

**Список використаних джерел**

1. Kazantsev A. M. The simple numerical method of near-Earth asteroids orbits calculations / A. M. Kazantsev (in rus.: Казанцев А. М. Простой метод численных расчетов эволюции орбит околоземных астероидов) // Astron. Vestnik, 2002. – Vol. 36. – № 1. – P. 48–54.
2. Reference guide on celestial mechanics and astrodynamics ; Eds. G. N. Duboshina (in rus.: Справочное руководство по Небесной механике и астеродинамике ; под ред. Г. Н. Дубошина). – Moscow : Nauka, 1978. – 852 p.
3. Chen L. Correlations between solid tides and worldwide earthquakes  $M_s \geq 7.0$  since 1900 / L. Chen, J. G. Chen, Q. H. Xu // Natural Hazards and Earth System Sci., 2012. – Vol. 12, Is. 3. – P. 587–590.
4. Knopoff L. Correlation of Earthquakes with Lunar Orbital Motions / L. Knopoff // The Moon, 1970. – Vol. 2, Is. 2. – P. 140–143.
5. Sadeh Dror S. Search for sidereal periodicity in earthquake occurrences / Dror S. Sadeh, Meir Meidav // J. of Geophysical Research, 1973. – Vol. 78, Is. 32. – P. 7709–7716.
6. Weems Robert E. Strong correlation of major earthquakes with solid-earth tides in part of the eastern United States / Robert E. Weems, H. Jr. Perry William // Geology, 1989. – Vol. 17, Is. 7. – P. 661.

Надійшла до редколегії 12.07.16

А. Казанцев канд. физ.-мат. наук, Л. Казанцева, канд. физ.-мат. наук,  
Астрономическая обсерватория  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев

**ПОИСК ВОЗМОЖНЫХ СВЯЗЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ  
СОЛНЦА И ЛУНЫ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**

*Если существует влияние Луны и Солнца на возникновение землетрясений, то физическая природа такого влияния может быть лишь гравитационной. Возможное гравитационное влияние вызывает равнодействующая приливных сил этих тел, а не их отдельное действие. Выполнены расчеты приливных сил Луны и Солнца и их равнодействующей для различных моментов времени и координат гипоцентров. Сделаны предварительные выводы о возможном влиянии этих двух космических тел на возникновение землетрясений для разных точек земной поверхности и глубин гипоцентров.*

*Ключевые слова: землетрясение, приливная сила, Луна, Солнце.*

A. Kazantsev, Ph. D., L. Kazantseva, Ph. D.  
Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

**A SEARCH FOR POSSIBLE CONNECTIONS OF GRAVITATIONAL INFLUENCE  
OF THE SUN AND THE MOON WITH EARTHQUAKES**

*If there is an influence of the Moon and Sun on occurrence of earthquakes, the physical nature of such influence can only be the gravitational. A possible gravitational influence is caused by the resultant tidal forces of those bodies, but not by their separate actions. There were calculated tidal forces of the Moon and the Sun and their resultant force for different time moments and hypocenter coordinates. Previous conclusions about a possible influence of those two cosmic bodies on occurrence of the earthquakes in different coordinates and depths of the hypocenters were made.*

*Key words: earthquake, tidal force. Moon, Sun.*

УДК 524.8

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук,  
Астрономічна обсерваторія  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

**ВЕЛИКОМАСШТАБНІ РУХИ ГАЛАКТИК: ПЕРЕВІРКА МОДЕЛІ DIPOLE REPELLER  
ЗА ДАНИМИ ПРО RFGC ГАЛАКТИКИ**

*Показано, що дані про колективні рухи галактик каталогу RFGC не підтверджують і не суперечать гіпотезі про існування двох аттракторів, які домінують у полі колективних швидкостей нехаблівських рухів галактик, один з яких є відштовхувачем. Відхилення спостережувальних даних від тих, що передбачає мультипольна модель з додатковим аттрактором, істотно не зменшуються порівняно з мультипольною моделлю без аттрактора.*

**Вступ.** Причиною великомасштабних рухів галактик є неоднорідності у густині матерії, разом з темною, у різних ділянках Всесвіту. На масштабах менших за 200–300  $h^{-1}$  Мпк він достатньо неоднорідний. Є місця зі збільшеною густиною матерії, наприклад надскупчення галактик, є пустоти або voidи, де густина матерії значно менша за середню фонову густину  $\rho_b$ . Контраст густини  $\delta$  характеризує відхилення густини у певному місці  $\rho(\vec{r})$  від середньої та дорівнює

$$\delta(\vec{r}) = \frac{\rho(\vec{r})}{\rho_b} - 1. \tag{1}$$

Зрозуміло, що ця величина може бути від'ємною у областях з меншою густиною, але  $\delta > -1$ . У надскупченнях ця величина натомість може бути досить великою. Утворення надскупчень є результатом росту початкових флуктуацій густини на більших масштабах, ніж утворення маломасштабних флуктуацій маси. У лінійній теорії збурень вони пов'язані співвідношенням

$$\delta_c = b_c \delta, \tag{2}$$

де  $\delta_c$  – це контраст густини у кластерах (скупченнях),  $\delta$  – це контраст густини для галактик, а  $b_c$  – так званий параметр байсінгу. Разом із відсотком середньої густини матерії від критичної густини  $\rho_{cr}$ , який позначають  $\Omega_m = \rho / \rho_{cr}$ , він входить у формули, які описують нехаблівський великомасштабний колективний рух галактик [7]:

$$\vec{v}(\vec{r}) = \frac{\beta}{4\pi} \int \delta(\vec{r}') \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} d^3\vec{r}', \quad \beta \approx \frac{\Omega_m^{0.6}}{b_c}. \tag{3}$$

За спостережними даними  $\beta \approx 0.2$ .

За астрономічними спостереженнями ми можемо визначити тільки радіальну складову швидкості колективного руху галактик. Тому ми маємо справу зі спостережним полем радіальної складової швидкості колективного руху галактик. В наших роботах ми зазвичай моделюємо її за допомогою мультипольної моделі колективних великомасштабних рухів галактик, яка докладно описана у статтях [4, 5].

У 2017 р. вийшла робота [1], в якій стверджується, що за даними проекту Cosmicflows-2 у полі нехаблівських швидкостей на масштабах до  $100 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$  домінують два атрактора. Один з них це концентрація Шеплі, розташована у області з супергалактичними координатами  $\text{SGX}=-123 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ ,  $\text{SGY}=74 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$  та  $\text{SGZ}=-3 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ . Другий це не атрактор, а репеллер (відштовхувач), тобто вайд. Він розташований у області з супергалактичними координатами  $\text{SGX}=110 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ ,  $\text{SGY}=-60 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$  та  $\text{SGZ}=100 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ . Обидва атрактори розташовано далеко за межами області відстаней до  $100 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$  від нас.

Метою даної роботи є перевірка гіпотези про ці два атрактора, висунутої у [1], за даними про променеві швидкості, ширини ліній випромінювання H I та інші параметри галактик каталогу RFGC.

**Мультипольна модель колективних рухів галактик.** Зазвичай ми застосовуємо мультипольну модель, описану у [4, 5]. Вона існує у декількох варіантах. Простіша D-модель є сумою хаблівського розширення та bulk motion або однорідного руху (дипольна компонента). DQ-модель додає квадрупольну компоненту, яка описується 5 параметрами, а DQO-модель ще 10 компонентів, які описують октупольну компоненту руху. Окрім того, спеціально для цієї роботи ми застосовуємо хаблівську модель без нехаблівських рухів у вигляді

$$V = R = (C_1 + C_2 B + C_3 B T + C_4 U) \frac{W}{a} + C_5 \left( \frac{W}{a} \right)^2 + C_6 \frac{1}{a}. \quad (4)$$

Тут  $V$  – радіальна складова швидкості,  $W$  – ширина лінії випромінювання H I,  $a$  – кутовий розмір галактики на ESO/SERC репродукції, а  $T$  та  $U$  описано в [4, 5]. До цієї величини додаються мультипольні компоненти, утворюючи відповідну модель руху.

**Включення окремих атракторів.** На тлі поля швидкостей мультипольної моделі колективного руху можна розглядати вплив окремих атракторів. Це розглядалося у роботі [6]. Ситуація спрощується через те, що атрактори у Концентрації Шеплі та репеллер розташовані за границею області відстаней до  $100 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ , де знаходяться галактики вибірки, тому їх внесок у поле швидкостей не залежить від профілю густини, а згідно з (3) тільки від загальної надлишкової маси. Для  $j$ -ї галактики внесок у радіальну швидкість, спричинений впливом  $i$ -го атрактора, дорівнює [6]

$$\Delta v_j = \beta \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{r_{ij}^2} \cos(\theta_{ij}), \quad r_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2, \quad \cos(\theta_{ij}) = \frac{x_j(x_i - x_j) + y_j(y_i - y_j) + z_j(z_i - z_j)}{r_{ij} \sqrt{(x_j^2 + y_j^2 + z_j^2)}}, \quad (5)$$

де  $N$  – кількість атракторів (в нашому випадку два) з надлишковими масами  $\mu_i$ , використано вирази для відстаней між галактикою та атрактором  $r_{ij}$  та косинусом кута між напрямками від спостерігача до галактики та від галактики до атрактора, відповідно.

Таблиця 1

Порівняння застосування мультипольних моделей з атракторами та без них до RFGC галактик

Модель	Без атракторів	З двома додатковими атракторами		Відношення RSS	
		$\sigma$ , км/с	$\mu_1 \beta H^2 \cdot 10^{-10}$ , (км/с) <sup>3</sup>		$\mu_2 \beta H^2 \cdot 10^{-10}$ , (км/с) <sup>3</sup>
Хаблівська	1169.3	1159.4	4,4±1.1	2,2±3.3	1.0185
D	1158.7	1155.4	-0,9±1.6	-5,4±1.9	1.007
DQ	1151.3	1151.7	0,8±2.6	-3,3±3.3	1.0008
DQO	1137.7	1133.6	14,1±4.5	-7,9±5.7	1.009

**Вибірка та результати її опрацювання.** Ми використовуємо вибірку галактик каталогу RFGC [2,3], для яких є дані про їх червоні зміщення та ширини ліній випромінювання, точніше її підвибірку, обмежену за відстанями  $R < 100 \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ , яка містить дані 1459 галактик. Деталі дивись у роботі [4] та посиланнях там. Результати її опрацювання в рамках D-, DQ- та DQO-моделей наведено у [4]. Додаємо до них ще суто хаблівську модель. Крім того розглядаємо моделі, де на тлі рухів, які описуються всіма цими моделями додано два атрактори у точках  $(\text{SGX}=-123, \text{SGY}=74, \text{SGZ}=-3) \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$  та  $(\text{SGX}=110, \text{SGY}=-60, \text{SGZ}=100) \text{ h}^{-1} \text{ Мпс}$ , в яких знаходяться два домінуючих атрактора згідно з роботою [1]. У табл. 1 наведено значення та похибки надлишкових мас атракторів а також середньоквадратичні похибки розглянутих моделей  $\sigma$ . При розрахунках  $\sigma$  ми вважаємо, що кожний з двох атракторів має одну ступінь вільності, що відповідає зміні  $\mu$ , незважаючи на те, що його координати отримано у [1] при опрацюванні даних про колективні рухи галактик, бо опрацьовувались дані зовсім інших вибірок та зовсім іншим методом, а саме фільтром Вінера. В останній колонці дано відношення  $A$  залишкових квадратичних відхилень RSS для 1459 RFGC галактик для мультипольних моделей без атракторів до RSS моделей з атракторами. Літерою  $H$  позначено сталу Хаббла. Для отримання коефіцієнтів та їх похибок застосовують метод найменших квадратів, причому це вимагає ітераційної процедури.

**Висновки.** За даними табл. 1 можна зробити наступні висновки. Включення до моделі двох додаткових атракторів зменшує залишкове квадратичне відхилення RSS, але незначно. Відношення  $A$  для мультипольних моделей слабо відрізняється від одиниці. Але за рахунок значного об'єму вибірки відповідні коефіцієнти Фішера відповідають статистичній значущості включення пари атракторів. Виключенням є DQ-модель, де коефіцієнт Фішера малий та значення  $\sigma$  збільшується через зменшення кількості ступенів вільності. У всіх випадках додавання наступного мультиполя поля швидкостей є ефективнішим, ніж додавання пари атракторів. Величини  $\mu_i$  є нестабільними і часто їх значення є меншим або на рівні похибок. Через спробу відтворити складне поле полем двох атракторів змінюється не тільки величина, але й знак  $\mu_i$ .

Загалом гіпотеза про два атрактора, що домінують у полі швидкостей, не суперечить даним про колективні рухи галактик каталогу RFGC, але не підтверджується ними. Оцінки надлишкової маси цих атракторів є ненадійними.

## Список використаних джерел

1. *The Dipole Repeller* / Y. Hoffman, D. Pomarède, R. B. Tully, H. Courtois // *Nature Astronomy*, 2017. – Vol. 1, article 36.
2. *Karachentsev I. D. Flat Galaxy Catalogue* / I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, S. L. Parnovsky // *Astronom. Nachrichten*, 1993 – Vol. 314 – P. 97–222.
3. *Revised Flat Galaxy Catalogue* / I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, Yu. N. Kudrya et al. // *Bull. SAO*, 1999 – Vol. 47 – P. 5–185.
4. *Parnovsky S. Large-scale collective motion of RFGC galaxies in curved space-time* / S. Parnovsky, A. Parnowski // *Astrophysics and Space Sci.*, 2011. – Vol. 331. – P. 429–440.
5. *Parnovsky S. Investigation of large-scale motions based on RFGC catalogue* / S. Parnovsky (in ukr.: Дослідження великомасштабних колективних рухів галактик на основі каталогу RFGC) // *Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy*, 2010. – № 46. – P. 26–29.
6. *Parnovsky S. An impact of nearby attractors on the collective peculiar motion on galaxies* / S. Parnovsky (in ukr.: Вплив близьких аттракторів на великомасштабні пекулярні рухи галактик) // *Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy*, 2016. – № 2(54). – P. 38–41.
7. *Peebles P. J. E. The Large Scale Structure of the Universe* / P. J. E. Peebles // – Princeton: Princeton Univ. Press, 1980.

Надійшла до редколегії 15.02.17

Parnovsky S. L.

## LARGE-SCALE GALACTIC MOTIONS: TEST OF THE DIPOLE REPELLER MODEL WITH THE RFGC GALAXIES DATA

*The paper "The Dipole Repeller" in Nature Astronomy by Hoffman et al. state that the local large-scale galactic flow is dominated by a single attractor – associated with the Shapley Concentration – and a single previously unidentified repeller. We check this hypothesis using the data for 1459 galaxies from RFGC catalogue with distances up to  $100 h^{-1}$  Mpc. We compared the models with multipole velocity field for pure Hubble expansion and dipole, quadrupole and octopole motion with the models with two attractors in the regions indicated by Hoffman et al with the multipole velocity field background. The results do not support the hypothesis, but does not contradict it. In any case, the inclusion of the following multipole is more effective than the addition of two attractors. Estimations of excess mass of attractors vary greatly, even changing their sign depending on the highest multipole used in model.*

Парновский С.

## КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЛАКТИК: ПРОВЕРКА МОДЕЛИ DIPOLE REPELLER ПО ДАННЫМ О RFGC ГАЛАКТИКАХ

*Показано, что данные про коллективные движения галактик каталога RFGC не подтверждают и не противоречат гипотезе о существовании двух аттракторов, доминирующих в поле скоростей нехаббловских движений галактик, один из которых является отталкивателем.*

УДК 526.3; 523.68; 523.683

П. Козак, канд. фіз.-мат. наук,  
Астрономічна обсерваторія  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

## ДОТИЧНІ ДО ЗЕМНОЇ АТМОСФЕРИ МЕТЕОРИ

*Запропоновано огляд описаних у літературі дотичних до земної атмосфери метеорів, які спостерігалися оптичними методами. Описано результати спостережень такого метеора, зареєстрованого в Києві 23 вересня 2003 р. за допомогою телевізійних камер типу супер-ізокон. Наведено кінематичні параметри траєкторії метеора в земній атмосфері та елементи його геліоцентричної орбіти. Проведено порівняльний аналіз інших метеорних каталогів щодо наявності в них та кількості таких аномальних метеорів.*

*Ключові слова: метеори дотичні до земної атмосфери; фізика метеорів; відео спостереження метеорів.*

**Вступ.** Класичний розвиток метеора в атмосфері планети передбачає ряд послідовних процесів: нагрівання метеорного тіла, плавлення, та випаровування. Паралельно зі згаданими термодинамічними процесами метеор також гальмується. На практиці процес плавлення метеора як окрема складова його розвитку в атмосфері ігнорується через його швидкоплинність по відношенню до двох інших процесів. Таким чином розглядається спочатку процес нагрівання метеороїда до температури кипіння (випаровування) – абляції, де в якості питомої теплоємності частинки приймається сумарна енергія необхідна для нагрівання та плавлення одного грама речовини. Якщо частинка мала та випаровується досить швидко – за час менше однієї секунди – гальмуванням також нехтується. Також для маломасових метеороїдів можна прийняти що тіло ізотермічне по всьому об'єму, тобто прогрівається одночасно, і використовувати спрощені рівняння нагрівання та випаровування тіла як рідкої краплі, розробленої в [1, 2], а також описаної в [3].

Швидкість абляції метеора, а відтак і форма кривої блиску яка спостерігається, залежить як від внутрішніх характеристик тіла – в першу чергу густини та так званої пористості – так і від початкових кінематичних параметрів метеора – маси, швидкості та кута входження в атмосферу (зенітної відстані радіанта). Очевидно, що при визначених масі та швидкості метеороїда швидкість абляції буде пропорційна швидкості зростання густини атмосфери. Тобто вона буде максимальна для тіла, що входить в атмосферу вертикально, і мінімальна для тіл, які летять майже горизонтально. При цьому легко уявити, що такі горизонтальні, або дотичні до атмосфери метеори при деяких умовах, а саме при великій висоті перигею, можуть і не досягти температури випаровування, і пролетіти через верхні шари атмосфери лише злегка загальмувавшись та нагрівшись. Такі частинки з перигеями на висотах більше  $\sim 130\text{--}140$  км не спостерігаються як метеори. Маломасові ( $10^{-4} \div 1$  г) частинки з дещо нижчими перигеями на висотах  $\sim 100\text{--}120$  км можуть або перетворитись на метеор, або ні – залежно від маси та швидкості. Очевидно, в ряді випадків частинки, які перетворилися на метеор можуть пролетіти через перигей і далі досягти знову розріджених шарів атмосфери зберігши частину своєї маси. Такі частинки летять далі в космічний простір змінивши свою масу, а в деяких випадках і швидкість, дещо міняючи таким чином елементи своєї геліоцентричної орбіти. Очевидно, метеороїди з великими масами, та особливо з малими швидкостями, можуть пролетіти через перигей і на багато менших висотах. Тим не