

СТРУКТУРА ТРИВИМІРНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ

Антоненко А. І., к.т.н., с.н.с.,

*Київський національний університет технологій та дизайну,
м. Київ, Україна*

Система рівнянь Максвелла, спільно з умовами на межах поверхонь розриву та з належними умовами в безмежності, «є система повна, тобто вона дозволяє однозначно визначити електромагнітне поле в довільній точці простору і в довільну мить часу за визначеними для миті часу $t = 0$ початковими значеннями E і H » [1]. Але, тим не менш, Альберт Ейнштейн шукав можливість описання електромагнітного поля в умовах гравітації [2], а Марі-Антуанетт Тоннела відмічає, як одну із можливостей виходу із протиріччя між постулатами класичної динаміки і класичної електродинаміки, що «потрібно зберегти рівняння Ньютона і перетворення Галілея, які залишають їх інваріантними,» ... та припустити в електродинаміці «існування нових явищ, які приводять до перетворень Лоренца – Пуанкаре $l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$; $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$, а також своєрідних компенсуючих явищ, які забезпечують інваріантність рівнянь Максвелла» [3].

Щоб врахувати матеріальність електромагнітного поля, потрібно знайти зв'язок специфічних показників електромагнітного поля з показниками його матеріальності, такими як щільність матерії та швидкість руху. Це можна зробити ввівши поняття щільності магнітної компоненти $\gamma_\mu = \mu_0 H^2 / c^2$, електричної компоненти $\gamma_\epsilon = \epsilon_0 E^2 / c^2$ та допоміжні векторні поля швидкості руху магнітної \vec{V}_μ та електричної \vec{V}_ϵ компонент електромагнітного поля [4–6] такі, що $\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V}_\mu$, а $\vec{H} = \vec{V}_\epsilon \times \vec{D}$, де \vec{E} і \vec{H} , \vec{D} і \vec{B} – вектори напруженості та індукції електричної та магнітної компонент, відповідно; c – швидкість світла.

Скориставшись енергодинамічною системою величин і понять [7] та прийнятими допоміжними співвідношеннями, отримаємо енергодинамічну систему рівнянь електромагнітного поля, приведену в порівняльній таблиці.

Можна припустити, що енергодинамічна форма системи рівнянь електромагнітного поля дозволяє відшукувати рішення для цієї системи не лише у вигляді плоско-паралельних хвиль з поступальним рухом зі швидкістю світла. Слід відзначити, що термін «електромагнітна хвиля» по суті визначає множину щонайменше чотирьох хвиль: хвилю напруженості електричного поля; хвилю щільності електричної компоненти; хвилю напруженості магнітного поля; хвилю щільності магнітної компоненти. Якщо для хвиль напруженості відповідних полів принцип суперпозиції справедливий, то для хвиль щільності – ні.

Порівняльна таблиця рівнянь електромагнітного поля у вакуумі

№№ п.п.	Система рівнянь Максвелла	Енергодинамічна система рівнянь
1.	-	$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V}_\mu$
2.	$rot \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t$	$rot \vec{E} = (\vec{V}_\mu \nabla) \vec{B} - (\vec{B} \nabla) \vec{V}_\mu + \vec{B} div \vec{V}_\mu - \vec{V}_\mu div \vec{B}$
3.	$\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}$	$\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}$
4.	$div \vec{D} = 0$	$div \vec{D} = \varepsilon \cdot (\vec{V}_\mu rot \vec{B} - \vec{B} rot \vec{V}_\mu)$
5.	$\vec{\delta} = \partial \vec{D} / \partial t$	$\vec{\delta} = (\vec{D} \nabla) \vec{V}_\varepsilon - (\vec{V}_\varepsilon \nabla) \vec{D} + \vec{V}_\varepsilon div \vec{D} - \vec{D} div \vec{V}_\varepsilon$
6.	-	$\vec{H} = \vec{V}_\varepsilon \times \vec{D}$
7.	$rot \vec{H} = \vec{\delta}$	$rot \vec{H} = (\vec{D} \nabla) \vec{V}_\varepsilon - (\vec{V}_\varepsilon \nabla) \vec{D} + \vec{V}_\varepsilon div \vec{D} - \vec{D} div \vec{V}_\varepsilon$
8.	$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$	$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$
9.	$div \vec{B} = 0$	$div \vec{B} = 0; \quad \vec{D} rot \vec{V}_\varepsilon - \vec{V}_\varepsilon rot \vec{D} = 0$
10.	-	$\frac{d}{dt} ((\vec{B} \cdot \vec{H}) \cdot \vec{V}_\mu + (\vec{D} \cdot \vec{E}) \cdot \vec{V}_\varepsilon) = ((\vec{B} \cdot \vec{H}) + (\vec{D} \cdot \vec{E})) \cdot \vec{g}$

Тут \vec{g} – прискорення, обумовлене зовнішнім впливом на електромагнітне середовище, наприклад, гравітаційним впливом.

Розглянемо одне із нових рішень системи рівнянь електромагнітного поля, яке має вигляд тривимірної електромагнітної хвилі у вакуумі [8]. Підстановка отриманих в [8] виразів для компонент векторів напруженості магнітного і електричного полів в систему рівнянь Максвелла перетворює рівняння в тотожності, що свідчить про значення цих виразів як розв’язок системи рівнянь. Аналіз цього розв’язку показує, що в розглянутій тривимірній електромагнітній хвилі існує електрична компонента з вектором напруженості, напрямок якого збігається з напрямком руху хвилі. Це означає, що окрім поступального руху тривимірної хвилі в ній спостерігається рух в ортогональному напрямку, так що $rot V \neq 0$. Причому, в розглянутій хвилі можливе існування, в певних точках простору, електричної компоненти без присутності магнітної.

Електрична і магнітна компоненти – суть єдина матеріальна субстанція, яка може миттєво змінювати свій вид (з магнітного на електричний чи навпаки) при русі з обмеженою швидкістю.

Перелік посилань

1. Тамм И. Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. 10-е изд. испр. – М: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 504 с.
2. Иоффе А. Ф. О физике и физиках. Статьи, выступления, письма. Л.: Наука, 1985. 544 с.
3. Мари-Антуанетт Тоннела. Основы электромагнетизма и теории относительности. – М: Изд-во иностр. лит. – 1962. 483 с.

4. Антоненко А.И. Обобщенный закон электромагнитной индукции. [Текст] / А.И. Антоненко // Техническая электродинамика ISSN 0204-3599 – 1993. - № 5. – с. 43 – 47.

5. Антоненко А.И. Колебательное движение электромагнитного поля как материальной двухкомпонентной среды. [Текст] / Доклад на V International scientific and technical conference 31 mai – 3 iunie 2017 "ENGINEERING. TECHNOLOGIES. EDUCATION. SECURITY. 2017", ISSN 2535-0315 (Print), ISSN 2535-0323 (Online) – PROCEEDINGS, Volume 2 с. 214 – 216. Рус.

6. Антоненко А.И. Энергодинамічна система рівнянь електромагнітного поля. [Текст] / М 55 Мехатронні системи: інновації та інжиніринг. Тези доповідей. Міжнародної науково-практичної конференції, 15 червня 2017 р. с. 217 – 218. / відп. за вип. М.А. Зенкін. – Київ : КНУТД, 2017. – 245 с. ISBN 978-966-7972-83-7

7. Коган И.Ш. О понятиях масса и импульс в релятивистской механике [Электронный ресурс]. Электрон. дан. (1 файл) – Режим доступа <http://www.physicalsystems.org/index07.01.4.0.html>

8. Антоненко А. И. Трехмерная электромагнитная волна / Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» м. Кременчук, 3–5 листопада 2017 року. с. 9-10. [Электронный ресурс]. Электрон. дан. (1 файл) – Режим доступа https://drive.google.com/file/d/1I9vkj3AospqjRMmxY_F_i1cyHsia-QFm/view?usp=sharing

Анотація

Приведено співставлення системи рівнянь Максвелла для електромагнітного поля, вільного від зовнішніх впливів, з енергодинамічною системою рівнянь. Аналіз одного із нових рішень системи виявив нові особливості структури електромагнітної хвилі. Виявлено існування електричної компоненти в точках без магнітної компоненти.

Ключові слова: електромагнітна хвиля, щільність компоненти, кількість руху, енергія.

Аннотация

Приведено сопоставление системы уравнений Максвелла для электромагнитного поля, свободного от внешних воздействий, с энергодинамической системой уравнений. Анализ одного из новых решений системы выявил новые особенности структуры электромагнитной волны. Выявлено существование электрической компоненты в точках без магнитной компоненты.

Ключевые слова: электромагнитная волна, плотность компоненты, количество движения, энергия.

Abstract

A comparison is made of the system of Maxwell equations for an electromagnetic field free from external influences, with an energy-dynamic system of equations. An analysis of one of the new solutions of the system revealed new features of the structure of the electromagnetic wave. The existence of an electrical component at points without a magnetic component has been revealed.

Keywords: electromagnetic wave, density of components, quantity of movement, energy.