



ISSN 2411-6602 (Online)

ISSN 1607-2855 (Print)

Том 14 • № 1 • 2018 С. 42 – 50

<https://doi.org/10.18372/2411-6602.14.06>

УДК 523.21

Діаграма “середня густина — глобальний період” як відображення гравітаційного впорядкування Сонячної планетної системи

М.Ю. Скульський

Національний університет “Львівська політехніка”, 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6

Проаналізовано хвильові та гравітаційні чинники, що відображають просторові особливості Сонячної планетної системи. Показано, що просторова структура Сонячної системи може бути відображена в двох алгоритмах єдиного хвильового механізму. Також встановлено, що хвильове впорядкування нашої системи узгоджене з глобальними коливаннями планет і Сонця, які відображають гравітаційну взаємодію цих об'єктів. Ці хвильові та гравітаційні чинники, які представлені в очевидних взаємозв'язках і відображені в простих фізичних рівняннях, формують своєрідне явище. Проведено дослідження виявленого феномену, включивши до нього нові карликові планети та наймасивніші супутники планет. Всі основні об'єкти Сонячної системи сформували чітку функціональну залежність між періодами їх глобальних коливань та їх середніми густинами. Вона представлена в формі діаграми “середня густина — глобальний період”. На ній, зокрема, планети та групи об'єктів показують деяку дискретність в їх гравітаційному впорядкуванні, а сучасне розташування масивних супутників навколо планет свідчить про суттєвий гравітаційний вплив припливних сил. В цілому, ця оригінальна діаграма є певним кроком до розуміння еволюції Сонячної системи та її здатності до самоорганізації.

Ключові слова: Сонячна система; орбітальне впорядкування; середні густини; глобальні коливання.

ВСТУП

Сучасний стан дослідження екзопланет вийшов на етап загального осмислення. Актуальною задачею став пошук принципів структурної організації екзопланетних систем та їх динамічної еволюції у порівнянні з Сонячною планетною системою. Починаючи від [6, 7] в цьому напрямі вже є ряд досліджень. Просторова структура кожної із майже двох десятків екзопланетних систем є індивідуальною і немає універсального правила їх впорядкування, а спроби теоретичних обґрунтувань на базі певного фізичного механізму не переконливі.

Однак для Сонячної системи були виявлені нові принципи упорядкування планет, а нами показано, що їх можна описати певними хвильовими алгоритмами. Ми виходили із відомих результатів програми дослідження магнітного поля Сонця як зорі та вимірювання глобальних коливань фотосфери Сонця на основі ефекту Доплера. Ця програма призвела до відкриття глобальних осциляцій Сонця з періодом $P = 160$ min [8], а також до нових уявлень щодо розташування планет Сонячної системи, які були пов'язані з цими коливаннями [2, 3]. Були виявлені резонансні співвідношення в орбітальних розмірах планет Сонячної системи у “шкалі” $L = cP = 19,24$ а.о., де c — швидкість світла. Впорядкування планет описувалось на основі двох принципів загального “L-резонансу” планет. Співвідношення для довжин орбіт внутрішніх планет було представлено у формі $2\pi a = L/n$, в той час як через рівняння $2a = nL$ — пересік орбіт для зовнішніх планет (де a — велика піввісь орбіти і n — ціле число, лише для Юпітера $n = 1/2$). Частотний аналіз показав впорядкування планет на основі принципів “L-резонансу” достовірно подією, однак їх фізична природа не була пояснена.

Досліджуючи ці принципи, ми зауважили [4], що просторова шкала має однакоvu розмірність з довжиною хвилі $L = \lambda = cP = 19,24$ а.о. і обидва принципи L-резонансу легко перетворюються у рівняння хвильової форми. Орбітальна архітектура Сонячної системи описується двома поєднаними між собою кінематичними алгоритмами хвильового механізму, подібного до феномену стоячих хвиль з єдиною довжиною $\lambda/2$ та її гармоніками. Поряд з цим був виявлений резонанс власних коливань планет та Сонця як зорі, періоди яких практично кратні до $kP/2$, де $k = 1, 2, 3$. Це бачиться як явище, що має ознаки водночас хвильової структуризації Сонячної системи та резонансної когерентності глобальних періодів Сонця та планет. Безумовно, його природа інтригує. Зокрема, дослідження п'ятихвилинних коливань яскравості Сонця [5] показало, що стоячі хвилі, які відображають ці атмосферні коливання, мають цілком відмінну природу від стоячих хвиль з періодом $P = 160$ min, що характеризують орбітальну структуру Сонячної системи.

Водночас постала проблема фізичної реальності цього оригінального явища, яке характеризується такими параметрами, як довжина стоячої хвилі та швидкість її поширення. Дійсно, енергія електромагнітної хвилі з довжиною $\lambda = 19,24$ а.о. є надто малою — біля 10^{-37} Дж. Якщо ж цей феномен є

* Скульський Михайло Юліанович; ✉ mysky@polynet.lviv.ua

результатом гравітаційної взаємодії Сонця і планет, то тут такі ж труднощі. Наприклад, потужність гравітаційного випромінювання системи “Сонце — Юпітер” за один оберт складає всього 5 кВт. Тим не менше, за тривалий час еволюції Сонячної системи орбіти всіх планет стали практично круговими, відбулась її певна самоорганізація, що ще не цілком зрозуміло. В цій процесі міг бути задіяний і виявлений феномен хвильового механізму. Необхідні пошуки аргументів для підтвердження такого типу орбітального впорядкування Сонячної системи, безвідносно до сучасного стану пояснення його фізичної природи.

У цій статті приводяться уточнені результати розширених досліджень із залученням всіх основних об’єктів Сонячної системи. Цілковито оригінальним є отримання графічної залежності “середня густина — глобальний період” як деякої діаграми до розуміння еволюції Сонячної планетної системи.

1. ВІД ХВИЛЬОВОЇ СТРУКТУРИ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДО РЕЗОНАНСНОЇ КОГЕРЕНТНОСТІ ГЛОБАЛЬНИХ ПЕРІОДІВ СОНЦЯ ТА ПЛАНЕТ

1.1. Зовнішні планети та інші об’єкти

Принцип впорядкування зовнішніх і карликових планет, що згідно [2, 3] відомий як $2a = nL$, нами трансформований у форму хвилі як $a = n\lambda/2$. Він розташував планети на відстанях від Сонця, пропорційних чверті чи половині довжини хвилі: до Юпітера — $\lambda/4$, до Сатурна — $\lambda/2$, до Урана — $2\lambda/2$, до Нептуна — $3\lambda/2$. Відстань від Сонця до відомих карликових планет: для Плутона — $4\lambda/2$, а для більш віддаленої Ериди — $7\lambda/2$.

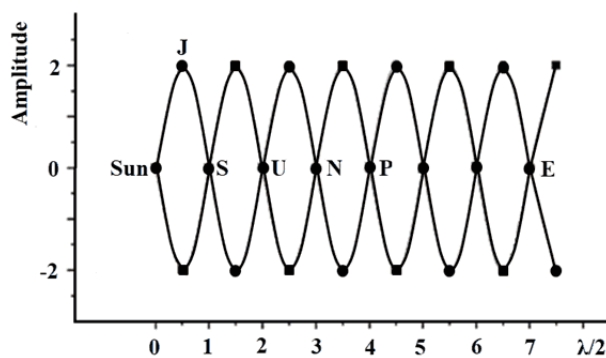


Рис. 1. Схема упорядкування зовнішніх планет у явищі стоячих хвиль. Відстані від Сонця до планет наведені у довжинах стоячої хвилі.

Це відповідає визначенню стоячих хвиль з довжиною $\lambda_{sw} = \lambda/2$, які утворюються при інтерференції зустрічних когерентних хвиль. Сонце, зовнішні та карликові планети знаходяться у вузлах, а Юпітер знаходиться в пучності стоячої хвилі — див. рис. 1. До речі, сучасне перебування Юпітера в пучності стоячої хвилі найбільш сприятливе для міграції в межах Сонячної системи (питання її динамічної еволюції та планетних міграцій інтенсивно розроблені в циклі робіт відомої “Nice Model”, — наприклад, [6]).

Згідно [1], виявлено три транснептунові сімейства комет, що групуються на середніх відстанях від Сонця в 56, 86 і 106 а.о.. Тобто вони розташовані відповідно у 6, 9 та 11 вузлах стоячої хвилі. Отже, розташування зовнішніх від Юпітера планет та важливіших об’єктів згідно алгоритму стоячих хвиль прослідковується приблизно до границі спостережуваної геліосфери — 110 а.о. Середнє відхилення означених об’єктів від їх орбітальної архітектури, передбачуванім цим хвильовим алгоритмом, менше 4% — табл. 1. В лівій частині цієї таблиці приведені маси об’єктів та довжини їх головних півосей орбіт, а також відношення їх головних півосей орбіт та довжин орбіт до довжини стоячої хвилі.

1.2. Внутрішні планети від Юпітера

Хвильовий алгоритм у вигляді радіальних відстаней зовнішніх об’єктів від Сонця не може описати розташування планет всередині орбіти Юпітера, тому що у такому алгоритмі стоячих хвиль Юпітер розташований на відстані $\lambda/4$, як найкоротший із можливих відстаней від Сонця. Однак в діапазоні Сонце–Юпітер діє другий принцип L-резонансу: $2\pi a = L/n$, який описує резонансні співвідношення не у відстанях до Сонця, а між довжинами орбіт внутрішніх планет [2, 3]. З його рівняння у хвильовій формі $2\pi a = \lambda/n$ отримані такі довжини орбіт внутрішніх планет: $\lambda_{sw} = \lambda/2$ як основної гармоніки для Марса, $(1/2)(\lambda/2) = \lambda/4$ як довжини її першої гармоніки для Венери, $(2/3)(\lambda/2)$ як довжини її двох других гармонік для Землі та $(1/4)(\lambda/2)$ як довжини її третьої гармоніки для Меркурію. Рівняння $2\pi a = \lambda/n$ можна перетворити в стандартну форму $2\pi a = m\lambda_{sw}^1$ для стоячих хвиль на кругових орбітах, що задає певний алгоритм у розташуванні внутрішніх планет. Тоді $\lambda_{sw}^1 = \lambda_{sw}/12 = \lambda/24$ є “дочірньою” стоячою хвилею, а цілі числа $m = 3, 6, 8, 12$ визначають довжини орбіт планет від Меркурію до Марса у співвідношенні $(3 : 6 : 8 : 12)\lambda_{sw}^1$ або $\lambda/8 : \lambda/4 : \lambda/3 : \lambda/2$. Простий аналіз показує, що з цього рівняння можна отримати і більш повний ряд співвідношень поміж довжинами їх орбіт $\lambda/24 : \lambda/12 : \lambda/8 : \lambda/4 : \lambda/3 : \lambda/2 : \lambda$ [9]. Для

прикладу, логічно чекати існування планети з довжиною орбіти $2\pi a = \lambda$ та із $a = 3,06$ а.о. на місці астероїдного поясу, розташованого в межах $2,2 \leq a \leq 3,3$ а.о. Відсутність такої сформованої планети можна пояснити не тільки “відкачуванням” планетезималів масивним Юпітером та орбітальними резонансами поміж ним та астероїдами (про що свідчать прогалини Кірквуда), але також негативною роллю резонансу 1 : 1, який міг виникнути із-за рівності хвилі з довжиною λ і довжини орбіти $2\pi a = \lambda$ цієї планети.

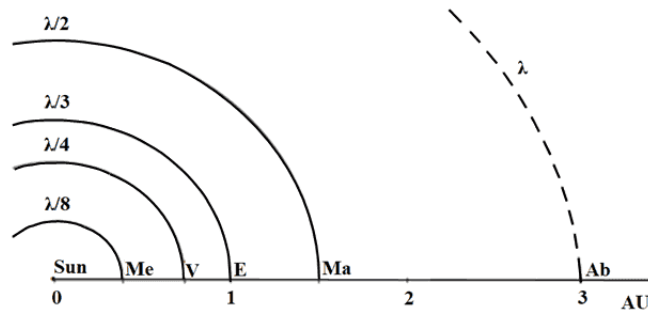


Рис. 2. Фрагменти орбіт для внутрішніх планет з їх відстанню від Сонця в а.о. схематично відображені через співвідношення у довжинах хвиль (фрагмент орбіти для тіл астероїдного поясу позначено через Ab)

Представлення цього результату формально проілюстровано на рис. 2. Середнє відхилення між реальними довжинами орбіт внутрішніх планет і їх передбачуваними значеннями за цим хвильовим механізмом складає 2%. Відповідні обчислення на основі найновіших параметрів досліджуваних планет наведені у табл. 1, в лівій частині якої відображено результати виявленого L-резонансу планет [2, 3] у хвильовому трактуванні [4, 9].

Таблиця 1. Розташування планет Сонячної системи

Planet	M	a	$\frac{a}{\lambda/2}$	$\frac{2\pi a}{\lambda/2}$	$T, \text{ min}$	T, P	$cT, \lambda/2$
Mercury	0,055	0,387	0,040	0,250 – 1/4	85,0	0,5	1
Venus	0,815	0,723	0,075	0,472 – 1/2	86,5	0,5	1
Earth	1,000	1,000	0,104	0,653 – 2/3	84,3	0,5	1
Mars	0,107	1,524	0,158	0,993 – 1	99,8	0,5	1
Asteroids		2,9	0,302	1,9 – 2			
Jupiter	317,8	5,203	0,54 – 1/2	3,396	172	1	2
Saturn	95,17	9,537	0,99 – 1	6,223	239	1,5	3
Uranium	14,54	19,19	1,99 – 2	12,53	176	1	2
Neptune	17,15	30,07	3,12 – 3	19,64	155	1	2
Pluto	0,022	39,48	4,10 – 4	25,38	145		
Eris	0,028	67,78	7,04 – 7	41,94	125		
Sun					167	1	2

Табличні дані підтверджують, що орбітальне впорядкування внутрішніх і зовнішніх планет та просторова структура Сонячної системи проявляється у двох взаємопов’язаних алгоритмах єдиного хвильового механізму. Сформовані положення планет безпосередньо пов’язані з довжиною стоячої хвилі, як із структурним фактором. Ці результати можна розглядати як емпіричні. Однак довжина цієї хвилі, за визначенням, пов’язана з коливаннями певної частоти або періодом $P = 160$ min, які було виявлено на основі програми реєстрації глобального магнітного поля Сонця, тобто як зірки в цілому [8]. У зв’язку з цим слід було обчислити періоди “глобальних” коливань планет і Сонця як основних взаємодіючих об’єктів Сонячної системи.

1.3. Когерентність глобальних періодів планет Сонячної системи

Гравітаційну взаємодію Сонця і планет, особливо віддалених, у першому наближенні можна розглядати безвідносно до їх внутрішньої структури. Виникла ідея обчислити періоди власних глобальних коливань Сонця і планет як об’єктів масою M , вважаючи їх поле тяжіння однорідним зі сферично симетричним розподілом маси. Формула періоду, з якою частинки масою m виконують гармонічні коливання на відстані X від центру такої сфери (включаючи поверхню, де $X = R$), відома як

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

Тут $g = GM/R^2$, а G — гравітаційна стала. Таким чином, формула, яка може бути використана для обчислення періодів власних мод глобальних коливань Сонця та планет, набуває вигляду $T = 2\pi\sqrt{R^3/GM}$.

Розрахований у такий спосіб T -період глобального коливання Сонця становить 167 хвилин і близький до відомого періоду його пульсацій $P = 160$ min [8]. Обчислені T -періоди планет (при усередненому

відхиленні біля 5%) знаходяться в резонансі з коливаннями Сонця у співвідношенні 0,5 : 1 для внутрішніх планет, 1 : 1 — для зовнішніх планет та 1 : 1,5 — для Сатурна. Причинні зв'язки між обома періодами можна описати простими співвідношеннями $E \approx kP/2$, де $k = 1, 2, 3$ прості числа, а $P/2$ є деяким кроком кратності і водночас першою гармонікою коливань Сонця із періодом $P = 160$ min. Це теж означає, що когерентні глобальні осциляції Сонця і планет є взаємопов'язані між собою і скоординовані з явищем стоячих хвиль із довжиною $\lambda_{sw} = \lambda/2 = cE = cP/2$. У правій частині табл. 1 приведені обчислені T -періоди у хвилинах та в долях періоду $P = 160$ min, а також величини cE у долях довжини стоячої хвилі. Її розгляд засвідчив певні ознаки дискретної гравітаційної взаємодії Сонця та планет та водночас хвильової структури Сонячної планетної системи як деякого взаємоузгодженого явища.

2. ЗАЛЕЖНІСТЬ $T = f(\sqrt{\rho})$ ЯК ДІАГРАМА ЕВОЛЮЦІЙНОГО СТАНУ СОНЯЧНОЇ ПЛАНЕТНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Поточні задачі дослідження

Попередні прості розрахунки дали певні результати щодо гравітаційних взаємодій між Сонцем і планетами та їх просторового впорядкування. В сенсі подальшого дослідження цього явища та з'ясування його реальності виникла ідея обчислення періодів власних коливань більшої сукупності основних тіл Сонячної планетної системи. Для розрахунків були відібрані нові карликові планети з відомими параметрами та найбільш масивні супутники планет. Були включені об'єкти аж до мінімально можливих розмірів та мас, які ще можуть вважатися в гідростатичній рівновазі (наприклад, Харон чи Церера).

Періоди глобальних коливань всіх відібраних небесних тіл, як об'єктів з однорідним полем тяжіння та сферично симетричним розподілом маси, визначаються за формулою $T = 2\pi\sqrt{R^3/GM}$ через радіуси та маси тіл. Її було трансформовано до вигляду $T^2 = 3\pi/G\rho$, де ρ — середня густина вибраного об'єкта. Тоді цей період характеризується одним параметром, що визначається безпосередньо зі спостережень і приводиться як фізичний параметр, який піддається поточному уточненню у таблицях даних. Для глобального періоду коливань, вираженому у хвилинах, робоча формула має такий вигляд: $T(\text{min}) = 6263/\sqrt{\rho}$. Це дає можливість побудувати деяку функціональну залежність $T = f(\sqrt{\rho})$.

Параметри відібраних об'єктів та обчислення зведені у табл. 2, в якій планети згруповані поряд із їх супутниками. В таблицю також внесено великі півосі орбіт та гравітаційний параметр об'єкта M/a^2 відносно центрального тіла.

Як видно із табл. 2, фізичні параметри об'єктів, які обертаються навколо Сонця, суттєво відрізняються: за густиною у 8 раз, за відношенням радіусів до 150, а за відношенням мас у 2 мільйони. Однак параметри T і $\sqrt{\rho}$ змінюються лише втричі.

На базі даних табл. 2 побудована графічна залежність між періодами глобальних коливань та середніми густинами для основних об'єктів Сонячної системи. Залежність $T(\text{min}) = 6263/\sqrt{\rho}$, як функція періоду T від величини $1/\sqrt{\rho}$, що була побудована тільки для планет, сформувала чітку пряму без відхилень із трьома відокремленими локаціями планет, когерентними між собою. Однак більш повно інтерпретується залежність $T = f(\sqrt{\rho})$ при розгляді параметрів всіх основних тіл Сонячної системи. Ця оригінальна крива, що представлена на рис. 3, і стала предметом аналізу.

2.2. Первинний опис залежності $T = f(\sqrt{\rho})$

Огляд отриманої залежності зводиться до наступного. Основні об'єкти Сонячної планетної системи в широких межах їх фізичних параметрів формують чітку графічну залежність $T = f(\sqrt{\rho})$, не показуючи помітних відхилень від згладженої кривої. Ця крива обмежена з обох сторін певними реперами в межах $80 \leq T \leq 240$ min або $0,5P \leq T \leq 1,5P$. На обох краях цієї кривої розташовані планети Сонячної системи. Внутрішні найщільніші планети наближені до $T = 80$ min, або ж $T \approx P/2$. Для планети Сатурн, як другої по масі планети Сонячної системи, але найменш щільного об'єкта Сонячної системи, значення $T = 239$ min, тобто практично дорівнює $T = 3P/2$. Ще три масивні газові планети разом із Сонцем розташовані в центрі цієї кривої навколо положення $T \approx P$, так що вздовж графічної залежності можна виокремити три позиції планет.

На рис. 3 виділяється розташування і деяких інших груп об'єктів. До першої з них із відносно високою густиною належить Марс, який дещо відокремився від інших внутрішніх планет. Сюди ж належать Іо, Місяць та Європа. Це об'єкти скельної породи з розігрітим і ущільненим ядром, найбільш наближені до планет. За ними, у напрямі позицій зовнішніх планет, сформована велика група об'єктів, яку складають супутники планет та карликові планети. В цій групі об'єктів теж наявна певна диференціація у їх розташуванні. Наприклад, разом із Нептуном єдину підгрупу об'єктів на кривій $T = f(\sqrt{\rho})$ утворюють карликові планети, що на рис. 3 зображено окремим фрагментом. Далі, в напрямі до Сатурна, щільність розташування об'єктів явно зменшується. Слід відмітити виразну тенденцію у зростанні середньої густини наймасивніших та найближчих до планет супутників.

Таблиця 2. Фізичні параметри Сонячної системи

Об'єкт	M , кг	$R_m \cdot 10^3$, м	ρ , г/см ³	$\sqrt{\rho}$, кг ^{1/2} /м ^{3/2}	T , min	a , м	M/a^2 , кг/м ²
Mercury	$0,3301 \cdot 10^{24}$	2439,7	5,427	73,67	85,01	$57,91 \cdot 10^9$	98,4
Venus	$4,8685 \cdot 10^{24}$	6051,8	5,243	72,41	86,50	$108,2 \cdot 10^9$	416
Earth	$5,9736 \cdot 10^{24}$	6371,0	5,513	74,26	84,35	$143,6 \cdot 10^9$	367
Moon	$7,3477 \cdot 10^{22}$	1737	3,346	57,85	108,3	$384,4 \cdot 10^6$	$4,97 \cdot 10^5$
Mars	$0,6419 \cdot 10^{24}$	3389,5	3,934	62,72	99,86	$227,9 \cdot 10^9$	12,35
Jupiter	$1898,6 \cdot 10^{24}$	69911	1,327	36,43	171,9	$778,5 \cdot 10^9$	$3,13 \cdot 10^3$
Io	$8,9312 \cdot 10^{22}$	1821,6	3,528	59,40	105,4	$421,7 \cdot 10^6$	$5,02 \cdot 10^5$
Europa	$4,7998 \cdot 10^{22}$	1560,8	3,013	54,89	114,1	$670,9 \cdot 10^6$	$1,07 \cdot 10^5$
Ganymede	$14,819 \cdot 10^{22}$	2634,1	1,936	44,00	142,3	$1070 \cdot 10^6$	$1,29 \cdot 10^5$
Callisto	$10,759 \cdot 10^{22}$	2410,3	1,834	42,83	146,2	$1883 \cdot 10^6$	$3,03 \cdot 10^4$
Saturn	$568,34 \cdot 10^{24}$	58233	0,687	26,21	239,0	$1433 \cdot 10^9$	$2,77 \cdot 10^2$
Tethys	$0,6174 \cdot 10^{21}$	531,1	0,984	31,37	199,7	$294,6 \cdot 10^6$	$7,11 \cdot 10^3$
Dione	$1,0954 \cdot 10^{21}$	561,4	1,478	38,44	162,9	$377,4 \cdot 10^6$	$7,69 \cdot 10^3$
Rhea	$2,3060 \cdot 10^{21}$	763,8	1,236	35,16	178,1	$527,1 \cdot 10^6$	$8,30 \cdot 10^3$
Titan	$13,452 \cdot 10^{22}$	2576	1,880	43,36	144,5	$1222 \cdot 10^6$	$9,01 \cdot 10^4$
Iapetus	$1,8056 \cdot 10^{21}$	734,5	1,088	32,98	189,9	$3561 \cdot 10^6$	$1,42 \cdot 10^2$
Uranus	$86,810 \cdot 10^{24}$	25362	1,270	35,64	175,7	$2,87 \cdot 10^{12}$	105
Ariel	$1,353 \cdot 10^{21}$	578,9	1,592	39,90	153,3	$190,9 \cdot 10^6$	$3,70 \cdot 10^4$
Umbriel	$1,172 \cdot 10^{21}$	584,7	1,390	37,28	168,0	$266,0 \cdot 10^6$	$1,66 \cdot 10^4$
Titania	$3,527 \cdot 10^{21}$	788,4	1,711	41,36	151,4	$435,9 \cdot 10^6$	$1,86 \cdot 10^4$
Oberon	$3,014 \cdot 10^{21}$	761,4	1,630	40,37	155,1	$583,5 \cdot 10^6$	$0,88 \cdot 10^4$
Neptune	$102,43 \cdot 10^{24}$	24622	1,638	40,47	154,8	$4,50 \cdot 10^{12}$	5,06
Triton	$2,140 \cdot 10^{22}$	1353,4	2,061	45,40	138,0	$354,5 \cdot 10^6$	$1,70 \cdot 10^5$
Pluto	$1,303 \cdot 10^{22}$	1188	1,854	43,06	145,5	$5,91 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$
Charon	$1,586 \cdot 10^{21}$	606	1,702	41,26	151,8	$19,59 \cdot 10^6$	$4,13 \cdot 10^6$
Haumea	$4,006 \cdot 10^{21}$	816	1,820	42,66	146,8	$6,46 \cdot 10^{12}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$
Quaoar	$1,400 \cdot 10^{21}$	555	1,990	44,61	140,4	$6,52 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
Eris	$1,670 \cdot 10^{22}$	1163	2,525	50,20	124,8	$10,1 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Ceres	$0,9393 \cdot 10^{21}$	473	2,161	46,49	134,7	$4,14 \cdot 10^{11}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
Sun	$1,9886 \cdot 10^{30}$	$695,7 \cdot 10^6$	1,409	37,54	166,8		

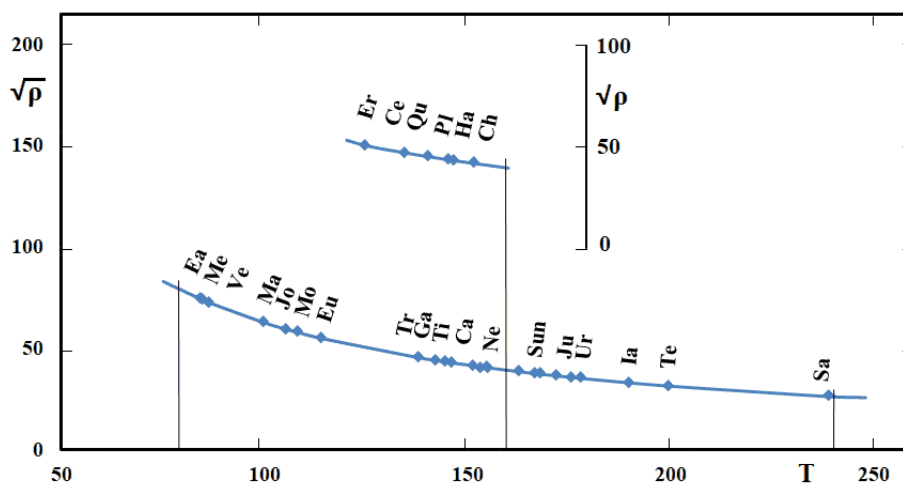


Рис. 3. Залежність $T = f(\sqrt{\rho})$ між періодами глобальних коливань та середніми густинами для основних об'єктів Сонячної системи згідно таблиці 2 (позначені першими двома літерами). На нижній кривій розташовані планети та їх супутники (кілька з них із-за щільності в центрі кривої літерами не позначені). Транснептунові об'єкти винесені у верхній фрагмент. Вертикальні лінії — позиції із $T = 80, 160$ і 240 min.

2.3. Зауваження щодо фізичних аспектів у розташуванні об'єктів Сонячної системи вздовж залежності $T = f(\sqrt{\rho})$

Перш за все, згладжена графічна залежність $T = f(\sqrt{\rho})$ свідчить про те, що гравітаційна взаємодія всіх досліджуваних об'єктів вздовж цієї кривої не залежить явно від радіальної структури їх густини. Однак взаємодія планет відображена у певній дискретності їх розташування вздовж кривої $T = f(\sqrt{\rho})$

згідно рівняння $T \approx kP/2$, де $k = 1, 2, 3$. Ця узгодженість визначається наявністю резонансу у глобальних коливаннях планет і Сонця, їх самоорганізацією в процесі еволюції.

По-друге, позиції глобальних Т-періодів планет на кривій $T = f(\sqrt{\rho})$ знаходяться у певному взаємозв'язку з орбітальним упорядкуванням планет у Сонячній системі згідно феномену стоячих хвиль. Вони узгоджені з базовим співвідношенням для довжини стоячої хвилі $\lambda/2 = cP/2$. Дійсно, оскільки, $T \approx kP/2$, тоді $cT \approx k\lambda/2$. Феномен стоячих хвиль відображається у просторовій структурі Сонячної планетної системи і в глобальних коливаннях планет і Сонця. Отже, хвильове упорядкування та гравітаційна взаємодія основних об'єктів Сонячної системи когерентно узгоджені і складають невід'ємне явище.

По-третє, окремі об'єкти та їх групи показують певні особливості в розташуванні на кривій $T = f(\sqrt{\rho})$. Слід відзначити, для прикладу, що поряд із Нептуном на кривій $T = f(\sqrt{\rho})$ розташована група транснептунових карликових планет, серед них Плутон із Хароном. Це вказує на те, що вони разом з Нептуном є в зоні дії резонансу $T \approx 2P_0/2$ у центральній частині залежності $T = f(\sqrt{\rho})$, а також на те, що вони, будучи сформовані в далекій зоні відносно Сонця, до цих пір зберегли приблизно однакову середню щільність. Розташування Плутона від Сонця на відстані в $4\lambda/2$ відповідає вузлу стоячої хвилі (див. рис. 1). По аналогії із Ураном та Нептуном, які знаходяться у другому та третьому вузлах стоячої хвилі, Плутон мав би бути сформованим як більш масивна планета. Однак формуванню такої планети, ймовірно, завадили інші чинники. Вони включають в себе відсутність достатньої початкової маси в далекому кільці протопланетного диску і адекватного тиску “молодого” сонячного вітру. Одним з можливих факторів може бути також дія стабілізуючого орбітального резонансу 2:3 між барицентром Плутон–Харон та Нептуном (по аналогії до дії орбітальних резонансів, що призвели до прогалин Кірквуда в астероїдному поясі між Марсом та Юпітером), що не дозволило значно збільшити масу Плутона. Ймовірно, не вистачило початкової маси для формування планет і в подальших вузлах стоячої хвилі, зокрема в місці знаходження наймасивнішої карликової планети Еріди, розташування якої відповідає відстані в $7\lambda/2$ відносно Сонця (див. рис. 1). Її щільність серед карликових планет найвища, але за відстанню від Сонця, по величині ексцентриситету і нахилу орбіти вона бачиться об'єктом, що належить вже до внутрішньої частини розсіяного диска.

Впадає в очі дещо відокремлене розташування Марса від трьох інших внутрішніх планет. Тут доречно нагадати, що однією із причин, які завадили формуванню вірогідної планети на місці теперішнього астероїдного поясу поміж Марсом і Юпітером міг бути резонанс 1:1, зумовлений рівністю поміж довжиною хвилі λ та довжиною орбіти цієї планети. Такий же резонанс 1:1 поміж довжиною стоячої хвилі $\lambda/2$ та довжиною орбіти Марса міг спричинитися і до формування Марса як планети значно меншої маси порівняно з масами Венери та Землі. Водночас середня густина Меркурію значно більша від густини Марса, які є планетами порівняних мас. Можна припустити, що Сонце прискорило фізичні процеси в надрах Меркурію, їх розігрів і ущільнення під дією припливних сил. Про дію цих сил свідчить і розташування на кривій $T = f(\sqrt{\rho})$ планети Земля, середня густина якої найвища порівняно з Венерою та Меркурієм. Це може завдячувати дії припливних сил, спричиненій близькістю її відносно масивного супутника — Місяця.

2.4. Припливні сили як еволюційний чинник

Аналіз рис. 3 показує, що припливні сили можуть розглядатись і як фактор еволюції масивних супутників, наближених до їх планет. Розігрів таких супутників припливними силами з подальшим ущільненням їх надр може бути причиною їх переміщення та відображенням сучасного місця розташування на графічній залежності $T = f(\sqrt{\rho})$. Дійсно, середня густина Іо та Європи є істотно вищою в порівнянні із такою густиною Ганімеда та Каллісто, які є більш масивними, але й більш далекими супутниками Юпітера. Зокрема, виокремлюється середня густина Титана, наймасивнішого серед супутників Сатурна, яка при цьому втричі вища і за густину Сатурна. На кривій $T = f(\sqrt{\rho})$ добре видно тенденцію зростання середньої густини супутників приблизно однакової маси із наближенням їх розташування до Юпітера, Сатурна чи Урана. Очевидне, наприклад, розосередження вздовж цієї залежності супутників Юпітера.

З метою розгляду впливу припливних сил на еволюцію супутників і, виходячи із закону всесвітнього тяжіння, була побудована функціональна залежність $T = f(M_1M_2/a^2)$, де M_1 та M_2 відповідно є масами центрального тіла і супутника та a — його велика піввісь. Також обчислено параметр M/a^2 гравітаційної взаємодії об'єкта масою M з центральним тілом як для планет та карликових планет, що обертаються навкруги Сонця, так і масивних супутників, що обертаються навкруги планет — табл. 2. Показово, що для дуету Плутон–Харон, де Плутон обертається навколо Сонця, а Харон — навколо Плутона, різниця в M/a^2 більша десяти порядків. В загальному, як видно із табл. 2, параметр M/a^2 змінюється на три порядки як для планет, що обертаються навколо Сонця, так і для масивних супутників, що обертаються навколо різних планет. Причому для супутників Юпітера він змінюється в 17 раз, а для супутників Сатурна в 64 рази. Тому функціональна залежність між параметрами T і M/a^2 представлена в логарифмічному масштабі — рис. 4.

Перш за все, залежність $T = f[\log(M/a^2)]$ формує низхідну пряму у розташуванні супутників всіх планет, складену, в основному, із систем супутників трьох зовнішніх планет. Видно, що параметр $\log(M/a^2)$ явно зростає як зі зменшенням відстані від супутника до центрального тіла в межах кожної системи супутників навколо Юпітера, Сатурна та Урана, так і зі збільшенням мас супутника та центрального тіла. На спільній залежності добре вписані і параметри єдиних масивних супутників Землі та Нептуна, а також планет Юпітера та Сатурна, як супутників Сонця. Рис. 4 свідчить і про деяку синхронність зміни гравітаційного параметра $\log(M/a^2)$ зі зміною параметра $\sqrt{\rho}$ середньої густини масивних супутників, представленого на рис. 3, та їх глобального періоду T , відкладеного в одному масштабі на обох рисунках. Побудована графічна залежність $T = f[\log(M_1M_2/a^2)]$, де M_1 та M_2 — маси центрального тіла та супутника, виявилась аналогічною до залежності, представленій на рис. 4 (тому тут не демонструється).

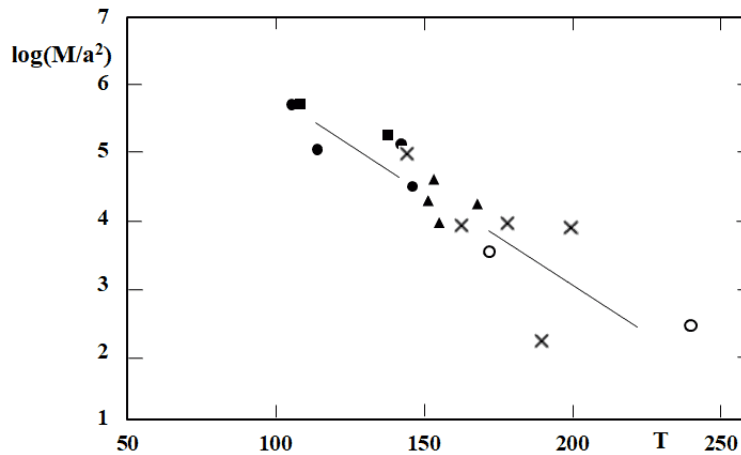


Рис. 4. Залежність $T = f(M/a^2)$ як відображення дії припливних сил на еволюцію об'єктів Сонячної системи. Розташування Місяця і Тритона позначено квадратиками, супутників Юпітера — затемненими кружками, супутників Сатурна — хрестиками, супутників Урана — трикутниками, Юпітера та Сатурна — пустими кружками.

Очевидно, що рис. 4 є сконцентрованою ілюстрацією дії припливних сил на структуру та середню густину масивних супутників планет, як складових загальної графічної залежності $T = f(\sqrt{\rho})$, яка показана на рис. 3. В цілому, дія припливних сил проявляється як вагомий чинник в еволюції основних об'єктів Сонячної планетної системи і графічну залежність $T = f(\sqrt{\rho})$ можна розглядати як діаграму для розгляду їх еволюційного стану.

3. ВИСНОВКИ ТА ЗАУВАЖЕННЯ

Основним результатом і певним завершенням тривалого дослідження просторової структури Сонячної системи, започаткованої, зокрема, в [4, 9], є створення оригінальної функціональної залежності між середніми густинами та глобальними періодами, а, отже, і відповідними частотами всіх основних об'єктів Сонячної системи. Її графічне представлення чітко окреслює рамки змін обох параметрів. Ця діаграма є емпіричною, бо базується на фізичній характеристиці — середній густині спостережуваних об'єктів, і статистично забезпеченою для проведення узагальненого аналізу.

Перш за все, сформована залежність $T = f(\sqrt{\rho})$ розширила можливості дослідження просторового впорядкування Сонячної планетної системи. Виявлений взаємозв'язок між періодами глобальних коливань та середніми густинами для основних об'єктів нашої системи набув певних рис еволюційної діаграми, вказуючи на відмінності їх еволюційного стану та виокремивши дію припливних сил. Їх дія є вагомим чинником ущільнення як планет, наприклад Землі, так і масивних супутників планет, наприклад Іо чи Титана, тобто є чинником еволюції і самоорганізації основних об'єктів Сонячної системи. Отже, діаграма може прислужитися в сенсі пізнання тенденцій у процесі тривалої еволюції Сонячної планетної системи.

По-друге, залежність $T = f(\sqrt{\rho})$ стверджує, що хвильове просторове впорядкування і гравітаційну взаємодію головних об'єктів Сонячної системи слід розглядати в їх поєднанні. Математичний опис просторової структури нашої планетної системи зводиться до механізму стоячих хвиль. Стоячі хвилі із довжиною $\lambda/2 = cP/2$ та її гармоніками, як із параметром просторової структури Сонячної системи, є певним відображенням гравітаційного упорядкування планет цієї системи. Дійсно, стоячі хвилі дискретно відображені в глобальних коливаннях планет і Сонця із періодом $T \approx kP/2$, де $k = 1, 2, 3$. Оскільки $cT \approx k\lambda/2$, періоди глобальних коливань взаємопов'язані з цією ж довжиною стоячої хвилі. Водночас ці періоди чітко відображені в їх залежності від середніх густин всіх основних об'єктів. Отже, хвильові та гравітаційні чинники відображені в їх взаємозв'язках і формують нероздільне явище резонансного характеру.

Дослідження залежності $T = f(\sqrt{\rho})$ стверджує також, що хвильовий структурно-просторовий механізм упорядкування Сонячної системи в гравітаційній взаємодії її основних об'єктів слід розглядати як реальне, а не випадкове явище (глобальні Т-періоди вибраних об'єктів не залежать від реальності сучасних спостережень пульсацій Сонця з періодом $P = 160$ min, який служить, перш за все, певним еталоном для порівняння). Це явище відображає сучасний стан еволюції Сонячної системи та її самоорганізації.

На завершення зауважимо, що у даній статті звертається увага на результати проведеного дослідження, як самоузгоджених емпіричних фактів, і не ставиться завдання їх докладної інтерпретації. Це задача на майбутнє. Фізична природа виявленого феномена оригінальна і наразі неоднозначна і, безвідносно до стану її сучасного розуміння, заслуговує на подальше вивчення в сенсі пізнання тенденцій у процесі тривалої еволюції Сонячної планетної системи та розгляду можливих чинників її самоорганізації.

1. Козлов В.А. Транснептунові сімейства комет // Вісник Астрономічної школи. — 2009. — Т. 6. — С.163–166. <https://doi.org/10.18372/2411-6602.06.2163>
2. Котов В.А., Кучми С. О возможной зависимости закона планетарных расстояний от явления 160-минутной пульсации Солнца // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. — 1985. — Т. 72, № 4. — С.199–208.
3. Котов В.А., Ханейчук В.И. Пульсации Солнца и период биений 399 дней // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. — 2011. — Т. 107, № 1. — С.99–104.
4. Скульский М.Ю. Магнитное Солнце, пульсации и феномен стоячих волн в структуре Солнечной системы // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. — 2013. — Т. 109, № 4. — С.169–178.
5. Скульський М.Ю., Стоділка М.І. П'ятихвилинні коливання яскравості Сонця // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. — 2015. — Vol. III(8), Issue 73. — P.62–67.
6. Batygin K., Brown M.E. Early Dynamical evolution of the Solar system: pinning down the initial condition of the Nice Model // Astrophys. J. — 2010. — Vol. 716. — P.1323–1344. <https://doi.org/10.1088/0004-637x/716/2/1323>
7. Flores-Gutierrez J. D., Garsia-Guerra C. A variant of the Titius-Bode law // Rev. Mex. Astron. Astrophys. — 2011. — Vol. 47. — P.173–184.
8. Kotov V.A., Severny A.B., Tsap T.T. Observations of oscillations of the Sun // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. — 1978. — Vol. 183, No. 1. — P.61–78. <https://doi.org/10.1093/mnras/183.2.61>
9. Skulsky M.Yu. On the wave structure in the spatial organization of the Solar planetary system // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. — 2015. — Vol. III(5), Issue 41. — P.63–67.

Діаграма «середня щільність — глобальний період» як відображення гравітаційного упорядочення Сонячної планетної системи

Скульський М.Ю.

Национальный университет «Львовская политехника», 79013, г. Львов, ул. Карпинского, 6

Проанализированы волновые и гравитационные факторы, отражающие пространственные особенности Солнечной планетной системы. Показано, что пространственная структура Солнечной системы может быть отражена в двух алгоритмах единого волнового механизма. Также установлено, что волновое упорядочение нашей системы согласовано с глобальными колебаниями планет и Солнца, которые отражают гравитационное взаимодействие этих объектов. Эти волновые и гравитационные факторы, которые представлены в очевидных взаимосвязях и отражены в простых физических уравнениях, формируют своеобразное явление. Проведено исследование обнаруженного феномена, включив в него новые карликовые планеты и массивные спутники планет. Все основные объекты Солнечной системы сформировали четкую функциональную зависимость между периодами их глобальных колебаний и их средними плотностями. Она представлена в форме диаграммы «средняя плотность — глобальный период». На ней, в частности, планеты и группы объектов показывают некоторую дискретность в их гравитационном упорядочении, а современное расположение массивных спутников вокруг планет свидетельствует о существенном гравитационном воздействии приливных сил. В целом эта оригинальная диаграмма является определенным шагом к пониманию эволюции Солнечной системы и ее способности к самоорганизации.

Ключевые слова: Солнечная система; орбитальное упорядочение; средние плотности; глобальные колебания.

Diagram “mean density — global period” as a reflection of the gravitational ordering of the Solar planetary system

Skulsky M.Yu.

Lviv Polytechnic National University, 79013, Lviv, Karpinskyi street 6

The wave and gravitational factors that reflect the spatial characteristics of the Solar planetary system was analyzed. It is showed that the spatial structure of Solar system can be reflected in two algorithms of the same wave mechanism. It is also established that the wave ordering of our system is consistent with the global oscillations of the planets and the Sun that reflect the gravitational interactions of these objects. These wave and gravitational factors, that are presented

in obvious interconnections and reflected in simple physical equations, are forming a peculiar phenomenon. The research of the detected phenomenon has been carried out, including new dwarf planets and the most massive satellites of the planets. All the main objects of the Solar system formed a clear functional relationship between the periods of their global oscillations and their mean densities. It is presented in the form of a diagram of “mean density — global period”. In this diagram, in particular, planets and groups of objects show some discreteness in their gravitational ordering, and the current locations of many massive satellites around planets prove the significant gravitational effect of tidal forces. In general, this original diagram is a certain step towards understanding the evolution of the Solar system and its ability to self-organization.

Keywords: Solar system; orbital ordering; mean densities; global oscillations.

Надійшла до редакції / Received	1.06.2018
Виправлена авторами / Revised	30.08.2018
Прийнята до друку / Accepted	5.09.2018