

# ПРО ДЕЯКІ СПІЛЬНІ ЗАКОНИ ПОЛЯ ГРАВО- І ЕЛЕКТРОМЕТРІЇ

Vasil Tchaban, Dr. Sc., Prof.

Lviv Polytechnic National University, Lviv National Agrarian University

Ukraine, e-mail: [v1z4d5@gmail.com](mailto:v1z4d5@gmail.com)

## 1. Анотація

Використані адаптовані закони статичного електричного і гравітаційного полів на випадок динамічних процесів заради одержання спільних законів електрики і гравітації. Математичний опис зроблено у всеможливому діапазоні швидкостей у звичайних тривимірному Евклідовому просторі і фізичному часі, але в обхід теорії відносності. При цьому враховано скінченну світлову швидкість поширення електричного і гравітаційного полів. Задля певності, вивід одержаних результатів гравітації продубльовано методами класичної механіки. Одержано хвильові рівняння. Приділено потрібну увагу співвідношенню розмірностей рівнобіжних електричних і механічних величин.

## 2. Ключові слова

Електричне і гравітаційне поле, тривимірний Евклідовий простір, фізичний час, діапазон швидкостей, світлова швидкість поширення поля, спільні закони електрики і гравітації, гравітаційні хвилі.

## 3. Вступ

Щоб зблизити методи гравіметрії і електрометрії рухомих фізичних тіл, корисно мати низку спільних законів, які за принципом аналогії і пропорційності розмірностей фізичних величин поставали б у спільному математичному образі. У даній статті зроблено спробу втілити дану ідею на прикладі гравітаційного і електричного неоднорідних вихрових полів. Оскільки на швидкість руху не накладаються ті чи інші обмеження, то математичні образи мусять відтворювати всеможливі ефекти руху як стаціонарного, так і вихрового. Така задача є не з легких, але, як показав аналіз її ще ускладнює теорія релятивізму, реалізована у викривленому Римановому просторі на підставі неенергетичного функціонала дії – скалярної кривизни тензора Риччі. Тому постає резонне питання, а чому б не спростити задачу, адаптувавши закони статичного обох полів на випадок руху у звичайному тривимірному просторі і фізичному часі. Тим більше, що про таку можливість указував Г. Пуанкаре ще на зорі побудови теорії релятивізму [1], а тим більше сучасні фахівці в полі простору-часу [3]. У подібному ключі нами написана на сторінках даного часопису попередня стаття [2]. Тому дану треба трактувати як безпосереднє продовження і узагальнення [2].

## 4. Теоретична частина

### Основні закони статички.

В основу об'єднуючих зусиль приймемо експериментальні закони статички – закон всесвітнього тяжіння І. Ньютона (1687) і закон електричної взаємодії Ш. Кулона (1785). Але заради поставленої цілі їх доведеться адаптувати на випадок рухомих їхніх компонентів – механічних мас і електричних мас (зарядів).

Відомий експериментальний закон всесвітнього тяжіння Ньютона описує гравітаційну силову дію нерухомих мас

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \mathbf{r}_0, \quad (1)$$

де  $\mathbf{F}$  – вектор сили тяжіння між двома гравітуючими масами  $m_1, m_2$ ;  $r$  – миттєва відстань між центрами мас;  $G$  – гравітаційна стала;  $\mathbf{r}_0$  – одиничний просторовий вектор.

Для рухомих мас у діапазоні дорелятивістських швидкостей закон (1) забезпечує достатню точність, тому досі широко використовується на практиці не тільки в земних умовах, але й у космічних дослідженнях. Так, суттєві поправки для переміщення Меркурія накопичуються за сто років, а для Землі їх замітити практично неможливо. Навіть при дослідженні скупчень галактик, у яких середня щільність матерії невелика, астрофізики продовжують користуватися наближенням Ньютона.

Експериментальний закон електричної взаємодії точкових наладованих тіл Ш. Кулона фактично заклав основи електростатички. Закон описує електричну силову взаємодію нерухомих наладованих тіл. Він цілком подібний до закону (1)

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_0, \quad (2)$$

де  $\mathbf{F}$  – вектор сил взаємодіючих наладованих тіл із ладунками  $q_1$  і  $q_2$ ;  $r$  – відстань між електричними центрами тіл;  $k$  – електрична константа.

Взаємодія рухомих електричних зарядів є основним процесом у всіх електронних приладах. Електричне поле в більшості випадків неоднорідне і вельми складне по своїй структурі. Так, вивчення руху електронів у неоднорідних електричних полях дуже утруднене. Воно відноситься до галузі електроніки, званої електронною оптикою. Динаміці руху лише електрона в електричному полі присвячено багато наукових публікацій, але всі

вони в переважній більшості охоплюють діапазон дорелятивістських швидкостей. Для рухомих заряджених тіл у такому діапазоні достатню точність забезпечує закон електричної взаємодії Кулона – базовий закон електростатики, який визначає величину та напрямок сили взаємодії між двома нерухомими точковими зарядами. На підрелятивістських швидкостях закон Кулона недопустимо спотворює реальний процес. Тож, доводиться звертатися до складних рівнянь теорії відносності, причому не завжди застосовних і якими в більшості випадків не можна скористатися на практиці.

Обмеження нерухомістю взаємодіючих мас і ладунків у (1), (2) можна трактувати поширенням електричного і гравітаційного полів з безмежною швидкістю, або т. зв. миттєвою взаємодією. Насправді ж за сучасними уявленнями як електричне, так і магнітне поле поширюються з максимально можливою фізичною швидкістю  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с. Тож, щоб адаптувати закони (1),(2) до реальних умов, достатньо внести в розгляд часове запізнення польової взаємодії! Інакше, у заморожений момент часу  $t$  відстань брати не до реальної відстані взаємодіючих тіл, а до взаємодіючої точки траєкторії з урахуванням часового відставання  $\Delta t$ .

### Основні закони динаміки.

Є практичні задачі, яким не задовольняє (1) і доводиться звертатися до неймовірно складних рівнянь ЗТВ у викривленому римановому просторо-часі, якими не завжди можна скористатися. У той час як у електриці таких проблем немає, бо всі ефекти вихрового руху там вдало враховані під виглядом магнітного поля. Тому постає резонне питання, а чому б проблеми механіки не виразити через готові розв'язки електрики. Таку адаптацію було успішно здійснено [2]. У загальному випадку косого відносного руху тіла до силової дії гравітаційного поля формула (1) набирає вигляду [2]

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \left( 1 + \frac{v^2}{c^2} + 2 \frac{v}{c} \mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{r}_0 \right) \mathbf{r}_0. \quad (3)$$

де  $v$  – миттєва швидкість руху;  $\mathbf{v}_0$  – одиничний вектор швидкості.

Закон (3) пройшов перевірку на релятивістських швидкостях в задачах динаміки небесної механіки. Зокрема, одержано формулу гравітаційного радіуса, яка збігається з одержаною на підставі метрики Шварцшильда в криволінійному Римановому просторі, а також просимульовано динаміку вільного гравітаційного падіння на колапсар GRO J0422+32/V518 Per.

Виходячи з електромеханічних аналогій, можемо так само записати адаптований на рухомі заряди закон Кулона (2) [2].

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{R^2} \left( 1 + \frac{v^2}{c^2} + 2 \frac{v}{c} \mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{r}_0 \right) \mathbf{r}_0. \quad (4)$$

Закон (4) теж пройшов перевірку на релятивістських швидкостях в задачах динаміки руху електрона у вихровому нерівномірному електричному полі [2].

Виходячи з формальної подібності законів (3), (4), запишемо їх обох у загальному уніфікованому вигляді

$$\mathbf{F} = k_x \frac{x_1 x_2}{r^2} \left( 1 + \frac{v^2}{c^2} + 2 \frac{v}{c} \mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{r}_0 \right) \mathbf{r}_0, \quad x = q, m, \quad (5)$$

де  $k_x (x = q, m)$  – світові константи ( $G, k$ ), причому  $q$  вказує на причетність до електричних величин, а  $m$  – до механічних.

Потрібну орієнтацію векторів простору і швидкості знаходимо з відповідних *координатних рівнянь* механічного руху!

Можна показати, що з цієї формули, як триединого симбіозу законів Ньютона, Кулона і нашого Всеохоплюючого руху (Pan ta rhei), постає опис руху всього (принаймні на макро- і мегарівні) неповторного матеріального світу. Тому (5) можна назвати *протоформулою руху*. На її підставі можна уніфікувати всі відомі закони механіки, виходячи із законів електрики. Нижче зупинимось на деяких з них, що стосуються електричного і гравітаційного полів.

### Вектор Пойтинга.

До вектора Пойтинга в електричному полі ми приходимо, виходячи з балансу потужності. Оскільки йдеться про класичний матеріал, то запишемо готовий вираз відповідного компонента цього балансу, як потоку потужності випромінювання через задану поверхню  $S$

$$p = \int_S \mathbf{\Pi} d\mathbf{S}, \quad (6)$$

де  $\mathbf{\Pi}$  – власне вектор Пойтинга

$$\mathbf{\Pi}_k = v_{0k} (\mathbf{E}_k \times \mathbf{B}_k), \quad k = q, m, \quad (7)$$

де  $\mathbf{B}_k$  – індукція як вихровий компонент поля;  $v_{0k}$  – редуktivність середовища, причому розмірність вектора Пойтінга в обох випадках одна й та ж –  $\text{kg/s}^3$  ( $\text{W/m}^2$ ).

Виходячи з аналогій електричного і механічного полів, вектор (7) можна записати в привичних механічних позначеннях

$$\mathbf{\Pi}_m = \frac{c^2}{4\pi G} (\mathbf{\Gamma} \times \mathbf{\Omega}), \quad (8)$$

де  $\mathbf{\Gamma}$  – вектор лінійного прискорення;  $\mathbf{\Omega}$  – вектор кутової швидкості.

Інтеграл (6) презентує той компонент потужности гравітаційного поля, який витрачається на космічне випромінювання.

### Сила Лоренца.

Сила Лоренца на перший погляд здається, що переводить нас не на бік механіки, а, навпаки, – на бік магнетизму. Але чи так є насправді, постараємося розібратися прискіпливіше.

Закон виглядає так

$$\mathbf{F} = q_2 (\mathbf{E}_q + \mathbf{v} \times \mathbf{B}_q), \quad (9)$$

де  $\mathbf{B}_q$  – вектор магнетної індукції;  $\mathbf{E}_q$  – вектор напружености електричного поля за означенням:

$$\mathbf{E}_q = k_q \frac{q_1}{r^2} \mathbf{r}_0. \quad (10)$$

Маючи певний досвід у аналогії основних електричних і механічних законів (5), звернемося до виразу сили Лоренца (9), експериментально одержаного для вихрових електричних полів. Йому теж можна надати більшої прозорости з погляду механіки як другого закону Ньютона у вихровому полі взаємоортогональних прискорень

$$\mathbf{F} = m_2 (\mathbf{\Gamma} + \mathbf{v} \times \mathbf{\Omega}). \quad (11)$$

Вектор лінійного прискорення  $\mathbf{\Gamma}$  цілком збігається з (10)

$$\mathbf{\Gamma} = k_m \frac{m_1}{r^2} \mathbf{r}_0. \quad (12)$$

### Перший закон гравітації.

До законів гравітації приходимо формально на підставі (5). Формула (5) дає можливість головні вектори електричного і механічного полів виразити однаково на кшталт електричного поля

$$\mathbf{E}_q = -\frac{\partial \mathbf{A}_q}{\partial t}; \quad \mathbf{B}_q = \nabla \times \mathbf{A}_q, \quad (13)$$

де  $\mathbf{A}_q$  – вектор-потенціал вихрового електричного поля;  $\mathbf{B}_q$  – вектор індукції вихрового електричного поля.

На підставі (5) можемо одержати рівняння рівняння, відоме як перший закон Максвелла

$$\nabla \times \mathbf{B}_k = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}_k}{\partial t}, \quad k = q, m, \quad (14)$$

Або в механічній версії

$$\nabla \times \mathbf{\Omega} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{\Gamma}}{\partial t}. \quad (15)$$

### Другий закон гравітації.

Другий закон гравітації будемо трактувати як аналог експериментального закону електричної індукції Фарадея (1831р.), який умовно започаткував другу технічну революцію слідом за патентом парової машини Ватта (1769), який започаткував першу з них.

Для цього достатньо взяти векторну операцію  $\nabla \times$  від першого виразу (13), а в одержаний результат підставити другий вираз у результаті чого

$$\nabla \times \mathbf{E}_k = -\frac{\partial \mathbf{B}_k}{\partial t}, \quad k = q, m. \quad (16)$$

В електричному варіанті формула (16) відома під назвою другого закону Максвелла.

У випадку механічного поля у звичних позначеннях вираз (16), виходячи з аналогій обох полів, матиме вигляд

$$\nabla \times \mathbf{\Gamma} = -\frac{\partial \mathbf{\Omega}}{\partial t}. \quad (17)$$

Задля певности, до (17) можна прийти звично, якщо вектори руху виразити, виходячи з законів класичної механіки. Записавши вираз прискорення за означенням

$$\mathbf{\Gamma} = \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t}. \quad (18)$$

і взявши векторну операцію  $\nabla \times$  від лівої і правої частин (13), за умови, що вектор кутової швидкості  $\mathbf{\Omega}$  є вихровим компонентом вектора лінійної швидкості  $\mathbf{V}$ , то рівняння (17) перетворюється до (16) сомо по собі. Знак “-” у (16) уведений за узгодженням векторної орієнтації за правилом правого гвинта.

### Рівняння вектор-потенціалу.

Рівняння вектор-потенціалу  $\mathbf{A}$  – основне рівняння електрики і гравітації. Його легко отримуємо на підставі (5). Для електрики воно має приймає вигляд

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}). \quad (19)$$

Для гравітації (19) буде подібним

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{V}}{\partial t^2} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{V}). \quad (20)$$

Розглянуті окремі закони – це лише частина можливих.

Рівняння (14), (16), (19), (20) описують увесь спектр електричних і гравітаційних хвиль!

### Гравітаційні хвилі.

11 лютого 2016 р. оголошено лабораторіями LIGO та VIRGO про експериментальне відкриття гравітаційних хвиль, що постали від злиття двох чорних дір з масами 36 та 29 сонячних у одну з масою 62 сонячних. Таким чином, вивільнена за десяти частки секунди в злитті енергія – еквівалент близько 3 мас сонця. Відстань до джерела становить близько 1,3 мільярда св. р. Гравітаційні хвилі були передбачені багатьма теоріями гравітації. Але щоб зафіксувати їх, потрібний напрочуд чутливий детектор. Коли такі коливання сягають Землі, у них дуже мала амплітуда – у тисячі разів менша за атомне ядро.

Існування гравітаційних хвиль може повністю змінити наше уявлення про Всесвіт. Можна буде зазирнути в найвіддаленіші куточки Космосу, бо такі хвилі поширюються Всесвітом безперешкодно. Завдяки гравітаційним хвилям з'явилася надія розкрити деякі з найбільших таємниць в науці, наприклад, з чого складається значна частина Всесвіту. Адже тільки 5% Всесвіту – звичайна речовина, 27% – темна матерія, а інші 68% є темною енергією. Їх називають темними, бо невідомо чим вони є.

Гравітаційні хвилі випромінює будь-яке масивне тіло, що рухається з прискоренням. Однак для виникнення хвилі істотної амплітуди необхідні надзвичайно велика маса випромінювача або/і величезні прискорення. Якщо певний об'єкт рухається прискорено, то це означає, що на нього діє деяка сила з боку іншого об'єкта. У свою чергу цей інший об'єкт відчуває зворотну дію. Виходить, що два об'єкти випромінюють гравітаційні хвилі тільки в парі. Для Сонячної системи, наприклад, найбільше гравітаційне випромінювання спричиняє підсистема Сонця і Юпітера. Потужність цього випромінювання нікчемна – приблизно 5 кВт. Найпотужнішими джерелами гравітаційних хвиль є: галактики, що зіштовхуються та гравітаційний колапс подвійної системи компактних об'єктів з величезними прискореннями та величезними масами.

Електричні хвилі описуються рівняннями Максвелла (14), (16), які треба доповнити двома рівняннями неперервності

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0; \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0. \quad (21)$$

що забезпечують однозначність розв'язку за заданих початкових і крайових умов.

Відповідниками рівнянням (21) у гравітаційному полі є

$$\nabla \cdot \mathbf{\Gamma} = 0; \quad \nabla \cdot \mathbf{\Omega} = 0. \quad (22)$$

За правилами векторного аналізу [4] на підставі рівнянь (15), (17), (22) одержуємо класичні рівняння гравітаційних поперечних хвиль

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{U}}{\partial t^2} = \nabla^2 \mathbf{U}, \quad \mathbf{U} = \mathbf{\Gamma}, \mathbf{\Omega}. \quad (23)$$

Рівняння (23) векторні. При потребі їх можна розписати в тих чи інших координатах. У випадку симетричної сферичної хвилі у сферичних координатах вираз (23) спрощується до класичного

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial r^2}, \quad U = \Gamma, \Omega. \quad (24)$$

де  $r$  – просторовий радіус.

Гравітаційна хвиля є поперечною як запаралелена на електричну, описувану рівняння Максвелла (14), (16). У порожнечі вектори стаціонарного і вихрового компонентів обов'язково перпендикулярні до напрямку розповсюдження хвилі. Такі її властивості беззастережно підтверджені експериментом. Без електричних поперечних хвиль нам годі уявити існування цивілізації. Але нікому в голову з нас не приходить, що вони "викривлюють простір", "змінюють структуру простору-часу" тощо, у чому нас так переконують релятивісти.

#### **Розмірності рівнобіжних величин.**

Виходячи з цілковитої симетрії закону динаміки електрики й гравітації (5), можна показати, що всі розмірності рівнобіжних величин – як векторних, так і інтегральних – гравітаційного і електричного полів мають один і той самий коефіцієнт перерахунку між собою  $\xi = \text{kg s}^{-1} \text{A}^{-1} (\text{kg/C})$ .

### **5. Висновки**

1. Адаптовано закони електричної взаємодії Кулона й гравітаційної взаємодії Ньютона на випадок рухомих мас, електричних і механічних, у діапазоні реально можливих швидкостей  $[0, c]$ . Адаптацію здійснено в обхід теорії відносності в реальному тривимірному просторі і фізичному часі. При цьому враховано скінченну швидкість поширення електричного і гравітаційного полів. Показано, що між розмірностями рівнобіжних величин обох полів зберігається сталий коефіцієнт перерахунку.
2. На підставі цієї адаптації одержано низку механічних законів гравітаційного поля, у тому числі і рівнянь гравітаційних хвиль, за аналогією відповідних законів електричного поля, істинність яких дублюються методами класичної механіки.
3. Суттєве спрощення аналізу динаміки руху електричних і гравітаційних мас у відповідних силових полях закладає перспективи нових можливостей для метрології великих швидкостей у граві- і електрометрії.

### **6. Література**

1. H. Poincare. *On science*. Moscow, Russia: Science, 1983.
2. V. Tchaban. "Dynamics of Motion of Electron in Electrical Field". *Measuring, Equipment and Metrology*. Vol 81, No 2, 2020, pp. 39-42 (DOI <https://doi.org/10.23939/istcmtm2020.02.pp.39-42>).
3. S. Karavashkin, "On the curvature of space-time". *Proceedings of the Selfie*, pp. 1-8, 2017. [http://www.decoder.ru/list/all/topic\\_312/](http://www.decoder.ru/list/all/topic_312/).
4. V. Tchaban. *Electromagnetical processes*. Lviv, Ukraine: Space M, 2017.
5. V. Tchaban. *Non-standard problems of electricity, mechanics, philosophy*. Lviv, Ukraine: Space M, 2019.