

## МОДЕЛЮВАННЯ СТРУМІВ ЗМІЩЕННЯ

О.А. Коновал, О.М. Степанюк  
 м. Кривий Ріг, Криворізький державний педагогічний  
 університет

При вивченні електромагнетизму ряд законів цього розділу фізики формулюються, незважаючи на польовий характер електродинамічних явищ, на основі уявлень дальності (закон Біо-Савара, теорема про циркуляцію вектора магнітної індукції та співвідношення пов'язані з ними).

В існуючих методиках вивчення властивостей магнітного поля постійного та квазістаціонарного струмів повністю відсутні спроби пояснити фізичну причину виникнення магнітного поля (МП). Справді, хіба не дивно, що при викладанні електродинаміки, яка являється однією з самих точних фізичних теорій і має такий широкий спектр експериментальних підтверджень та практичних застосувань, методисти спромоглися лише до тверджень типу “з рухом заряджених частинок зв'язане магнітне поле”, “навколо рухомих зарядів (струмів) існує магнітне поле”.

Перш за все, дослідження показали, що МП – це релятивістський феномен [1, 2, 3]. Подруге, причиною виникнення МП у випадках рівномірного руху заряджених частинок при будь-якій величині швидкості їх являється тільки струм зміщення [4, 5]. При цьому густина струму зміщення дорівнює:

$$\vec{j}_{\text{зм}} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \left[ \frac{3q\nu(1-\beta^2)(x-\nu t)^2}{4\pi\{(x-\nu t)^2 + \rho^2(1-\beta^2)\}^{5/2}} - \frac{q\nu(1-\beta^2)}{4\pi\{(x-\nu t)^2 + \rho^2(1-\beta^2)\}^{3/2}} \right] \vec{i} + (1),$$

$$+ \frac{3q\nu y(1-\beta^2)(x-\nu t)}{4\pi\{(x-\nu t)^2 + \rho^2(1-\beta^2)\}^{5/2}} \vec{j} + \frac{3q\nu z(1-\beta^2)(x-\nu t)}{4\pi\{(x-\nu t)^2 + \rho^2(1-\beta^2)\}^{5/2}} \vec{k}$$

де  $\vec{r}$  - радіус-вектор, проведений із миттєвого положення протона в дану точку поля з координатами  $(x, y, z)$ ,

$$\vec{r} = (x - \nu t)\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}, \quad \beta = \frac{\nu}{c}, \quad \nu - \text{швидкість руху протона, } c -$$

швидкість світла в вакуумі,  $\rho^2 = y^2 + z^2$ .

І якщо ми хочемо знайти фізичний механізм, чи пояснити фізичну причину появи МП постійних струмів (а не просто констатувати існування МП), то альтернативі струмів зміщення в рамках класичної (не квантової) електродинаміки не існує[5, 6]. Таке пояснення відповідає і сучасній фізичній парадигмі, і дає результати, що узгоджуються з експериментальними даними. А так званий струм переносу – це формальна величина, що не несе ніякого фізичного навантаження, але через яку зручно виражати властивості та дію магнітного поля, бо вона легко контролюється в дослідах.

Для кращого розуміння механізму “протікання” струмів зміщення, розподілу в просторі векторного поля (1) і, таким чином, з метою більш повно пояснити властивості поля  $\vec{j}_{zm}$  нами змодельоване поле (1)

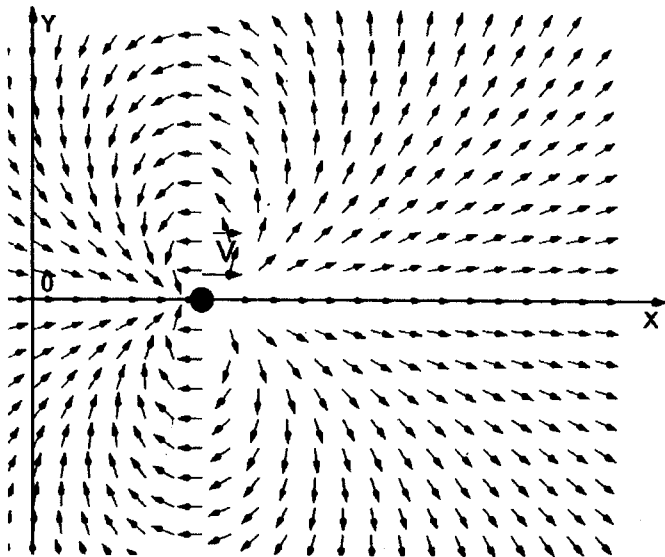


Рис.1. Розподіл поля  $\vec{j}_{zm}$  в площині XOY

За допомогою комп'ютерних імітаційних моделей можна продемонструвати, а значить і уявити, в деяких межах, основні властивості об'єкту, що вивчається.

Так, зокрема, із рис.1 видно, що в будь-якій точці площини,

що перпендикулярна  $v$  і яку в дану мить перетинає заряджена частинка, вектор  $\vec{j}_{zm}$  направлений протилежно осі  $OX$

$$\vec{j}_{zm} = -\frac{qv}{4\pi \cdot \sqrt{1-\beta^2} \cdot \rho^3} \cdot \vec{i}$$

В кожній точці простору, внаслідок руху заряджених частинок, буде змінюватися з часом вектор  $\vec{D}$ , тому

$$\text{rot}\vec{H} = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \quad (2)$$

Зауважимо, що фундаментальне рівняння (2) слід розглядати як наслідок властивостей електромагнітного поля рівномірно рухомої зарядженої частинки (або, іншими словами, як наслідок принципу відносності і закону Кулона [7]).

Інтегруючи рівняння (2) одержуємо:

$$H_z(x, y, z, t) = \frac{qv \cdot (1-\beta^2) \cdot y}{4\pi \cdot \left\{ (x-vt)^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2) \right\}^{3/2}} \quad (3)$$

$$H_y(x, y, z, t) = -\frac{qv \cdot (1-\beta^2) \cdot z}{4\pi \cdot \left\{ (x-vt)^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2) \right\}^{3/2}} \quad (4)$$

$$\vec{H} = \frac{q \cdot [\vec{v}\vec{r}] \cdot (1-\beta^2)}{4\pi r^3 (1-\beta^2 \sin^2 \theta)^{3/2}} \quad (5)$$

де  $\sin^2 \theta = \frac{\rho^2}{r^2}$ ,  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $\theta$  - кут між  $\vec{r}$  та  $v$ ,

$\rho^2 = y^2 + z^2$ . Що при  $v \ll c$  співпадає з загальновідомим виразом для напруженості магнітного поля, яке зв'язане з рухомою зарядженою частинкою.

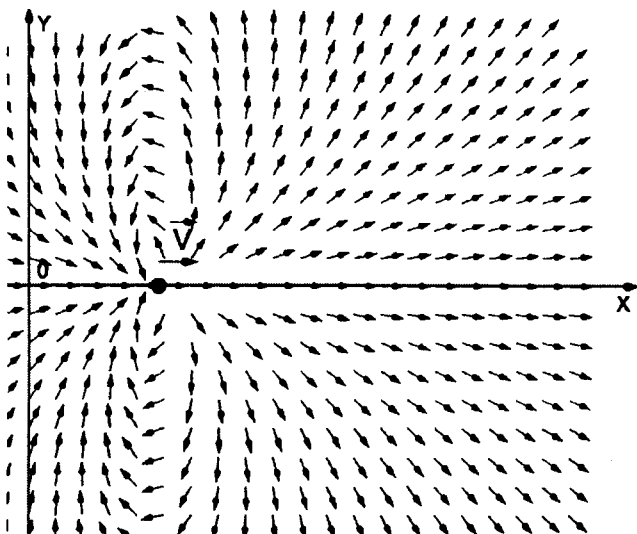


Рис.2. Розподіл поля  $\vec{j}_{zm}$  в площині XOY при швидкості руху зарядженої частинки близької до швидкості світла

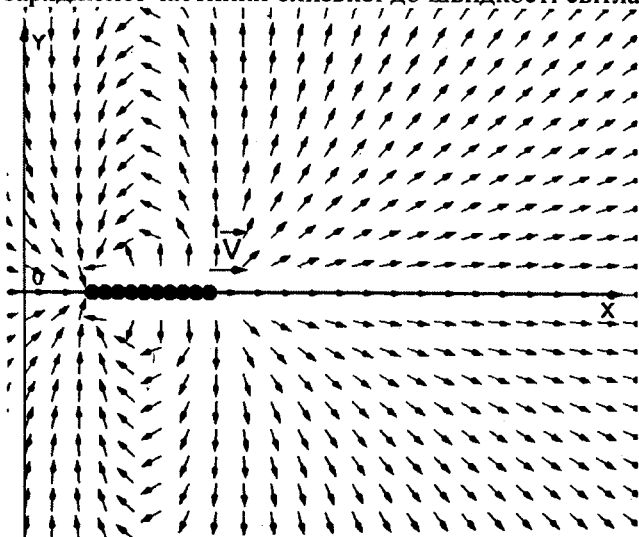


Рис.3. Розподіл поля  $\vec{j}_{zm}$  в площині XOY при русі сукупності заряджених частинок з швидкістю близької до швидкості світла

Рис. 2. та рис.3. показують, що із збільшенням швидкості

руху зарядженої частинки не тільки електромагнітне поле концентрується в площині, що проходить через цю частинку, а і поле струмів зміщення зосереджене в основному в цій площині (поле  $\vec{j}_{zm}$  сплющується в напрямку руху заряджених частинок).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики: В двух томах: Т1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, 1981. – 480с. (374-380 с.)
2. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. -М.: ВШ, 1983.- 463с.
3. Коновал А. А. О методике введения понятия магнитного поля. Стаття деп. в НИИПВШ №170 – 84
4. Коновал А. А. Магнитное поле как релятивистский эффект// Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Збірник наукових праць: В 3-х томах. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2001. – т. 2: Теорія та методика навчання фізики, с 173 – 175
5. Коновал О.А. Особливості методики формування поняття “магнітне поле” // Фізика і астрономія в школі. - 2002. - №3. - С.24-26.
6. Коновал А.А. Вывод уравнения Максвелла для токов смещения. Стаття деп. в УкрНИИНТИ. № 2693 – Ук88. – 9с.
7. Коновал О.А. Механізм виникнення магнітного поля при русі протонів//Збірник науково-методичних праць “Теорія та методика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін”. Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. – Рівне: РДГУ, 2002. – Випуск 4. – С. 123-125.
8. Коновал О.А. Струми зміщення і магнітне поле постійних струмів//Наукові записки: Збірник наукових статей Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова /Укл. П.В. Дмитренко, Л.Л. Макаренко, В.П. Сергієнко. – К.: НПУ, 2002. – Випуск 48. - С. 150-157.
9. Коновал О.А. Дидактичне та евристичне значення деяких моделей при вивченні електродинаміки // Наукові записки. - Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2002. – Вип.46. – С.71-76.