

МЕЗОГРАНУЛЯЦІЯ В СОНЯЧНІЙ АТМОСФЕРІ

О. А. Баран

*Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, 79005, Україна*

(Отримано 16 лютого 2012 р.; в остаточному вигляді — 30 липня 2012 р.)

Досліджено структуру конвективних комірок на мезогрануляційних масштабах у сонячній атмосфері з використанням профілів лінії нейтрального заліза $\lambda \approx 639.3$ нм з високим просторовим і часовим розділенням. Хвильові рухи усунено $k - \omega$ фільтрацією, виділено конвективні комірки на масштабах мезогрануляції. Проаналізовано розподіли варіацій температури й поля вертикальних швидкостей у досліджуваній області; виявлено інверсію варіацій температури у верхніх шарах фотосфери, рідше трапляється інверсія вертикальних швидкостей. Вивчено розподіли варіацій температури й вертикальної швидкості мезогрануляційних комірок, виявлено просторові зсуви відповідних структур. Кореляція варіацій температури й вертикальних швидкостей максимальна в нижній фотосфері, потім зменшується до нуля на $h \approx 240$ км, змінює знак (унаслідок інверсії) і знову зростає у верхніх шарах фотосфери.

Ключові слова: сонячна фотосфера, мезогрануляція, конвективні комірки, інверсія.

PACS number(s): 97.10.Ex

I. ВСТУП

У приповерхневих конвективних шарах Сонця відбувається перетворення конвективної енергії в радіаційну. При цьому висхідні конвективні потоки газу, згенеровані в нижніх шарах, проникають за інерцією в стабільну фотосферу і приводять до виникнення в її верхніх шарах гідродинамічних і температурних збурень, які взаємодіють.

Структура атмосфери Сонця представлена різними масштабами від найбільших, пов'язаних із диференціальним обертанням і меридіальною циркуляцією, до утворень менших масштабів: грануляції, тобто комірок розміром близько 1 Мм, що відображає високотурбулентні конвективні процеси в підфотосферних шарах, супергрануляції розміром близько 30 Мм, можливо, як результат більш глобальної конвекції, а також мезогрануляції — утворення проміжних масштабів (гранула–супергранула). Кожен елемент такої неоднорідної сонячної атмосфери бере участь одночасно в багатьох рухах, які становлять спостережуване поле швидкостей. Фізичні процеси, що відбуваються як в атмосфері Сонця, так і в підфотосферних шарах, можуть стати зрозумілишими завдяки докладному аналізу різних структурних утворень у фотосфері.

Основні досягнення в області дослідження сонячної конвекції зроблені у вивченні конвективних структур на масштабах грануляції [1–10] і супергрануляції [11–17]. У праці [18] уперше виявлено структурні утворення з амплітудою вертикальної швидкості 60 м/с, середнім розміром 7 Мм і тривалістю життя приблизно 2 год, відповідно введено термін “мезогрануляція”, щоб указати на ймовірний конвективний характер явища на масштабах між грануляцією й супергрануляцією, якого не вистачає. Поле горизонтальних швидкостей на мезогрануляційних масштабах (середні розміри структур — 6 Мм) дослідже-

но пізніше в [19]. Частина ранніх праць присвячена аналізу висотної стратифікації фізичних параметрів на цих масштабах, проте чіткого результату вони не дали [20, 21]. У роботі [22] інтенсивно досліджувалися вертикальна й горизонтальна швидкості мезогрануляції (на масштабах ≈ 10 Мм), знайдено свідчення конвективної природи цього явища. Отримані результати поставлено під сумнів у праці [23]: виявлено, що параметри фотосферної структури, такі, як поле вертикальних швидкостей, еволюція (фрагментація і тривалість), інтенсивність і характерні горизонтальні рухи, варіюють на масштабах між грануляцією й супергрануляцією. Флуктуації інтенсивності в мезогранулах, виявлені в [22, 24, 25]), корелювали з вертикальними швидкостями, що свідчило про конвекцію, проте було незрозуміло, чи це відбувається на окремих масштабах, чи з частиною масштабів широкого грануляційного розподілу.

Таким чином, від часу проведення перших робіт із конвекції проміжних масштабів на Сонці велика кількість спостережень виявляє в сонячній атмосфері структури, які приписують до явища “мезогрануляції”. Тоді як усі ці спостереження не залишають сумніву щодо існування таких квазістаціонарних утворень, принаймні їхня відмінність від грануляції не може бути як запереченою, так підтвердженою [26]. Тривалий час обговорюють просторові та часові масштаби явища мезогрануляції. Наприклад, в роботі [27] встановлено середній час життя 30–40 хв для мезогрануляції з характерними розмірами $18''$ (13 Мм), у [28] за допомогою кореляційного аналізу знайдено розміри мезогрануляції $5\text{--}10''$ (4–7 Мм) і тривалість 3–6 годин, а в праці [29] мезогрануляційні комірки проіснували лише 158 хв. У статті [15] запропоновано масштаби від 4 Мм (максимальний масштаб для грануляції і, відповідно, мінімальний для мезогрануляції) до 12 Мм (мінімальний супергрануляційний масштаб, а отже, максимальний для мезогрануляції) вважати мезогра-

нуляційними масштабами.

Вивчення реальної атмосфери Сонця — її структури, динаміки, фізичних умов, процесів, що відбуваються в ній, — є основною частиною фундаментальних проблем фізики Сонця. Характер конвективного руху ще до кінця не вивчений, досі існує проблема коректного відтворення фізичних умов в атмосфері Сонця й відсутня однозначна інтерпретація даних спостережень. Тому дослідження варіацій фізичних параметрів сонячної конвекції різних масштабів за результатами сучасних спостережень усе ще актуальне.

Мета нашої роботи — за даними спостережень Сонця в лінії нейтрального заліза з високим просторовим розділенням отримати просторово-часові варіації температури й вертикальної швидкості сонячної конвекції; виділити й дослідити конвективну структуру сонячної фотосфери на масштабах мезогрануляції.

II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ

У нашій статті ми аналізуємо дані спостережень, які отримала Н. Г. Щукіна на 70-см вакуумному баштовому телескопі VTT (Канарські острови, Іспанія) поблизу центра сонячного диска в спокійній області з просторовим розділенням $\approx 0''.5$ [1]. Тривалість спостережень — 2.6 год.

Спостереження проведено в лінії нейтрального заліза $\lambda \approx 639.3$ нм, яка утворюється в сонячній фотосфері. Лінії заліза забезпечують пряму діагностику температури й поля швидкостей в атмосфері Сонця, оскільки доплерівське розширення лінії визначається, в основному, фотосферними швидкостями.

III. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Застосувавши інверсну процедуру для спостережуваних профілів [30], ми відтворили стратифікацію температури й поля вертикальних швидкостей у фотосфері Сонця вздовж двох просторових координат (h — по висоті, X — вздовж поверхні Сонця); протяжність уздовж поверхні Сонця — 64000 км. Отримані моделі сонячної фотосфери, що враховують конвекцію й акустичні хвилі, представлені розподілом температури, променевої швидкості й інших параметрів (рис. 1). Досліджувані глибини, на яких відтворено стратифікацію температури й поля швидкостей, перебувають у межах від -25 км до 550 км (глибини утворення вибраної лінії в межах моделі спокійної атмосфери Сонця VAL-80 [31]). Діапазон зміни ΔT обмежений ± 300 К, що ліпше відтворює контраст у верхніх шарах атмосфери; для $|\Delta T| > 300$ К відбувається насичення контрасту. Те ж саме стосується до просторового розподілу швидкості: діапазон зміни V обмежений ± 0.9 км/с. Отже, білий колір відповідає висхідному потоку гарячої речовини, а темно-сірий — низхідному потоку холодної речовини.

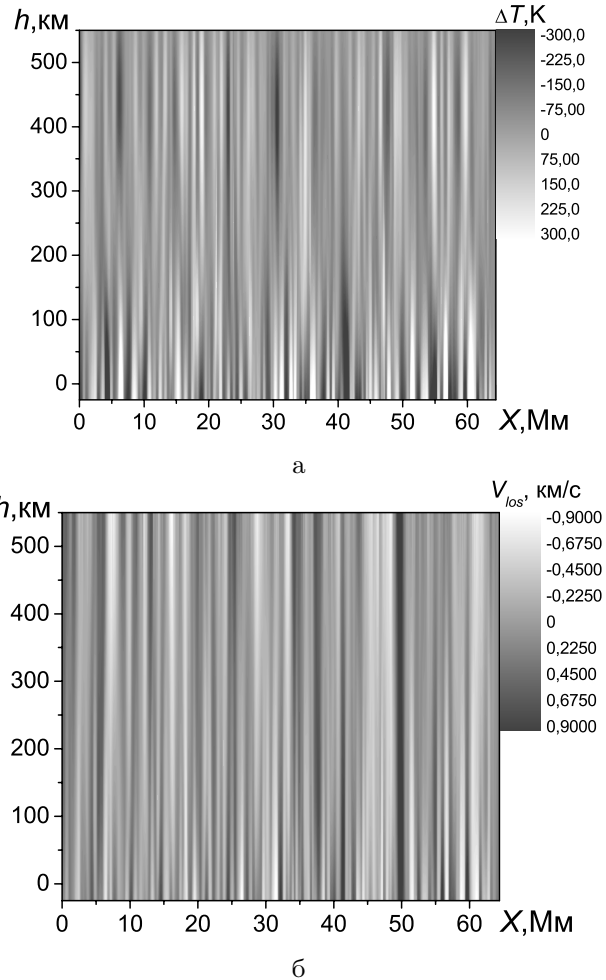


Рис. 1. Просторовий розподіл температурних варіацій (а) і вертикальних швидкостей (б) у сонячній фотосфері, включаючи конвекцію й акустичні хвилі.

Температурні варіації в сонячній фотосфері (рис. 1,а) дещо зменшуються з висотою і знову збільшуються у верхніх шарах. Структура потоків у представленні полем вертикальних швидкостей (рис. 1,б) складається з вертикальних колонок і зберігається до температурного мінімуму; тут також спостерігається зменшення варіацій швидкості з висотою з наступним збільшенням варіацій у верхній фотосфері за рахунок акустичних хвиль, що домінують у цих шарах [11].

А. Фотосферна конвекція

Структура фотосфери Сонця визначається як хвилювими, так і конвективними рухами, тому виникає задача коректного їх розділення. У нашій роботі розділення осциляцій проведено за допомогою перетворення Фур'є. Таке перетворення просторово-часових варіацій дає змогу за допомогою лінії $\omega = v \cdot k_x$, де v — швидкість звуку, видалити хвилюву компоненту. Справді, області Фур'є-образу $\omega < v \cdot k_x$ відповідають конвективні рухи, а області $\omega \geq v \cdot k_x$ — звукові коливання. Таким чином, застосувавши обернене перетворення Фур'є, ми отримали просторово-часові варіації

досліджуваних величин, викликані виключно конвективними рухами.

На рис. 2 зображено просторові розподіли варіацій температури (рис. 2,а) і поля вертикальних швидкостей (рис. 2,б), зумовлені виключно конвективними рухами. Діапазон зміни ΔT і V менший, ніж на рис. 1: ± 200 К і ± 0.5 км/с відповідно.

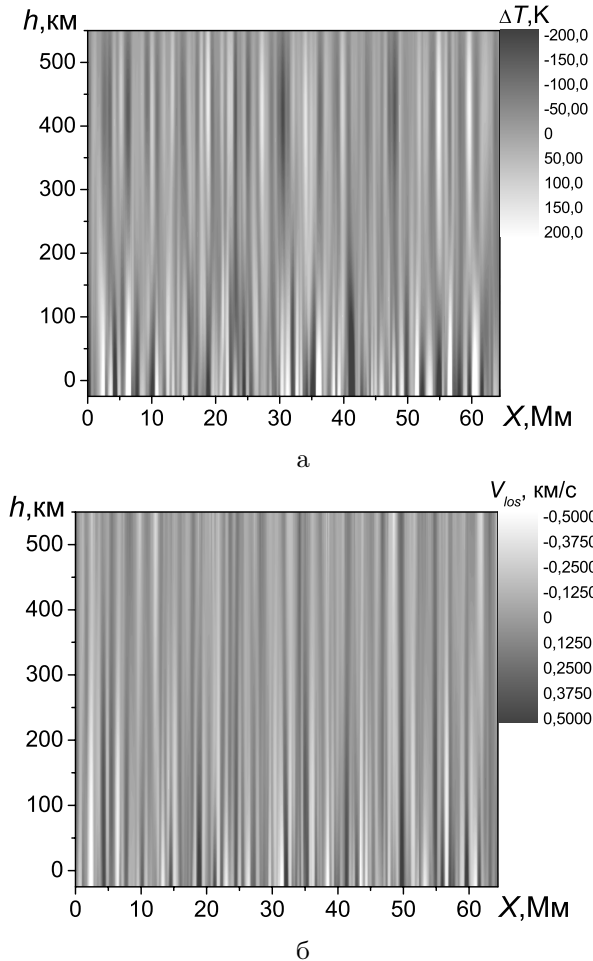


Рис. 2. Просторовий розподіл температурних варіацій (а) і вертикальних швидкостей (б), зумовлені виключно конвективними рухами.

Згідно з отриманими результатами (рис. 2,а), верхня межа термічної конвекції є дещо вище від видимої поверхні: при $h = 200 \pm 50$ км ($h = 200 \div 300$ км в [6]). У нижній фотосфері елементи плазми, що рухається вгору, гарячіший за навколишнє середовище і навпаки. Вище існує перехідний шар, у якому варіації температури знижуються до мінімальних значень. Тут починається область проникаючої конвекції ($h > 200$ км), яка значною мірою визначає температурну структуру верхньої фотосфери. У верхніх шарах знову відновлюються флуктуації температури конвективного походження, спостерігається температурна інверсія — зміна знака варіацій температури порівняно з відповідними варіаціями в нижній фотосфері. Цей ефект уперше виявлений на грануляційних масштабах [32], а також детально досліджений

у [6]. Згідно з роботою [9], інверсія пов'язана зі швидким адиабатичним розширенням і радіаційним охолодженням газу висхідних потоків, розігрівом за рахунок стиснення низхідного газу, а також чутливістю коефіцієнта поглинання до зміни температури.

Структура конвективних потоків у представленні полем вертикальних швидкостей (рис. 2,б) складається з вертикальних колонок і зберігається до висот температурного мінімуму. За рахунок виникнення горизонтальних потоків швидкість конвективних рухів, не зважаючи на зменшення густини газу, зменшується з висотою; це стосується як висхідних, так і нисхідних течій газу. В області проникаючої конвекції речовина рухається вгору за інерцією, це також призводить до зменшення швидкості конвективних рухів.

В. Конвективні комірки на мезогрануляційних масштабах

У нашій роботі масштаби мезогрануляції вибрані на основі огляду попередніх праць з визначення відповідних масштабів [14, 15, 18, 26–29, 33]. Методом фільтрації просторових і часових частот виділено мезогрануляційні комірки з шириною $5 \div 15$ Мм і тривалістю життя понад 8 хв (верхня межа — час спостережень 2.6 год).

Просторові розподіли варіацій температури й поля вертикальних швидкостей фотосферної конвекції на мезогрануляційних масштабах показано на рис. 3,а і 4,а. Діапазон зміни ΔT і V становить ± 20 К і ± 0.04 км/с відповідно.

1. Температурна структура

На рис. 3,а зображено просторовий розподіл варіацій температури мезогрануляції. Згідно з отриманими даними, варіації температури в мезогрануляційних комірках максимальні на $h = 0$ км і сягають значень ± 40 К і більше (в окремих випадках до ± 60 К). З висотою варіації температури зменшуються. Вище є область із мінімальними значеннями варіацій температури приблизно ± 10 К (точність відтворення температури на тестових задачах — декілька градусів у парах утворення лінії). Однак для кожної окремої мезогранулі ця область починається на різних висотах від $h = 75 \div 100$ км (рис. 3,а: $X = 0 \div 7$ Мм) до $h = 250$ км (рис. 3,а: $X = 44 \div 53$ Мм). Над перехідною областю знову відновлюються флуктуації температури: на $h = 400 \div 450$ км вони зазвичай набувають значень не менше ± 20 К, інколи — до ± 40 К. Температурна структура мезогрануляції зберігається до висот $h = 550$ км і, можливо, дещо вище.

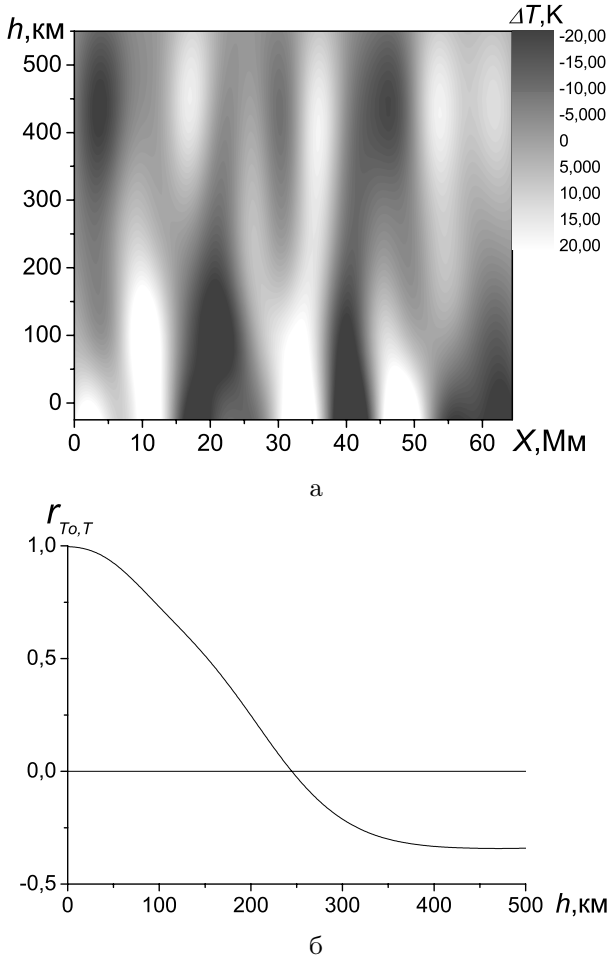


Рис. 3. Просторовий розподіл температурних варіацій у сонячній фотосфері на мезогрануляційних масштабах (а); коефіцієнт кореляції $r_{T_0, T}$ варіацій температури на різних висотах з варіаціями температури на висоті $h = 0$ км (б).

У середній і верхній фотосферах, як правило, відбувається інверсія флуктуацій температури: висхідний (гарячіший у нижніх шарах) потік газу стає холоднішим порівняно з низхідним. Область температурної інверсії на мезогрануляційних масштабах — від $h = 100$ км до температурного мінімуму, причому спостерігається тенденція: чим більша мезогранула, тим у вищих шарах відбувається інверсія. Для малих структур вона проявляється вже на $h = 100 \div 150$ км (рис. 3,а: $X = 0 \div 7$ Мм); для більших комірок температурні варіації змінюють знак вище, на висотах $h > 300$ км (рис. 3,а: $X = 14 \div 20$ Мм). Зазначимо, що температурна структура мезогрануляції у вищих шарах (з інверсією) може бути дещо зміщена щодо відповідної температурної структури в нижній фотосфері.

Ми обчислили коефіцієнт кореляції $r_{T_0, T}$ варіацій температури по всій висоті стосовно до варіацій температури на висоті $h = 0$ км (рис. 3б). Максимальна похибка коефіцієнта кореляції ± 0.002 . Як бачимо, на висоті $h \approx 245$ км міняється знак кореляції і цю висоту можна вважати початком температурної інверсії для мезогрануляційних масштабів.

2. Поле вертикальних швидкостей

На рис. 4,а зображено просторовий розподіл варіацій променевої швидкості мезогрануляції. Аналогічно до варіацій температури, вертикальна швидкість речовини в мезогрануляційних комірках максимальна в шарах нижньої фотосфери. У нижній фотосфері варіації швидкості сягають значень ± 0.1 км/с і більше. З висотою варіації вертикальної швидкості на масштабах мезогрануляції послаблюються: у деяких структурах (як правило, менших розмірів) швидкість речовини зменшується вдвічі (-0.05 км/с $< V < 0.05$ км/с) вже на $h = 100$ км (рис. 4а: $X = 36 \div 41$ Мм); в інших комірках швидкість з висотою зменшується повільніше і стає нижчою за ± 0.05 км/с на $h = 200 \div 300$ км (рис. 4,а: $X = 8 \div 14$ Мм, $X = 15 \div 22$ Мм). мезогрануляція все ж досягає висот $h = 500 \div 550$ км з мінімальними варіаціями швидкості $\pm 0.02 \div 0.03$ км/с.

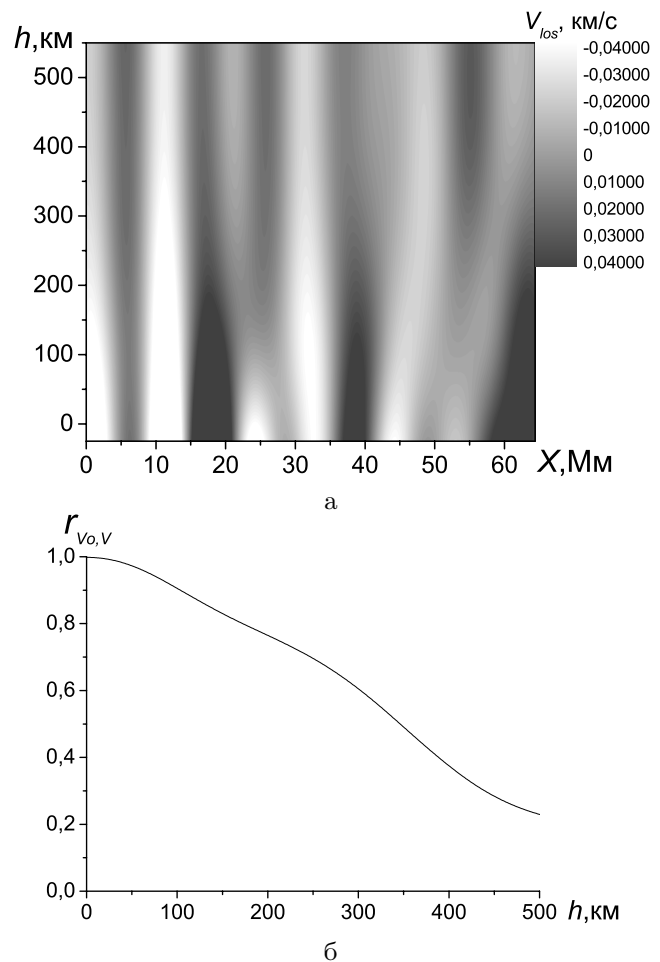


Рис. 4. Просторовий розподіл вертикальних швидкостей у сонячній фотосфері на мезогрануляційних масштабах (а); коефіцієнт кореляції $r_{V_0, V}$ вертикальних швидкостей на різних висотах з вертикальними швидкостями на висоті $h = 0$ км (б).

Зрідка відбувається інверсія варіацій швидкості (в [6] цей ефект також буває на менших масштабах): у мезогранулах на $X = 22 \div 29$ Мм і $X = 51 \div 57$ Мм

(рис. 4,а) з висотою швидкість падає до нуля (на $h \approx 100$ км), аналогічно до варіацій температури, а у верхній фотосфері знову відновлюються варіації швидкості, проте з протилежним знаком. У цьому разі варіації швидкостей зростають із висотою, але їхнє значення не перевищують 0.03 км/с, тобто швидкості у верхніх шарах значно менші, ніж у нижній фотосфері.

Коефіцієнт кореляції $r_{V_0, V}$ вертикальних швидкостей на різних висотах з вертикальними швидкостями на висоті $h = 0$ км (рис. 4,б) зменшується з висотою, що аналогічно є наслідком горизонтального зміщення структури вертикальних швидкостей у верхніх шарах фотосфери, а також інверсії швидкостей (рис. 4,а).

3. Розподіл варіацій температури й вертикальної швидкості мезогрануляційних комірок

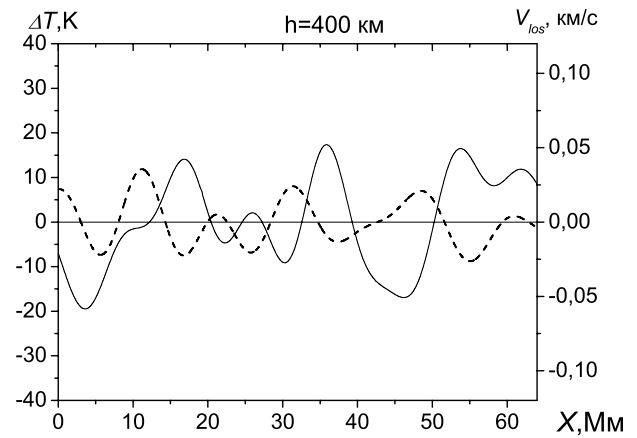
На рис. 5,а–б показано розподіли ΔT і V вздовж горизонтальної координати X на висотах $h = 0$ км і $h = 400$ км. Для ліпшого візуального сприйняття вздовж вертикальної осі відкладена швидкість ($-V$).

У нижній фотосфері ($h = 0$ км, рис. 5,а), де суттєву роль відіграє конвекція, температурна структура на мезогрануляційних масштабах відповідає додатним варіаціям температури відповідає висхідний рух речовини ($X = 0 \div 5$ Мм, $X = 8 \div 15$ Мм, $X = 28 \div 35$ Мм, $X = 44 \div 52$ Мм), від'ємним — низхідний рух ($X = 15 \div 22$ Мм, $X = 37 \div 42$ Мм, $X = 55 \div 64$ Мм). Проте в багатьох випадках розподіли температури й вертикальної швидкості більше чи менше зміщені (у горизонтальному напрямку) всередині мезогрануляційної комірки. Доволі рідко трапляються випадки, коли межі цих структур точно збігаються, як, для прикладу, на $X = 15$ Мм мінімум температурних варіацій відповідає нульовому значенню швидкості. Іншим разом температурна структура може бути ширшою ($X = 15 \div 28$ Мм, $X = 28 \div 39$ Мм) чи, навпаки, вужчою, ніж структура вертикальної швидкості ($X = 44 \div 52$ Мм). Щобільше, центри цих структур теж не завжди збігаються.

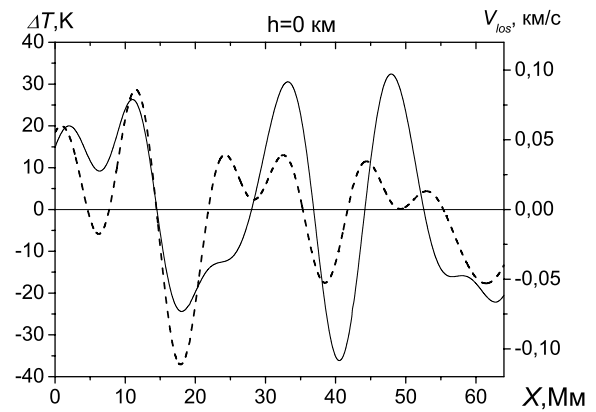
У верхніх шарах фотосфери ($h = 400$ км, рис. 5б) внаслідок температурної інверсії вгору рухається холодніша речовина ($X = 0 \div 3$ Мм, $X = 8 \div 12$ Мм, $X = 20 \div 22$ Мм, $X = 28, 5 \div 32, 5$ Мм, $X = 43 \div 50$ Мм) і опускається гарячіша ($X = 14 \div 20$ Мм, $X = 25 \div 27, 5$ Мм, $X = 35 \div 39$ Мм, $X = 52 \div 59$ Мм). Тут також виявлено горизонтальні зсуви відповідних розподілів: здебільшого межі й центри структур не збігаються.

На рис. 5в показано коефіцієнт кореляції $r_{T, V}$ варіацій температури й вертикальної швидкості як функцію висоти: з максимального значення $r_{T, V} = 0.7$ у нижній фотосфері коефіцієнт кореляції падає до нуля на $h \approx 240$ км і вище знову зростає (із протилежним знаком через інверсію) до значень $r_{T, V} = -0.2 \div -0.3$. Отже, у середній і верхній фотосферах структура мезогрануляції частково відновлюється. Проте зменшення варіацій температури і швидкості відбувається з висотою, інверсія

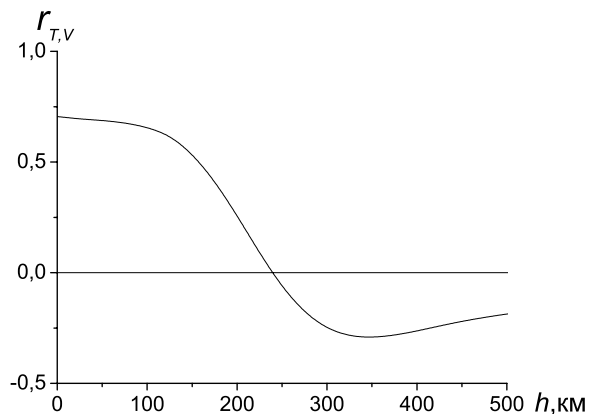
і їхні горизонтальні зміщення зменшують відповідність комірок у верхніх і нижніх шарах фотосфери (рис. 5,а-б).



а



б



в

Рис. 5. Просторовий розподіл температурних варіацій і вертикальних швидкостей мезогрануляції на висотах 400 км (а) і 0 км (б) (суцільна лінія — варіації температури, штрих-пунктир — вертикальна швидкість); коефіцієнт кореляції $r_{T, V}$ варіацій температури й конвективної швидкості як функція висоти (в).

Як бачимо, початок області температурної інверсії за різними критеріями майже сходиться.

IV. ВИСНОВКИ

У роботі використано результати відтворення просторово-часових варіацій температури й вертикальної швидкості у фотосфері Сонця за даними спостережень Сонця в лінії нейтрального заліза $\lambda \approx 639.3$ нм з високим просторовим розділенням. За допомогою $k - \omega$ фільтрації виділено конвективний складник.

Методом фільтрації просторових і часових частот виділено мезогрануляційні комірки розміром понад 5 Мм. Досліджено конвективне поле температури і швидкостей реальної сонячної мезогрануляції в різних шарах фотосфери. Основні результати нашого дослідження:

- на масштабах мезогрануляції варіації температури максимальні в нижній фотосфері, з висотою вони зменшуються (область мінімальних значень варіацій температури — $h \approx 100 \div 250$ км) і знову зростають у верхніх шарах;
- поле вертикальних швидкостей мезогрануляції складається з вертикальних колонок; із висотою зменшується амплітуда швидкості й кореляція зі швидкістю в нижній фотосфері; більшість комірок усе ж досягає висот $h = 500 \div 550$ км;
- у середній і верхній фотосферах відбувається температурна інверсія — зміна знака варіацій температури, причому висота інверсії залежить від розміру комірки (коефіцієнт кореляції

$r_{T_0, T=0}$ на $h \approx 245$ км); рідше спостерігаємо інверсію вертикальної швидкості.

Проаналізовано розподіл варіацій температури й вертикальної швидкості мезогрануляційних комірок:

- у нижній фотосфері додатним варіаціям температури відповідає висхідний рух речовини, від'ємним — низхідний рух;
- у верхніх шарах унаслідок температурної інверсії вгору рухається холодніша речовина й опускається гарячіша;
- виявлено просторові зсуви у відповідних розподілах у нижній і верхній фотосферах: у багатьох випадках температурна структура і структура конвективної швидкості більше чи менше зміщені (у горизонтальному напрямку) в межах мезогрануляційної комірки.

Кореляція варіацій температури й конвективної швидкості максимальна в нижній фотосфері ($r = 0.7$ через зміщення відповідних розподілів), з висотою зменшується до $r = 0$ на $h \approx 240$ км, вище міняє знак і в верхній фотосфері набуває значень $r = -0.2 \div -0.3$ (через інверсію й горизонтальні зсуви). Отже, у верхніх шарах фотосфери структура мезогрануляції частково відновлюється.

Ми щиро вдячні Н. Г. Щукіній і Р. І. Костикові за надані результати спостережень.

[1] Р. И. Костык, Н. Г. Щукина, *Астрон. журн.* **81**, 846 (2004).

[2] М. И. Стодилка, О. А. Баран, *Кинем. физ. небес. тел* **24**, 99 (2008).

[3] O. Espagnet, R. Muller, T. Roudier, P. Mein, N. Mein, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **109**, 79 (1995).

[4] A. S. Gadun, A. Hanslmeier, K. N. Pikalov, S. R. O. Ploner, K. G. Puschmann, S. K. Solanki, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **146**, 267 (2000).

[5] J. Hirzberger, *Astron. Astrophys.* **392**, 1105 (2002).

[6] R. Kostik, E. Khomenko, N. Shchukina, *Astron. Astrophys.* **506**, 1405 (2009).

[7] A. Nordlund, R. F. Stein, M. Asplund, *Liv. Rev. Solar Phys.* **6**, 1 (2009).

[8] A. Nesis, R. Hammer, M. Roth, H. Schleicher, *Astron. Astrophys.* **451**, 1081 (2006).

[9] K. Puschmann, B. Ruiz Cobo, M. Vazquez, J. A. Bonet, A. Hanslmeier, *Astron. Astrophys.* **441**, 1157 (2005).

[10] M. P. Rast, *Astrophys. J.* **443**, 863 (1995).

[11] M. L. DeRosa, J. Toomre, *Astrophys. J.* **616**, 1242 (2004).

[12] D. H. Hathaway, J. G. Beck, S. Han, J. Raymond, *Solar Phys.* **205**, 25 (2002).

[13] L. J. November, *Solar Phys.* **154**, 1 (1994).

[14] M. P. Rast, *Astrophys. J.* **597**, 1200 (2003).

[15] M. Rieutord, F. Rincon, *Liv. Rev. Solar Phys.* **7**, 1 (2010).

[16] G. W. Simon, R. B. Leighton, *Astrophys. J.* **140**, 1120 (1964).

[17] M. Svanda, M. Klnana, M. Sobotka, *Hvar Observ. Bull.* **29**, 39 (2005).

[18] L. J. November, J. Toomre, K. B. Gebbie, G. W. Simon, *Astrophys. J.* **245**, L123 (1981).

[19] A. M. Title, T. D. Tarbell, L. Acton, D. Duncan, G. W. Simon, *Sol. Phys.* **6**, 253 (1986).

[20] L. Dame, M. Martic, *Astrophys. J.* **314**, L15 (1987).

[21] L. J. November, J. Toomre, K. B. Gebbie, G. W. Simon, *Astrophys. J.* **258**, 846 (1982).

[22] F.-L. Deubner, *Astron. Astrophys.* **216**, 259 (1989).

[23] H. Wang, *Solar Phys.* **123**, 21 (1989).

[24] S. Koutchmy, C. Lebecq, *Astron. Astrophys.* **169**, 323 (1986).

[25] T. Straus, F.-L. Deubner, B. Fleck, *Astron. Astrophys.* **256**, 652 (1992).

[26] T. Straus, D. Bonaccini, *Astron. Astrophys.* **324**, 704 (1997).

[27] S. Ueno, R. Kitai, *Publ. Astron. Soc. Jpn* **50**, 25 (1998).

[28] R. A. Shine, G. W. Simon, N. E. Hurlburt, *Solar Phys.* **193**, 313 (2000).

[29] M. Leitzinger, P. N. Brandt, A. Hanslmeier, W. Pötzi, J. Hirzberger, *Astron. Astrophys.* **444**, 245 (2005).

[30] М. І. Стодилка, *Журн. фіз. досл.* **6**, 435 (2002).

[31] J. E. Vernazza, E. H. Avrett, R. Loeser, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **45**, 635 (1981).

[32] E. V. Khomenko, R. I. Kostik, N. G. Shchukina, *Astron. Astrophys.* **369**, 660 (2001).

[33] Th. Roudier, J. M. Malherbe., J. Vigneau, B. Pfeiffer, *Astron. Astrophys.* **330**, 1136 (1998).

MESOGANULATION IN SOLAR ATMOSPHERE

O. A. Baran

Astronomical Observatory of the Ivan Franko National University of Lviv,

8, Kyryla i Mefodia St., Lviv, UA-79005, Ukraine

e-mail: baran@astro.franko.lviv.ua

We studied the structure of the convective cells of mesogranule scales in the solar atmosphere using neutral iron line $\lambda \approx 639.3$ nm profiles obtained with high spatial and temporal resolution. The acoustic waves were removed by $k - \omega$ filtration, the convective cells of mesogranule scales were selected. The distributions of temperature and vertical velocity in the investigated region are analyzed: the inversion of temperature fluctuations is detected in the upper layers of the photosphere and the inversion of vertical velocity is also possible. We investigated the distributions of temperature and vertical velocity within mesogranule cells; we have detected horizontal shifts of the corresponding structures. The correlation of temperature fluctuations and vertical velocity is the highest in the lower photosphere, then decreases to zero at $h \approx 240$ km, changes sign and increases in the upper layers again.