

## П'ятихвилинні коливання яскравості Сонця

М.Ю. Скульський<sup>1</sup>, М.І. Стоділка<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Скульський Михайло Юліанович, доктор фіз.-мат. наук, професор  
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна  
E-mail: mysky@polynet.lviv.ua

<sup>2</sup> Стоділка Мирослав Іванович, доктор фізико-математичних наук  
Львівський національний університету імені Івана Франка, м. Львів, Україна  
E-mail: sun@astro.franko.lviv.ua

Paper received 25.11.15; Accepted for publication 02.12.15.

**Анотація.** У роботі розглядається можлива природа та походження п'ятихвилинних осциляцій яскравості Сонця. За спостереженнями випромінювання Сонця шляхом розв'язку оберненої задачі переносу випромінювання відтворена висотна стратифікація як глобальних, так і локальних коливань температури в фотосфері Сонця. Із фотосферних коливань отримані псевдоглобальні коливання температури, що дозволило дослідити вклад акустичних  $p$ -мод в коливання яскравості Сонця. Показано, що останні виникають в результаті розсіяння  $p$ -мод низьких сферичних гармонік на сонячній грануляції з подальшою конструктивною інтерференцією.

**Ключові слова:** яскравість Сонця, глобальні коливання

### 1. Коливання яскравості Сонця

Спостереження випромінювання Сонця як зорі показують наявність коливань не тільки швидкості, але і його яскравості. Останні були вперше виявлені під час експерименту ACRIM на супутнику SMM [15], пізніше – під час місії PNOBOS (експеримент IPHIR [7]), а також під час недавніх експериментів 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, котрі описуються сферичними гармоніками низького порядку  $l$  [1]; кожній сферичній гармоніці відповідає дискретний набір власних частот коливань з різним розподілом амплітуд. На підставі спостережень на космічному апараті SMM виявлені п'ятихвилинні варіації сонячної постійної з амплітудою порядку декількох мільйонних часток світності Сонця [15]. Спостережуваним флуктуаціям яскравості в різних учасках неперервного спектру відповідають коливання температури 3 K [15]. Результати спостережень флуктуацій випромінювання Сонця з допомогою приладу IPHIR на космічному апараті PNOBOS подані в [2], за даними приладу ДИФОС під час першої короткої місії КОРОНАС – в [8,10]: з допомогою Фур'є і вейвлет аналізу часових рядів ототоженні  $p$ -моди глобальних коливань, досліджена їх тонка структура.

Глобальні  $p$ -моди чутливі до неоднорідностей середовища, в якому вони поширюються: так, в активних областях енергія і тривалість цих мод зменшується майже вдвічі [11], при поширенні  $p$ -мод малих  $l$  крізь сонячну грануляцію здійснюється деформація їх хвильових фронтів, котра посилюється полем конвективних швидкостей [11,16].

Так як випромінювання в неперервному спектрі зароджується в фотосферних шарах Сонця, то дослідження варіацій яскравості Сонця дозволяє вивчати глобальні температурні збурення саме в цих шарах, що згодом може дати відповідь про природу п'яти-

хвилинних осциляцій яскравості, механізми їх збурення. Крім того, просторові масштаби грануляції співмірні з довжинами хвиль акустичних п'ятихвилинних коливань, а значить, представляється можливістю дослідити розсіяння глобальних  $p$ -мод низьких  $l$  на грануляційній структурі атмосфери. У той же час немає інверсних підходів для досліджень стратифікації температурних збурень, які спричиняють варіації яскравості Сонця, відсутні і відповідні дослідження. Тому ми вважали за необхідне провести дослідження саме в цьому напрямку.

### 2. Експериментальні дані

У цьому дослідженні ми виконали обробку даних із спектрофотометрів VIRGO (SPM) і ДИФОС-Ф. Перший розміщений на космічній обсерваторії SOHO (<http://sohodata.nascom.nasa.gov>) і має три спектральні діапазони: 802 нм, 500 нм і 402 нм; точність вимірювань складає  $10^{-6}$  від повної інтенсивності випромінювання Сонця, часова дискретність відліку інтенсивності – 60 с; просторове розділення відсутнє.

У кінці липня 2001 року 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 ( $\lambda\lambda = 350$  нм, 500 нм, 650 нм, 850 нм, 1100 нм, 1500 нм) із шириною смуги пропускання 10 % – 20% від центральної довжини хвилі; часова роздільна здатність складає  $\sim 35.55$  с, тоді як просторова – відсутня; відносна роздільна здатність по інтенсивності також становить одну мільйонну від повної інтенсивності випромінювання Сонця. Прилад ДИФОС-Ф призначений для вивчення власних коливань Сонця.

Дані, отримані приладом ДИФОС-Ф, були любязно надані нам Осіповим С.Н., працівником ГАО НАН України.

### 3. Коливання яскравості Сонця і модель глобальних температурних збурень фотосфери

Дослідження глобальних коливань інтенсивності випромінювання проведено з допомогою розв'язку оберненої задачі переносу випромінювання в неперервному спектрі в різних спектральних діапазонах з використанням тихонівських стабілізаторів, що істотно підвищує вірогідність отриманих результатів. Виходячи з високоточних даних з космічних апаратів про інтенсивність випромінювання Сонця як зорі, ми відтворили невеликі зміни температури в незбуреній фотосфері Сонця, котрі породжують спостережувані флуктуації інтенсивності. Такій підхід дає розподіл флуктуацій параметрів моделі по висоті і в часі, що дозволяє розкрити природу та особливості глобальних коливань яскравості Сонця, дослідити вплив грануляції на коливання яскравості Сонця.

Оскільки неперервне випромінювання, котре реєструється різними каналами (VIRGO/SPM, ДИФОС-Ф), зароджується на різних глибинах в атмосфері Сонця і, крім того, ведуться спостереження всього диску Сонця, то ми маємо можливість вивчати поширення глобальних коливань у фотосфері Сонця (в нижній фотосфері, в гіршому випадку). Ця область атмосфери цікава ще й тим, що в ній знаходиться нададіабатичний шар із слабоефективною конвекцією і початок області проникаючої конвекції, де змінюється класична поведінка грануляції. Сонячна конвекція на масштабах грануляції є системою висхідних і низхідних конвективних потоків, причому просторова шкала флуктуацій температури та швидкості є порядку довжини хвилі акустичних п'ятихвилинних осциляцій у сонячній атмосфері. А отже, ці коливання розсіюються на грануляційній структурі атмосфери. До того ж конвективні рухи на масштабах сонячної грануляції приводять не тільки до частотних зсувів, але і до викривлення хвильових фронтів горизонтальною структурою. В результаті цього виникають хвилі, котрі поширюються майже горизонтально [17,16].

У [16] розглянено вплив конвекції на глобальні осциляції в рамках 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 котрих приводить до просторової модуляції коливань. Дослідження поширення хвиль моделюванням вказують на 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 фактори і особливості поширення хвиль, тому цікавими є результати дослідження осциляцій Сонця інверсними методами, використовуючи дані спостережень.

При вивченні коливань більше уваги приділяють коливанням високих сферичних гармонік  $l$ , що вимагає спостереження невеликих частків на диску Сонця. В той же час саме питання про природу коливань (у тому числі і коливань яскравості) залишається відкритим. При дослідженні глобальних коливань низьких  $l$  необхідно проводити спостереження якомога більшої поверхні.

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

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

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

При обробці даних із SOHO використовувались 24-годинні ряди спостережень.

Згідно з [3], максимум флуктуацій випромінювання Сонця, породжених звуковими хвилями припадає на частоту, котрій відповідають 5-хвилинні коливання. Для дослідження саме цих коливань ми пропустили часові ряди даних через 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 переносу випромінювання для осцилюючої яскравості Сонця, ми в рамках моделі спокійного Сонця VAL80 отримали оптимальні збурення температури (періодів  $T = 3 \div 10$  хв), котрі найкраще відтворюють дані спостережень. Виділені спостережувальні відносні флуктуації потоків випромінювання подані на рис.1 (суцільні лінії), точками зображені теоретичні (best fitted) коливання, котрі породжені відтвореними флуктуаціями температури (в адіабатичному наближенні); для уникнення накладання коливань різних спектральних діапазонів залежності зміщені одна відносно другої.

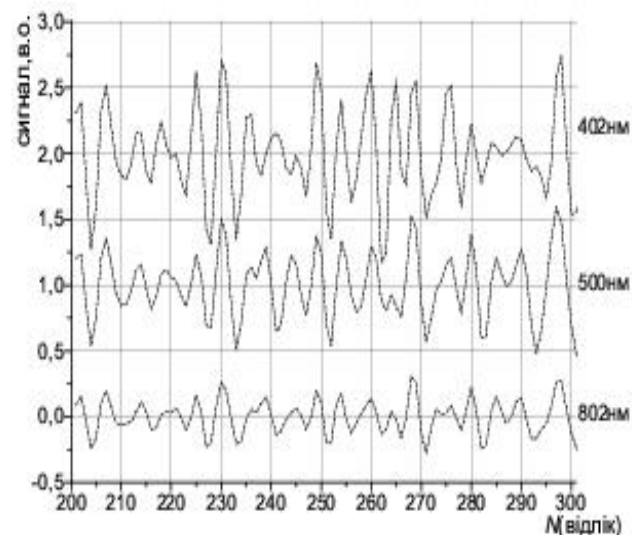
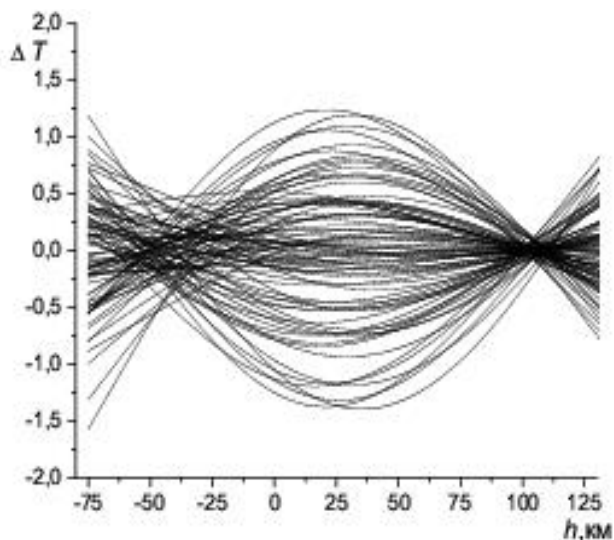


Рис.1: Спостережувані та теоретичні (best fitted) осциляції випромінювання Сонця в трьох спектральних діапазонах.

Як бачимо, теоретичні коливання випромінювання співпадають із спостережуваними, що свідчить про можливість відтворювати флуктуації середовища, в котрому зароджується спостережуване випромінювання, правда, при умові, що ми правильно враховуємо властивості цього середовища і механізми утворення випромінювання. Необхідно звернути увагу на те, що коливання в різних спектральних діапазонах відбува-

ються не завжди синфазно одне по відношенню до іншого. Отримані флуктуації температури (для періодів  $T = 4.5 \div 5.5$  хв) подані на рис.2; коливання, котрим відповідають різні моменти часу, накладені одне на одного і, в результаті, отримуємо глобальну стоячу хвилю у фотосфері Сонця. На краях показаного інтервалу висот відносна похибка відтворення становить 20%, а мінімальна – 5% в інтервалі  $h = -25$  км  $\div$  25 км.

Амплітуда коливань зростає у верхніх шарах. На фотосферні шари припадає два вузли ( $h \approx -40$  км,  $h \approx 100$  км  $\div$  110 км) і одна пучність при  $h \approx 30$  км. У вузлах фаза коливань змінюється на  $\pi$ . За рахунок похибок відтворення виникає розмивання положення вузлів; згадане розмивання може бути зумовлене також коливаннями інших  $p$ - мод. Оскільки похибка відтворення у високих шарах зростає, ми не можемо визначити положення другої пучності. Як впливає з рис. 2 – коливання яскравості Сонця спричинені глобальними стоячими хвилями, викликаними температурними збуреннями у фотосфері.



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

Спостереження в інтегральному спектрі не дозволяють побачити нерозсіані акустичні коливання, котрі поширюються майже вертикально, так як їх висотна динаміка охоплює великі масштаби; відповідні дослідження вимагають ширших інтервалів висот у сонячній атмосфері.

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

Розрахунок флуктуацій в неадіабатичному наближенні дає подібні результати.

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

Використання результатів спостережень з більшим числом спектральних діапазонів і спостережень в лініях дозволяє 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, правда, в адіабатичному наближенні, котре не працює у випадку коливань з великими періодами, а тим більше в нижній фотосфері.

Водночас виникає питання: а яка ж природа цих коливань? Теоретичні дослідження вказують на дисторсію фронтів хвиль, котрі проходять через грануляційну структуру атмосфери Сонця, але внаслідок складності задачі доводиться робити ряд спрощень [16,17]. З іншого боку, оскільки глобальні осциляції Сонця накладаються на локальні (первинні коливання, котрі безпосередньо згенерувались, розсіялись або відбилились), то в даних, відтворених за профілями з високим просторовим розділенням, повинні бути як локальні, так і глобальні коливання, котрі можна легко виділити, наприклад, шляхом просторової фільтрації (у нашому випадку фільтр сферичних гармонік застосовувати не можна). Це дозволить також уточнити природу коливань яскравості Сонця.

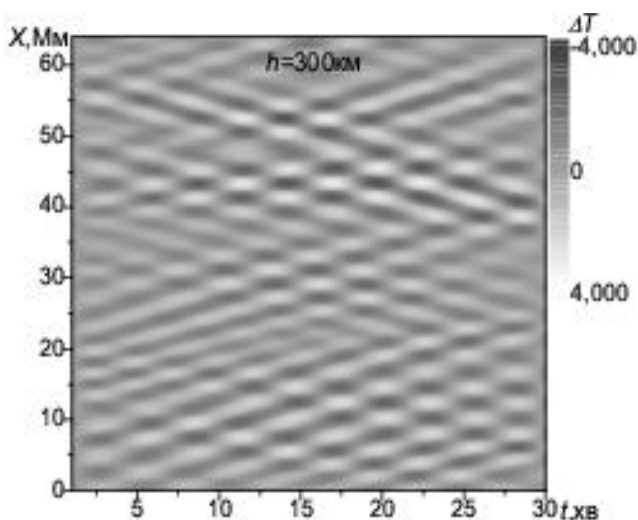
Спостереження чітко показують взаємозв'язок між грануляцією та  $p$ -модами [6,9].

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

- глобальні варіації температури у фотосфері Сонця (за результатами спостережень ДИФОС-Ф і VIRGO/SPM);
- просторово-часові варіації температури, густини та інших параметрів моделі на масштабах грануляції (за профілями лінії нейтрального заліза з високим просторовим розділенням);
- виділили (шляхом фільтрації просторових частот і усереднення 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 із спостереженнями [12], коливання в незбуреній атмосфері відбуваються практично всюди і завжди, причому фаза коливань зберігається довше, ніж амплітуда. А окремі цуги хвиль залишаються когерентними на відстанях 20  $\div$  40 Мм і протягом двох-трьох десятків хвилин. Наше дослідження профілів фраунгоферових ліній з високим просторовим і часовим розділенням також виявляє цуги акустичних хвиль, котрі при дотриманні певних умов можуть давати спостережувані варіації яскравості Сонця. Використовуючи  $k - \omega - V$  фільтрацію, ми виділили хвилі, котрі поширюються з  $V_{px} = 10 \div 15$  км/с, тобто хвилі, котрі поширюються майже горизонтально – рис.3. Виділені хвильові рухи є набором хвильових цугів, котрі поширюються в протилежні сторони. Трапляються хвилі, амплітуда котрих слабо змінюється з часом. Час існування деяких цугів порядку часу спостереження (31 хв), при виконанні певних фазових співвідношень цуги, котрі поширюються в протилежні сторони, дають конструктивну інтерференцію.



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

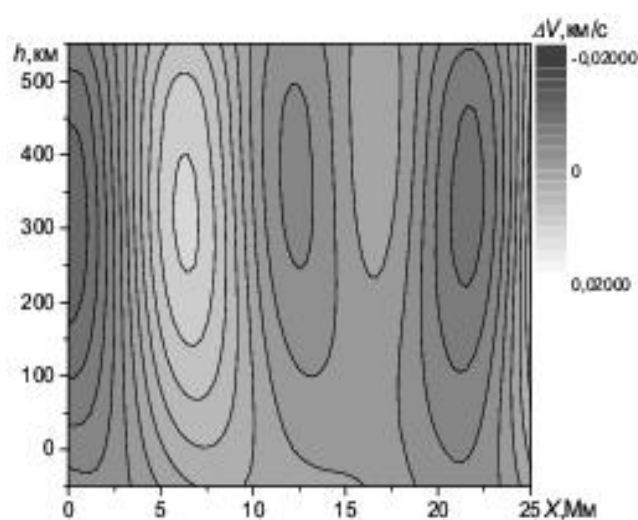
Згідно з рис.3 такі співвідношення виконуються доволі часто.

Але все ж існують хвилі, котрі поширюються у верхні шари атмосфери. Проте, амплітуда таких коливань уже менша. Остання обставина не є перепорою для їх детектування. Насправді, для хвиль, котрі поширюються переважно вгору, істотно збільшується проекція амплітуди коливань швидкості  $\Delta V_x$ , при цьому різко зростає проекція фазової швидкості на горизонтальний напрямок  $V_{p,h}$ , причому  $V_{p,h} > V_p$  ( $V_p$  – фазова швидкість). Останню обставину ми використали для виявлення акустичних хвиль, котрі поширюються у верхні шари атмосфери ( $k - \omega$  -V фільтрація). Так, хвилями, котрі поширюються із 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, проекція фазової швидкості котрих значно перевищує швидкість звуку:  $V_{p,x} = 40 \text{ км/с} \div 60 \text{ км/с}$ ; ці хвилі поширюються під кутом  $25^\circ \div 30^\circ$  до нормалі (оцінка зроблена по нахилу хвильового фронту). А на участку  $X = 10 \div 20$  Мм відбувається різка зміна напрямку поширення хвиль з подальшим відбиттям вниз: 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, котрий відбиває п'ятихвилинні коливання, так як чутливість вибраної лінії заліза до варіацій термодинамічних і кінематичних параметрів моделі атмосфери різко падає при  $h > 550$  км, але можна стверджувати, що відбиваючий шар залягає не нижче від температурного мінімуму.

Отже, спостереження з високим просторовим розділенням виявляють:

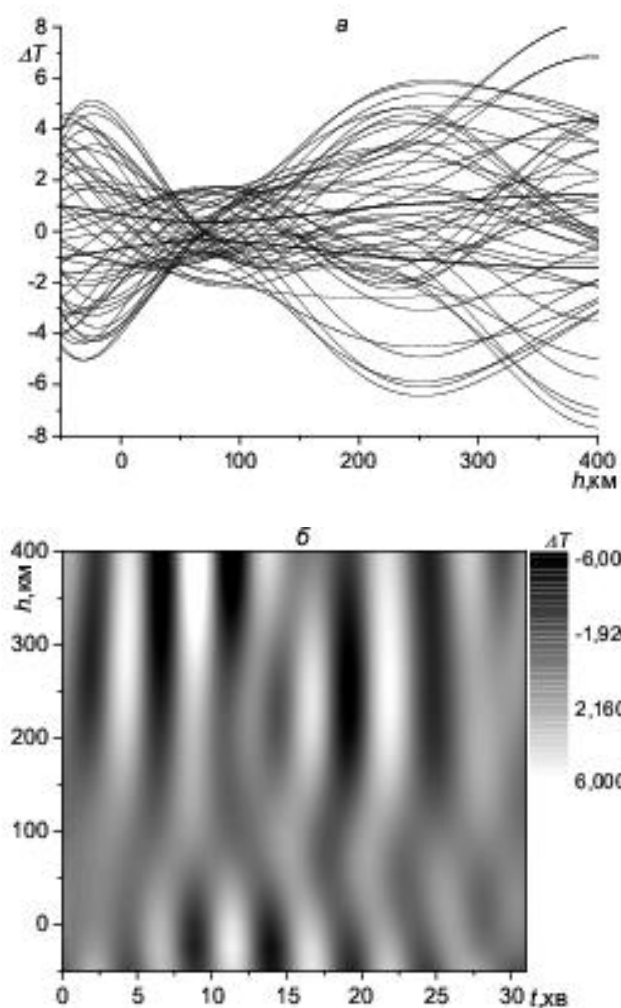
- а – наявність хвильових цугів із часом існування не меншим за 30-хв,
- б – відбивання хвильових цугів від верхніх шарів неоднорідної атмосфери,
- в – конструктивну інтерференцію цугів п'ятихвилинних коливань.



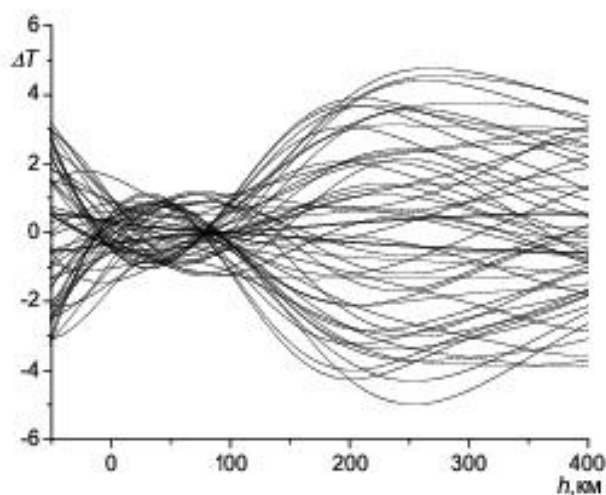
**Рис.4:** Структура акустичних хвиль в області відбивання від верхніх шарів.

Просторове усереднення відтвореної хвильової компоненти температури  $\Delta T(t,x,h)$  вздовж спостережуваної поверхні дає оцінку висотного розподілу  $\Delta T(t,,h)$  глобальних коливань низьких  $l$ . У  $k - \omega$  представленні коливань глобальним осциляціям низьких  $l$  відповідає вузька область, котра примикає до осі  $\omega$ . Отримані просторовим усередненням на кожний момент часу псевдоглобальні коливання в атмосфері Сонця подані на рис. 5. На рис. 5,а показаний результат накладання висотної стратифікації 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 шляхом усереднення по просторовій  $X$ -координаті. На всіх досліджуваних висотах виділений сигнал псевдоглобальних коливань перевищує рівень шуму. Крім того, псевдоглобальні збурення температури дещо перевищують збурення, виділені по VIRGO/SPM та ДИФОС-Ф. Як і при відтворенні коливань за спостереженнями якості, амплітуда псевдоглобальних коливань зростає у верхніх шарах; вона збільшується також у нижній фотосфері. На висотах  $-20 \text{ км} < h < 100 \text{ км}$  амплітуда коливань зменшена. В цій області спостерігаються вузли коливань, котрим відповідають коливання різних  $l$ ; вирисовуються також пучності.

На рис. 5, б подана часова розгортка отриманих нами 5-хвилинних псевдо глобальних коливань. Видно стоячі хвилі з вузлом у зоні  $25 \text{ км} < h < 100 \text{ км}$  (фаза змінюється на  $180^\circ$ ). На висотах від вершини конвективної зони до області проникаючої конвекції структура коливань зазнає найбільших змін: так, змінюються положення вузлів, похилі участки свідчать про переміщення вузлів вгору-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  $l$  будуть згладжуватися).



**Рис.5:** Відтворені за профілями з високим просторовим розділенням псевдо глобальні 5-хвилинні акустичні коливання температури: а – висотна стратифікація; б – часова розгортка.



**Рис.6:** Висотна стратифікація відтворених псевдо глобальних акустичних коливань після фільтрації просторових частот ( $\lambda < 6$  Мм).

Оскільки число точок спостереження вздовж поверхні Сонця не достатньо велике (170 точок; ПЗС матриця  $512 \times 512$ , кожні три послдовні пікселі усереднювали вздовж просторової координати, тоді  $\Delta X =$

378 км, що відповідає просторовому розділенню  $0''.5$ ), то виникає питання про статистичну стійкість отриманих шляхом усереднення результатів. Ми провели аналогічні розрахунки для вибірки даних вдвічі меншої: результати якісно співпадають, що свідчить про статистичну стійкість отриманих результатів. Звичайно, збільшення розмірів спостережуваної області дозволить якісніше виділити псевдоглобальні коливання. На жаль, ми можемо хіба що промодельювати такий випадок шляхом додаткової фільтрації високих і середніх просторових частот результатів відтворення (ми усунули фільтром Ланцоша просторові частоти, котрим відповідають коливання з  $\lambda < 6$  Мм) з подальшим просторовим усередненням. Після такої обробки чіткіше обрисовуються вузли стоячих хвиль при  $h \approx 15$  км і  $h \approx 80 \pm 90$  км (див. рис. 6).

Виділені з просторово-часових варіацій температури псевдоглобальні коливання дещо більші, але все ж таки майже того ж порядку, що і відтворені за варіаціями потоку випромінювання (дані ДИФОС-Ф). Крім того, така глобальна складова коливань присутня на всьому участку спостереження протяжністю 64~Мм вздовж поверхні Сонця.

Таким чином, розсіяні на фотосферних неоднорідностях глобальні  $p$ -моди низьких  $l$  дають глобальну конструктивну інтерференцію (накладання падаючих і відбитих хвиль), що спричиняє утворення в фотосферних шарах стоячих хвиль; останнє спричиняє модуляцію яскравості Сонця.

### Висновки

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:

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: на висотах  $100 \text{ км} < h < 180 \text{ км}$  і в нижній фотосфері: при  $h < 25$  км.

При дослідженні висотного розподілу глобальних фотосферних коливань низьких  $l$  показано, що п'ятихвилинні коливання яскравості Сонця породжені глобальними стоячими хвилями, один з вузлів котрих припадає на початок перехідної області до проникаючої конвекції –  $h \approx 90 \text{ км} \div 100 \text{ км}$ , а пучності – при  $h \approx 50 \text{ км}$  і  $180 \text{ км}$ .

Виділені з акустичних коливань температури (дані VTT) псевдоглобальні коливання того ж порядку величини, що і 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 у результаті розсіяння  $p$ -мод низьких сферичних гармонік на сонячній грануляції з подальшою їх конструктивною інтерференцією, що породжує температурні збурення у вигляді глобальних стоячих хвиль.

#### REFERENCES

1. Atroshchenko I.N., Gadun A.S., Gopasiuk S.I et.al. (exec. editor Gurtovenko E.A.) Variations of the global characteristics of the Sun. – Kiev: Nauk. dumka, 1991. – 304 p.
2. Bruns A.V. Izv. Krymsk. astroph. obs. – 2007. – V. 103, N 2. – P. 44-53.
3. Kostyk R.I., Shchukina N.G. Kinem. and phys. celest. bodies. – 1999. – V.15, N 1. – P. 25-37.
4. Stodilka M.I. Journal of physical studies. – 2004. – V. 8, N 2. – P. 192-198.
5. Hamming R.W. Digital filters. – Moscow: Soviet radio, 1980. – 224 p.
6. Espagnet O., Muller R., Roudier T., Mein P., Mein N., Malherbe J.M. Astron. and Astrophys. – 1996. – V. 313, № 1. – P. 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. – P.359-362.
8. Hasler K.-H., Zhugzhda Y.D., Lebedev N.L., Arlt R., Oraevsky V.N. Astron. and Astrophys. – 1997. – V. 322 – P. L41-L44.
9. Hoekzema N.M., Rutten R.J. Astron. and Astrophys. – 1998. – V. 329, № 2. – P. 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. Astron. and Astrophys. – 1995. – V. 296 – P. L25-L28.
11. Komm R., Howe R.W., Hill F. Astrophys. J. – 2002. – V. 572, Issue 1. – P. 663-673.
12. Musman S., Rust D.M. Solar Phys. – 1970. – V. 13, N 1. – P. 261-286.
13. Ruiz Cobo B., Rodriguez Hidalgo I., Collados M. Astrophys. J. – 1997. – V. 488, № 1. – P. 462-472.
14. Rodriguez Hidalgo I., Ruiz Cobo B., Collados M., Bellot Rubio L.R. Astrophys. J. – 2001. – V. 547, № 1. – P. 491-502.
15. Woodard M., Hudson H. Solar Phys. – 1983. – V. 82. – P. 67-73.
16. Zhugzhda Y. D., Stix M. Astron. and Astrophys. – 1994. – V. 291, № 1. – P. 310-319.
17. Zhugzhda Y.D. Astron. and Astrophys. Transactions. – 2003. – V. 22, № 4-5. – P. 593-606.

#### Solar irradiance five-minute oscillations

**M.Yu. Skulsky, M.I. Stodilka**

**Abstract.** We examined a possible nature and a origin of the solar irradiance five-minute oscillations. Using solar observations we solved inverse radiative transfer problem and reproduced 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 contribution of acoustic modes into the solar irradiance oscillations. It is shown, the latter ones originate from the scattering  $p$ -modes of low spherical harmonics on the solar granulation with the subsequent constructive interference.

**Keywords:** Solar irradiance, global oscillations