

9. Перехрест В.І. Про об'єми, маси та кінетичні моменти структур планетарного вихору / В.І. Перехрест, М.М. Осипчук // Кинематика и физика небесных тел. – К., 2011. – (в друку).
10. Weizsäcker C.F. Rotation kosmischer Gasmassen / C.F. Weizsäcker // Z. Naturforsch. – 1948, 3a, 524.
11. Lust R. Die Entwicklung einer um einer Zentralkörper rotierenden Gasmasse / R. Lust // Z. Naturforsch. – 1952, 7a, 87.
12. NASA «Sun Fact Sheet»- <http://nssds.gsfc.nasa.gov/plantary/2009>.
13. <http://exoplanets.org/exotable/exotable.html>.

Надійшла до редколегії 10.03.11

УДК 532.4+523.4

В.І. Перехрест, М.М. Осипчук

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

### ПРО ЗАКОН ІЗОХРОННОСТІ ОБЕРТАННЯ У ПЛАНЕТАРНИХ ВИХОРАХ І ПЛАНЕТАРНИХ СИСТЕМАХ

На основі аналітичної теорії досліджуються параметри обертального руху тороїдних вихрових структур у планетарному вихорі, що описується окремим розв'язком рівнянь гідродинаміки. Аналіз поля завихреності підтверджує емпіричний закон ізохронності обертання у Сонячній системі; оцінено порядок збурень вихрового поля квазітвердого обертання та межі для відхилень кутових швидкостей власних обертання малих тіл і астероїдів у планетарних системах.

*Ключові слова:* планетарний вихор, вихрові кільця, обертання космічних тіл.

С помощью аналитической теории исследуются параметры вращательного движения тороидальных вихревых структур в планетарном вихре, который описывается частным решением уравнений гидродинамики. Анализ поля завихренности подтверждает эмпирический закон изохронности вращений в Солнечной системе; оценён порядок возмущений вихревого поля квазитвёрдого вращения и границы отклонений угловых скоростей собственного вращения малых тел и астероидов в планетарных системах.

*Ключевые слова:* планетарный вихрь, вихревые кольца, вращение космических тел.

With the help of the analytic theory are investigated parameters of the rotational movement of the toroidal vortical structures in a planetary vortex, which describes a particular solution of the hydrodynamics equations. Analysis of the vorticity field confirms the empirical law of isochronal rotation in the solar system; the order of the perturbation of the quasi-solid rotation vortex field and borders deviations of angular velocities of own rotations small bodies and asteroids in the planetary systems have been estimated.

*Key words:* planetary vortex, vortex rings, rotation of celestial bodies.

**Вступ.** Унаслідок аналізу численних експериментальних даних вимірювання періодів власних обертання планет, астероїдів та супутників сформульовано закон ізохронності обертання різних тіл у Сонячній системі [1]. Згідно з цим емпіричним законом періоди осьового обертання всіх, у тому числі й дуже різних за масою і розмірами космічних тіл, мають значення одного порядку і коливаються в межах від 2 год. (Ікар) до 25 год. (Марс); причому більшість періодів лежать у межах 7 – 10 год. Слушним є висновок [1], що така властивість має гетерогонічний характер,

тобто є прямим наслідком первинної завихреності в газо-пилівій туманності, з якої утворилась Сонячна система. Питання про завихреність (турбулентність) у космічному просторі взагалі та у близькій до нас області Галактики було предметом дискусій та аналізу багатьох вчених [1 – 5; 7], а 1943 р. німецький учений К. Вайцекер висунув вихрову гіпотезу утворення Сонячної системи [6], згідно якої Сонячна система створена просторовим вихором, який мав стільки вихрових зон, скільки є великих планет у системі.

Після К. Вайцекера обертально-вихрові моделі космічних систем розвивали Тер Хаар [9], Чандрасекхар [7], Дж. Койпер [8], В.С. Сафронов [2], Ф. Хойл [10] та ін. На сьогодні, погляд на усі космічні утворення як на вихрові обертальні структури є загальноприйнятим і усталеним [3; 4; 5]. На жаль, досі в астрофізиці мало застосовувалися результати, отримані у гідродинаміці вихрових течій, і ми намагаємось надолужити цю прогалину.

У попередніх роботах авторів [12; 13] на основі нового точного розв'язку гідродинамічних рівнянь [11] побудована теорія планетарного вихора, який виявився досить вдалою математичною моделлю природних планетарних систем і теоретично обґрунтовує правильність вихрової гіпотези Вайцекера, хоча планетарний вихор [12] суттєво відрізняється від вихрової моделі Вайцекера [6]. Теорія планетарного вихора знімає більшість суперечностей усіх попередніх гіпотез і теорій про утворення Сонячної системи і дає пояснення основним закономірностям будови та руху будь-яких планетарних систем, яких за останні 15 років завдяки потужним орбітальним телескопам «Хабл», «Кеплер», «Субару», «Спітцер» та ін. відкрито більше 300 [16; 17].

Нижче розглянуто й проаналізовано векторне поле завихреності у планетарному вихорі. Цей аналіз підтверджує закон ізохронності для малих тіл та встановлює границі для власних обертань частинок в області первинного вихору. Простежено також деякі тенденції еволюції обертальних мас первинної туманності до утворення астероїдів і малих планет.

**Поле завихреності у планетарному вихорі.** У [7] отримано новий окремий розв'язок гідродинамічних рівнянь Ейлера для осесиметричних сферичних течій, який потім [7] було названо планетарним вихором. Методика інтегрування повної нелінійної системи рівнянь гідродинаміки [15] полягає у введенні функції течії  $\Psi(y, \theta)$ , побудові спеціальних форм представлення визначальних функцій та, зрештою, відокремлення змінних. Таким чином побудована функція течії у сферичних координатах  $(r, \theta, \varphi)$ , неперервний варіант якої має форму:

$$\Psi = C_2 \Phi(y) \sin^2 \theta, \quad \Phi(y) = \left[ \alpha y^2 + \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right]. \quad (1)$$

Через функцію течії (1) поле швидкостей визначається формулами [15]:

$$V_r = -\left( r^2 \sin \theta \right)^{-1} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta}, \quad V_\theta = \left( r \sin \theta \right)^{-1} \frac{\partial \Psi}{\partial r}, \quad V_\varphi = \frac{C_0 \Psi}{r \sin \theta}. \quad (2)$$

У розгорнутому вигляді за формулами (1), (2) маємо поле швидкостей:

$$\begin{aligned}
 V_r &= -2C_2C_0^2 \left( \alpha + \frac{1}{y^2} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right) \cos \theta \\
 V_\theta &= C_2C_0^2 \left( 2\alpha - \frac{\sin y}{y} - \frac{1}{y^2} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right) \sin \theta. \\
 V_\phi &= C_2C_0^2 y \left( \alpha + \frac{1}{y^2} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right) \sin \theta
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Вище введено безрозмірний радіус  $y = C_0 r$  і параметр  $\alpha$ , який зрештою визначається [12] через основні параметри течії таким чином:

$$\alpha = -\frac{V_\infty}{2C_0^2 C_2}, \tag{4}$$

де  $V_\infty$  – поступальна швидкість закрученого простору,  $C_2$  – довільна стала в розв'язку (1), що зрештою [9] визначає момент центрального вихрового диполя;  $C_0$  – параметр закручування простору, що впливає з формули (2) для  $V_\phi$ .

Як відомо [15], через функцію течії (1) описується множина поверхонь течії інтегралом  $\Psi(y, \theta) = \text{const}$  або

$$\left( \alpha y^2 + \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \sin^2 \theta = C \tag{5}$$

Вигляд, геометрія та особливості сімейства (5) залежать від параметра  $\alpha$  і являють собою кілька ( $n$ ) внутрішніх торових кілець, які лежать у замкнутих непроникних сферах (рис. 1), і низки ( $m$ ) зовнішніх вихрових кілець (рис. 2), які виокремлюються петлями сепаратрис і обертаються в один бік [13] (рис. 2).

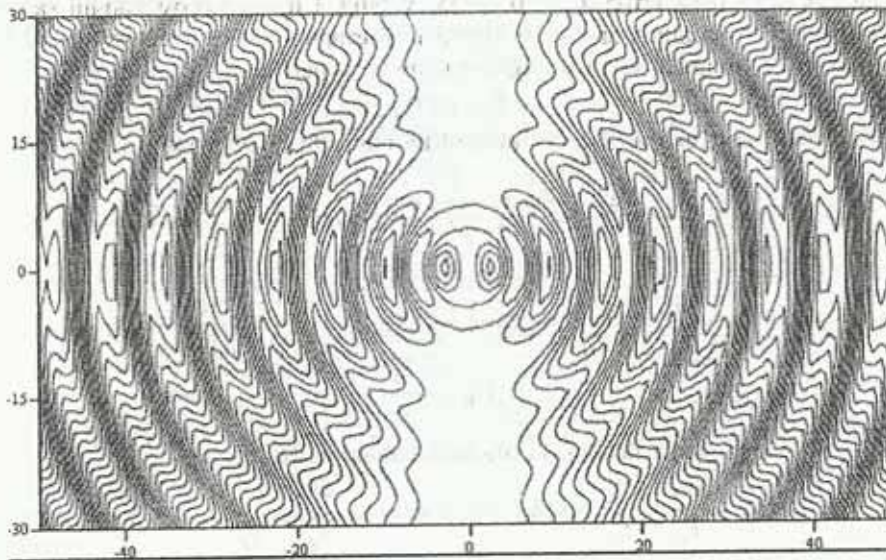


Рис. 1. Загальна картина планетарного вихору структури (2,11)

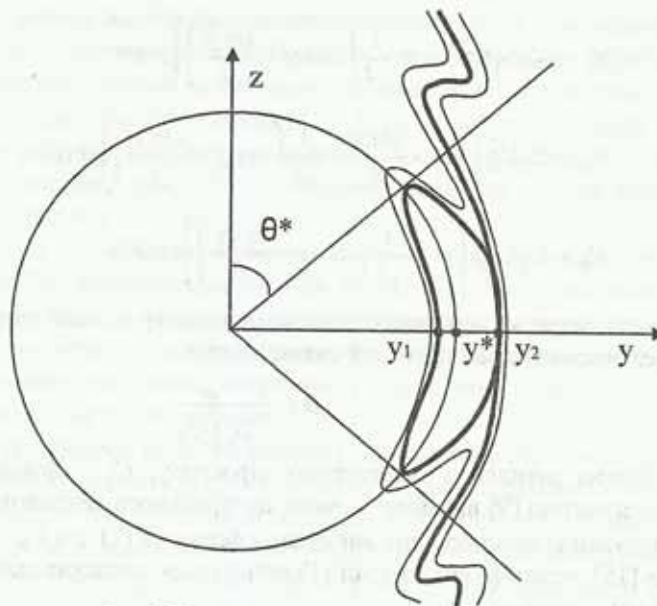


Рис. 2. Геометрія зовнішнього вихрового кільця

Вузли сепаратрис і є тими «шарикопідшипниками Вайцзекера», які дають початки планетам. У нас ці точки за (5) визначають рівняння петлі сепаратриси. У [13] детально досліджено залежність структур  $(n, m)$  вихорів від параметра  $\alpha$  та закономірності їх обертання.

На рис. 1 показано один зовнішній вихор структури  $(2, 11)$ , яким, на наш погляд, доцільно моделювати нашу Сонячну систему в період її утворення і якому відповідає значення параметра  $\alpha = -0,00655$ . У табл. 1 подано геометричні характеристики всіх 13 тороїдних вихрових кілець планетарного вихору структури  $(2, 11)$ .

За полем швидкостей (3) знайдемо поле завихреності

$$\vec{\Omega} = \text{rot} \vec{V}, \quad (6)$$

і у сферичних координатах диференціюванням поля (3) отримуємо

$$\begin{aligned} \Omega_r &= 2B \left( \alpha + \frac{1}{y^2} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right) \cos \theta, \\ \Omega_\theta &= -B \left( 2\alpha - \frac{\sin y}{y} - \frac{1}{y^2} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right) \sin \theta, \\ \Omega_\phi &= -\frac{B}{y} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \sin \theta, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $B = C_2 C_0^3$ . Порівняння полів (3) і (6) дає співвідношення

$$\frac{\Omega_r}{V_r} = \frac{\Omega_\theta}{V_\theta} = -C_0, \quad \text{але} \quad \frac{\Omega_\phi}{V_\phi} \neq \frac{\Omega_r}{V_r}, \quad (8)$$

з якого випливає, що дана вихрова течія є негвинтовою. Перше співвідношення у (8) виражає відомий закон Гельмгольца про збереження інтенсивності вихрових трубок. Зокрема, лінії течії поля швидкостей (3) у площині  $(r, \theta)$ , які даються інте-

Остаточно маємо

$$\begin{aligned}\Omega_z &= \Omega_\infty + \frac{B}{2} \left( u(y) - \frac{\sin y}{y} \right) + \frac{B}{2} \left( 3u(y) + \frac{\sin y}{y} \right) \cos 2\theta \\ \Omega_\rho &= \frac{B}{2} \left( 3u(y) + \frac{\sin y}{y} \right) \sin 2\theta \\ \Omega_\phi &= -B y u(y) \sin \theta\end{aligned}\quad (13)$$

З формул (13) випливає, що  $\lim_{y \rightarrow \infty} \Omega_\rho = \lim_{y \rightarrow \infty} \Omega_\phi = 0$ ;  $\lim_{y \rightarrow \infty} \Omega_z = \Omega_\infty$ , тобто збурене вихрове

поле (12) вироджується на нескінченності у вихрове поле чистого обертання простору з кутовою швидкістю  $\omega_\infty = 0,5 \Omega_\infty$ . Але складова  $\Omega_\infty$  присутня всюди у векторному полі вектора  $\Omega$ , причому для малих та середніх радіусів вплив збурень від центрального диполя може перевищувати сталу складову  $\Omega_\infty$  у десятки разів, і лише при  $y > 100$  залишається домінуючим стале осьове обертання

$$\Omega_z \approx \Omega_\infty = -0,0131 B, \quad \omega_\infty = -0,00655 B, \quad (14)$$

як квазітверде обертання закрученого простору. При цьому для вихору структури (2,11) центр останнього кільця має безрозмірний радіус  $y_{11}^* = 73,543$ .

Оцінимо поле завихреності в деяких характерних точках чи лініях області вихору. Так, на осі центрального вихору  $\theta = 0, \pi$  з (13) отримаємо,

$$\Omega_\rho = \Omega_\phi = 0, \quad \Omega_z(0, y) = 2B(\alpha + u(y)), \quad (15)$$

звідки у центрі вихору маємо  $\Omega_{z0}(0, 0) = 2B(\alpha - 1/3)$ , що для нашого прикладу з  $\alpha = -0,00655$  дає

$$\Omega_{z0}(0, 0) = -0,67976 B, \quad \omega_{z0} = -0,33988 B, \quad (16)$$

що у 52 рази більше за  $\Omega_\infty$ . Це говорить про те, що центральний дипольний вихор дійсно є джерелом закручування всієї течії: значення (16) є найбільшою швидкістю обертання в області вихору. Отже, діапазон значень  $\omega_{z0} + \omega_\infty$  встановлює межі для власних обертань частинок у планетарному вихорі – аналогу Сонячної системи.

Процеси подальшої еволюції мас первинного вихору могли лише зменшити цей діапазон, – для згаданих у вступі двох тіл (Ікар–Марс) відношення швидкостей обертань складає 12,5.

На першій непроникній сфері  $y = y_1$  у точках на осі  $\theta = 0, \pi$ , де виконується умова  $\alpha + u(y_1) = 0$ , з (13) маємо  $\Omega_z = \Omega_\rho = \Omega_\phi = 0$ ; те ж саме будемо мати в усіх осьових точках інших замкнутих сфер, які існують у течії.

Якщо розглядати поле вектора  $\Omega$  у горизонтальній площині  $\theta = \pi/2$ , маємо

$$\begin{aligned}\tilde{\Omega}_z &= B \left[ 2\alpha - \left( \frac{\sin y}{y} + \frac{1}{y^2} \left( \cos y - \frac{\sin y}{y} \right) \right) \right], \\ \tilde{\Omega}_\phi &= \frac{B}{y} \left( \frac{\sin y}{y} - \cos y \right), \quad \tilde{\Omega}_\rho = 0.\end{aligned}\quad (17)$$

Графіки складових вектора (17) для відстаней  $y \in [8, 44]$  подано на рис. 3 пунктирними лініями. Там же суцільною лінією зображено графік модуля вектора  $|\tilde{\Omega}(y, \pi/2)| = \tilde{\Omega}$ :

$$\tilde{\Omega} = \sqrt{\tilde{\Omega}_z^2 + \tilde{\Omega}_\phi^2} \quad (18)$$

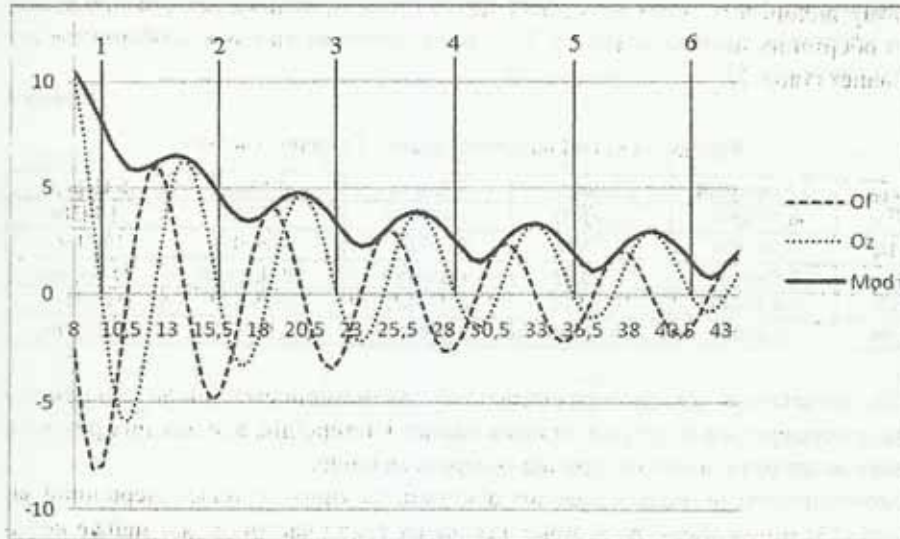


Рис. 3. Величина кутової швидкості власного обертання частинок вихору (2,11)

З числових оцінок, наведених у табл. 2 та графіків на рис. 2 видно, що функція кутової швидкості обертань (18) є коливною спадною функцією. Середня інтенсивність обертання частинок у вихорі зменшується з відстанню і коливається для радіусів  $u \in [8, 44]$  у межах від 8,133 для до 1,645 тобто є величинами одного порядку, які все ж відрізняються у 4,5 разів, а повний розкид між найбільшою та найменшою швидкостями – 17 разів. При цьому амплітуди коливань поля завихреності мало змінюються, а тому відносні відхилення  $\Delta \%$  від їх середніх значень на одному розмаху коливань швидко збільшуються за радіусом (табл. 2). З цього випливає, що розкиди у швидкостях власного обертання далеких планет і астероїдів повинні бути більшими, ніж для ближніх і середніх.

Таблиця 2

Кутові швидкості частинок вихору в центрах вихрових кілець

№ кільця	1	2	3	4	5	6	7
$y^*$	9,4428	15,8543	22,242	28,424	35,006	41,3898	47,779
$y_{\text{ср}}$	9,4063	15,665	22,052	28,390	34,730	41,072	47,375
$\Gamma_{\text{ср}}^*$	8,0673	4,71902	3,28623	2,4736	1,938	1,45996	1,24612
$\Omega_{\text{ср}}$	8,1328	4,9605	3,5024	2,7203	2,2203	1,8734	1,6454
$\Delta \%$	28	31	36	42	49	57	63

І справді, аналіз власних обертань 30 найбільших астероїдів головного поясу (5-е кільце) [16] дає відношення найбільшої до найменшої швидкостей обертання у 6,66 (рис. 4), тоді як розкид теоретичних значень швидкостей обертання на цьому ж проміжку складає 4,8, що досить близько. У поясі ж Койпера відношення періодів обертання двох планетоїдів Ериди (8 год.) і Варуни (152 год.) становить 19.

Очевидно, що параметри руху ближніх до Сонця 3-х планет на протязі еволюції зазнали значних впливів, бо теоретичні значення частот обертання частинок у первинному вихорі в їх зонах зростають до 10 (рис. 3), тоді як реальні швидкості власного обертання перших планет у 2–10 разів менші за швидкості обертання середніх планет (табл. 3).

Таблиця 3

Відстані та кутові швидкості планет Сонячної системи

Планета	1 Меркурій	2 Венера	3 Земля	4 Марс	5 Церера
$r \cdot 10^{-11} \text{ м}$	0,5790907	1,082089	1,495979	2,27920	4,14386
$\omega \cdot 10^5 \text{ 1/с}$	1,212034	+0,029927	7,272205	7,090031	19,21463
6 Юпітер	7 Сатурн	8 Уран	9 Нептун	10 Плутон	11 Варуна
7,785472	14,33449	28,7246	45,03444	59,06376	64,514
17,59996	16,89028	16,13555	11,18801	1,140738	1,146483

Збіг теоретичної та експериментальної закономірностей щодо зменшення обертань простежується лише для далеких планет і астероїдів, але для них розкид в обертаннях може бути значним, про що говорилося вище.

Закономірності розподілу власних обертань частинок за полем первинної завихреності (13) могли зберегтися лише для малих тіл та частинок, які майже не зазнавали зіткнень, акреції та інших взаємодій у потоці. Це можна продемонструвати на розподілі власних обертань в астероїдному поясі між 4-ю та 6-ю планетами, де існує 30 найбільших астероїдів з параметрами руху, взятими з [16]. Відповідний розподіл частот обертань цих астероїдів зображено на рис. 4; він має дві виразні хвилі коливань. Ці дві хвилі добре корелюються з двома хвилями коливань величини вектора  $\Omega$  між радіусами  $y^* = 28,39$  (4-е кільце) та  $y^* = 41,072$  (6-е кільце); (рис. 3). Максимальні відхилення від середнього значення в експериментальному ряді частот складають 50 – 70 %, що близько до теоретичних відхилень у 42 – 57 % на вказаному проміжку (табл. 2). Наведене вище порівняння максимальних розкидів для цього проміжку теж показує їх близькість з перевищенням на 28 % експериментального розкиду.

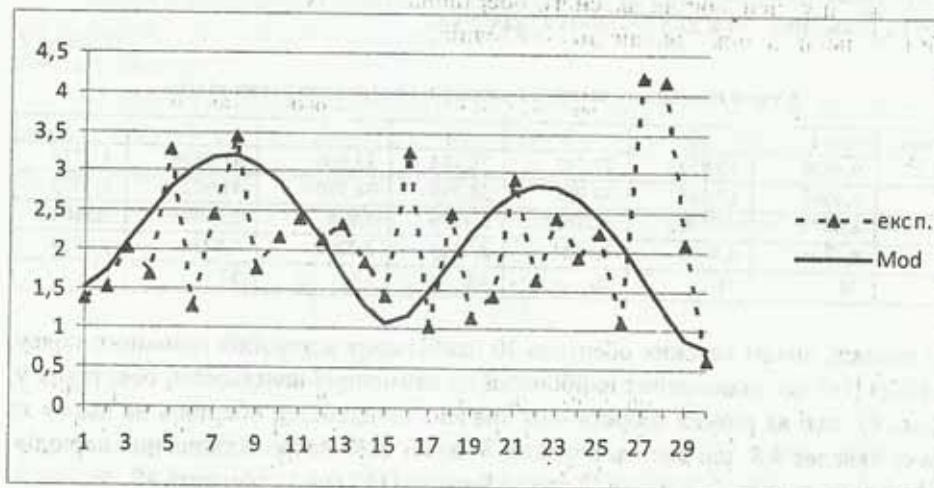


Рис. 4. Кутові швидкості власного обертання астероїдів як функцій їх номерів

Крім того, звернемо увагу на ідентичність виразів для  $V_\theta$  у (3),  $\Omega_z$  у (17) та  $\Omega_\phi$  у (7), що випливає з властивості (8) поля і того, що  $\Omega_\phi(\theta = \pi/2) = -\Omega_z$ . Але особливі точки – центри тороїдів знаходилися з умови  $V_\theta = 0$  [13]. Тому на центральних колах вихрових кілець  $y = y^*$  будемо мати

$$\Omega_z^* = 0, \quad \Omega_\rho^* = 0, \quad \Omega_\phi^* = \frac{B}{y^*} \left( \frac{\sin y^*}{y^*} - \cos y^* \right), \quad (19)$$

Дійсно, з табл. 2 видно, що координати середніх точок між аплітудами коливань поля  $\tilde{\Omega}$  з (17) є близькими до радіусів центральних кіл, тобто  $y_{\text{сєр}} \cong y^*$ , відповідно, і  $\Omega_{\text{сєр}} \cong \Omega^*$ . При цьому  $\Omega_\phi^* \leq \Omega_{\text{сєр}}$ , що узгоджується з (18).

Звідси та з (17) можна зробити висновок, що при подальшому збиранні мас первинного вихору в планети на колах  $y = y^*$  завдяки силам Архімеда [12] та тяжіння остаточно вісь обертання повинна лежати в меридіональній площині і може мати у ній значні азимутальні відхилення завдяки обертанню  $\Omega_\phi^*$  у центрах кілець та їх околах. Це ми і маємо для планет Землі (23,44°), Марса (24,94°), Юпітера (3,13°), Сатурна (26,73°) Урана (97,8°), Нептуна (28,32°), причому в силу вказаної вище властивості збільшення розкиду відхилення осей обертання для далеких планет є більшими, ніж для ближніх.

На рис. 2 центрам кілець  $y^*$  відповідають нулі графіка функції  $\tilde{\Omega}_z$  із (17), у цих же точках функція  $\tilde{\Omega}_\phi$  досягає максимальних значень (19). Але це відбувається лише в горизонтальній площині  $z = 0$ ; з висотою  $z$  поля обертання змінюються і, оскільки у вихорі переважають обертання навколо вертикальної осі, то усереднення обертань при формуванні планет призвело до домінування осьової складової над азимутальною.

Обертання нутації  $\Omega_\rho$  в горизонтальній площині всюди відсутнє,  $\Omega_\rho(y, \pi/2) = 0$ ; відповідно і осі планет мають незначну нутацію як наслідок первинного обертання у вихорі вище та нижче екваторіальної площини.

Далі, якщо екстраполювати зміни характеристик обертання мас при їх стягуванні до центрів  $y^*$  у горизонтальній площині з деякого симетричного її околу кутовим розміром  $\pi/2 - \theta_1 \leq \theta \leq \pi/2 + \theta_1$ , ( $\theta_1 \leq \theta^*$ ), то треба оцінити інтеграли функцій (13) вказаних межах:

$$\int_D \Omega_z dq = A_z \int_{\pi/2-\theta_1}^{\pi/2+\theta_1} \cos 2\theta \sin \theta d\theta = A_z \left( \sin \theta_1 - \frac{\sin 3\theta_1}{3} \right) \neq 0, \quad (20)$$

$$\int_D \Omega_\phi dq = A_\phi \int_{\pi/2-\theta_1}^{\pi/2+\theta_1} \sin^2 \theta d\theta = A_\phi \left( \theta_1 + \frac{1}{2} \sin 2\theta_1 \right) \neq 0,$$

$$\int_D \Omega_\rho dq = A_\rho \int_{\pi/2-\theta_1}^{\pi/2+\theta_1} \sin 2\theta \sin \theta d\theta = 0,$$

де  $D$  – область тороїда,  $A_z, A_\phi, A_\rho$  – деякі обмежені константи.

Отже, усереднення по об'єму осьового і азимутального обертань приводить до їх інтегрального накопичення, а усереднення нутаційних антисиметричних полів  $\Omega_\rho$  дає нульову суму і спричиняється до незначних нутаційних обертань тіл Сонячної системи, що ми і спостерігаємо на практиці.



**Висновки.** Наведені вище результати свідчать, що теоретична модель планетарного вихору якісно і кількісно пояснює властивість ізохронності обертань малих тіл у Сонячній системі [1]. Ми не лише отримали якісно подібні розподіли швидкостей обертань у планетарному вихорі та планетарній системі Сонця, але і оцінили діапазони їх розкиду, які за теорією та реальністю відрізняються не в рази, а на відсотки. Це свідчить на користь висновку, що при подальшій еволюції первинні гетерогонічні характеристики обертань у планетарному вихорі в цілому зберегли не лише характерні розподіли, а й величини.

З того, що швидкості власного обертання великих планет також лежать у загальних межах обертань у первинному вихорі, можна зробити висновок, що процеси зіткнень, акреції, злипання та інші спричинялись до об'єднання частинок і тіл з параметрами сумарного обертання того ж порядку, що й обертання складових тіл. При цьому значне зменшення величин швидкостей обертання перших планет порівняно з обертаннями у первинному вихорі слід віднести до значного впливу Сонця на їх формування й розвиток. Існування такого впливу є загальновизнаним [1], а окремі його прояви були предметом багатьох досліджень [1; 10].

Відомо [1; 5; 14], що збирання до купи частинок і пилу супроводжується в космосі процесами акреції, коагуляції та ін., при цьому у більшості теоретичних моделей [1; 5] акреція спричиняє зменшення інтенсивності обертання контактних тіл та їх об'єднань, хоча і не у всіх випадках. А от гравітаційні та резонансні взаємодії можуть як сповільнювати, так і пришвидшувати обертання космічних тіл [1; 5; 8; 10]. Внаслідок цього межі експериментальних розкидів у деяких випадках можуть перевищувати межі теоретичних розкидів у первинному вихорі. Така тенденція з перевищенням експериментальних розкидів швидкостей обертань над теоретичними простежується і в нашому дослідженні.

Але безсумнівно, що на основі вивіреної у багатьох відношеннях моделі планетарного вихору [12; 13] як початкового стану зіркових систем можна будувати більш адекватні математичні моделі еволюції цих планетарних систем з урахуванням градієнтних, гравітаційних, акреційних та інших взаємодій між їх елементами.

#### Бібліографічні посилання

1. Альфвен Х. Структура и эволюционная история Солнечной системы / Х. Альфвен, Г. Аррениус. – К., 1981. – 332 с.
2. Сафронов В.С. О гипотезе турбулентности в протопланетном облаке / В.С.Сафронов, Е.Л.Рускол // Вопросы космогонии, 5, 1957. – С. 22–46.
3. Смирнов О.Г. О законах всемирного вращения / О.Г. Смирнов // Актуальные проблемы современной науки. – 2006. – № 5. – С. 126–133.
4. Смирнов О.Г. Ещё раз о всемирном вращении и движении объектов космоса / О.Г. Смирнов // Актуальные проблемы современной науки. – 2006. – № 6. – С. 179–190.
5. Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет / В.С. Сафронов. – М., 1969. – 244 с.
6. Weizsäcker C.F. Über die Entstehung des Planetensystems / C.F. Weizsäcker // Z. Astrophys. – 1943. – 22. – P. 319–355.
7. Chandrasekhar S. The scale of turbulence in a differentially rotating gaseous medium / S. Chandrasekhar, D. Ter Haar. // Astrophys. J. – 1950, 111. – P. 187–200.

8. Kuiper G.P. On the Origion of the Solar System / G.P. Kuiper, J.A. Huneke // Astrophysics, McGraw-Hill Co., New York, 1951. – 365 p.
9. Ter Haar D. Ann. Rev. Astron. Astrophys. 5, 1967/ – P. 267–278.
10. Hoyle F, Origin of the Solar System / F. Hoyle // In R. Jastrow and A.J.W. Cameron (eds) - Academic Press, New York, 1963. – P. 63–71.
11. Перехрест В.І. Новий розв'язок гідродинамічних рівнянь Ейлера для сферичних вихрових течій / В.І. Перехрест, Р.В. Іванов // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка. – 2002. – Вип. 6, т. 1. – С. 60–64.
12. Перехрест В.І. Планетарний вихор та гіпотези Лапласа і Вайцекера / В.І. Перехрест // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка. – 2009. – Вип. 13, т. 2. – С. 113–124.
13. Перехрест В.І. Про структури планетарних вихорів і закономірності їх обертання / В.І. Перехрест, М.М. Осипчук // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка. – 2010. – Вип. 14, т. 1. – С. 109–117.
14. Ксанфомалити Л.В. Солнечная система, планетные системы звёзд и теория последовательной аккреции / Л.В. Ксанфомалити // Кинематика и физика небесных тел. – 2010. – Т. 26, № 4. – С. 84–106.
15. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика / Л.М. Милн-Томсон. – М., 1964. – 655 с.
16. NASA «Sun Fact Sheet»- <http://nssds.gsfc.nasa.gov/plantary> 2009.
17. <http://exoplanets.org/exotable/exotable.html>,

Надійшла до редколегії 10.01.11

УДК 533.601:656.2

Е. В. Кравец

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

### **СТРУКТУРА ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБТЕКАНИИ ВЯЗКИМ НЕСЖИМАЕМЫМ ПОТОКОМ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПРИЗМ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ТАНДЕМОМ НАД ЭКРАНОМ С ОТКРЫТЫМ МЕЖТОРЦЕВЫМ ПРОСТРАНСТВОМ**

Проведено тривимірний чисельний розрахунок течії нестисливої в'язкої рідини при обтіканні двох призм, що розташовані тандемом над екраном, які моделюють рух повітря навколо вагонів поблизу поверхні землі при русі швидкісного потяга. Подано огляд досліджень, що спрямовані на зниження аеродинамічного опору міжвагонного простору швидкісного потяга. Виконано аналіз структури течії та закономірностей вихороутворення в міжторцевій області призм. Визначено коефіцієнт аеродинамічного опору відкритого міжторцевого простору.

*Ключові слова:* течія в'язкої нестисливої рідини, обтікання двох призм тандемом поблизу екрана, швидкісний потяг, аеродинамічний опір міжторцевого простору, структура вихороутворення.

Проведен трехмерный численный расчет течения вязкой несжимаемой жидкости при обтекании двух призм, расположенных тандемом над экраном, моделирующего движение воздуха вокруг вагонов вблизи поверхности земли при движении скоростного железнодорожного состава. Приведен обзор исследований, направленных на снижение аэродинамического сопротивления межвагонного пространства скоростного поезда. Выполнен анализ структуры течения и закономерностей вихреобразования в межторцевой области призм. Определен коэффициент аэродинамического сопротивления открытого межторцевого пространства.