

ЕЛЕМЕНТАРНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФОРМУЛ ПЕРЕТВОРЕННЯ КОМПОНЕНТ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Коновал О.А., Єчкало Ю.В.

У природі існує єдине електромагнітне поле, яке за певних умов проявляється або як електричне, або як магнітне. У школі цей складний матеріальний об'єкт вивчається у декілька етапів. Спочатку вивчається електростатичне поле та його властивості, потім стаціонарне електричне та магнітне поля. Учні витрачають багато часу на засвоєння цих понять незалежно одне від одного, „психологічно звикають до цих полів як до окремих субстанцій, між якими не встановлюється жодних зв'язків” [1] (також на цей недолік зверталася увага у [8, 14, 15]), і тому при потребі усвідомити електромагнітне поле як об'єктивну реальність, яка існує незалежно від того, в якій системі відліку ми ставимо дослід, зустрічаються зі значними труднощами.

В електродинаміці вивчають найпоширеніший вид взаємодії між тілами і частинками – електромагнітну взаємодію. Одним з результатів, якими збагатилася фізика в процесі вивчення електромагнітних взаємодій, було встановлення двох взаємопов'язаних і взаємо перетворюваних видів матерії: речовини і поля. Погляди щодо визначення поняття єдиного електромагнітного поля та встановлення взаємозв'язку електричного та магнітного полів неодноразово змінювалися. Не потребує обговорення той факт, що в курсі фізики середньої школи вчення про електромагнітне поле треба належно висвітлити. У збірнику термінів [2] електромагнітне поле визначено як особливий вид матерії, яка відзначається безперервним розподілом у просторі, характеризується здатністю поширюватися у просторі з швидкістю світла і чинить на заряджені частинки силову дію, що залежить від їх швидкості. У посібнику [3] додатково відзначається, що для електромагнітного поля характерна відсутність маси спокою. Це поле має корпускулярну структуру і складається з особливих частинок – фотонів (квантів електромагнітного поля), які можуть виявлятися в різних формах (радіохвилі, видиме світло, рентгенівські промені), але мають

істотні спільні властивості (однакова швидкість, електрична нейтральність, відсутність маси спокою). На відміну від речовини, електромагнітне поле більше виявляє хвильові властивості, причому кожному фотону властива певна довжина хвилі.

У багатьох підручниках з фізики, що видавалися того часу, за свідченням автора [3] поле означалось як простір, в якому діють електричні сили або як особливий стан середовища, що містить електричні заряди. Ці означення не дають незалежного матеріалістичного пояснення поняття „поле”. Згідно сучасної фізичної картини світу простір (як і час) є формою існування матерії і не може існувати поза матерією.

За теорією Максвелла, електричне й магнітне поля нерозривно зв'язані, не існують незалежно одне від одного. Але в той же час електромагнітне поле не можна розглядати як просту сукупність електричного та магнітного полів. „Електричне і магнітне поля – вияви єдиного цілого – електромагнітного поля – в різних умовах” [4]. Застосовуючи уявлення про спеціальну теорію відносності, введену наприкінці 60-х років минулого століття до шкільної програми, провідні методисти [3, 4] рекомендували звертати увагу учнів на те, що поділ електромагнітного поля на електричну і магнітну складові відносний, воно в значній мірі залежить від системи відліку, в якій описується поле.

Всі ці факти мають принципово важливе значення для формування у школярів фізичної картини світу. У сучасній фізиці вони набули практичного значення: при розв'язуванні конкретних задач про рух заряджених елементарних частинок в електромагнітних полях нерідко за допомогою вибору системи відліку можна „позбутися” електричного або магнітного поля, і розв'язок задачі спрощується. Однак існують і певні обмеження, наприклад „чисто електричне поле в одній системі відліку не можна „перетворити” в чисто магнітне поле в якій-небудь іншій системі відліку” [5].

Ми вважаємо, що в проблемі формування уявлень про єдине електромагнітне поле (ЄЕМП) важливим являється розкриття наступних питань:

а) обґрунтування формул перетворення компонент електромагнітного поля (ФПКЕП) та на основі їх поняття про відносність поділу ЄЕМП на чисто магнітне та чисто електричне;

б) детальний аналіз електродинамічних прикладів та явищ, в яких проявляються властивості ЄЕМП (тепло Джоуля-Ленца, процес зарядки та розрядки конденсатора, потік електромагнітної енергії в колі постійного чи квазістаціонарного струму, взаємозв'язок між електричним та магнітним полями, що змінюються в часі та інше);

в) вивчення властивостей поля випромінювання (електромагнітні хвилі);

Розглянемо спосіб обґрунтування ФПКЕП, заснований на положеннях фізики, що вивчаються в школі. Уявимо собі дві системи відліку (СВ): лабораторну СВ К та СВ К', яка рухається зі швидкістю \vec{V} відносно СВ К. А в самій СВ К' вздовж вісі $O'X'$ рухається зі швидкістю v' нескінченна довга рівномірно заряджена нитка, причому у власній СВ лінійна густина заряду нитки дорівнює τ_0 (рис. 1).

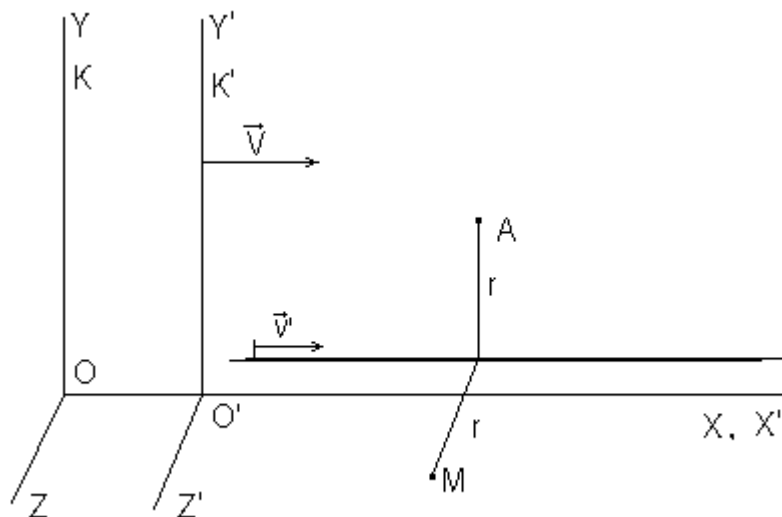


Рис. 1. Електромагнітне поле, що створюється рівномірно зарядженою рухомою ниткою в СВ К та СВ К'

Тоді, в СВ К' будемо мати напруженість електричного та індукцію магнітного полів у точках А і М, відповідно:

$$E'_y = \gamma' \cdot E_y^0, \quad B'_z = \frac{\mu_0 I'}{2\pi \cdot r} = \varepsilon_0 \mu_0 v' E'_y \quad (1)$$

$$E'_z = \gamma' \cdot E_z^0, \quad B'_y = -\frac{\mu_0 I'}{2\pi \cdot r} = -\varepsilon_0 \mu_0 v' E'_z \quad (2),$$

де $E_y^0 = E_z^0 = \frac{\tau_0}{2\pi\varepsilon_0 r}$ - величина напруженості електричного поля, створеного

зарядженою ниткою у ВСВ в точках на віддалі r від нитки; $\gamma' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta'^2}}$, $\beta' = \frac{v'}{c}$,

$I' = \tau'v'$ - сила струму в СВ К', який зумовлений рухом нитки з швидкістю v' ;

$$\tau' = \gamma'\tau_0$$

В СВ К значення напруженості електричного та індукції магнітного полів знаходяться з використанням подібних формул $E_y = E_z = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}$, $B_z = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r}$, але

при цьому нитка рухається зі швидкістю $v = \frac{V+v'}{1+\frac{Vv'}{c^2}}$ відносно СВ К. Тому електро-

магнітне поле в точках А і М СВ К має такі компоненти (виражені через компоненти електромагнітного поля в СВ К'):

$$E_y = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r} = \frac{\tau_0\gamma}{2\pi\varepsilon_0 r} = \Gamma(E'_y + VB'_z) \quad (3)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r} = \frac{\mu_0 v\tau_0\gamma}{2\pi \cdot r} = \Gamma\left(B'_z + \frac{V}{c^2}E'_y\right) \quad (4)$$

$$E_z = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r} = \frac{\tau_0\gamma}{2\pi\varepsilon_0 r} = \Gamma(E'_z - VB'_y) \quad (5)$$

$$B_y = -\frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r} = -\frac{\mu_0 v\tau_0\gamma}{2\pi \cdot r} = \Gamma\left(B'_y - \frac{V}{c^2}E'_z\right) \quad (6),$$

$$\text{де } \Gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \Gamma\gamma'\left(1+\frac{Vv'}{c^2}\right)$$

Тобто розраховуючи електромагнітне поле (\vec{E}, \vec{B}) такого симетричного та простого розподілу заряду, та порівнюючи характеристики цього електромагнітного поля в СВ К та СВ К' вдається вивести формули перетворення компонент електромагнітного поля при переході від однієї СВ до іншої:

$$E_x = E'_x, E_y = \Gamma(E'_y + VB'_z), E_z = \Gamma(E'_z - VB'_y) \quad (7)$$

$$B_x = B'_x, B_y = \Gamma \left(B'_y - \frac{V \cdot E'_z}{c^2} \right), B_z = \Gamma \left(B'_z + \frac{VE'_y}{c^2} \right) \quad (8)$$

Ці формули не пояснюють механізмів породження того чи іншого поля. Для цих формул не має значення, яким чином виникли поля і яка природа (походження) цих полів, які джерела відповідальні за появу полів. Вдумливий аналіз властивостей ФПКЕП та застосування їх дають надзвичайно широкий спектр методичних новацій при формуванні уявлень про єдине електромагнітне поле, при чому без посилання на взаємозв'язок між електричним та магнітним полями, що змінюються. В традиційній методиках вважається [1, 7 - 11], що тільки при вивченні нестационарних електромагнітних явищ можна більш менш успішно формувати поняття про електромагнітне поле. Але, як раніше відмічалось [14, 15], достатньо повно формувати уявлення про ЄЕМП можна і значно раніше – вивчаючи електромагнітне поле, створене стаціонарним, прямолінійним рухом заряджених частинок.

Зокрема, слід звернути увагу на те, що електромагнітне поле не є векторним полем, а в рамках класичної (не квантової) електродинаміки адекватно описується апаратом тензорного числення. Про це свідчать безліч прикладів та ряд відомих учням експериментальних фактів (явище електромагнітної індукції, розглянутий вище приклад). Дійсно, якби електромагнітне поле як особливий вид матерії, що здійснює взаємодію між зарядженими частинками, не становило, не являло собою дещо єдине й особливе, то при переході від однієї СВ до іншої напруженість електричного поля, наприклад, виражалася б тільки через компоненти вектора \vec{E}' . Можна сказати, що в кожній СВ вектори \vec{E} та \vec{B} - це "проекції" на цю систему складного фізичного об'єкту – електромагнітного поля.

Список використаних джерел

1. Дідович М.М., Мощенко С.М. Систематизація знань учнів при формуванні поняття електромагнітного поля // Дидактичні проблеми фізичної освіти в Україні: Матеріали науково-практичної конференції.- Чернігів: Чернігівський державний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка. 1998.- С.53.
2. Терминология теоретической электроники. Сборник рекомендуемых терминов. М., 1958, вып. 46.

3. М.Й. Розенберг. Методика навчання фізики в середній школі. Молекулярна фізика. Основи електродинаміки. - К.: Радянська школа, 1973. – С. 98-99.
4. А.А. Ванєєв, Е.Г. Зубицька, О.Ф. Яруніна. Викладання фізики в 10 класі середньої школи. – К.: Радянська школа, 1980. – С. 63-64.
5. Г.А. Бугаєнко. О взаимосвязи электрического и магнитного полей // Физика в школе. – 1971. – №6. – С. 44-47.
6. А.А. Ванєєв, Є.Д. Корж, В.П. Орехов. Викладання фізики в 9 класі. Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1981. – 114с.
7. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика: учеб для 11 кл. ср. шк. – М.: Просвещение, 1991. – 254 с.
8. Глазунов А.Т., Нурминский И.И., Пинский А.А. Методика преподавания физики в средней школе: Электродинамика нестационарных явлений. Квантовая физика: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1989. – 272с.
9. Вольштейн С.Л. Элементы Максвелловской электродинамики в школе. – Минск.: Народная асвета, 1973. – 165 с.
10. Каменецкий С.Е., Пустыльник И.Г. Электродинамика в курсе физики средней школы. Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1978. – 127с.
11. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1983. – 463с.
12. Коновал О.А. Приклади застосування формул перетворення компонент електромагнітного поля//Фізика та астрономія в школі. – 2003. - №6.
13. Коновал О.А.Формування уявлень про відносність та взаємозв'язок електричного та магнітного полів при вивченні електромагнетизму//Наукові записки. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка. – 2003. – Випуск 51. – Частина 1. - С.135-141.
14. Коновал О.А., Рябоконт Д.В. Відносність електричного і магнітного полів: Методичні аспекти// Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Збірник наукових праць. Випуск 3: В 3-х томах. – Кривий Ріг Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2003. – Т.2. – С. 154-167.
15. Коновал О.А., Єчкало Ю.В. Еволюція поглядів на методику формування уявлень про електромагнітне поле у школярів// Фізика та астрономія в школі. – 2004. - №1.

Повна назва організації Криворізький державний педагогічний університет

Поштова адреса - 50086, м. Кривий Ріг, пр. Гагаріна, 54, каф. фізики; тел.сл.(0564) 71-57-21

***Прізвище, ім'я, по батькові* - Коновал Олександр Андрійович**

Посада завідувач кафедри фізики Криворізького державного педагогічного університету

Вчений ступінь кандидат фізико-математичних наук

Вчене звання доцент кафедри фізики

***Прізвище, ім'я, по батькові* - Єчкало Юлія Володимирівна, магістрант каф. фізики**