

ГРАВІТАЦІЯ В МЕХАНІЦІ ТА ГРАВІТАЦІЙНІ ЯВИЩА В КОСМОНАВТИЦІ

К. Г. Левчук, С. Г. Степаненко

*Національний технічний університет України
“Київський політехнічний університет”;
м. Київ; тел. +380 (44) 454-94-07*

Розглянуто питання сил гравітації та природа появи різноманітних аномальних гравітаційних явищ. Викладені концепція та результати досліджень, що пояснюють механізми появи «вагомості» залежно від розмірів і періоду обертання планет Сонячної системи навколо власних осей і руху об'єкта, гравітацію якого досліджуємо. Побудовано графіки залежності прискорень вільного падіння на поверхнях планет та поблизу них в середовищі Марс. Показано, що живі організми залежать від сил гравітації.

Ключові слова: гравітація, сила тяжіння, сила інерції, планета, космічні технології.

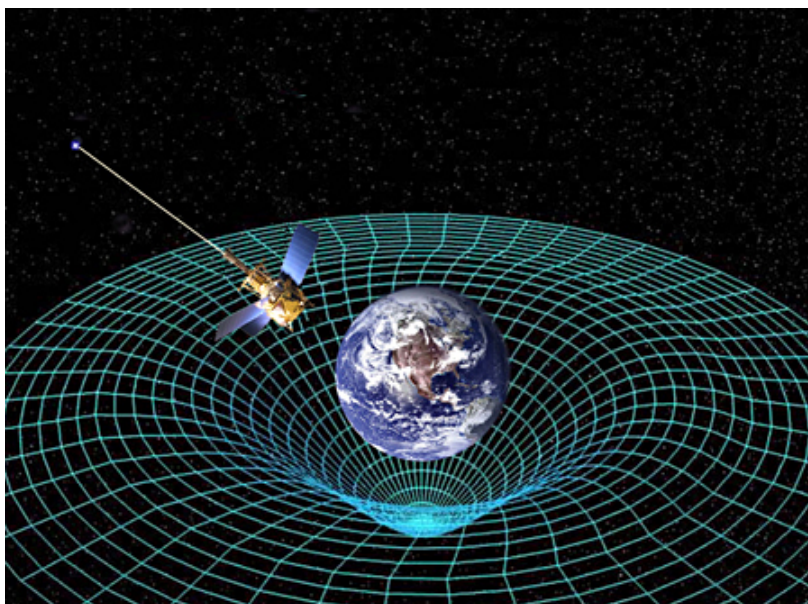


Рис. 1. Гравітаційне поле Землі

Вступ

Сучасні тенденції в розвитку механіки ініціювали появу таких гравітаційних явищ, як мікро-, макро-, гіпергравітація, левітація, невагомість. Всі ці поняття тісно пов'язані з поняттям «вагомості» і знайшли застосування у найрізноманітніших прикладних науках і техніці, а саме: в космонавтиці, авіації, пароплаванні, біофізиці, медицині, біомеханіці, спортивній метрології, конструюванні машин і апаратів.

Постановка задачі

Залежно від «вагомості», що викликана силою тяжіння та рухом об'єкта, необхідно дослідити явища, що виникають у космонавтиці [1]. Методи теоретичної механіки, що не зважаючи на появу таких нових теорій, як загальна теорія відносності, теорія Ейнштейна-Картана, скалярно-тензорна теорія гравітації (теорія Бранса-Дикке), біометрична теорія Розена або релятивістська теорія гравітації Лагунова, вузлова квантова гравітація, теорія Калуци-Клейна або теорія Шмутцера [2] з достатньою точністю уможливають розрахунок гравітаційних характеристик поблизу планет. На прикладі Сонячної системи покажемо абсолютні та відносні значення прискорень вільного падіння на поверхні планет та в космічному просторі поблизу них.

Вагомість як фундаментальне поняття механіки

Теорії гравітації змінювалися з часом. Історично першою була описана сила взаємодії між тілами математичною теорією в античні часи. Аристотель вважав, що об'єкти з різною масою падають з різною швидкістю. Галілео Галілей за допомогою випробувань спростував це твердження і спробував пояснити рух планет. Нині відомо, що у безповітряному просторі всі тіла прискорюються однаково. У дослідженнях з небесної механіки Й. Кеплер (три закони про рух планет) узагальнив учення М. Коперніка. У 1687 р. Ісаак Ньютон відкрив закон Всесвітнього тяжіння, що описує загальну поведінку сили тяжіння [3]. Згодом з'явилися комбіновані теорії гравітації і світла, що спиралися на концепцію ефіру або корпускулярну теорію світла, наприклад, теорія гравітації Фатіо-Лесажа. Після створення спеціальної теорії відносності виникла необхідність поєднати останню з гравітаційними силами. З розвитком техніки вчені-механіки отримали можливість експериментально перевірити основні положення теорії відносності і гравітації: лоренц-інваріантності, гравітаційного відхилення світла й еквівалентності інертної і гравітаційної мас (експеримент Етвеша). Ці експерименти й інші судження зрештою привели до відкриття у 1915 р. загальної теорії відносності Альбертом Ейнштейном [4], яка досконаліше описувала гравітацію в термінах геометрії «простір – час».

Оскільки масштаби викривлень світових траєкторій і гравітаційні поля за Загальною теорією відносності занадто малі, в області космонавтики і галактичної механіки, ньютонівський підхід і нині залишається найбільш адекватним [4].

У теоретичній механіці під вагою \vec{P} розуміють силу, що є рівнодійною сил тяжіння та інерції:

$$\vec{P} = \vec{F} + \vec{\Phi} = m\vec{g},$$

де \vec{F} – сила взаємного притягання тіл, $\vec{\Phi}$ – сила інерції рухомого об'єкта, вагу якого визначають. Саме фізична складова сили ваги зумовлює аномальні гравітаційні явища.

Сила тяжіння є визначальною для сили ваги. Згідно з класичною механікою Ньютона [3] матеріальні точки притягуються з силою, що має назву сили тяжіння та описується законом Всесвітнього тяжіння

$$\vec{F} = -G \frac{m \cdot M}{R^3} \vec{R} = m \vec{a}_g,$$

де $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравітаційна стала, m і M – маси тіл, \vec{R} – радіус вектор, проведений з центра тіла, яке притягує, до центра тіла, що притягується.

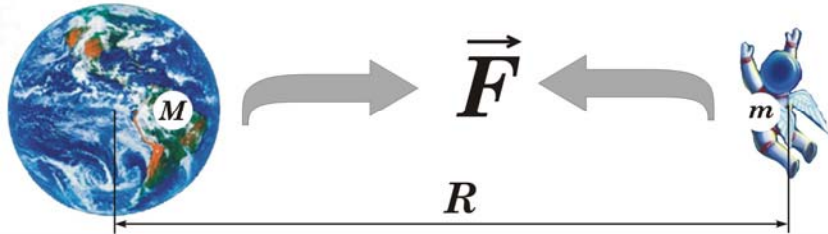


Рис. 2. До визначення сили тяжіння

Сила тяжіння – далекодіюча фундаментальна взаємодія в природі, яка властива всім матеріальним тілам. Це означає, що незалежно від виду руху тіл, у будь-якій точці простору сила тяжіння залежить тільки від взаємного положення тіл в даний момент часу і їхніх мас.

За сучасними даними сила тяжіння є універсальною взаємодією, що, на відміну від інших сил, всім тілам без винятку надає однакове прискорення

$$\vec{a}_g = -G \frac{M}{R^3} \vec{R}.$$

У випадку взаємодії точки і тіла має місце розподіл ваги по тілу:

$$\vec{F} = -G \cdot m \int_0^R \int_0^{360^\circ} \int_0^{90^\circ} \gamma(\rho, \lambda, \varphi) \frac{\vec{\rho}}{\rho^3} d\rho \cdot d\lambda \cdot d\varphi = m \vec{a}_g,$$

де m – маса точки, що притягується до центра тіла; γ – густина тіла (ρ – відстань від центра тіла до точки; λ, φ – відповідно довгота і широта місця на поверхні тіла), $\vec{\rho}$ – радіус вектор, проведений з центра тіла до точки.

Великі космічні об'єкти – планети, зірки та галактики – мають величезні маси (M), внаслідок чого виникають значні гравітаційні поля, що викликають прискорення \vec{a}_g .

Прискорення вільного падіння планет Сонячної системи

Сила гравітації, тобто сила, що діє на тіло на поверхні планети, складається із сили тяжіння $\vec{F} = m \vec{a}_g(\varphi, \rho)$ та переносної сили інерції $\vec{\Phi}_e = -m \vec{a}_e$ ($a_e = \omega^2 \rho \cos \varphi$ – прискорення, викликане обертанням планети навколо власної осі, де ω – кутова швидкість обертання планети навколо власної осі, ρ – відстань від центра планети до тіла на її поверхні, φ

– широта місця розташування тіла на планеті). На полюсах планет і у космічному просторі сила гравітації визначається лише силою тяжіння $\vec{F} = m\vec{a}(\rho)$. Тоді прискорення вільного падіння на поверхні $\vec{g}_{i\hat{a}}$ і поблизу планети $\vec{g}_{i\hat{e}}$ відповідно визначатиметься за формулами

$$\vec{g}_{i\hat{a}} = \vec{a}_g - \vec{a}_e \quad \text{і} \quad \vec{g}_{i\hat{e}} = \vec{a}_g.$$

У математичному пакеті *Maple* були розраховані значення прискорень вільного падіння на поверхнях та поблизу поверхонь дев'яти планет Сонячної системи та Місяця (супутника Землі). Параметри, від яких залежить прискорення планет Сонячної системи, що були використані для розрахунків, зведено до таблиці.

Табл. Загальні відомості про планети Сонячної системи

Назва планети	Маса, $\times 10^{24}$, кг	Діаметр, км	Період обертання, год	Відстань від Сонця, млн.км	Період обертання по орбіті
Юпітер	1900	142984	9,93	778,33	11,86 (земних років)
Сатурн	570	120536	10,23	1 426,98	29,46 (земних років)
Уран	86,8	51 118	17,25	2 847,00	84,01 (земних років)
Нептун	102,9	48 600	15,80	8 997,00	164,79 (земних років)
Земля	5,98	12 756	23,56	149,60	365,25 (земних діб)
Венера	4,87	12 102	5293,93	108,20	224,70 (земних діб)
Марс	0,64	6 786	24,62	227,90	687,00 (земних діб)
Меркурій	0,33	4 878	1381,79	57,90	87,97 (земних діб)
Плутон	0,1196	2 600	6,00	11 800,00	248,4 (земних років)
Місяць (супутник Землі)	0,0736	3 476	27,30	149,98	27,3 (земних діб)

Розраховані прискорення вільного падіння на поверхнях планет з їх відносними розмірами представлені на рисунку, а на графіках – прискорення вільного падіння на поверхнях та поблизу Юпітера, Землі, Марса і Плутона (на відстанях до 10% від радіуса планети).

На графіках стрибки прискорень зумовлені зникненням переносних сил інерції у випадках миттєвих відокремлень від поверхонь планет.

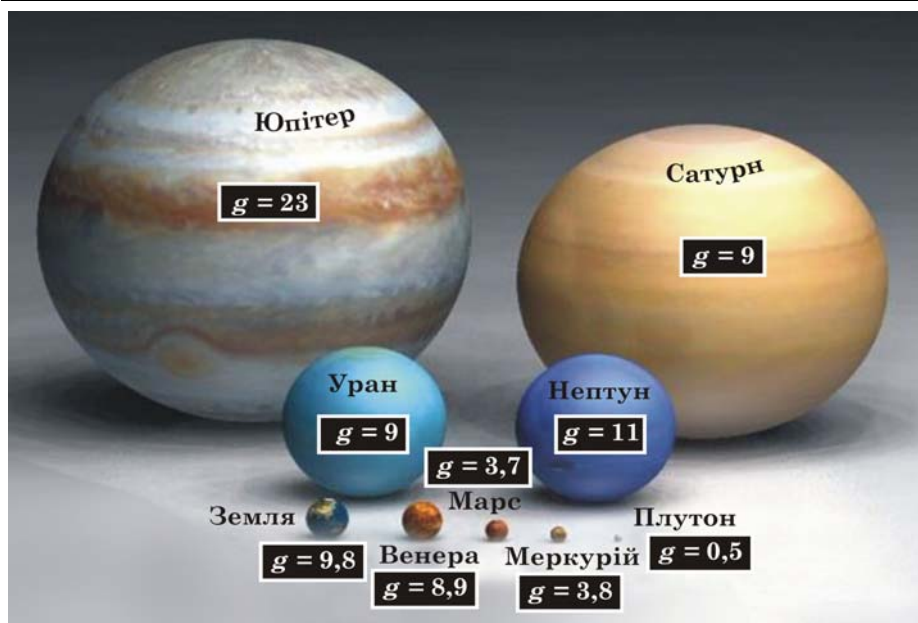


Рис. 3. Прискорення вільного падіння на поверхнях планет

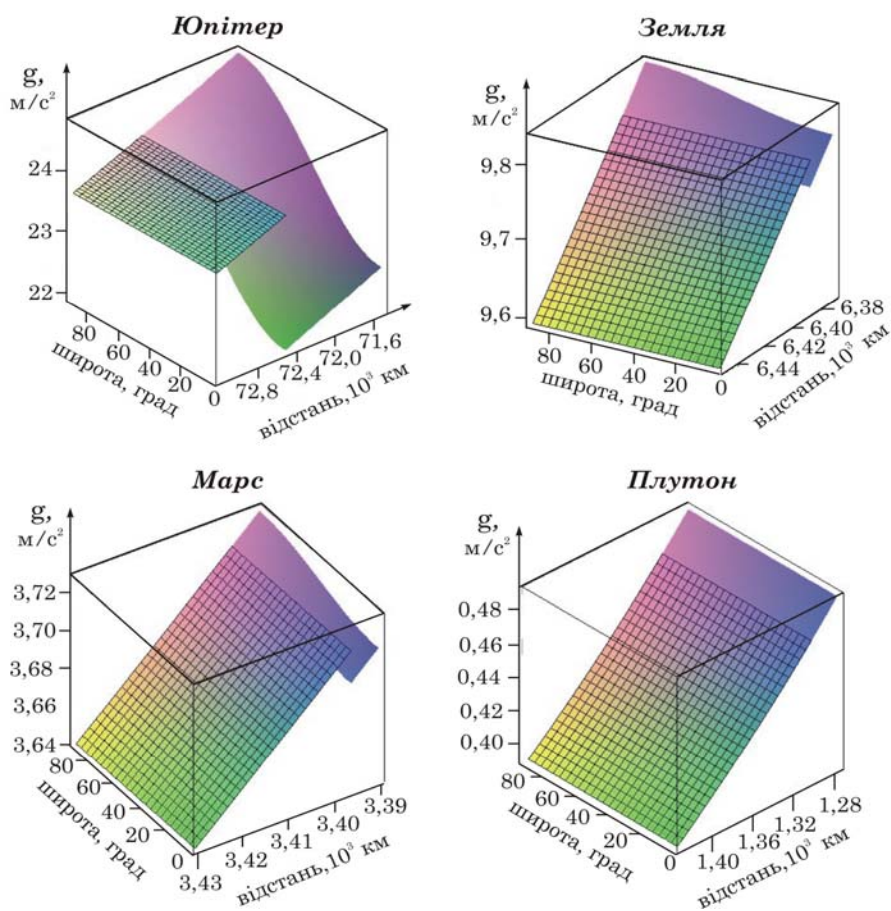


Рис. 4. Залежності прискорення вільного падіння від відстані до поверхні планет

Природа гравітації в космонавтиці

Досить часто зникнення ваги (мікрогравітацію) плутають зі зникненням сили гравітаційного тяжіння. Але це не так, стан невагомості виникає за рахунок сили інерції, викликаной нерівномірним рухом

$$\vec{\Phi} = -m\vec{a},$$

де \vec{a} – прискорення.

Тобто

$$\vec{P} = m(\vec{a}_g - \vec{a}) = m\vec{g}.$$

Як приклад можна привести ситуацію на космічній станції [5]. На висоті 350 кілометрів (висота перебування станції) прискорення вільного падіння має значення $a_g = 8,8 \text{ м/с}^2$, що лише на 10 % менше, ніж на поверхні Землі. У випадку, коли тіло, що рухається по круговій орбіті з першою космічною швидкістю

$$V = \sqrt{g \cdot R} = 7,9 \text{ км/с},$$

має прискорення

$$a = \frac{V^2}{R + 350} = \frac{7,91^2}{6371 + 350} = 0,009 \text{ км/с}^2 = 9,286 \text{ м/с}^2.$$

Отже, $g = a_g - a = 0,486 \text{ м/с}^2$.

В залежності від значення g/a_g розрізняють поняття мікро- ($g/a_g \leq 0,1$) та макрогравітації ($g/a_g > 1$).

На Землі короточасний стан невагомості виникає під час руху літаків по балістичній траєкторії чи в початковий момент вільного падіння тіла в атмосфері, коли опір повітря ще невеликий. Таке ж явище відбувається під час підйому у ліфті, що гальмує з прискоренням $\vec{a} = \vec{a}_g$. На атракціоні «сюрприз», де майданчик швидко обертається в горизонтальній площині, сила інерції притискає людей до стінки і збільшуючи їхню силу ваги із зростанням кутової швидкості обертання.

Для виходу у відкритий космос подібно до того, як електрон у атомі повинен обертатись навколо ядра, щоб не впасти на нього (тобто врівноважити силу притягання протилежно заряджених частинок), космонавт повинен обертатись навколо планети, щоб врівноважити силу гравітаційного притягання до неї. Зрозуміло, що зі збільшенням швидкості обертання він потрапить у поле гравітації сусідньої планети. Тому, щоб подорожувати у галактиці, людина мусить перебувати у різних станах – від мікро- до гіпервагомості.

Перелічені стани «вагомості» штучно створюють для тренування космонавтів [6]. Якщо літак перебуває у стані рівноваги, то кулька, підвішена на нитці у кабіні пілота, зазвичай натягує нитку вниз. Зрозуміло, якщо раптом нитка, на якій висить кулька, не буде натягнута, то пілот перебуватиме в стані невагомості. Таким чином, пілот повинен керувати літаком так, щоб кулька «висіла у повітрі». Заради цього літак

повинен мати прискорення $\vec{a} = \vec{a}_g$. Таким чином, всі тіла: літак, кулька, нитка, пілот і будь-яке тіло, що знаходиться в літаку, будуть падати безвідносно одне до одного.

На атракціоні «колесо огляду», що обертається у вертикальній площині, сила інерції викликає зміну сили ваги людей, які знаходяться усередині великого колеса. Сила, що змінює вагу людей від мікро- ($g/a_g \approx 0,1$) до макрогравітації ($g/a_g \approx 3$), може викликати запаморочення.

Космонавти відчують також гіпергравітацію до $g/a_g = 3,2$ при запуску космічного корабля і близько $g/a_g = 1,4$ при їх поверненні на Землю. Серце при цьому змінює свій ритм дії, б'ється частіше і збільшуються витрати крові. Це може викликати у космонавтів критичний стан: від запаморочення до, у виняткових випадках, навіть втрати свідомості. Для запобігання цим негативним явищам космонавтів тренують у центрифугах, де можливо утримувати контрольовані дози гіпергравітації, подібні до тих, що виникають перед стартом або поверненням, і вони зможуть бути більш пристосованими до перевантажень.

А. Ейнштейн [3] спробував глибше пояснити гравітацію, замінивши поняття про поле гравітації поняттям про кривизну простору поблизу масивного тіла. Ця ідея створила підґрунтя для вивчення зірок і Всесвіту [7], ініціювавши ряд відкриттів, найцікавіше з яких – чорні дірки, що можуть бути тунелями в просторі-часі, які ведуть в інші світи. Однак, для земних практиків ця теорія не дала нічого нового ні в розрахунках, ні в поясненнях у порівнянні з уявленнями І. Ньютона оскільки жодних інших можливостей викривляти простір, крім як за допомогою дуже великих мас, у теорії Ейнштейна немає.

Чорна дірка – область у просторі-часі, гравітаційне поле якої настільки велике, що залишити її не можуть ні об'єкти, що рухаються зі швидкістю світла, ні матерія, ні інформація. Передбачається, що такі області можуть утворюватися, як результат колапсу масивних зірок. Оскільки матерія може потрапляти в чорну дірку (наприклад, з міжзоряного середовища), але не може її залишати, маса чорної дірки згодом може тільки зростати. Подібні астрофізичні об'єкти мають назву у науковій літературі "сколапсовані зірки", або «застиглі зірки», або «колапсари».

Висновки

З розвитком космічних технологій і випробувань виникла необхідність у подальшому розвитку теорій гравітації. Чимало підходів, розроблених після створення теорії Ейнштейна, були спростовані, і загальна тенденція має характер розробки найзагальніших форм теорій гравітації. Зафіксовані відхилення, ймовірно, занадто великі, щоб їх можна було пояснити з позиції хоча б однієї з цих новітніх теорій.

У даний час альтернативні теорії не підтверджені експериментально, однак ньютоніно-копернікова теорія гравітації перевірена аж до субміліметрової шкали масштабів. Саме класична теорія дозволила людині

підкорити космічний простір і відкриває перед космонавтикою нові горизонти.

Література

1. Юровицкий В.М. Космонавтика требует новой механики и нового понимания гравитации / В.М. Юровицкий. – М.: МФТИ, РГСУ, 2006.
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – Т.2.
3. Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica / I. Newton. – London, 1687.
4. Альберт Эйнштейн и теория гравитации: Сборник статей / под ред. Е. Куранского. – М.: Мир, 1979. – С. 146-196.
5. Весомый фактор невесомости / К.С. Елкин, В.Л. Левтов, М.З. Мухоян, В.В. Семенченко, Г.Р. Успенский. – М.: ФГУП «ЦНИИМашиностроения», 2007.
6. Еркин А. Антигравитация / А. Еркин. – М., 2004.
7. Масевич А. Г. Эволюция звёзд: теория и наблюдения / А.Г. Малевич, А.В. Тутуков. – М., Наука, 1988. – 280 с.

*Стаття поступила в редакційну колегію 21.09.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором **Векериком В.І.***

GRAVITATION IN MECHANICS AND GRAVITATION PHENOMENA IN COSMONAUTICS

C. G. Levchuk, S. G. Stepanenco

*National technical university of Ukraine
"Kiev polytechnic university";
Kiev; tel. +380 (44) 454-94-07*

The article examines the problems of gravitational forces and the nature of the various abnormal gravitational phenomena occurrence. The concept and results researches explaining mechanisms of "weightiness" occurrence depending on the sizes and the rotational period of the planets of solar system around their own axes and the movement of object whose gravitation is researched are stated in the article. Graphs showing the relation of free falling acceleration on the surface of the planets and nearby their surfaces are constructed using Maple (program). It is shown that living organisms depend on forces of gravitation.

Key words: *gravitation, attractive power, force of inertia, planet, space technologies.*