

## П'ЯТИХВИЛИННІ КОЛИВАННЯ ЯСКРАВОСТІ СОНЦЯ

*Мирослав СТОДІЛКА, Марія КОВАЛЬЧУК*

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
Астрономічна обсерваторія,  
вул. Кирила і Мефодія 8, Львів 79005

Редакція отримала статтю 30 жовтня 2009 р.

Розглядаються можлива природа і походження п'ятихвилинних осциляцій яскравості Сонця. За спостереженнями випромінювання Сонця розв'язанням оберненої задачі перенесення випромінювання відтворена висотна стратифікація як глобальних низьких  $l$ , так і локальних коливань температури в фотосфері Сонця. Із фотосферних коливань отримані псевдоглобальні коливання температури, що дало змогу дослідити вклад акустичних мод у коливання яскравості Сонця. Показано, що останні виникають унаслідок розсіяння  $p$ -мод низьких  $l$  на сонячній грануляції з подальшою конструктивною інтерференцією.

### 1. КОЛИВАННЯ ЯСКРАВОСТІ СОНЦЯ

Спостереження випромінювання Сонця як зорі показують наявність коливань не лише швидкості, але й його яскравості. Останні вперше виявлені під час експерименту ACRIM на супутнику SMM [15], пізніше – під час місії РНОВОС (експеримент IPHIR [7]), а також під час недавніх досліджень на сателітах КОРОНАС і SOHO. Незважаючи на значний атмосферний шум, варіації випромінювання Сонця спостерігають і в наземних умовах.

Глобальні п'ятихвилинні осциляції швидкості руху речовини на поверхні Сонця є акустичними  $p$ -модами різного порядку  $l$  [1], що описуються сферичними гармоніками; кожній сферичній гармоніці відповідає дискретний набір власних частот коливань із різним розподілом амплітуд. На підставі спостережень на космічному апараті SMM виявлені п'ятихвилинні варіації сонячної сталої з амплітудою в декілька мільйонних часток світності Сонця [15]. Спостережуваним флуктуаціям яскравості в різних ділянках неперервного спектра відповідають коливання температури 3 К [15]. Результати спостережень флуктуацій випромінювання Сонця за допомогою приладу IPHIR на космічному апараті РНОВОС подані у [2], за даними приладу

ДИФОС під час першої короткої місії КОРОНАС – в [8, 10]: з допомогою Фур'є- і вейвлет- аналізу часових рядів ототожені  $p$ -моди глобальних коливань, досліджена їх тонка структура. Глобальні  $p$ -моди чутливі до неоднорідностей середовища, в якому вони поширюються: в активних областях енергія і тривалість цих мод зменшується майже вдвічі [11], при поширенні  $p$ -мод малих  $l$  крізь сонячну грануляцію деформуються їх хвильові фронти, що посилюється полем конвективних швидкостей [11, 16].

Позаяк випромінювання в неперервному спектрі зароджується в фотосферних шарах Сонця, дослідження варіацій яскравості Сонця дає змогу вивчати глобальні температурні збурення саме в цих шарах, що згодом може дати відповідь про природу п'ятихвилинних осциляцій яскравості, механізми їх збудження. Крім цього, просторові масштаби грануляції співвимірні з довжинами хвиль акустичних п'ятихвилинних коливань, а отже, можна дослідити розсіяння глобальних  $p$ -мод низьких  $l$  на грануляційній структурі атмосфери. Водночас немає інверсних підходів для досліджень стратифікації температурних збурень, які спричинюють варіації яскравості Сонця, відсутні й відповідні дослідження. Тому ми вважали за потрібне провести дослідження саме в цьому напрямі.

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ

Ми опрацювали дані зі спектрофотометрів VIRGO (SPM) і ДИФОС-Ф. Перший розміщений на космічній обсерваторії SOHO (<http://soho-data.nascom.nasa.gov>) і має три спектральні діапазони: 802 нм, 500 нм і 402 нм, точність вимірювань  $10^{-6}$  від повної інтенсивності випромінювання Сонця, часова дискретність відліку інтенсивності 60 с, просторове розділення відсутнє.

Наприкінці липня 2001 р. був виведений на орбіту супутник КОРОНАС-Ф. Одним із приладів, розташованих на платформі, є спектрофотометр ДИФОС-Ф, сконструйований для вимірювання флуктуацій інтенсивності сонячного випромінювання в інтегральному спектрі в шести спектральних діапазонах ( $\lambda = 350$  нм, 500 нм, 650 нм, 850 нм, 1100 нм, 1500 нм) із шириною смуги пропускання 10% – 20% від центральної довжини хвилі; часова роздільна здатність  $\sim 35.55$  с, тоді як просторова – відсутня; відносна роздільна здатність рf інтенсивністю також становить одну мільйонну частку від повної інтенсивності випромінювання Сонця. Прилад ДИФОС-Ф призначений для вивчення власних коливань Сонця.

Дані, отримані приладом ДИФОС-Ф, люб'язно надані Осіповим С.Н. з ГАО АН Українм.

## 3. КОЛИВАННЯ ЯСКРАВСТІ СОНЦЯ І МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗБУРЕНЬ ФОТОСФЕРИ

Глобальні коливання інтенсивності випромінювання досліджували за допомогою розв'язування оберненої задачі переносу випромінювання в неперервному спектрі в різних спектральних діапазонах з використанням тихоновських стабілізаторів, що істотно підвищує вірогідність от-

риманих результатів. Проаналізувавши високоточні дані з космічних апаратів про інтенсивність випромінювання Сонця як зорі, ми відтворили невеликі зміни температури в незбуреній фотосфері Сонця, що породжують спостережувані флуктуації інтенсивності. Такий підхід дає розподіл флуктуацій параметрів моделі за висотою і в часі, що допомагає розкрити природу та особливості глобальних коливань яскравості Сонця, дослідити вплив грануляції на коливання яскравості Сонця.

Оскільки неперервне випромінювання, яке реєструється різними каналами (VIRGO/SPM, ДИФОС-Ф), зароджується на різних глибинах у атмосфері Сонця і, крім цього, проводяться спостереження всього диска Сонця, маємо змогу вивчати поширення глобальних коливань у фотосфері Сонця (в нижній фотосфері, в гіршому випадку). У цій ділянці атмосфери розташовані нададіабатичний шар зі слабоефективною конвекцією і початок області проникної конвекції, де змінюється класична поведінка грануляції. Сонячна конвекція на масштабах грануляції є набором висхідних і низхідних конвективних потоків, причому шкала флуктуацій температури та швидкості сягає порядку довжини хвилі акустичних п'ятихвилинних осциляцій у сонячній атмосфері. А отже, ці коливання розсіюються на грануляційній структурі атмосфери. Крім цього, конвективні рухи на масштабах сонячної грануляції приводять не тільки до частотних зсувів, але й до викривлення хвильових фронтів горизонтальною структурою, внаслідок чого виникають хвилі, які поширюються майже горизонтально [17, 16].

У [16] розглянуто вплив конвекції на глобальні осциляції в межах періодичної двопотокової моделі гарячих (висхідних) і холодних (низхідних) потоків; показано, що в результаті деформації хвильових фронтів горизонтальною структурою виникають високочастотні моди з більш-менш горизонтальним поширенням, накладання яких приводить до просторової модуляції коливань. Дослідження поширення хвиль моделюванням засвідчують вагомий вплив грануляційної структури на поширення як локальних, так і глобальних коливань у сонячній атмосфері.

У реальних умовах сонячної грануляції важко врахувати при моделюванні всі чинники та особливості поширення хвиль, тому цікавими є результати дослідження осциляцій Сонця інверсними методами, з використанням даних спостережень.

При вивченні коливань значну увагу приділяють коливанням високих сферичних гармонік  $l$ , що вимагає спостереження невеликих ділянок на диску Сонця. Водночас саме питання про природу коливань (зокрема, коливань яскравості) залишається відкритим. При дослідженні глобальних коливань низьких  $l$  потрібно охоплювати спостереженнями якомога більшу поверхню.

Нижче наведені результати досліджень глобальних коливань Сонця за спостереженнями у неперервному спектрі. Важливо зазначити, що результати спостережень у неперервному спектрі не залежать від поля швидкостей в атмосфері та від обертання зорі.

### 3.1. Глобальні коливання температури (дані VIRGO/SPM)

Варіації температури відтворені розв'язанням інверсної задачі переносу випромінювання з використанням стабілізаторів Тихонова [4].

При опрацюванні даних із SOHO використовували 24-годинні ряди спостережень.

Згідно з [3], максимум флуктуацій випромінювання Сонця, породжених звуковими хвилями, припадає на частоту, якій відповідають 5-хвилинні коливання. Для дослідження саме цих коливань ми пропустили часові ряди даних крізь фільтр Ланцоша [5] із загостреною характеристикою (фільтр – нерекурсивний і симетричний; фазових зсувів не робить), вирізавши таким чином низькі та високі частоти. Розв'язуючи інверсну задачу перенесення випромінювання для осциляцій яскравості Сонця, ми в межах моделі спокійного Сонця VAL80 отримали оптимальні збурення температури (періодів  $T = 3 \div 10$  хв), що найточніше відтворюють дані спостережень. Виділені спостережувані відносні флуктуації потоків випромінювання подані на рис. 1 (суцільні лінії), точками зображені теоретичні (best fitted) коливання, породжені відтвореними флуктуаціями температури (в адиабатичному наближенні); щоб уникнути накладання коливань різних спектральних діапазонів, залежності змінені одна щодо одної.

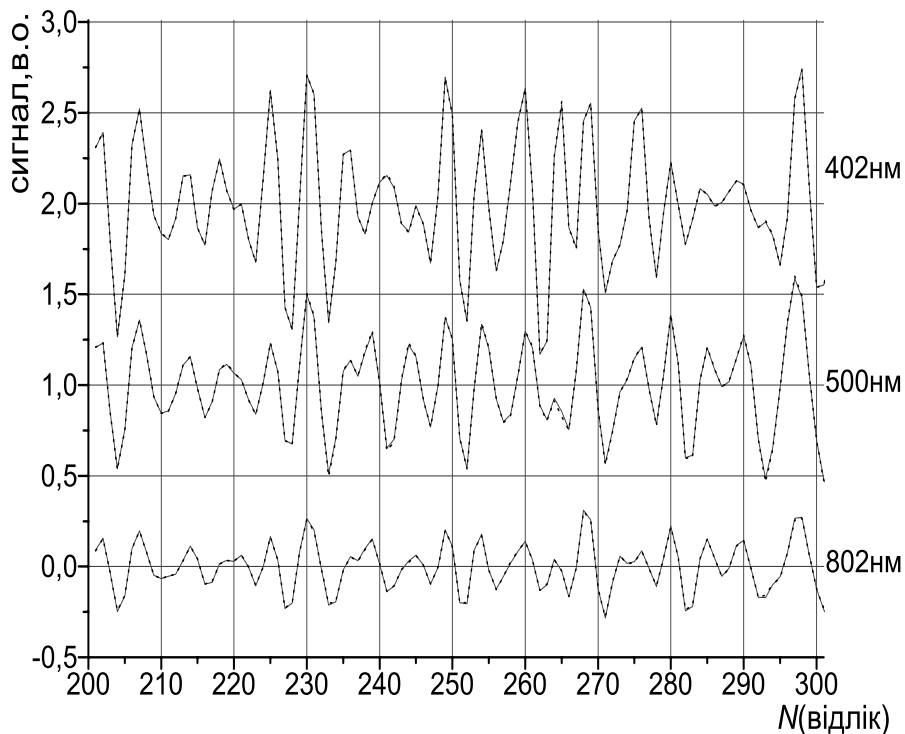


Рис. 1. Спостережувані та теоретичні (best fitted) осциляції випромінювання Сонця в трьох спектральних діапазонах.

Як бачимо, теоретичні коливання випромінювання збігаються зі спостережуваними, що свідчить про можливість відтворювати флуктуації середовища, в якому зароджується спостережуване випромінювання, щоправда, за умови, що ми правильно враховуємо властивості цього середовища і механізми утворення випромінювання. Слід звернути увагу на те, що коливання в різних спектральних діапазонах відбуваються не завжди синфазно одне щодо іншого. Отримані флуктуації температури (для періодів  $T = 4.5 \div 5.5$  хв) подані на рис. 2. Коливання, яким відповідають різні моменти часу, накладені одне на одне і, як наслідок, отримуємо глобальну стоячу хвилю у фотосфері Сонця. Згідно з проведеним нами тестовим відтворенням, на краях показаного інтервалу висот похибка відтворення 20 %, мінімальна 5 % при  $h = -25 \text{ км} \div 25 \text{ км}$ .

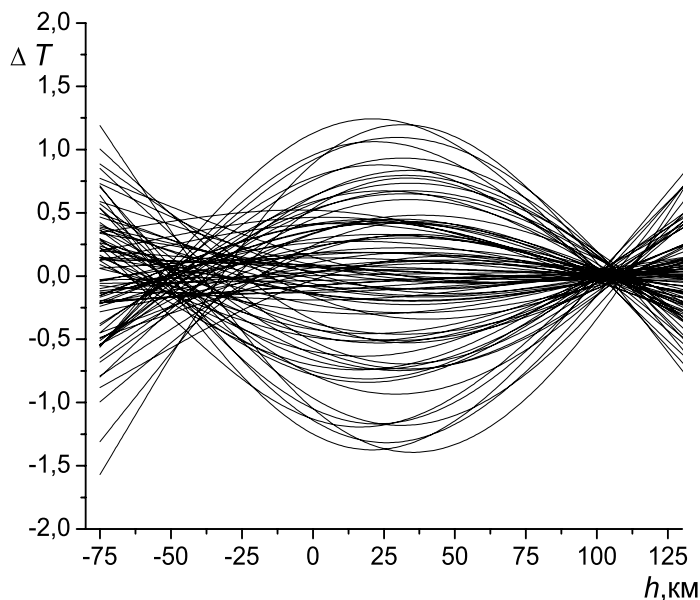


Рис. 2. Відтворені глобальні коливання температури в фотосфері Сонця (адіабатичне наближення) за даними експерименту SOHO VIRGO/SPM.

Амплітуда коливань зростає у верхніх шарах. На фотосферні шари припадає два вузли ( $h \approx -40 \text{ км}$ ,  $h \approx 100 \div 110 \text{ км}$ ) і одна видуга при  $h \approx 30 \text{ км}$ . У вузлах фаза коливань змінюється на  $\pi$ . Через похибки відтворення виникає розмивання положення вузлів; згада не розмивання може бути зумовлене також коливаннями других мод. Оскільки похибка відтворення у високих шарах зростає, ми не можемо визначити положення другої видуги. Як впливає з рис. 2, коливання яскравості Сонця спричинені глобальними стоячими хвилями температурних збурень у фотосфері.

Спостереження в інтегральному спектрі не дають змоги побачити нерозсіяні акустичні коливання, які поширюються майже вертикаль-

но, позаяк їх висотна динаміка охоплює великі масштаби; відповідні дослідження вимагають ширших інтервалів висот у сонячній атмосфері.

Нагадаємо, що дослідження фотосферних коливань у лінії  $\lambda 7699\text{Å}$  К І також вказують на наявність вузлів у коливаннях температури [14, 13].

Обчислення флуктуацій у неадіабатичному наближенні дає подібні результати.

Серед глобальних п'ятихвилинних осциляцій біжучі хвилі, які підігрівають хромосферу, в нашому дослідженні не простежуються.

Використовуючи результати спостережень із більшим числом спектральних діапазонів і спостережень у лініях, можна відтворити картину коливань у вищих шарах атмосфери Сонця.

### 3.2. Коливання яскравості Сонця і неоднорідна структура фотосфери

Ми розглянули результати відтворення глобальних осциляцій температури в фотосфері Сонця, щоправда, в адіабатичному наближенні, що не застосовується для коливань з великими періодами, а тим більше в нижній фотосфері.

З одного боку постає питання про природу цих коливань. Теоретичні дослідження вказують на дисторсію фронтів хвиль, які проходять крізь грануляційну структуру атмосфери Сонця, але через складність задачі доводиться робити низку спрощень [17, 16]. З іншого боку, оскільки глобальні осциляції Сонця накладаються на локальні (первинні коливання, що безпосередньо згенерувалися, розсіялися або відбилися), то в даних, відтворених за профілями з високим просторовим розділенням, мають бути як локальні, так і глобальні коливання, які можна легко виокремити, наприклад, за допомогою просторової фільтрації (в нашому випадку фільтр сферичних гармонік застосовувати не можна). Це дасть змогу також уточнити природу коливань яскравості Сонця.

Спостереження чітко показують взаємозв'язок між грануляцією та  $p$ -модами [6, 9].

Щоб з'ясувати природу глобальних п'ятихвилинних осциляцій сонячного випромінювання, ми дослідили вклад акустичних хвиль у коливання яскравості Сонця. Для цього відтворили:

а) глобальні варіації температури у фотосфері Сонця (за результатами спостережень ДИФОС-Ф і VIRGO/SPM);

б) просторово-часові варіації температури, густини та інших параметрів моделі на масштабах грануляції (за профілями лінії нейтрального заліза з високим просторовим розділенням);

в) виокремили (фільтрацією просторових частот і усередненням по  $X$  координаті) з відтворених акустичних коливань температури (спостереження на телескопі VTT) акустичні псевдоглобальні фотосферні коливання температури низьких сферичних гармонік  $l$ .

Розглянемо результати відтворення глобальних хвильових варіацій за профілями лінії поглинання з високим просторовим розділенням.

Згідно зі спостереженнями [12], коливання в незбуреній атмосфері відбуваються практично всюди і завжди, причому фаза коливань

зберігається довше ніж амплітуда. А окремі пуги хвиль когерентні 20 ÷ 40 Мм упродовж двох-трьох десятків хвилин. Наше дослідження профілів фраунгоферових ліній з високим просторовим і часовим розділенням також виявляє пуги акустичних хвиль, які при дотриманні певних умов можуть давати спостережувані варіації яскравості Сонця. Використовуючи  $k - \omega - V$  фільтрацію, ми виділили хвилі, які поширюються з  $V_{p,x} = 10 \div 15$  км/с, тобто хвилі, що поширюються майже горизонтально рис. 3. Виділені хвильові рухи є набором хвильових пугів, що поширюються в протилежні боки. Трапляються хвилі, амплітуда яких слабо змінюється з часом. Час існування деяких пугів відповідає часу спостереження (31 хв), при виконанні певних фазових співвідношень пуги, що поширюються в протилежні боки, дають конструктивну інтерференцію, а згідно з рис. 3 такі співвідношення виконуються доволі часто.

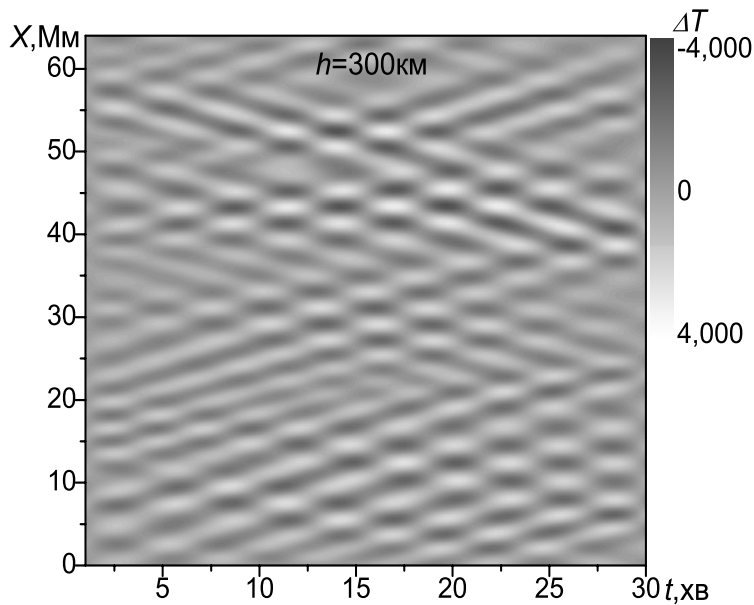


Рис. 3. Просторово-часові варіації температури в середній фотосфері (п'ятихвилинні акустичні хвилі з майже горизонтальним поширенням).

Але все ж існують хвилі, що поширюються у верхні шари атмосфери. Проте амплітуда таких коливань уже менша. Остання обставина не є перепоною для їх детектування. Насправді для хвиль, що поширюються переважно вгору, істотно збільшується проекція амплітуди коливань швидкості  $\Delta V_z$ ; при цьому різко зростає проекція фазової швидкості на горизонтальний напрям  $V_{p,h}$ , причому  $V_{p,h} > V_p$ . Останню обставину ми використали для виявлення акустичних хвиль, що поширюються у верхні шари атмосфери ( $k - \omega - V$  фільтрація). Так, хвилям, котрі поширюються з фазовими швидкостями  $V_1 < V_{p,x} < V_2$  на  $k - \omega$  діаграмі відповідає область  $V_1^2 \cdot k_x^2 < \omega^2 < V_2^2 \cdot k_x^2$ .

На рис. 4 подані результати фільтрації акустичних хвиль, проек-

ція фазової швидкості яких значно перевищує швидкість звуку:  $V_{p,x} = 40 \div 60$  км/с; ці хвилі поширюються під кутом  $25^\circ \div 30^\circ$  до нормалі (оцінка зроблена по нахилу хвильового фронту). А на ділянці  $X = 10 \div 20$  Мм різко змінюється напрям поширення хвиль із подальшим відбиттям униз: перша півхвиля на цьому участку йде вгору, друга – вниз (через різке збільшення  $V_{p,x}$  амплітуда коливань цих півхвиль подавлена і самою фільтрацією). На жаль, ми не можемо визначити положення шару, який відбиває п'ятихвилинні коливання, позаяк чутливість обраної лінії заліза до варіацій термодинамічних і кінематичних параметрів моделі атмосфери різко падає при  $h > 550$  км, але можна стверджувати, що відбивний шар залягає не нижче від температурного мінімуму.

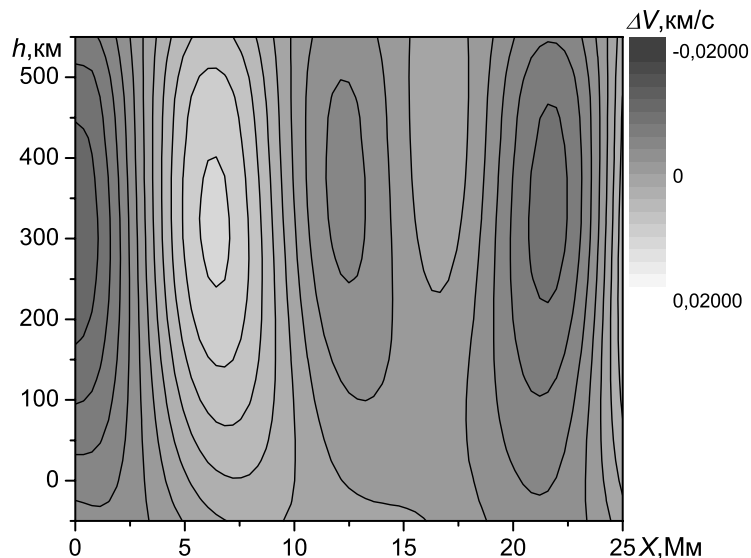


Рис. 4. Структура акустичних хвиль у ділянці відбивання від верхніх шарів.

Отже, спостереження з високим просторовим розділенням виявляють:

- a* – наявність хвильових пугів із часом існування не менше 30 хв,
- b* – відбивання хвильових пугів від верхніх шарів неоднорідної атмосфери,

*в* – конструктивну інтерференцію пугів п'ятихвилинних коливань.

Просторове усереднення відтвореної хвильової компоненти температури  $\Delta\tilde{T}(t, x, h)$  вздовж спостережуваної поверхні дає оцінку висотного розподілу  $\Delta\tilde{T}(t, h)$  глобальних коливань низьких  $l$ . У  $k - \omega$  -представленні коливань глобальним осциляціям низьких  $l$  відповідає вузька область, що примикає до осі  $\omega$ . Отримані просторовим усередненням на кожний момент часу псевдоглобальні коливання в атмосфері Сонця подані на рис. 5.

На рис. 5а показаний результат накладання висотної стратифікації



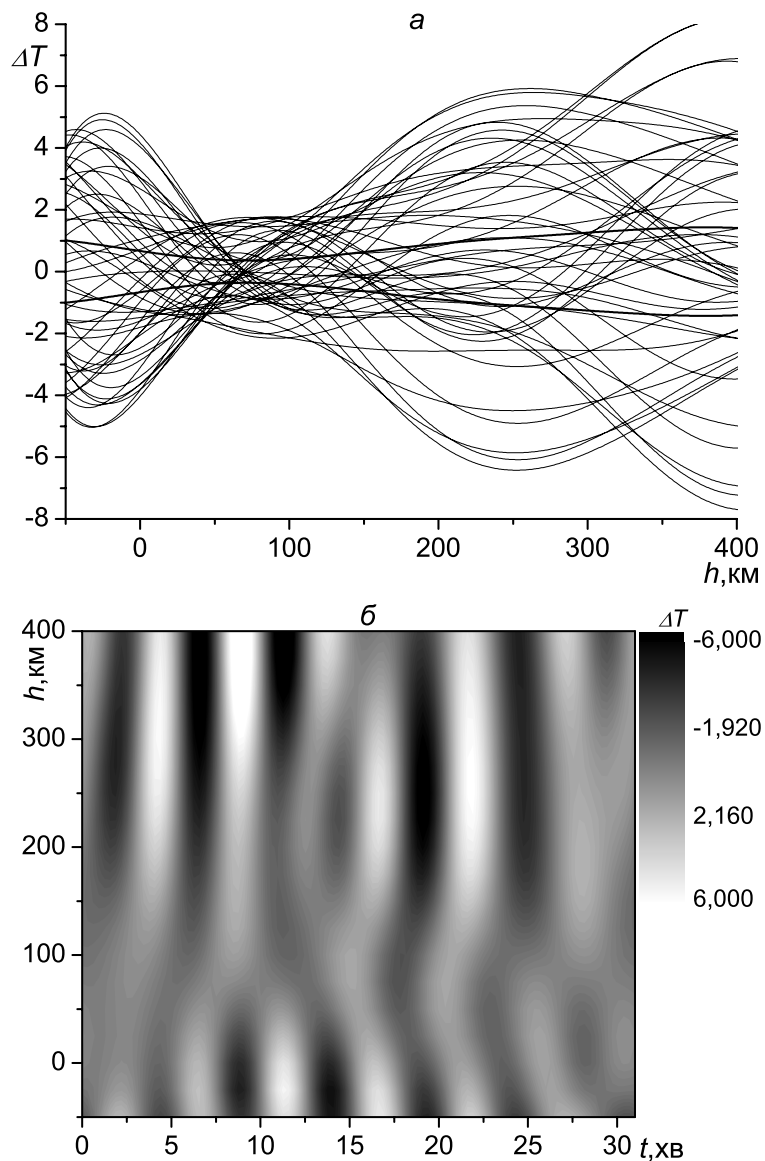


Рис. 5. Відтворені за профілями з високим просторовим розділенням псевдоглобальні 5-хвилинні акустичні коливання температури: *a* - висотна стратифікація; *б* - часова розгортка.

псевдоглобальних температурних коливань (періоди  $T = 5$  хв) низьких  $l$  (тонкі суцільні лінії) в різні моменти часу. Дві симетричні товсті лінії показують зміну з висотою рівня шуму – середньоквадратичного відхилення оцінки амплітуди коливань, отриманої усередненням по просторовій  $X$ -координаті. На всіх досліджуваних висотах виділений

сигнал псевдоглобальних коливань перевищує рівень шуму. Крім цього, псевдоглобальні збурення температури трохи перевищують збурення, виділені по VIRGO/SPM та ДИФОС-Ф. Як і при відтворенні коливань за спостереженнями яскравості, амплітуда псевдоглобальних коливань зростає у верхніх шарах; вона збільшується також у нижній фотосфері. У шарах  $-20 \text{ км} < h < 100 \text{ км}$  амплітуда коливань зменшена. В цій області вимальовуються вузли коливань, яким відповідають коливання різних  $l$ ; вимальовуються також видуги.

На рис. 5б подана часова розгортка отриманих нами 5-хвилинних псевдоглобальних коливань. Видно стоячі хвилі з вузлом в зоні  $25 \text{ км} < h < 100 \text{ км}$  (фаза змінюється на  $180^\circ$ ). На висотах від вершини конвективної зони до області проникної конвекції структура коливань зазнає найбільших змін: змінюються положення вузлів, похилі ділянки свідчать про переміщення вузлів угору-вниз, в деякі моменти часу стоячі хвилі відсутні. Така складна структура коливань свідчить про те, що ми спостерігаємо коливання, породжені проходженням глобальних хвиль різних  $l$  (при збільшенні спостережуваної області з подальшим усередненням коливання великих  $l$  згладжуватимуться).

Оскільки число точок спостереження вздовж поверхні Сонця не дуже велике (170 точок; ПЗС матриця  $512 \times 512$ , кожні три послідовні пікселі усереднювали вздовж просторової координати, тоді  $\Delta X = 378 \text{ км}$ , що відповідає просторовому розділенню  $0''.5$ ), то постає питання про статистичну стійкість отриманих усереднених результатів. Ми здійснили аналогічні розрахунки для вдвічі меншої вибірки даних: результати якісно збігаються, що свідчить про статистичну стійкість отриманих результатів. Очевидно, що збільшення розмірів спостережуваної області дасть змогу якісніше виділити псевдоглобальні коливання. На жаль, ми можемо хіба що змоделювати такий випадок додатковою фільтрацією високих і середніх просторових частот результатів відтворення (ми усунули фільтром Ланцоша просторові частоти, яким відповідають коливання з  $\lambda < 6 \text{ Мм}$ ) з подальшим просторовим усередненням. Після такої обробки чіткіше вимальовуються вузли стоячих хвиль при  $h \approx -15 \text{ км}$  і  $h \approx 80 \pm 90 \text{ км}$  (рис. 6).

Виділені з просторово-часових варіацій температури псевдоглобальні коливання трохи більші, але все-таки майже того ж порядку, що й відтворені за варіаціями потоку випромінювання (дані ДИФОС-Ф). Крім цього, така глобальна складова коливань присутня на всій ділянці спостереження протяжністю 64 Мм уздовж поверхні Сонця.

Таким чином, розсіяні на фотосферних неоднорідностях глобальні  $p$ -моди низьких  $l$  дають глобальну конструктивну інтерференцію (накладання падаючих і відбитих хвиль), унаслідок чого в фотосферних шарах утворюються стоячі хвилі; останнє спричинює модуляцію яскравості Сонця.

#### 4. ВИСНОВКИ

Уперше за даними спостережень інтенсивності випромінювання в інтегральному спектрі (дані VIRGO/SPM, ДИФОС-Ф) і за профілями фраунгоферових ліній (дані VTT) отримані моделі глобальних збурень температури в фотосфері Сонця. Результати досліджень п'ятихвилинних осциляцій яскравості Сонця такі:

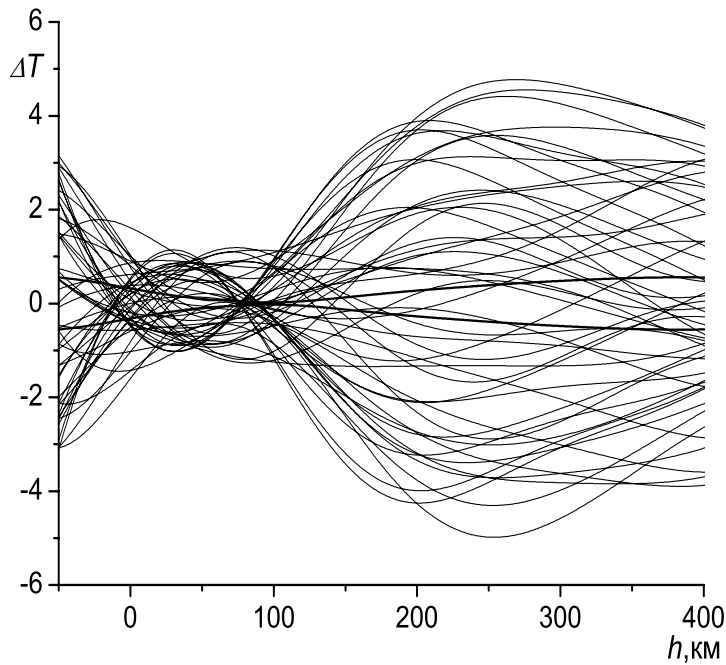


Рис. 6. Висотна стратифікація відтворених псевдоглобальних акустичних коливань після фільтрації просторових частот ( $\lambda < 6$  Мм).

- Конвективна структура атмосфери може значно викривляти промені акустичних хвиль низьких  $l$  від вертикального напрямку поширення.
- Амплітуда глобальних коливань температури зростає в сторону верхніх шарів атмосфери:  $100 \text{ км} < h < 180 \text{ км}$  і в нижній фотосфері:  $h < -25 \text{ км}$ .
- При дослідженні висотного розподілу глобальних фотосферних коливань низьких  $l$  показано, що п'ятихвилинні коливання яскравості Сонця породжені глобальними стоячими хвилями, один із вузлів яких припадає на початок перехідної області до проникної конвекції  $h \approx 90 \text{ км} \div 100 \text{ км}$ , а видуги при:  $h \approx 50 \text{ км}$  і  $180 \text{ км}$ .
- Виділені з акустичних коливань температури (дані VTT) псевдоглобальні коливання того ж порядку величини, що й коливання, відтворені за варіаціями потоків випромінювання в різних спектральних діапазонах (дані VIRGO/SPM, ДИФОС-Ф).
- Запропонований новий механізм генерації п'ятихвилинних осциляцій яскравості Сонця: п'ятихвилинні осциляції яскравості Сонця виникають унаслідок розсіяння  $p$ -мод низьких сферичних гармонік на сонячній грануляції з подальшою конструктивною ін-

терференцією, що породжує температурні збурення у вигляді глобальних стоячих хвиль.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] *Атрощенко И.Н., Гадун А.С., Гонасюк С.И и др.* (отв. ред. Гуртовенко Э.А.) Вариации глобальных характеристик Солнца. К.: Наук. думка, 1991. 304 с.
- [2] *Брунс А.В.* Внеатмосферные исследования Солнца, выполненные в Крымской астрофизической обсерватории за период 1959–1988 гг. Изв. Крымск. астрофиз. обс. 2007. **103**, № 2. 44–53.
- [3] *Костык Р.И., Щукина Н.Г.* Пятиминутные колебания и тонкая структура фотосферы Солнца. I. Кинем. и физ. небесн. тел. 1999. **15**, № 1. 25–37.
- [4] *Стоділка М.І.* Застосування інверсних методів при дослідженні коливань яскравості Сонця. Журн. фіз. досл. 2004. **8**, № 2. 192–198.
- [5] *Хемминг Р.В.* Цифровые фильтры. М: Советское радио, 1980. 224 с.
- [6] *Espagnet O., Muller R., Roudier T., Mein P., Mein N., Malherbe J.M.* Spatial relation between the 5-minute oscillations and granulation patterns. *Astron. and Astrophys.* 1996. **313**, № 1. 297–305.
- [7] *Froehlich C., Bonnert R.M., Bruns A.V., Delaboudiniere J.P., Domingo V., Kotov V.A., Kollath Z., Rachkovsky D.N., Toutain T., Vial J.C., Wehrli Ch.* IPHIR: The helioseismology experiment on the PHOBOS mission. *Seismology of the Sun and Sun-like stars*, ESA SP-286. 1988. 359–362.
- [8] *Hasler K.-H., Zhugzhda Y.D., Lebedev N.L., Arlt R., Oraevsky V.N.* Observation of solar low-l p-modes by the CORONAS-DIFOS experiment. *Astron. and Astrophys.* 1997. **322**. L41–L44.
- [9] *Hoekzema N.M., Rutten R.J.* Small scale topology of solar atmosphere dynamics. II. Granulation, K2v grains and waves. *Astron. and Astrophys.* 1998. **329**, № 2. 725–734.
- [10] *Lebedev N.I., Oraevsky V.N., Zhugzhda Y.D., Kopaev L.M., Kostik R.I., Pflug K., Rudiger G. Staude J and Bettac H.-D.* First results of the CORONAS-DIFOS experiment. Space observations of solar irradiance oscillations. *Astron. and Astrophys.* 1995. **296**. L25–L28.
- [11] *Komm R., Howe R.W., Hill F.* Localizing width and energy of solar global p- modes. *Astrophys. J.* 2002. **572**, Issue 1. 663–673.
- [12] *Musman S., Rust D.M.* Vertical Velocities and Horizontal Wave Propagation in the Solar Photosphere. *Solar Phys.* 1970. **13**, №1. 261–286.
- [13] *Ruiz Cobo B., Rodriguez Hidalgo I., Collados M.* Stratification with Optical Depth of the 5 Minute Oscillation through the Solar Photosphere. *Astrophys. J.* 1997. **488**, № 1. 462–472.

- [14] *Rodriguez Hidalgo I., Ruiz Cobo B., Collados M., Bellot Rubio L.R.* Lagrangian and Eulerian Stratifications of Acoustic Oscillations through the Solar Photosphere. *Astrophys. J.* 2001. **547**, № 1. 491–502.
- [15] *Woodard M., Hudson H.* Solar oscillations observed in total irradiance. *Solar Phys.* 1983. **82**. 67–73.
- [16] *Zhugzhda Y. D., Stix M.* Acoustic waves in structured media and helioseismology. *Astron. and Astrophys.* 1994. **291**, № 1. 310–319.
- [17] *Zhugzhda Y.D.* Waves and shear flows. *Astron. and Astrophys. Transactions.* 2003. **22**, № 4-5. 593–606.

## SOLAR IRRADIANCE FIVE-MINUTE OSCILLATIONS

*Myroslav STODILKA, Maria KOVAL'CHUK*

Astronomical observatory of Ivan Franko National University of L'viv,  
8 Kyrylo and Mefodiy Street, L'viv, 79005, Ukraine

We examined the possible nature and the origin of the solar irradiance five-minute oscillations. Using solar observations we solved the inverse radiative transfer problem and reproduced the height stratification of the local and global temperature oscillations of low  $l$  in the solar photosphere. The pseudoglobal oscillations were extracted from photosphere oscillations; so we studied the contribution of acoustic modes into the solar irradiance oscillations. It is shown that the latter ones originate from the scattering  $p$ -modes of low  $l$  on the solar granulation with the subsequent constructive interference.