короткий, але таке твердження принаймні не суперечить спостереженням.

**КОРЕЛЯЦІЙНІ ФУНКЦІЇ**

Для обчислення кореляційних функцій для даного випадку нееквідистантних часових рядів використано такий підхід. За означенням кореляційна (коваріаційна згідно з [2]) функція має вигляд

$$K(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t)F(t + \tau)dt. \tag{1}$$

Дискретний ряд можна розглядати як добуток неперервного ряду на часове вікно, що є сумою дельта-функцій  $\delta(t - t_i)$ , де  $t_i$  — моменти отримання (середини експозицій) кожного спектру; тоді масив нееквідистантних даних  $F(t)$  можна подати у вигляді

$$F(t) = \sum_{i=1}^N A(t)\delta(t - t_i). \tag{2}$$

Підставимо (2) в (1):

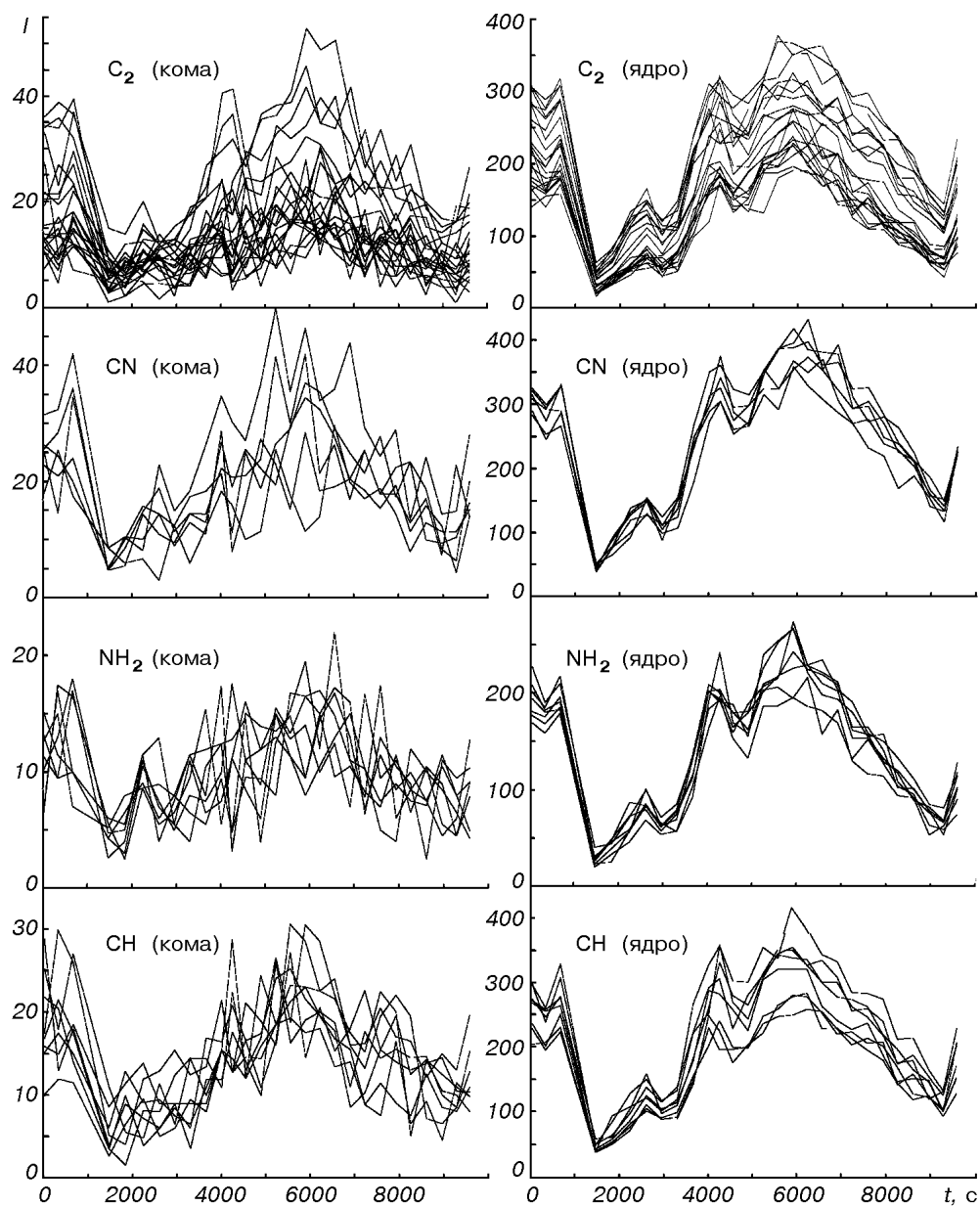


Рис. 3. Варіації інтенсивностей ліній (у відносних одиницях)

$$\begin{aligned}
 K(\tau) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A(t)\delta(t-t_i)A(t+\tau)\delta(t+\tau-t_j)dt = \\
 &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \int_{-\infty}^{+\infty} A(t)A(t+\tau)\delta(t-t_i)\delta(t+\tau-t_j)dt. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Введемо позначення  $t = t_i$  та  $\tau = t_j - t$ . Тоді

$$\begin{aligned}
 K(\tau) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A(t_i)A(t_j)\delta(t_j - t_i + \tau) = \sum_{k=1}^N C_k \delta(t - \tau_k). \quad (4) \\
 \tau_k &= t_j - t_i, \quad C_k = A_i A_j.
 \end{aligned}$$

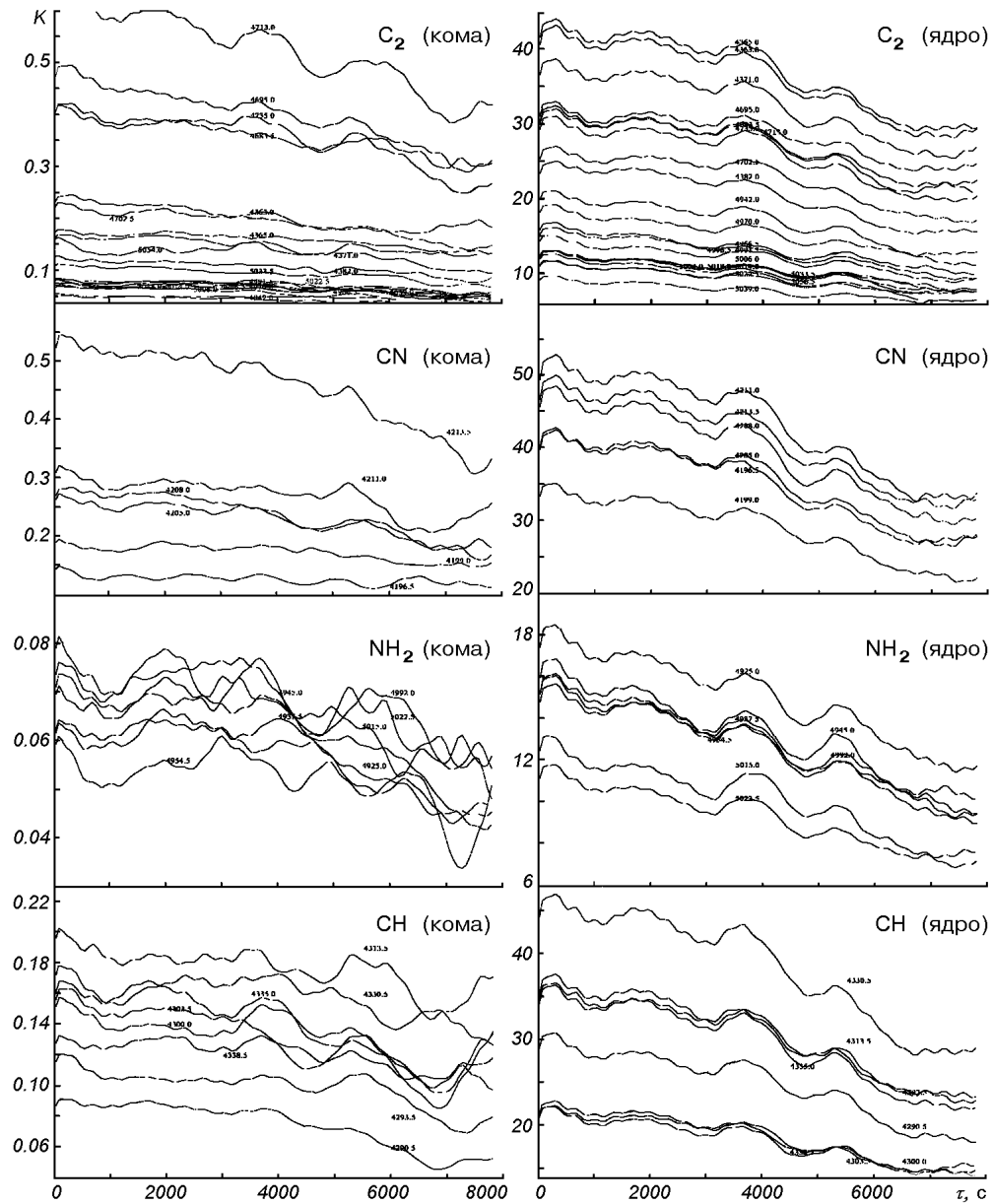
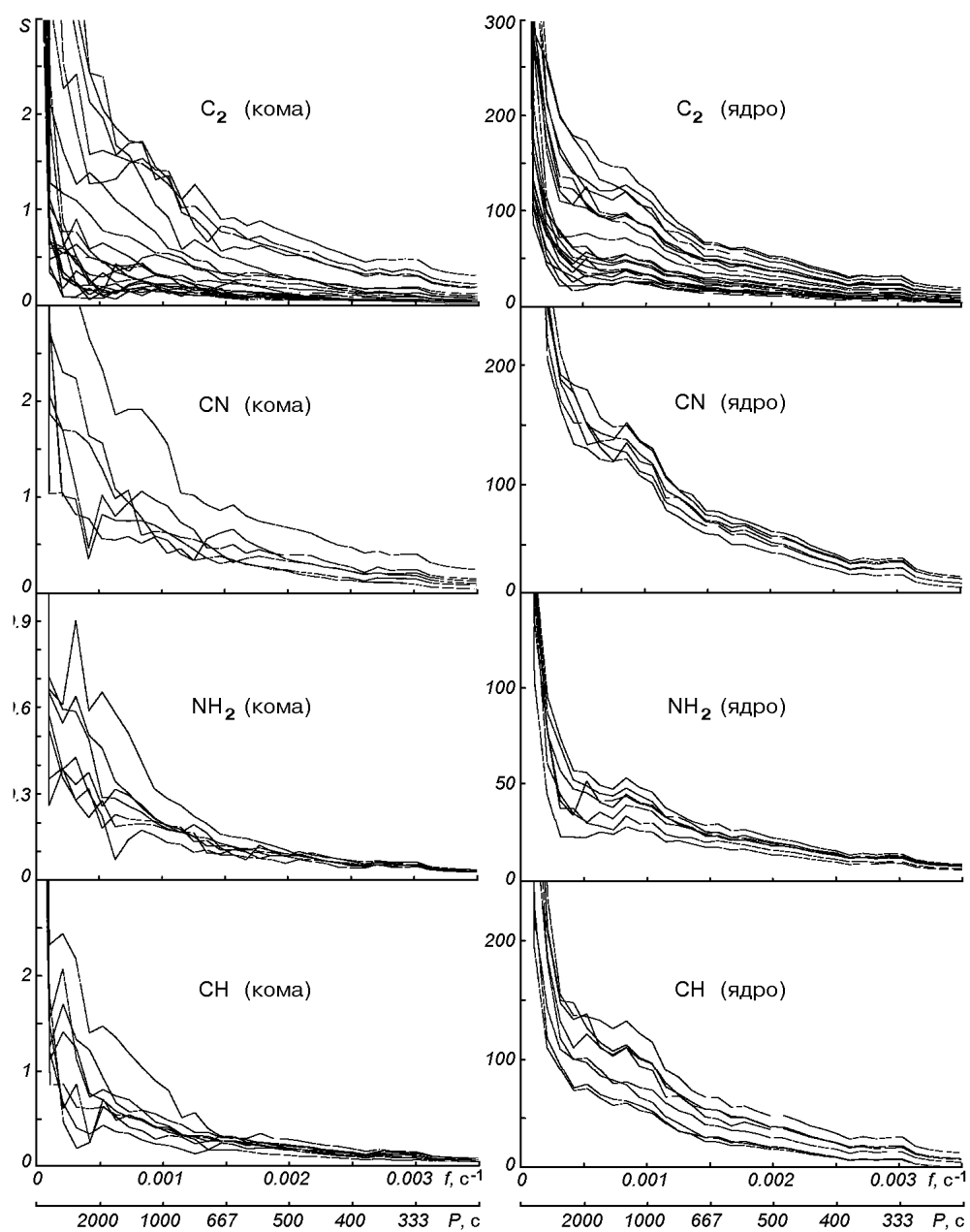


Рис. 4. Автокореляційні функції  $K(\tau)$

Отже, дискретною оцінкою автоковаріаційної функції є також сума дельта-функцій, помножених на функцію добутків  $C_k(t_k)$ , де  $k = N(N - 1)/2$ . Для отримання неперервної оцінки автоковаріаційної функції дискретну функцію треба згладити. Зокрема, придатний метод, що називається методом ядерних густин [3], коли кожна точка дискретної оцінки «розмивається» шляхом її згорання з прямокутником, трикутником чи якоюсь іншою функцією (ядерною густиною). Ми обрали для цієї процедури розподіл Гаусса, а саме: кожную точку з цього набору було розмито за допомогою виразу

Рис. 5. Спектри потужності  $S(f)$ 

$$y(i) = C \sum_{i=1}^N Y_i \exp(-(x(i) - X)^2/d).$$

Тут  $d = 2\sigma^2$ ,  $C = 1/(\sigma\sqrt{2\pi})$ ,  $N = 28$ . Величина  $\sigma$  добиралась з умови вилучення осциляцій на частоті вибірки.

Функція  $y(i)$  є шуканою неперервною оцінкою кореляційної функції, яку легко дискретизувати еквідистантно для застосування швидкого перетворення Фур'є тощо. Кореляційні функції  $K(\tau)$  для смуг CN, C<sub>2</sub>, CH, NH<sub>2</sub> для обох просторових каналів подано на рис. 4, а на рис. 5 показані енергетичні (статистичні) спектри  $S(f)$  досліджуваних ліній, що побудовані

за допомогою фур'є-перетворення автокореляційних функцій. На рис. 5 бачимо кілька широких максимумів, що свідчить про існування квазі-періодичних синхронних варіацій інтенсивностей ліній. Розмитість максимумів свідчить про нестабільність періодів, що не суперечить згаданому вище термодинамічному механізму багаторазового утворення та скидання пилового захисного шару.

## ВИСНОВКИ

Спроба динамічної спектроскопії комети Галлея свідчить, що інтенсивність спектральних смуг CN, CH, C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub> зазнавала змін за характерні проміжки часу 40 хв (періодично) та 2 години (періодичність непевна) [4, 5]. Синхронність поведінки смуг CN, CH, C<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub> підтверджує висновок про варіації темпу випаровування речовин з ядра, а не механізму збудження.

1. Афанасьев В. Л., Липовецкий В. Д., Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Спектральные наблюдения кометы Галлея 1982i на 6-м телескопе // *Комет. циркуляр.*—1986.— № 352.—С. 1—4.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983.—312 с.
3. Гаскаров Д. В., Шаповалов В. И. Малая выборка. — М.: Статистика, 1978.—248 с.
4. Borysenko S. A. First results of dynamical spectroscopy of comet Halley // Abstracts YSC6: 6th Open Young Scientist's Conference on Astronomy & Space Physics (Kyiv, Ukraine, 27—30 April, 1999). — Kyiv: Kyiv Univ., 1999.—P. 25.
5. Borysenko S. A. Some results of dynamical spectroscopy of comet Halley // CAMMAC99: Book of abstracts / Ed. by K. I. Churyumov. — Vinnytsia, 1999.—P. 8.

Надійшла до редакції 17.11.99