
Сучасна формула тяжіння Ньютона та деякі властивості будови Всесвіту у постньютонівському наближенні

Іван Володимирович Карпенко

Українська нафтогазова Академія (УНГА), Київ, Україна

ORCID 0000-0002-2500-8960

Для цитування цієї статті:

Карпенко Іван Володимирович. Сучасна формула тяжіння Ньютона та деякі властивості будови Всесвіту у постньютонівському наближенні. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 4, No. 2, 2025, pp. 184-202. doi: 10.46299/j.isjea.20250402.12.

Надійшла до редакції: 27 лютого 2025 р.; **Схвалено:** 26 березня 2025 р.;

Опубліковано: 01 квітня 2025 р.

Анотація: Представлена формула тяжіння Ньютона в постньютонівському (ПН) наближенні. Показано, що для випадку зосередженої (точкової) маси гравітаційний потенціал точки не залежить від величини маси і дорівнює половині квадрата швидкості світла ($-c^2/2$), прямуючи до нуля на нескінченності. Для рівномірно розосередженої в просторі маси, довільна точка має нульове значення потенціалу і прямує до ($-c^2/2$) на нескінченності. Також показано, що гравітаційний потенціал у точці центру сферично-симетричного кулі дорівнює ($-c^2/2$), а не полуторній величині потенціалу його поверхні. І це значення не залежить ні від радіусу кулі, ні від її маси. Обґрунтована властивість обмеженої дальньої дії статичного гравітаційного поля в плоскому Всесвіті. Її зміст: від будь-якої точки (галактики) Всесвіту напруженість поля зростає до відстані $R_g/\sqrt{3}$, де гравітаційний потенціал $R_g = R$ - геометричному радіусу, а потім спадає до нуля на нескінченності. Ця точка відповідає експериментально встановленому факту, що 5-6 млрд. років тому космічний простір почав розширюватися з аномально зростаючою швидкістю. Досліджується природа сили, що приводить до утворення космічного павутиння - в'їд (гігантських порожнин) і волокон (ниткоподібних скупчень галактик) у просторі Всесвіту. Дослідження ґрунтується на тому, що згідно ПН-наближення сферично-симетрична матеріальна оболонка, на відміну від висновків теорії тяжіння Ньютона, створює гравітаційне поле у внутрішньому об'ємі порожнистої сфери. Показано, що у Всесвіті з розосередженою речовиною, маси, що знаходяться всередині порожнини з меншим, ніж у навколишньому середовищі значенням щільності речовини, зазнають спрямованого гравітаційного впливу з боку розташованих поза порожниною мас. Останні прагнуть перемістити масу, що знаходиться всередині порожнини, до стінки порожнини. Тому ділянки із зниженими значеннями щільності трансформуються у в'їди. А речовина, що їх залишила, утворює по периферії в'їд скупчення у вигляді галактичних ниток (волокон). Тобто відбувається щільнісна фрагментація обсягу Всесвіту – утворення об'ємної космічної павутини або комірчастої щільнісної структури. Показано, що в статичному Всесвіті такий вплив мають лише прилеглі до порожнини маси, які знаходяться на відстані не більше трьох радіусів r_0 кулястої порожнини. Тим самим, навколо порожнини на відстані $r_0 < r < 3r_0$ від її центру, речовина, яка мігрувала з порожнини, утворює оболонку підвищеної щільності з внутрішнім радіусом r_0 і зовнішнім $3r_0$.

Ключові слова: Гравітаційна модель, плоский Всесвіт, теорія тяжіння, пост ньютонівське наближення, обмежена дальньодія гравітації, космічна павутина, в'їди, галактичні волокна.

1. Вступ

Перш за все, віддаймо належне загальній теорії відносності (ЗТВ) Ейнштейна та обґрунтуємо в чім полягає цінність наближених теорій тяжіння. Револьюційність ЗТВ в теоретичній фізиці полягає не лише в тому, що гравітаційна теорія стала одночасно і фізикою простору-часу реального Всесвіту [1,2,3]. Не менш важливим є і те, що ЗТВ створювалася не стільки під реальні експериментально спостережувані факти, скільки незалежно від наявності цих фактів. З появою ЗТВ виникла перспектива можливості існування чисто теоретичної фізики, вільної від прямих посилань на експеримент [1].

Але складність рівнянь Ейнштейна стала суттєвою перешкодою для їх розв'язку. Тому точних розв'язків отримано небагато і, як правило, лише для простих моделей середовища. Прикладом може бути розв'язок рівнянь тяжіння К. Шварцшільдом – для одиночної однорідної і ізотропної кулі, яка створює асимптотичне плоске поле.

Ще однією проблемою є необхідність отримання фізично «наглядного» результату, який би узгоджувався з специфікою світосприйняття людини та можливостями її чуттєвих органів. Навряд чи особливості кривизни простору-часу, навіть у найпростішому варіанті розв'язку Шварцшільда, вираженого у формі всього чотирьох (з двадцяти можливих) гравітаційних потенціалів Ейнштейна, задовольняють названій умові. Тому приходится користуватися так званим принципом відповідності, згідно якого отриманий розв'язок, наприклад, з чотирма гравітаційними потенціалами Ейнштейна, перевіряється на відповідність в граничному випадку єдиному ньютонівському гравітаційному потенціалу [4,5].

Тобто ЗТВ, яким би тяжким не був розв'язок нелінійних рівнянь тяжіння у загальному випадку, теоретично може забезпечити отримання принципово нових фізичних результатів, але їх не легко розгледіти в мереживі математичних формул, що описують кривизну багатомірного простору-часу. Так само як і осмислити фізичну сутність розв'язку. Тому нагальним є створення таких наближень гравітаційної теорії до ЗТВ, які були б простішими від ЗТВ з точки зору можливості розв'язку складних задач, але багатшими за ньютонівську теорію гравітації з точки зору можливості отримання та осмислення нових результатів в пізнанні фізичної природи простору-часу. Одна з таких не дуже вдалих спроб представлена роботою [6].

Добавим до цього, що саме теорія Ньютона забезпечила і до цих пір забезпечує отримання більшості практичних результатів, тоді як ЗТВ з різних причин, не лише вище названих, виявилася досить обмеженою в практичних застосуваннях. Можна надіятися, що пост ньютонівські наближення теорії гравітації приведуть до нового сплеску в отриманні нових як теоретичних так і практичних результатів.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є гравітаційна модель будови Всесвіту, а основним предметом розгляду є постньютонівська теорія тяжіння (ПНТТ) та демонстрація її практичних можливостей.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є доказ того, ПНТТ є дієвим засобом для вивчення гравітаційної будови плоского Всесвіту, вся речовина якого знаходиться всередині його гравітаційного радіусу.

Задачами дослідження є: 1) показ того, що експериментально виявлений факт аномально високої швидкості віддалення далеких галактик в своїй основі пов'язаний з особливістю статичного гравітаційного поля Всесвіту, яке проявляється властивістю його обмеженої дальньої дії; 2) показ того, що фізична природа утворення космічних порожнин (війд) та волокно подібних скупчень галактик пов'язана з тим, що всередині ділянок Всесвіту із дещо

пониженим значенням густини речовини утворюється гравітаційне поле, що направлене в сторону зовнішніх мас і це поле спричинене зовнішніми по відношенню до ділянки масами.

4. Методи досліджень

В основу дослідження покладена методика вивчення гравітаційного поля всередині Всесвіту, яка ґрунтується на ПН-наближенні теорії тяжіння [7]. Сучасна формула тяжіння Ньютона (ПН-наближення) виведена при умові, що швидкість руху матеріального тіла не може перевищувати швидкості світла і, відповідно, умові, що гравітаційний потенціал матеріальної точки не може перевищувати половини квадрату швидкості світла.

5. Огляд проблеми

Теорія гравітаційного поля однорідної ізотропної кулі в наближенні Ньютона представлена законом зворотних квадратів Ньютона. Для простору поза кулею поле задовольняє рівнянню Лапласа, всередині кулі - описується рівнянням Пуассона [1].

Точніше рішення для однорідної ізотропної кулі було отримано Шварцшильдом в результаті розгляду рівнянь тяжіння Ейнштейна для простору поза так званою сферою Шварцшильда. Радіус останньої характеризується величиною гравітаційного радіусу $r_g = \frac{2GM}{c^2}$, де G - гравітаційна постійна, M - маса кулі, c - швидкість світла у вакуумі [2,8]. Це було істотним просуванням теорії, оскільки поле поблизу гравітаційного радіусу вже не описується рівняннями поля, що базуються на законі зворотних квадратів Ньютона.

Що ж до поля всередині сфери Шварцшильда, тобто у точках віддалених від початку координат на відстань $r < r_g$, то тут все виявилось значно складнішим. Класичні рівняння тяжіння Ейнштейна тут також не забезпечували коректного розв'язку. Вперше перетворення координат для зони $r < r_g$ було знайдено в 1938 Леметром [1,9]. Але нестатична система відліку Леметра не покривала ще всю область простору-часу. У 1960 році Крускал ввів іншу нестатичну систему відліку, яка покривала вже весь простір-час аж до $r = 0$, що дало можливість говорити про принципову досяжність центральної сингулярності, тобто умови $r = 0$, коли куля вироджується в матеріальну точку.

Результатом отриманого розв'язку став широко відомий висновок про наявність гравітаційного колапсу, можливість утворення та існування у Всесвіті чорних дірок, про зміну всередині сфери Шварцшильда простору часом і, навпаки, часу простором, а також інші.

В нижче запропонованій роботі поле усередині сфери Шварцшильда досліджується за допомогою не метричної, а модернізованої польової теорії гравітації – ПНТТ-наближення. Для Всесвіту, при його середній щільності речовини рівній критичному значенню, гравітаційний радіус r_g дорівнює радіусу всього Всесвіту. Це дозволяє зробити висновок, що весь Всесвіт знаходиться всередині сфери Шварцшильда.

Теорію Ньютона прийнято вважати першим наближення до теорії гравітації, наприклад, ЗТВ. Надалі для неї використовуватимемо позначення «Н-наближення», тоді як теорію, що розвивається нижче, називатимемо постньютонівською (ПН) і розглядатимемо як друге наближення до польової теорії тяжіння і позначатимемо як ПН-наближення. На відміну від метричної теорії гравітації Ейнштейна, в Н-наближенні та ПН-наближенні використовуються положення польової теорії гравітації. Нагадаємо, що про дивовижні можливості польової теорії, у тому числі ще нереалізовані, свідчить отримання Лапласом ще в 1796 році формули для гравітаційного радіусу ($r_g = \frac{2GM}{c^2}$).

В даний час польова теорія гравітації успішно розвивається в роботах А. А. Логунова та його співробітників [4,5]. Відома також розроблена в 1983 М. Мілгром Модифікована ньютонівська динаміка (MOND) [6]. Не зупиняючись на аналізі названих робіт, зазначимо, що

досі вони не отримали суттєвої підтримки серед астрономів та астрофізиків. І причина цього, як видається, у недостатності фізичного обґрунтування теорій, особливо другої із згаданих.

Основною відмінністю ПН-наближення від метричної теорії гравітації для випадку поля однорідної ізотропної кулі є висновок, що гравітаційний потенціал на поверхні сфери Шварцшильда дорівнює не $c^2/2$, а $c^2/4$, а в центрі кулі – не нескінченності, а $c^2/2$.

6. Результати дослідження

6.1 Сучасний вигляд формули тяжіння Ньютона

Матеріальна точка та її гравітаційний потенціал. Спочатку сформулюємо та обґрунтуємо наступне твердження: гравітаційний потенціал точки, в якій зосереджена маса $M \neq 0$, не залежить від величини маси та дорівнює половині квадрата швидкості світла.

За визначенням гравітаційний потенціал точки дорівнює половині квадрата другої космічної швидкості, необхідної для перенесення одиничної маси з цієї точки на нескінченність. Так само, одинична маса в результаті вільного падіння з нескінченності на момент досягнення досліджуваної точки набуває швидкість, яка дорівнює значенню другої космічної швидкості. Але згідно з теорією відносності швидкість поширення тіла не може перевищувати швидкості світла c . Звідси висновок: максимальне значення гравітаційного потенціалу в точці зосередженої маси неспроможне досягти нескінченного значення, воно не може перевищити величини $-c^2/2$.

Це означає, що матеріальна точка простору, що містить як завгодно малу, але не рівну нулю, масу речовини, має гравітаційний потенціал рівний половині квадрата швидкості світла, значення якого на нескінченному віддаленні від точки прямує до нуля. Як буде показано нижче, вплив маси M на навколишній простір проявляється наступним чином. Значення потенціалу в точці зосередження маси M залишається незмінним і рівним $-c^2/2$, але чим більша маса M , тим більше значення гравітаційного потенціалу вона створює в порівнянні з меншою масою на однаковому віддаленні від центру мас.

Сучасний вигляд формули тяжіння Ньютона. Для отримання виразу гравітаційного потенціалу в ПН-наближенні позбавимося центральної сингулярності в законі зворотних квадратів Ньютона, використовуючи відомий метод регуляризації некоректно поставлених задач [10]. Для цього в знаменник виразу для потенціалу Ньютона введемо доданок $\beta > 0$. Знайдемо величину β , для якого значення потенціалу для випадку зосередження мас у точці дорівнюватиме $-c^2/2$. Інтегруванням визначимо величину роботи сили тяжіння U_∞ , яка здійснюється при переміщенні пробного тіла масою m від точки з масою M за умови, що гравітаційний потенціал точки ($r = 0$) дорівнює не нескінченності, а значенню $-c^2/2$:

$$U_\infty = - \int_0^\infty \frac{GmM}{(r+\beta)^2} dr = -GmM \int_0^\infty \frac{dr}{(r+\beta)^2} = \frac{GmM}{(r+\beta)} \Big|_0^\infty = -\frac{GmM}{\beta}. \quad (1)$$

Оскільки $\varphi = U_\infty/m$, то у нашому випадку $\varphi(0) = -\frac{GM}{\beta} = -\frac{c^2}{2}$, звідки $\beta = \frac{2GM}{c^2} > 0$. Величина β виявилася рівною гравітаційному радіусу $r_g = \frac{2GM}{c^2}$ для маси M зосередженої в матеріальній точці. У результаті вирази для гравітаційного потенціалу φ і прискорення сили тяжіння a для маси M , зосередженої в точці, у разі ПН-наближення слід записати у вигляді:

$$\varphi = -\frac{GM}{r+r_g}, \quad a = -\frac{GM}{(r+r_g)^2}, \quad r_g = \frac{2GM}{c^2}, \quad 0 \leq r < \infty. \quad (2)$$

Отриманий вираз для потенціалу забезпечує обґрунтовану формулою (1) умову незалежності потенціалу в точці $r = 0$ від величини маси M і його рівність величині $c^2/2$. Вираз (2) для прискорення a - це закон зворотних квадратів Ньютона в ПН-наближенні.

Аналіз виразу потенціалу $\varphi = -\frac{GM}{r+r_g}$ показує, що: 1) при $r = 0$, $\varphi = -c^2/2$, 2) при $r = r_g$, $\varphi = -\frac{c^2}{4}$; 3) при $r \rightarrow \infty$, $\varphi \rightarrow 0$. Звертає увагу, що у цих трьох точках значення потенціалу не залежить від величини маси M . При цьому передбачається, що $M \neq 0$ у точці $r = 0$, тобто точка простору не може бути енергетично порожньою. Це, власне, також впливає з вище прийнятої умови $\beta = \frac{2GM}{c^2} > 0$.

Для порівняння в теорії Ньютона, як і в загальній теорії відносності (ЗТВ) для слабких гравітаційних полів та одиничної маси формули тяжіння мають вигляд:

$$\varphi = -\frac{GM}{r}, \quad a = -\frac{\partial\varphi}{\partial r} = -GM/r^2. \quad (3)$$

Відмінність полягає у відсутності в ПН-наближенні сингулярної точки при $r = 0$.

У розглядуваному варіанті зосередженої маси граничні значення гравітаційного потенціалу дорівнюють:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \varphi = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{GM}{r+r_g} = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{G}{\frac{r}{M} + \frac{2G}{c^2}} = -\frac{c^2}{2}, \quad M \neq 0. \quad (4)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \varphi = -\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{G}{\frac{r}{M} + \frac{2G}{c^2}} = 0, \quad M \neq 0. \quad (5)$$

Тобто, при зосередженій масі центр мас ($r = 0$) характеризується мінімальним значенням гравітаційного потенціалу, тому вплив гравітації виявлятиметься тяжінням матеріальних частинок до центру мас тіла. В спеціальній теорії відносності (СТВ) ця ситуація відповідає часоподібному (ЧП) континуумі, в якому дві події можуть бути суміщені у просторі. У Всесвіті ця закономірність притаманна формуванню планет, зірок, галактик.

Якщо ж замість точки розглядається поле всередині однорідної та ізотропної кулі з розосередженою масою, то приймається, що прискорення тяжіння (напруженість гравітаційного поля) на поверхні виділеного всередині її сферичного тіла залежить тільки від маси самого тіла і не залежить від мас, що знаходяться поза цим тілом. Так само і у випадку планети, зірки чи Всесвіту вважається, що напруженість поля всередині цього тіла залежить лише від мас, що знаходяться під сферою, якій належить досліджувана точка, і не залежить від мас тіла, що розташовані над цією сферою.

Тому у разі розосередженої маси вираз (2) має вигляд:

$$\varphi(r_i) = -\frac{Gm_i}{r_i+r_{g_i}}, \quad a(r_i) = -\frac{Gm_i}{(r_i+r_{g_i})^2}, \quad r_{g_i} = \frac{2Gm_i}{c^2}, \quad 0 \leq r < \infty. \quad (6)$$

Тут m_i - маса кулі радіусом r_i , виділеної всередині середовища з розосередженою масою.

Це модифікована формула тяжіння Ньютона (МФТН), що забезпечує коректне визначення поля у всьому діапазоні значень r , у тому числі і всередині Всесвіту, тобто при $0 \leq r \leq R_0$, де $R_0 = R_g$. Останнє є особливо важливим для вивчення гравітаційного поля Всесвіту, оскільки вся його речовина знаходиться в діапазоні значень $0 \leq r \leq R_g$.

У разі розосередженої маси граничні значення для гравітаційного потенціалу набувають такого вигляду:

$$\lim_{r_i \rightarrow 0} \varphi(r_i) = -\lim_{r_i \rightarrow 0} \frac{Gm_i}{r_i+r_{g_i}} = \lim_{r_i \rightarrow 0} \frac{G}{\frac{1}{\frac{4}{3}\pi r_i^2 \rho} + \frac{2G}{c^2}} = 0, \quad (7)$$

$$\lim_{r_i \rightarrow \infty} \varphi(r_i) = - \lim_{r_i \rightarrow \infty} \frac{G}{\frac{1}{\frac{4}{3}\pi r_i^2 \rho} + \frac{2G}{c^2}} = - \frac{c^2}{2}. \quad (8)$$

Тут $m_i = \frac{4}{3}\pi r_i^3 \rho$, ρ – щільність.

Крайові умови (7)-(8) характерні тим, що мінімальне значення потенціалу знаходиться на нескінченності. Це означає, що окремі тіла в розосередженій масі мають віддалятися одне від одного так, як це відбувається на прикладі галактик сучасного Всесвіту. В СТВ така ситуація притаманна просторово подібному (ПП) континууму, в якому дві події не можуть бути суміщені у просторі.

В даному випадку йдеться не про адаптацію формули Ньютона до того чи іншого природного явища. МФТН є природним розвитком польової теорії тяжіння, тому її слід розглядати як сучасний вигляд формули тяжіння Ньютона.

Кориговане класичне гравітаційне поле Ньютона в центрі однорідної кулі. Ньютонівський вираз потенціалу для точок поза і всередині кулі радіусом r_0 має вигляд [11,12]:

$$\varphi = -\frac{GM}{r}, \quad r \geq r_0; \quad \varphi = -\frac{GM}{r_0^3} \left(\frac{3}{2}r_0^2 - \frac{1}{2}r^2 \right), \quad r < r_0. \quad (9)$$

Згідно (9) гравітаційний потенціал φ скрізь негативний, на поверхні кулі дорівнює $-GM/r_0$, в центрі кулі $-\frac{3}{2}GM/r_0$, а при віддаленні від кулі (випадок $r \rightarrow \infty$) прямує до нуля.

На перший погляд, потенціал у вигляді (9) є коректно визначеним у всьому просторі, в тому числі і в точці $r = 0$, в якій значення потенціалу дорівнює полуторній величині потенціалу на поверхні кулі. Проте, некоректність визначення потенціалу у центрі кулі залишається. Справді, для випадку $r = 0$ і одночасному прямуюванні радіусу кулі r_0 до нуля, тобто при виродженні кулі в матеріальну точку, потенціал також прямує до нескінченності.

Ця некоректність проглядається також в залежності значення потенціалу в центрі кулі від радіусу r_0 кулі та її маси M , що може здаватися природним, але насправді суперечить основному постулату теорії відносності – сталості величини швидкості світла. Покажемо це.

Щоб зрозуміти, яким чином у виразі для потенціалу в центрі кулі з'явилася залежність від маси кулі та її радіусу, звернемося до теоретичного обґрунтування формули (9) [11]. Оскільки як верхня межа інтегрування приймається не нескінченність, а радіус кулі r_0 , то остаточна формула для гравітаційного потенціалу у внутрішній точці r кулі зі сферично симетричною розподіленою масою і радіусом r_0 набуває вигляду:

$$\varphi(r) = \frac{Gm(r)}{r} + 4\pi G \int_r^{r_0} \rho(r^1)r^1 dr^1, \quad r \leq r_0 \quad (10)$$

При $r = r_0$ матимемо $\varphi(r_0) = GM/r_0$ – потенціал точки на поверхні кулі, що створений масою M , яка розташована відповідно до ідеї центру мас у центрі кулі. У випадку, коли точка, що аналізується, знаходиться в центрі кулі, тобто при $r \rightarrow 0$ і $r_0 > 0$ приймається, що $\frac{m(r)}{r} \rightarrow 0$, тому

$$\varphi(0) = 4\pi G \int_0^{r_0} \rho(r^1)r^1 dr^1 \quad (11)$$

Ця величина залежить від закону зміни густини ρ з відстанню r . Зокрема, якщо куля – однорідна, то її потенціал у центрі кулі виявляється рівним

$$\varphi(0) = 4\pi G \rho \frac{r_0^2}{2} = \frac{4}{3}\pi r_0^3 \rho G \frac{3}{2r_0} = \frac{3}{2} \frac{MG}{r_0} = \frac{3}{2} \varphi(r_0), \quad M = \frac{4}{3}\pi r_0^3 \rho \quad (12)$$

Тим самим, робиться висновок, що гравітаційний потенціал у центрі однорідної кулі у півтора рази більший, ніж на його поверхні.

Звернемо увагу, що визначення потенціалу передбачає роботу, яку потрібно здійснити, щоб перемістити матеріальну масу, що дорівнює одиниці, із заданої точки в нескінченність. Тобто, верхньою межею інтегрування у другому доданку виразу (10) має бути не радіус r_0 кулі, а нескінченність, оскільки реальний простір поза кулею (наприклад, поза Землею, Сонцем, Галактикою) не є порожнім. Скільки б не була малою середня щільність ρ речовини у Всесвіті, при $r_0 \rightarrow \infty$ вираз (11) для $\varphi(0)$ прямує до нескінченності. Це перше зауваження до питання коректності отримання виразу (12).

Друге зауваження зводиться до того, що жодна точка простору не є енергетично порожньою, тому прийняту при виведенні виразу (12) умову $\lim_{r \rightarrow 0} \frac{Gm(r)}{r} \rightarrow 0$ не можна приймати беззастережно, оскільки $m(r=0) \neq 0$.

Можна це твердження висловити і наочніше. Сумістимо початок системи координат із центром кулі масою $M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho(r)$. Тоді, відповідно до наведеної формули маси M , у точці $r = 0$ значення маси також дорівнює нулю. Тобто, у всіх інших точках кулі значення маси відмінне від нуля і тільки в точці центру кулі, яка нічим не відрізняється від інших точок кулі, маса відсутня. Іншими словами, в геометричному та фізичному розумінні точка $r = 0$ існує, але вона чомусь на відміну від інших точок порожня.

З урахуванням сказаного рівняння (10) в ПН-наближенні набуває вигляду:

$$\varphi(r) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{Gm(r)}{r+r_g} + 4\pi G \int_{\varepsilon}^{\infty} \rho(r^1)r^1 dr^1, \quad \varepsilon \rightarrow 0, \quad r \leq r_0. \quad (13)$$

У (13) перший доданок виразу (6) представлено у вигляді матеріальної точки, а в другому значення ε являє собою радіус околиці матеріальної точки, що прагне до нуля, але не включає в себе саму матеріальну точку. З першого доданку виразу (13) отримуємо:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{Gm(r)}{r+r_g} = \frac{c^2}{2}, \quad r_g = \frac{2Gm(r)}{c^2} > 0. \quad (14)$$

Другий доданок $4\pi G \int_{\varepsilon}^{\infty} \rho(r^1)r^1 dr^1 = 0$, оскільки теорія тяжіння Ейнштейна, як і теорія тяжіння Ньютона, мають одну важливу особливість: «сферично-симетрична матеріальна оболонка не створює гравітаційного поля у внутрішній порожнині» [11,13]. В даному випадку достатньо, щоб ця властивість була справедливою лише для центральної точки $r = 0$. Тому робимо висновок, що гравітаційний потенціал у точці центру сферично-симетричного кулі дорівнює $-\frac{c^2}{2}$, а не полуторній величині потенціалу його поверхні. І це значення не залежить ні від радіусу кулі, ні від її маси.

6.2 Деякі властивості будови Всесвіту в постньютонівському наближенні

Властивість рівності радіуса Всесвіту його гравітаційному радіусу. Всесвіт розглядається як однорідний, ізотропний, плоский, енергетично нейтральний. Плоский, значить, описується евклідовою геометрією. Це експериментально доказано рівністю 180 градусам суми кутів трикутника побудованого на трьох галактиках. Згідно загальної теорії відносності (ЗТВ) плоскість Всесвіту означає, що густина речовини ρ в ньому дорівнює критичному значенню $\rho_0 = 3H^2/8\pi G$, де H – постійна Хаббла, а G – гравітаційна стала.

Але при щільності, що дорівнює критичному значенню ρ_0 , радіус Всесвіту R_0 дорівнює його гравітаційному радіусу R_g . Перекопатися у цьому можна, підставивши у вираз для гравітаційного радіуса $R_g = 2GM/c^2$, де M - маса Всесвіту, критичне значення щільності ρ_0 :

$$R_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2G}{c^2} \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_0 = \frac{2G}{c^2} \frac{4}{3} \pi R_0^3 \frac{3H_0^2}{8\pi G} = R_0^3 \frac{H_0^2}{c^2} = R_0, \quad \text{де} \quad \frac{H_0^2}{c^2} = \frac{1}{R_0^2}. \quad (15)$$

Звідси випливає важливий висновок, що весь Всесвіт не тільки плоский, а й знаходиться всередині свого гравітаційного радіусу.

Згідно загальної теорії відносності (ЗТВ) це означає, що вся маса Всесвіту має знаходитися під горизонтом подій – всередині сфери радіусом R_0 , а ще конкретніше – бути зосередженою в її центрі – в сингулярності. Але Всесвіт – не чорна дірка, в ньому маси розосереджені однорідно і ізотропно по всьому об'єму кулі з радіусом $R_0 = R_g$. Тому виникає проблема побудови такого наближення теорії тяжіння, яке б задовольняло наявним спостережуваним даним.

Всесвіт не може бути статичним. Рівняння ЗТВ показують, що Всесвіт не може бути статичним. Тканина простору може розтягуватися або скорочуватися, але вона не може зберігати фіксований розмір. Покажемо, що й у польової теорії гравітації стаціонарний стан Всесвіту виявляється неможливим. У разі зосередженої маси граничні значення гравітаційного потенціалу (4)-(5) вказують на рух мас в напрямку центру мас.

А при розосередженій масі мінімальне значення гравітаційного потенціалу знаходиться на нескінченності, тому вплив гравітації буде проявлятися тенденцією руху матеріальних частинок від будь-якої обраної точки, з якою зв'язуємо початок системи координат ($r = 0$), у напрямку нескінченності. Таким чином, середовище з однорідною та ізотропною розосередженою масою, моделлю якої ми описуємо Всесвіт, і в умовно первинному стаціонарному стані містить передумову для розширення, оскільки характеризується спрямованим від будь-якої точки до нескінченності градієнтом гравітаційного потенціалу.

Граничні вирази (7)-(8) можуть розглядатися як початкові передумови, що сприятливі для переходу Всесвіту з нестійкого статичного стану в динамічний стан розширення (розтягування) всієї «тканини» вселенського простору. Тому розширення Всесвіту може розглядатися як його внутрішня властивість саморозвитку.

Всесвіт як коливна система. Сучасний Всесвіт плоский, тобто має знаходитися у проміжному стані між ЧП- та ПП-континуумами. Розбіг галактик свідчить на користь його перебування у ПП-континуумі. При розгляді у так званому малому масштабі (галактики, зірки, планети) маємо переважання ЧП-континууму. Разом з тим, дослідження величини суми кутів трикутника побудованого за допомогою трьох галактик, тобто у варіанті великих масштабів, свідчить про плоский (евклідовий) тип простору-часу. Чи не означає це, що у великих масштабах розгляду Всесвіт все-рівно лишається плоским, а його розширення є незначним тимчасовим явищем, яке з часом зміниться на протилежний процес зменшення його просторового розміру?

Більше того, чи не означає це, що протягом всієї фрідманівської еволюції розвитку Всесвіт лишався плоским, з незначними тимчасовими коливаннями між ЧП- та ПП-станами, залишаючись переважно в плоскому (стаціонарному) стані – як стані динамічної рівноваги? Такий стан може бути описаний як незатухаюче гармонічне коливання, період якого T залежить лише від маси M речовини Всесвіту та його жорсткості k (коефіцієнту квазіпружної сили) [12]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} \quad (16)$$

Таке накладання коливного процесу на розширення Всесвіту внаслідок Великого Вибуху не обов'язково свідчить про незмінність в середньому його радіусу. Коливання розміру може відбуватися на фоні неперервного збільшення радіусу, але вік Всесвіту, при наявності коливного процесу, звичайно, збільшиться.

Властивість обмеженої дальності дії стаціонарного поля. У законі зворотних квадратів Ньютона у разі розосередженої маси прискорення тяжіння на поверхні кулі масою M представляється так: $a_N = -\frac{GM}{r^2}$, де $M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$, тобто $a_N = -\frac{4}{3}G \pi r \rho$. При $r = 0$ $a_N = 0$, а при значенні $r \rightarrow \infty$ у загальному випадку $a_N \rightarrow \infty$ (наприклад, для Всесвіту, що характеризується сталістю середньої густини). Як бачимо, якщо для зосередженої маси в теорії Ньютона невизначеність у формулі прискорення виникала в точці початку координат, то для розосередженої – при устремлінні r до нескінченності.

У разі ПН-наближення прискорення a_E при $r = 0$ також набуває нульового значення:

$$a_E(r \rightarrow 0) = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{GM}{(r+r_g)^2} = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{br}{\left(1 + \frac{2br^2}{c^2}\right)^2} = 0, \quad M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \neq 0, \quad r_g > 0, \quad (17)$$

Де $b = \frac{4}{3}\pi G \rho$. Але більш суттєвим виявляється те, що прискорення a_E набуває нульового значення і при прямуванні $r \rightarrow \infty$:

$$a_E(r \rightarrow \infty) = -\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{GM}{(r+r_g)^2} = -\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\frac{4}{3}G\pi r^3 \rho}{\left(r + \frac{8G\pi r^3 \rho}{c^2}\right)^2} = -\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{\left(r + \frac{8G\pi r^3 \rho}{c^2}\right)^4 + \frac{12r}{c^2} \left(1 + \frac{8G\pi r^2 \rho}{c^2}\right)} = 0 \quad (18)$$

Це є наслідком того, що у ПН-наближенні сингулярності відсутні у всьому просторі $0 \leq r \leq \infty$ як для зосередженої, так і для розосередженої маси (рис. 1).

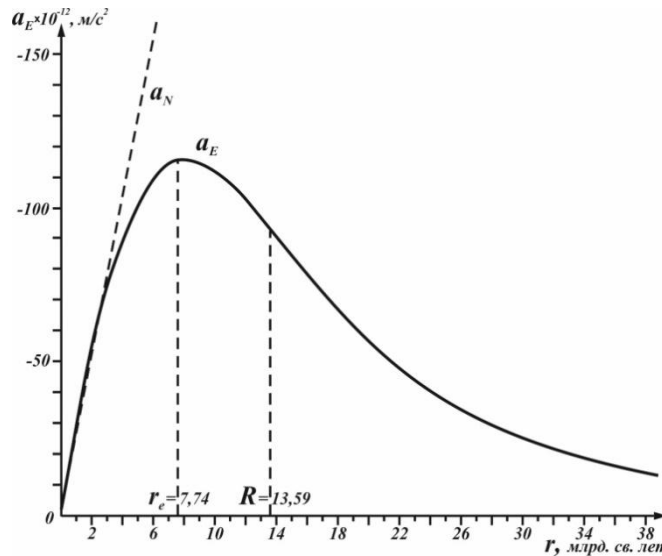


Рис.1. Прискорення тяжіння a_E всередині сучасного Всесвіту в залежності від величини r . a_N – те ж саме згідно закону Ньютона.

Рівність нулю a_E в граничних точках (нульовій та нескінченній) з одночасною присутністю енергії в просторі ($M \neq 0$) означає, що в інтервалі значень $0 < r < \infty$ в деякій точці r_e прискорення набуває екстремального значення. Визначимо цю точку, прирівнявши похідну від функції a_E по відстані r до нуля:

$$a_E(r) = \frac{\partial}{\partial r} \frac{GM}{(r+r_g)^2} = \frac{\partial}{\partial r} \frac{br}{\left(1 + \frac{2br^2}{c^2}\right)^2} = 0$$

В результаті отримуємо:

$$r_e = \frac{c}{\sqrt{8\pi G \rho}}. \quad (19)$$

Таким чином, для випадку стаціонарного Всесвіту поведінка гравітаційного поля всередині гравітаційного радіусу ($0 \leq r \leq r_g$) виявляє властивість обмеженої дальності дії поля. Його сутністю є те, що в діапазоні відстаней $0 \leq r \leq r_e$, $r_e = r_g / \sqrt{3}$ від центру тіла прискорення тяжіння, спрямоване до центру мас тіла, зростає, а далі при значеннях $r > r_e$ зменшується аж до нуля на нескінченності. При цьому у Всесвіті - як середовищі з однорідно розосередженою масою – в якості центру мас може бути прийнята будь-яка галактика.

У випадку від'ємної енергії сила відштовхування зростає в діапазоні відстаней $0 \leq r \leq r_e$, $r_e = r_g / \sqrt{3}$ від центру, а далі при значеннях $r > r_e$ зменшується аж до нуля на нескінченності.

Чому 5-6 млрд. років тому космічний простір почав розширюватися із зростаючою швидкістю? Для випадку гравітаційного поля сучасного Всесвіту $r_e = 7,84$ млрд. світлових років; вік Всесвіту прийнято рівним 13,79 млрд. років (дані на 22.07.2020). Це означає, що починаючи з відстані 7,84 млрд. світлових років від будь-якої галактики Всесвіту прискорення тяжіння до галактики, що розглядається, зменшується і, відповідно, «далекі» галактики рухаються швидше, ніж «приписано» їм законом Хаббла.

Обмовимось, для реального Всесвіту наявним є факт його розширення у просторі, оскільки на великих віддальх між галактиками від'ємна (антигравітаційна) енергія перевищує гравітаційну. Тому більш коректним буде висновок про збільшення антигравітаційного прискорення на віддальх між галактиками більших ніж 7,84 млрд. світлових років.

Якщо врахувати, що за глобальною віковою шкалою Всесвіт знаходиться в точці 13,79 млрд. років, то отримана теоретична оцінка відповідає експериментально встановленому в 1998-1999 роках факту, відзначеному в 2011 Нобелівською премією, що 5-6 млрд. років тому космічний простір почав розширюватися не з падаючою, а зростаючою швидкістю. Як бачимо, теоретична оцінка - $(13,79 - 7,84) = 5,83$ млрд. років тому потрапляє в експериментально встановлений діапазон.

Власне, нейтралізація впливу сингулярної точки $r = 0$ і привела до виявлення нової якості з умовною назвою властивості обмеженої дальності дії стаціонарного поля. Зважаючи на велике значення точки r_e для будови Всесвіту її доцільно назвати, наприклад, малим гравітаційним радіусом. Важливим є те, що точка r_e притаманна стаціонарній моделі Всесвіту. Її природа не пов'язана з рухом матерії Всесвіту, в тому числі і прискоренням. В теоріях Ньютона та Ейнштейна точка r_e не виявляється, оскільки ці теорії є неправомірними в розглядуваному нами діапазоні $0 \leq r \leq r_g$.

З логіки проведеного дослідження випливає, що якщо Всесвіт залишався плоским протягом, наприклад, фрідманівського часу його існування, то на тлі Всесвіту, що розширюється з відповідним збільшення значення r_g , зберігався і поділ простору на ближній підпростір ($r \leq r_g$) з переважанням сил тяжіння і дальній ($r > r_g$) – з переважанням сил розтягування.

У даному разі ми ще не розкриваємо фізичний механізм сумісного впливу додатної та від'ємної гравітаційних енергій, як і того, що представляють ці енергії. На перший погляд, їх сумісна дія має бути нульовою. Те, що в цілому, для всього енергетично нейтрального Всесвіту, це так, а в локальному відношенні – не так, буде показано при розгляді балансу енергій.

Чи є Всесвіт чорною дірою? Те, що радіус Всесвіту по величині співпадає з його гравітаційним радіусом, ставить питання чи не є він чорною дірою. Про те, що не є, свідчить відсутність сингулярності та, відповідно, розподіл речовини по всьому його об'єму. Тим не менше, факт рівності радіусів став підставою для появи, як мінімум, двох напрямків досліджень – космології чорної діри (КЧД) та космології ударної хвилі (КУХ).

КЧД - це космологічна модель, в якій спостережуваний Всесвіт є внутрішньою частиною чорної діри, що існує як одна з багатьох, можливо, всередині більшого батьківського всесвіту

(мультивсесвіту) [14]. КУХ розглядає «великий вибух» як вибух усередині чорної діри, що створює обсяг простору і матерії, який включає в себе спостережуваний. Ця чорна діра зрештою стає білою діркою, оскільки щільність матерії зменшується із розширенням.

Теорія Ейнштейна-Картана розширює ЗТВ Ейнштейна [15]. Вона вводить в розгляд відштовхуючу спин-спінову взаємодію, яка запобігає утворенню гравітаційної сингулярності. Натомість колапсуюча матерія досягає величезної, але кінцевої щільності і відскакує. Тобто, Великий вибух був несингулярним Великим відскоком, при якому утворюється новий всесвіт.

Як бачимо, не відмовляючись від ЗТВ з його центральною сингулярністю, автори відшуковують можливості позбутися впливу сингулярності у випадку будови Всесвіту. В ПН-наближенні ніякого парадоксу не виникає, оскільки рівність радіусу Всесвіту його гравітаційному радіусу відповідає гравітаційному потенціалу на його зовнішній поверхні рівному $(-c^2/4)$, а не $(-c^2/2)$.

Доказом того, що Всесвіт може розглядатися як масивне тіло із розосередженою масою, є отримувана в ПН-наближенні точка r_e , яка свідчить про те, що в масштабах сучасного Всесвіту на віддалі 7,84 млрд. світлових років від нашої Галактики (як, загалом, і від будь-якої іншої), швидкість віддалення «далеких» галактик збільшується.

Чи є чорні діри фізичною реальністю? В теорії ПН-наближення утворення класичних чорних дірок неможливе, оскільки гравітаційний потенціал на віддалі гравітаційного радіусу від центру кулі згідно формули (2) для зосередженої маси при $r = r_g$ дорівнює не $(-c^2/2)$, а меншій величині $(-c^2/4)$. Таке тіло, для термінологічної зручності назовемо його масивним (або М) тілом, характеризується вже як звичайне тіло, яке може залишати як випромінювання, так і матеріальні об'єкти, що мають швидкість більше половини швидкості світла [7].

Проте, мабуть, немає обмежень на кількість матерії, яка може вмещувати таке М-тіло. Хоч, як легко бачити, що більша маса тіла, то менше прискорення тяжіння нею створюється в області $r < r_g$. Але на великих відстанях $r \gg r_g$ таке тіло по гравітаційному впливу не відрізняється від ньютонівського тіла, тому окремими проявами може оцінюватися як «чорна діра» відповідної маси.

Для М-тіла завжди виконується умова: його радіус r за величиною може бути близьким, але завжди більшим гравітаційного радіуса r_g . При досягненні рівності ($r = r_g$) тіло стає подібно до Всесвіту плоским тілом. Тобто тілом, в об'ємі якого міститься максимально можлива кількість матерії і стійке існування якого можливе тільки при розширенні та надходженні додаткової матерії (енергії) для підтримки плоского стану.

Якщо продовжити аналогію М-тіла з чорною дірою, виникає наступне питання. Якщо знехтувати хокінговим випромінюванням, можна вважати тіло чорної діри насправді чорним, воно не світиться, що і спостерігається в окремих астрономічних експериментах. Тому для ще «тіснішої» аналогії бажано щоб і М-тіло не світилося. Не виключено, що це можливо, якщо, наприклад, це вже не нейтронна зірка, а кваркове тіло, або тіло з ще більш «глибоким» фазовим станом, властивостей яких на сьогодні ми не знаємо.

Але перепоною для аналогії між М-тілом і чорною дірою є стверджуване експериментаторами існування надмасивних чорних дір, маси яких зосереджені в невеликих об'ємах простору. Тому наразі слід визнати, що за допомогою ПН-наближення пояснити цей факт неможливо. Можливо, саме тому, що в даному разі необхідно виходити за межі плоскої моделі будови чорної діри, за межі евклідової геометрії.

Фізична природа утворення в'їд та волокон у Всесвіті. Властивістю однорідного та ізотропного Всесвіту характеризується лише у так званих великих масштабах, тобто тоді, коли досліджувана ділянка перевищує розміри галактики і, навіть, скупчення галактик. У менших масштабах в будові Всесвіту спостерігається космічне павутиння - в'їди (гігантські порожнини) та волокна (ниткоподібні скупчення галактик). Основною проблемою для пояснення фізичної природи цих утворень є та, що з теорії тяжіння Ньютона випливає, що сферично-симетрична матеріальна оболонка не створює гравітаційне полі у внутрішньому об'ємі порожнистої сфери.

Що стосується теорії Ньютона це доводиться так (рис.2). Розглядається матеріальна сфера та точкова маса m у довільній точці усередині сфери [16]. Порівнюються сили тяжіння, що створюються речовиною на ділянках сфери a та b , які тягнуть масу m у протилежні сторони. Оскільки маса вважається рівномірно розподіленою поверхнею сфери, то для мас майданчиків a і b виходить відношення $\frac{M_a}{M_b} = \frac{r_a^2}{r_b^2}$. Відношення сил, з якими майданчики притягують тіло, згідно із законом Ньютона записуються таким чином:

$$F_a = \frac{GM_a m}{r_a^2}, \quad F_b = \frac{GM_b m}{r_b^2}, \quad \frac{F_a}{F_b} = \frac{M_a r_b^2}{M_b r_a^2}. \quad (20)$$

Підставляючи в (13) замість $\frac{M_a}{M_b}$ його значення через квадрати відстаней, отримуємо $F_a = F_b$, тобто, що сили рівні по абсолютній величині, спрямовані в протилежні сторони і врівноважують одна одну. Висновок – усередині матеріальної сферичної оболонки сили тяжіння відсутні.

В ПН-наближенні теорії тяжіння, що представлене формулами (2) та (6), зовнішні маси не створюють поля лише в центрі сфери. Але маси, що знаходяться всередині порожнини з меншим, ніж у навколишньому середовищі значенням щільності речовини, зазнають спрямованого гравітаційного впливу з боку розташованих поза порожниною мас [17]. Останні прагнуть перемістити масу, що знаходиться всередині порожнини, до стінки порожнини. З віддаленням від центру порожнини величина прискорення руху зростає. Фізична природа цього явища визначається лише гравітаційним впливом зовнішніх по відношенню до порожнини мас. У разі ПН-наближення вираз (13) набуває наступного вигляду:

$$F_a = \frac{GM_a m}{(r_a + r_{g_a})^2}, \quad F_b = \frac{GM_b m}{(r_b + r_{g_b})^2}, \quad \frac{F_a}{F_b} = \frac{M_a (r_b + r_{g_b})^2}{M_b (r_a + r_{g_a})^2}, \quad (21)$$

Де r_{g_a} і r_{g_b} - гравітаційні радіуси мас M_a та M_b .

А з урахуванням того, що $\frac{M_a}{M_b} = \frac{r_a^2}{r_b^2}$, маємо

$$\frac{F_a}{F_b} = \frac{r_a^2 (r_b + r_{g_b})^2}{r_b^2 (r_a + r_{g_a})^2}. \quad (22)$$

Будемо вважати, що відстань r_a менша за відстань r_b і проаналізуємо вираз (22), звівши його до вигляду:

$$\sqrt{\frac{F_a}{F_b}} = \frac{r_a r_b + r_a r_{g_b}}{r_a r_b + r_b r_{g_a}}. \quad (23)$$

Як бачимо, величина відношення сил $\frac{F_a}{F_b}$ може бути оцінена за допомогою величини відношення других доданків у чисельнику і знаменнику (23), тобто $\frac{r_a r_{g_b}}{r_b r_{g_a}}$. Оскільки

$$\frac{r_{g_a}}{r_{g_b}} = \frac{M_a}{M_b} = \frac{r_a^2}{r_b^2}, \quad \text{то} \quad \frac{r_a r_{g_b}}{r_b r_{g_a}} = \frac{r_b}{r_a}. \quad (24)$$

В підсумку

$$\sqrt{\frac{F_a}{F_b}} = \frac{\frac{r_a}{r_{g_a}} + \frac{r_b}{r_a}}{\frac{r_a}{r_{g_a}} + 1} \quad (25)$$

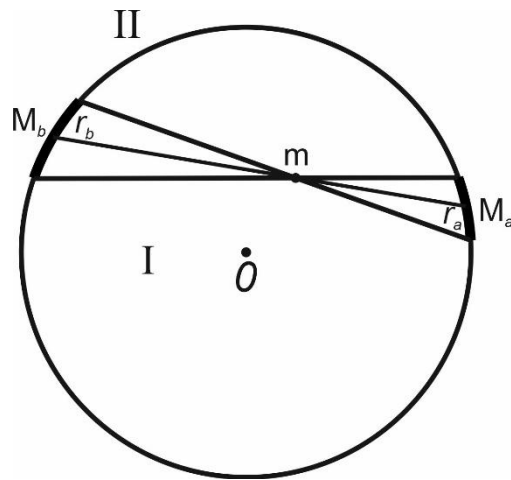


Рис.2. Про вплив зовнішніх мас простору II на величину гравітаційного поля всередині порожньої сфери (куля I).

З теорії тяжіння Ейнштейна, як і теорії тяжіння Ньютона, випливає, що сферично-симетрична матеріальна оболонка зовнішнього простору II не створює жодного гравітаційного поля у внутрішній порожнині I. Сили тяжіння, що впливають на пробну масу m з боку мас M_a і M_b , рівні по абсолютній величині, спрямовані в протилежні сторони і врівноважують одна одну.

З ПН-наближення випливає, що маса M_a , що знаходиться ближче до маси m , сильніше притягує масу m , ніж масивніша, але більш віддалена маса M_b . Тобто сферично-симетрична матеріальна оболонка створює гравітаційне поле у внутрішній порожнині сфери. Іншими словами, в середовищі з розосередженою масою, на пробну масу m , що знаходиться всередині порожнини, діє спрямоване гравітаційне тяжіння мас, що знаходяться поза порожниною, яке прагне перемістити масу m до ближньої стінки порожнини.

З урахуванням того, що $r_b > r_a$, робимо висновок, що чисельник у (25) більший знаменника, а значить $F_a > F_b$. Тобто маса M_a , що знаходиться ближче до маси m , сильніше притягує масу m , ніж масивніша, але більш віддалена маса M_b .

Отже, з ПН-наближення випливає, що сферично-симетрична матеріальна оболонка створює гравітаційне поле у внутрішній порожнині сфери. У центрі порожнини протилежно діючі сили врівноважені ($F_a = F_b$), але з віддаленням маси m від центру величина різниці ($F_a - F_b$) сил зростає. Іншими словами, в середовищі з розосередженою масою, на пробну масу m , що знаходиться всередині порожнини, діє спрямоване гравітаційне тяжіння мас, що знаходяться поза порожниною, яке прагне перемістити пробну масу до стінки порожнини.

Тобто, якщо всередині статичного Всесвіту якимось чином сформувався не заповнена речовиною порожнина, точніше – порожнина з меншою щільністю речовини, то гравітаційний вплив оточуючих цю порожнину мас призведе до подальшого зменшення щільності всередині порожнини.

Можна припустити, що саме цей фізичний механізм лежить в основі утворення гігантських (10-100 Мпк) «порожніх» космічних просторів - в'їд, середня щільність матерії в яких менше десятої частки від середньої щільності для Всесвіту [18].

А також, якщо в первинно однорідному стаціонарному Всесвіту внаслідок флуктуаційних процесів утворилося поле з випадково розподіленим у просторі значенням щільності, то ділянки із зниженим значенням щільності будуть трансформовані у в'їди, а речовина, що залишила їх, утворює скупчення у вигляді галактичних ниток (філаментів, волокон). Тобто відбудеться щільнісна фрагментаризація об'єму Всесвіту – утворення об'ємної космічної комірчастої павутини.

Гравітаційний вплив ближніх зовнішніх мас як причина утворення «космічного павутиння». Може створитися враження, що весь простір Всесвіту аж до нескінченності

впливає на величину поля в довільній точці A всередині порожнини або поверхні кулі I . Покажемо, що насправді в статичному Всесвіті такий вплив мають лише прилеглі до кулі або порожнини зовнішні маси i , згідно з ПН-наближенням, цей вплив проявляється в утворенні космічних порожнин і волокон.

Виберемо як початок координат довільну точку A на поверхні кулі (порожнини) I масою M і радіусом r_0 (рис.3). Проведемо з точки A коло радіусом $2r_0$. Усі точки поза сферою радіусом $2r_0$ взаємно симетричні щодо точки A , тому їх гравітаційні впливи на поле у цій точці взаємно компенсуються. Факт компенсації пояснюється тим, що гравітаційне поле не екранується ніякими масами, у тому числі й масою тіла I . Тому присутність кулі I не порушує принципу взаємно компенсуючого впливу зовнішніх мас, що знаходяться на відстані $r > 2r_0$, на прискорення в точці A .

Щодо центру мас O тіла зовнішнє середовище, що визначає напруженість поля на поверхні кулі, обмежене сферою радіусом $3r_0$. Тому, чим менші розміри тіла, тим менша величина навколишнього простору, маса якого впливає на значення прискорення на поверхні тіла і навпаки. Так, для Землі $r_0 = 6371,03$ км, дієві зовнішні маси (у випадку рівномірно розосередженої маси з тією ж щільністю, що і щільність Землі) перебувають у межах сфери з радіусом, проведеним із центру Землі, рівним $19113,9$ км. Для Галактики з r_0 рівним 50 тисяч світлових років, ця величина дорівнює 150 тисяч світлових років. Для Всесвіту радіус впливу мас значення мільйони і мільярди світлових років.

Гравітаційне прискорення g у точці A складається з двох частин – прискорення g_1 створюваного масою M кулі I та прискорення g_2 створюваного масою m речовини частини кулі II , що знаходиться поза кулею I , тобто

$$g = g_1 + g_2. \quad (26)$$

Величина g_1 визначається формулою (3). Цінність використання в даному випадку формули обернених квадратів полягають у тому, що визначення поля g_1 у точці A залежить тільки від маси M кулі I та його радіусу r_0 і не залежить від зовнішньої маси m .

Зазначимо, що в даному випадку «недолік» ФТН (з точки зору вимог ОТО), що полягає у використанні «нелокального» параметра r_0 , перетворюється на перевагу – можливість оцінити внесок у сумарне поле точки A тільки маси M кулі I .

Вимоги локальності вимірювання гравітаційного поля відповідає визначення g за допомогою маятника:

$$g = 4\pi^2 l / T^2, \quad (27)$$

де l - довжина маятника, яка теоретично може бути як завгодно малою, T - період коливання маятника. Як бачимо, у вираз (27) не входить параметр r_0 (відстань від точки A до центру мас тіла I), що властиво виразу для g_1 у звичайній формулі Ньютона (1). Навпаки, визначення g за допомогою виразу (24) задовольняє принцип локальності, що узгоджується з вимогами загальної теорії відносності. Але ця «перевага» локальності визначення прискорення характеризується важливою особливістю: поле в точці вимірювання залежить від усіх оточуючих точку A мас, всі навколишні маси вносять відповідний їх масі та віддаленню внесок у поле точки A .

Тож у нашому випадку за допомогою (27) у рівнянні (26) визначається сумарне прискорення g . А прискорення, яке створюється зовнішніми масами, визначається як різниця:

$$g_2 = g - g_1. \quad (28)$$

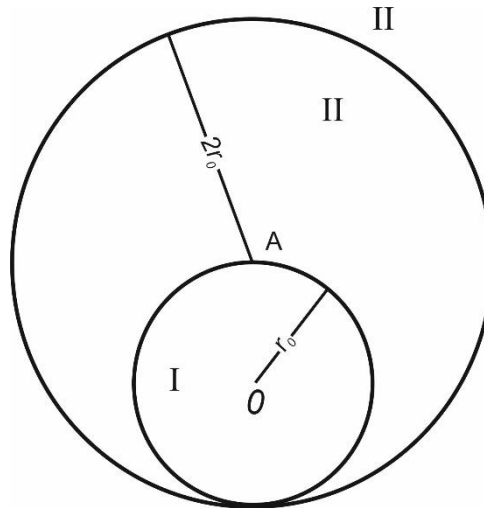


Рис.3. До величини напруженості гравітаційного поля в точці А поверхні однорідної кулі I з густиною ρ_1 і радіусом r_0 , що знаходиться в просторі II із густиною ρ_2 .

Напруженість поля у точці А визначається як масою кулі I, так і масою речовини у просторі II на відстані $r \leq 2r_0$. Речовина на віддалі $r > 2r_0$ не створює напруженості в точці А. Напруженість гравітаційного поля в точці А визначається формулою:

$$g = \frac{4}{3}G\pi r_0(\rho_1 - \rho_2).$$

При $\rho_1 > \rho_2$ у точці А переважає напруженість стиснення, при $\rho_1 < \rho_2$ – напруженість розтягування.

Слід зазначити, що формули експериментального визначення прискорення – (3) і (27), насправді мають різну смислову значимість. Формула Ньютона (1), як і її модифікований варіант (3), є, умовно кажучи, «дистальними», що використовують поняття «центру мас» та відстань від центру мас до досліджуваної точки. Ними характеризується поле зосередженої маси. Формула (27) визначає поле у локальній точці, тому нею характеризується поле розосередженої маси.

Покажемо, що окрім визначення напруженості поля g за допомогою принципу маятника (16), існує і більш зручний спосіб при відомих щільностях - ρ_1 у кулі I та ρ_2 – у середовищі II. У наближенні ФТН прискорення $g_1 = \frac{GM}{r_0^2}$, $M = \frac{4}{3}\pi r_0^3 \rho_1$. Або $g_1 = \frac{4}{3}G\pi r_0 \rho_1$. Якби середовище II займало весь обсяг кулі з радіусом $2r_0$, то напруженість поля в центрі такої кулі, тобто в точці А, дорівнювала б нулю. Тому з урахуванням відсутності середовища II в обсязі кулі I напруженість, створювана середовищем II в точці А, дорівнюватиме різниці напруженостей створюваних повною кулею II і кулею I з щільністю ρ_2 . Тобто $g_2 = 0 - \frac{4}{3}G\pi r_0 \rho_2 = -\frac{4}{3}G\pi r_0 \rho_2$.

В результаті сумарна напруженість поля в точці А дорівнюватиме:

$$g = g_1 + g_2 = \frac{4}{3}G\pi r_0(\rho_1 - \rho_2). \quad (29)$$

Як бачимо, визначальний вплив на поле в точці А має контрастність щільностей тіла і речовини навколишнього простору. Очевидно, що чим менша контрастність, тим більший вплив зовнішніх мас.

Напруженість, що створюється зовнішніми масами на поверхні кулі, залежить від двох параметрів – радіуса кулі r_0 і щільності речовини зовнішнього середовища ρ_2 :

$$g_2 = -\frac{4}{3}G\pi r_0 \rho_2. \quad (30)$$

У центрі O кулі I ($r_0 = 0$) $g_2 = 0$, тобто зовнішні маси, як і внутрішні, не створюють поля у центрі кулі. Зі збільшенням радіусу кулі r_0 вплив зовнішніх мас на напруженість на поверхні кулі збільшується за лінійним законом, але обмежується масами середовища II, які містяться всередині сфери з радіусом $3r_0$.

Іншими словами, з віддаленням від центру O кулі величина напруженості розтягування (знак мінус у виразі для g_2) на поверхні кулі зростає так само, як це постулюється для «темної енергії». Але фізична природа цього явища («відштовхувальної» гравітації) визначається лише гравітаційним впливом зовнішніх по відношенню до досліджуваного тіла мас.

Що ж до впливу контрастності щільності, то при $\rho_1 > \rho_2$ у точці A переважає напруженість стиснення, при $\rho_1 < \rho_2$ – розтягу.

З проведеного дослідження слідує, що вплив напруженості розтягування не поширюється далі обсягу сфери II. Тому у разі $\rho_1 < \rho_2$ частка з точки A зміститься у напрямку зовнішнього радіусу сфери II і зупиниться, не проникаючи далі відстані $2r_0$ від точки A . Тим самим, навколо центру O порожнини I на відстані $r_0 < r < 3r_0$ речовина, яка мігрувала в середовищу II із середовища I, утворює порожню кулю підвищеної щільності.

У Всесвіті з випадково розподіленим у просторі значенням щільності ділянки зі зниженим значенням щільності трансформуються у війди, а речовина, що залишила їх, утворює скупчення з підвищеним значенням щільності речовини у вигляді галактичних ниток (філаментів, волокон).

7. Перспективи подальшого дослідження

Те, що сучасна формула тяжіння Ньютона виявилася спроможною досліджувати гравітаційне поле такого унікального об'єкту як наш Всесвіт свідчить про ширшу сферу її можливого застосування та отримання принципово нових розв'язків. Хоч для більшості астрономічних об'єктів, таких як планети, зірки, навіть галактики, розміри яких на кілька порядків перевищують величину їх гравітаційного радіусу можливості звичайної формули Ньютона є достатніми.

Тому лише для таких екзотичних об'єктів як нейтронна зірка та, можливо, гіпотетична кваркова зірка, гравітаційні радіуси яких наближаються до їх геометричних радіусів нова формула Ньютона стає незамінною. До цього переліку можна додати і проведене в даній роботі дослідження космічних пустот, а також ефектів, що пов'язані з виявленою та дослідженою властивістю обмеженої дальньої дії гравітаційного поля всього Всесвіту.

Але оскільки у великих масштабах гравітаційне поле Всесвіту описується евклідовою (плоскою) геометрією, то можна очікувати суттєвого розширення сфери застосування запропонованої сучасної формули тяжіння Ньютона. Наприклад, для вирішення питання роздільного впливу на гравітаційне поле часово подібного та просторово подібного континуумів Всесвіту або ж, іншими словами, просторів з додатнім та від'ємним значеннями квадрату інтервалу подій в термінології СТВ.

8. Висновки

1. Представлена формула тяжіння Ньютона в постньютонівському (ПН) наближенні. Показано, що для випадку зосередженої (точкової) маси гравітаційний потенціал точки не залежить від величини маси і дорівнює половині квадрата швидкості світла ($-c^2/2$), прямує до нуля на нескінченності. Для рівномірно розосередженої в просторі маси, довільна точка має нульове значення потенціалу і прямує до ($-c^2/2$) на нескінченності.

2. Також показано, що гравітаційний потенціал у точці центру сферично-симетричного кулі дорівнює ($-c^2/2$), а не полуторній величині потенціалу його поверхні. І це значення не залежить ні від радіусу кулі, ні від її маси.

3. Обґрунтована властивість обмеженої дальньої дії статичного гравітаційного поля в плоскому Всесвіті: від будь-якої точки (галактики) Всесвіту напруженість поля зростає до відстані $R_g/\sqrt{3}$, де гравітаційний потенціал $R_g = R$ - геометричному радіусу, а потім спадає до нуля на нескінченності. Ця точка відповідає експериментально встановленому факту, що 5-6 млрд. років тому космічний простір почав розширюватися не з падаючою, а зростаючою швидкістю.

4. Досліджується природа сили, що приводить до утворення космічного павутиння - в'їд (гігантських порожнин) і волокон (ниткоподібних скупчень галактик) у просторі Всесвіту. Дослідження ґрунтується на тому, що згідно ПН-наближення сферично-симетрична матеріальна оболонка, на відміну від висновків теорій тяжіння Ньютона, створює гравітаційне поле у внутрішньому об'ємі порожнистої сфери.

5. Показано, що у Всесвіті з розосередженою речовиною, маси, що знаходяться всередині порожнини з меншим, ніж у навколишньому середовищі значенням щільності речовини, зазнають спрямованого гравітаційного впливу з боку розташованих поза порожниною мас, які прагнуть перемістити масу, що знаходиться всередині порожнини, до стінки порожнини.

6. Тому ділянки із зниженими значеннями щільності трансформуються у в'їди. А речовина, що їх залишила, утворює по периферії в'їд скупчення у вигляді галактичних ниток (волокон). Тобто відбувається щільнісна фрагментація обсягу Всесвіту – утворення об'ємної космічної павутини або комірчастої щільнісної структури.

7. Показано, що в статичному Всесвіті такий вплив мають лише прилеглі до порожнини маси, які знаходяться на відстані не більше трьох радіусів r_0 кулястої порожнини. Тим самим, навколо порожнини на відстані $r_0 < r < 3r_0$ від її центру речовина, яка мігрувала з порожнини, утворює оболонку підвищеної щільності з внутрішнім радіусом r_0 і зовнішнім $3r_0$.

9. Подяка

Автор з великим задоволенням дякує кандидату технічних наук Петрову Валерію Петровичу за проявлену ним увагу до роботи, регулярні обговорення її проміжних результатів та корисні поради.

Список літератури:

- 1) Zakharov V.D. Gravity From Aristotle to Einstein. - BINOM. Lab. Znayn, 2003. – 278 p.
- 2) Landau, L. D., Lifshits, E. M. Field theory. — 8th edition, stereotyped. — М.: Fizmatlit, 2006. — 534 p.
- 3) General theory of relativity: Trans. with English./Under the editorship. WITH. Hawking, V. Israel - М.: Mir, 1983. - 455 p.
- 4) Logunov A. A. "Lectures on the theory of relativity and gravitation. Modern analysis of the problem", Moscow: "Nauka" (1987)
- 5) Logunov A. A. Relativistic theory of gravity. — М.: Nauka, 2006. — 253 p.
- 6) Milgrom M. Modified Newtonian dynamics. (1983) - MOND [<https://ru.wikipedia.org/wiki>].
- 7) Ivan Karpenko. Post-Newtonian approximation in the theory of gravity of a spherically symmetric body. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 126-147. doi:10.46299/j.isjea.20220103.4.
- 8) "Lectures on the theory of relativity and gravitation. Modern analysis of the problem", "Nauka" (1987)
- 9) Pais A. Scientific activity and life of Albert Einstein: Trans. from English/Ed. by academician A. A. Logunov. – М.; Science. Ed. in chief of physical and mathematical literature, 1989. – 568 p.
- 10) Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya. Methods for solving ill-posed problems. – Main editorial office of physical and mathematical literature, Nauka Publishing House, 1979. – 288 p.

- 11) Panteleev V. L. Physics of the Earth and Planets. Lecture Course. 2001. 117 p.
- 12) Kuzmichev V. E. Laws and formulas of physics / Ed. V. K. Tartakovsky. - Kyiv: Nauk. Dumka, 1989. - 864 p.
- 13) Greene B. R. The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality / Translation by Yuri Artamonov of the book "The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality / Brian R. Greene". Random House, Inc., New York, 2004. ISBN 0-375-41288-3.
- 14) Poplavsky, N. (2012). "Non-singular big bounce cosmology from spinor-torsion coupling". *Physical Review D*. 85 (10)
- 15) Petti, R. J. (2021). Derivation of Einstein–Cartan theory from general relativity. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*. **18** (6): 2150083-2151205. *arXiv:1301.1588*. *Bibcode:2021IJGMM..1850083P*. *doi:10.1142/S0219887821500833*. *S CID 119218875*.
- 16) Novikov I. D. Evolution of the Universe – 2nd ed., revised. – Science. Main editorial board of physical and mathematical literature, 1983, 192 p.
- 17) Karpenko, I. (2022). On the nature of the force of the accelerated expansion of the Universe and the physical mechanism of the formation of the "cosmic web". *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 1(3), 229–246. Retrieved from <https://isg-journal.com/isjea/article/view/31>.
- 18) Astronomical encyclopedic dictionary / edited by I. A. Klymyshyn and A. O. Korsun. — Lviv: Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine: Lviv. Ivan Franko National University, 2003. — 548 p.

Newton's modern formula of gravity and some properties of the structure of the Universe in the post-Newtonian approximation

Ivan Karpenko

Ukrainian Oil and Gas Academy (UNGA), Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-2500-8960

Abstract: Newton's formula for gravity is presented in the post-Newtonian (PN) approximation. It is shown that for the case of a concentrated (point) mass, the gravitational potential of a point does not depend on the mass and is equal to half the square of the speed of light ($-c^2/2$), going to zero at infinity. For a mass uniformly distributed in space, an arbitrary point has zero potential and tends to ($-c^2/2$) at infinity. It is also shown that the gravitational potential at the center point of a spherically symmetric sphere is equal to ($-c^2/2$), and not one and a half times the potential of its surface. And this value does not depend on either the radius of the sphere or its mass. The property of limited long-range action of a static gravitational field in a flat Universe is substantiated. Its meaning: from any point (galaxy) of the Universe, the field strength increases to a distance $R_g/\sqrt{3}$, where the gravitational potential $R_g = R$ - the geometric radius, and then decreases to zero at infinity. This point corresponds to the experimentally established fact that 5-6 billion years ago, outer space began to expand at an abnormally increasing speed. The nature of the force that leads to the formation of cosmic webs - voids (giant cavities) and filaments (filamentous clusters of galaxies) in the space of the Universe is investigated. The study is based on the fact that according to the PN approximation, a spherically symmetric material shell, in contrast to the conclusions of Newton's theory of gravity, creates a gravitational field in the internal volume of a hollow sphere. It is shown that in a universe with dispersed matter, masses located inside a cavity with a lower density of matter than in the surrounding environment are subjected to a directed gravitational influence from masses located outside the cavity. The latter tend to move the mass located inside the cavity towards the cavity wall. Therefore, areas with reduced density values are transformed into inlets. And the substance that left them forms clusters in the form of galactic filaments (fibers) on the periphery of the inlets. That is,

there is a density fragmentation of the volume of the Universe - the formation of a volumetric cosmic web or a cellular density structure. It is shown that in a static Universe, only masses adjacent to the cavity, which are at a distance of no more than three radius r_0 of the spherical cavity, have such an effect. Thus, around the cavity at a distance $r_0 < r < 3r_0$ from its center, the matter that migrated from the cavity forms a shell of increased density with an inner radius r_0 and an outer radius $3r_0$.

Keywords: Gravitational model, flat universe, theory of gravity, post-Newtonian approximation, limited range of gravity, cosmic web, entanglements, galactic filaments.
