

було отримати, користуючись виключно нескладними фізичними міркуваннями. Таким чином, для тих, хто доволі вільно володіє математичним апаратом та шкільними знаннями з фізики, існувало багато можливостей для отримання відповідей та їх перевірки, тому у них відсоток правильних відповідей є доволі великим (третій та четвертий рівні досягнень).

Загальні висновки

Математичний апарат має стати потужним засобом навчання фізики, зокрема, механіки. На сьогодні у більшості випадків він не виконує такої ролі. Для виправлення цього становища треба принаймні поставити конкретну ціль щодо математичної підготовки учнів у цьому напрямку. Мета такої підготовки повинна матеріалізуватися в системі завдань, виконувати які потрібно навчити учнів середньої школи, особливо тих, хто планує продовжувати свою фізичну освіту. У нашій статті ми розпочали справу створення системи завдань, яка могла б виступити як конкретизація вимог до математичної підготовки учнів для успішного навчання фізики. Запропоновані нами завдання складені на фізичному матеріалі, але для їх виконання формально потрібні тільки математичні знання. Тим учням, які погано справляються з такими завданнями, треба їх давати неодноразово, добираючись вільного володіння відповідним математичним апаратом. Отже, запропоновані завдання можна використовувати не тільки як контролюючий засіб, але і як навчаючий.

Список використаних джерел

1. *Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю.* Драма идей в познании природы (частицы, поля, заряды). — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 240 с.
2. *Талызина Н.Ф.* Педагогическая психология: Учеб. для студ. сред. пед. учеб. заведений. — 3-е изд., стереотип. — М.: Издательский центр "Академия", 2001. — 288 с.
3. *Стрелков П.С.* Механика. — 3-е изд., переработанное. — М.: Издательство "Наука", 1975. — 560 с.
4. *Савельев И.В.* Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. — Т. 1. Механика. Молекулярная физика. — 3-е изд., испр.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 432 с.

УДК 372.853

Коновал О.А.

(Криворізький державний педагогічний університет)

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ ПРОВІДНИКА З СТРУМОМ

Аналізуються фізичні причини виникнення та особливості електричного поля, яке з'являється при проходженні постійного струму по провіднику. Обговорюються методичні і методологічні аспекти цього питання.

Physical reasons of origin and peculiarities of electrical field appearing while passing direct current along conductor are analyzed. The methodical and methodological aspects of the question are considered.

Розділ III

Вивчення, здавалося б достатньо прозорого електромагнітного явища – протікання постійного струму по однорідному металевому провіднику (для простоти і ясності будемо далі розглядати циліндричний і довгий провідник), не приховує в собі якісь несподіванки і проблеми. І все ж існують зв'язані з цим явищем деякі фізичні питання, на які при вивченні електромагнетизму не звертається (або майже не звертається) увага. Мова йде про механізми виникнення електричного поля провідника з постійним струмом (ППС).

У всякому разі слід нагадати три фізичних явища, які можуть привести до виникнення електричного поля як всередині так і зовні ППС.

1. Якщо розглядається тільки стаціонарне електричне поле постійного струму (СЕППС), то воно, як відомо, створюється певним чином розподіленими по поверхні циліндричного провідника з струмом поверхневими зарядами [1, с. 245], [2, с. 113], [3, с. 105-106], [4, с. 37-41], [5, с. 177].

2. ППС характеризується і об'ємною густиною заряду, якщо брати до уваги дію сили Лоренца на електрони провідності з боку власного магнітного поля струму (пінч-ефект) [3, с. 322], [14].

3. Є ще одне фізичне явище, яке, в принципі, в загальноприйнятій моделі ППС може приводити до виникнення додаткового електричного поля. Це додаткове електричне поле зумовлене різницею в величинах густини зарядів сукупності електронів і іонів кристалічної ґратки внаслідок руху їх з різними швидкостями в деякій СВ [12, 19, 20]. Для ясності нашої подальшої аргументації коротко нагадаємо релятивістську інтерпретацію взаємодії рухомої зарядженої частинки і ППС [12, с. 270-273], [19, с. 338], [20].

Нехай у системі відліку (СВ) K знаходиться нерухомий ППС. Вздовж нього з швидкістю v рухається електрон. Знайти силу, що діє на електрон у СВ K та у СВ K' , який рухається вздовж вісі Ox СВ K з швидкістю $V=v$, де V – швидкість руху СВ K' (рис. 1.).

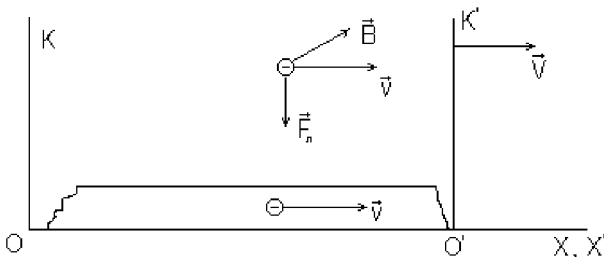


Рис. 1. Взаємодія електрона і ППС в СВ K і СВ K'

На електрон у СВ K , якщо не брати до уваги СЕППС та електричне поле, що створюється об'ємним зарядом при пінч-ефекті, діє тільки сила Лоренца:

$$F_y = qvB_z = \frac{qv\mu_0 \cdot S\rho \cdot v}{2\pi d}, \quad (1)$$

де S – площа поперечного перерізу провідника, ρ – об'ємна густина заряду електронів провідності в СВ K , d – віддаль зовнішнього електрона від провідника.

Електрон в СВ K' нерухомий, тому на нього може діяти сила тільки з боку деякого електричного поля. Якраз це поле в СВ K' створюється нескомпенсованими густинами зарядів іонів та електронів провідності. Оскільки електрони в СВ K' нерухомі, а іони рухаються з швидкістю $V = v = v'$, то густина заряду їх відповідно дорівнює:

$$\rho'_- = \rho_-^0 = \rho_- \sqrt{1 - \beta^2} \quad (2)$$

$$\rho'_+ = \frac{\rho_+^0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (3)$$

де $\beta = \frac{v}{c}$, c – швидкість світла у вакуумі, ρ_-^0 , ρ_+^0 – густини зарядів електронів провідності і позитивних іонів, відповідно, в власних системах відліку.

А тому об'ємна густина заряду у СВ K' буде така:

$$\rho' = \rho'_+ + \rho'_- = \frac{\rho_+^0}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \rho_- \sqrt{1 - \beta^2} = \frac{\rho_- \beta^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (4)$$

тут використано умову нейтральності нерухомого ППС [6, 12, 19, 20,]

$$\rho_+^0 = - \frac{\rho_-^0}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (5)$$

Після того як знайдемо напруженість електричного поля, що створюється об'ємним зарядом (4), для сили, що діє на нерухомий електрон в СВ K'

одержимо $F'_y = \frac{F_y}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, що і вимагає принцип відносності (ПВ). Звичайно, швидкість дрейфу електронів провідності надзвичайно мала в порівнянні з швидкістю світла. Але, як ми впевнилися, нехтування навіть мізерними релятивістськими ефектами при аналізі електромагнітних явищ приводить до “втрати” фізичного явища в теоретичному пізнанні [8, 9, 10].

Мабуть вперше на суперечливість умови нейтральності (5) звернуто увагу в роботі [13]: оскільки СВ K і СВ K' рівноправні, то при $V=v$ завдяки симетричним умовам, якими визначається рух електронів і протонів відповідно у СВ K і у СВ K' , фізичні ситуації у цих СВ повинні бути однаковими.

У науково-методичній літературі запропоновано декілька варіантів розв'язування указаної суперечності:

1. “... фізичні властивості від'ємного і позитивного зарядів виявляються різними” [13]. Якщо електрон і протон в електромагнітних взаємодіях проявляють себе симетрично, то “ми вимушені визнати існування фізичної нееквівалентності нерухомої на поверхні масивного, що створює гравітаційне поле, тіла Землі лабораторної СВ по відношенню до будь-якої іншої СВ, яка рухається відносно неї” [13, с. 6].

Розділ III

2. Провідник з струмом нейтральний в тій СВ K' , яка рухається з швидкістю дрейфа електронів провідності [14, с. 92], тобто в СВ K' :

$$\rho' = \rho'_+ + \rho'_- = 0. \quad (6)$$

Аргументація авторів статті [14] така. Припуститимо появу об'ємного заряду провідника з струмом в СВ K' (4), і розглянемо взаємодію електронів провідності з полем цього об'ємного заряду. Через те, що у СВ K' на електрони провідності “магнітне поле ... не діє і не існує іншої сили, яка змогла б зрівноважити дію електричного поля об'ємного заряду” [14, с. 91] необхідно вимагати виконання (6).

Зауваження щодо останньої тези:

а) насправді, з точки зору СВ K' і немає чого зрівноважувати, бо, згідно, наприклад, такої формули перетворення проекції напруженості \mathbf{E} електро-

магнітного поля
$$E'_y = \frac{E_y - VB_z}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad [6, 7] \text{ при переході від СВ } K \text{ до СВ } K',$$

$E'_y = 0$ при $V=v$. У системі відліку K напруженість поля об'ємного заряду

$E_y = E_r$ компенсується полем сили Лоренца $E_r^L = v \cdot B_z$. У СВ K' чисто

електричне поле збільшується і стає рівним $\frac{E_y}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$, а “рухоме” магнітне поле B_z створює в СВ K' електричне поле такої самої величини, але проти-

лежного напрямку $-\frac{v \cdot B_z}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$. Таким чином, і у СВ K' знову все в рівновазі (як того і вимагає принцип відносності), і не має потреби “зрівноважувати дію електричного поля об'ємного заряду”. А значить умова (6) некоректна.

б) із умови нейтральності (6) випливає, що у СВ K об'єм нерухомого ППС заряджений. Тоді густина цього заряду з урахуванням (2), (3) та (6) дорівнює:

$$\rho = \rho_+ + \rho_- = \rho_- \cdot \frac{v^2}{c^2}. \quad (7)$$

Густина заряду (7) в точності дорівнює густині заряду, що з'являється при пінч-ефекті в нерухомому ППС [3], [14]. Але пінч-ефект і збільшення об'ємної густини заряду при русі будь-якої сукупності заряджених частинок – це різні фізичні явища. А автори [14] хотіли, мабуть, пояснити пінч-ефект релятивістськими ефектами.

в) в СВ K на зовнішній електрон, який рухається з швидкістю дрейфа вздовж провідника, крім сили Лоренца буде діяти і електрична сила з

боку поверхневого заряду. Цей позитивний поверхневий заряд утворюється за рахунок переміщення частини електронів всередину провідника. “Якраз цей поверхневий заряд у СВ K' буде притягувати зовнішній нерухомий електрон” [14, с. 92]. Але у СВ K' і $F_L^0 = 0$ (бо зовнішній електрон нерухомий в СВ K'), і $\rho^0 = 0$, а значить і поверхневий заряд рівний нулю. Очевидне порушення принципу відносності.

г) спостерігається явне порушення фізичної відносності в розв'язку, що пропонується в [14]. Нагадаємо, що слід розрізняти фізичну відносність, як принцип “що стверджує існування відповідних явищ, і просте виконання вимоги коваріантності рівнянь при переході від однієї системи відліку до іншої” [15, с. 245]. Дійсно, уявимо собі у СВ K електрон, який рухається вздовж ППС з швидкістю дрейфа і нерухомий протон. Тоді в СВ K' маємо симетричну в кінематичному відношенні картину. Але аналіз сил, що діють на електрон і протон в обох СВ показує фізичну нееквівалентність ситуацій в СВ K і в СВ K' .

3. Умова нейтральності провідника [16]:

$$\rho_+^0 = -\rho_-^0. \quad (8)$$

Тоді нерухомий провідник з струмом характеризується об'ємною густиною заряду [16, 17, 18]:

$$\rho = \rho_+^0 + \frac{\rho_-^0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\rho_-^0}{\sqrt{1-\beta^2}} \left(\sqrt{1-\beta^2} - 1 \right). \quad (9)$$

Приведемо міркування на користь умов (8), (9):

а) дійсно, якщо справедлива умова (5) $\rho_+^0 = -\rho_-^0$ при протіканні струму,

то це означає, що $\rho_-^0 < \frac{\rho_-^0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \rho_-$: нерухома, як ціле, сукупність електронів провідності має меншу густину заряду, ніж густина заряду цієї ж сукупності електронів, але рухомаї. Тоді при $\beta=0$ (струм у провіднику відсутній) $\rho_-^0 = \rho_- < \rho_+^0$, тобто провідник без струму (після того, як виключили

струм) буде заряджений позитивно: $\rho_+^0 - \rho_-^0 = \rho_+^0 \left(1 - \sqrt{1-\beta^2} \right)$, причому величина цього заряду залежить від сили струму, що протікав раніше [16] ?!

б) густина будь-якого розподілу заряду при переході від однієї СВ до

іншої перетворюється по формулі $\rho = \frac{\rho^0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$, де V – швидкість руху

деякого розподілу зарядів з густиною ρ^0 , ρ – густина заряду у СВ відносно якої рухається цей розподіл зарядів, тому і густини зарядів сукупності електронів і іонів при русі їх з довільною, але однаковою за величиною, швидкістю повинні збільшити в одне і те саме число разів. Якщо провідник

Розділ III

без струму нейтральний $\rho_+^0 = -\rho_-^0$ (що природно), то чому після того, як з'явиться струм і сукупність електронів, що рухаються при цьому з швидкістю v , описується, як відомо, густиною заряду

$$\rho_- = \frac{\rho_-^0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

не стає більшою чисельно за ρ_+^0 ?

в) якщо ж густини сукупності електронів і іонів при русі з однаковою швидкістю змінюються по різному, то провід без струму, який рухається

$$\text{буде зарядженим з об'ємною густиною } \rho = \rho_+ - \rho_- = \frac{\rho_+^0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(1 - \sqrt{1 - \beta^2} \right)$$

[16, 18]. Але немає ніяких фізичних підстав вважати нерухомий (як і той, що рухається з постійною швидкістю) провідник зарядженим. Явище термоелектронної емісії?

г) густина струму в СВ К $j_x = \rho_- \cdot v$, а у СВ К' струм зумовлений рухом тільки іонів з такою ж самою за величиною швидкістю, що й рух електронів провідності в СВ К. Але густина струму в СВ К' є більшою

$$j'_x = \frac{\rho_+^0}{\sqrt{1 - \beta^2}} > j_x$$

і іонів зростають однаково у СВ, відносно якої вони рухаються з рівними швидкостями. Аналогічно ми знайдемо, що у СВ К' магнітне поле більше

ніж у СВ К: $B'_z = \frac{B_z}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, але ж фізичні ситуації ідентичні (з точністю до знаку рухомих і нерухомих заряджених частинок).

д) одержуємо на основі умови нейтральності провідника з струмом (5): у СВ К електричне поле відсутнє, а у СВ К' напруженість електричного

$$\text{поля дорівнює } E'_y = \frac{\rho_- S \beta^2}{2\pi\epsilon_0 d \sqrt{1 - \beta^2}}; \text{ індукція магнітного поля у СВ К}$$

$$B_z = \frac{\mu_0 \rho_- v \cdot S}{2\pi d}, \text{ а у СВ К' індукція магнітного полі в } \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \text{ раз більша, бо}$$

$$I' = \frac{I}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

незважаючи на те, що іони в К'-системі рухаються з такою самою швидкістю (за величиною), як і електрони провідності в К-системі. Порушення фізичної відносності при переході від СВ К до СВ К' особливо чітко видно, якщо порівняти сили, що діють на електрон у СВ К (швидкість його v) і на позитрон, який рухається у СВ К' з швидкістю $v' = v$ вздовж струму. Традиційна точка зору для сили, що діє на електрон дорів-

ное виразу (1), а сила, що діє на позитрон у СВ K' дорівнює $qv \cdot B'_z - qE'_y = 0$ хоч фізичні умови в системах K і K' однакові [22]. У цьому прикладі, здається, порушується можливість фізичної адаптації, яка "являється вирішальною умовою реалізації фізичної відносності" [21, с. 8-9].

Зауважимо, що в статті [23] зроблена спроба проаналізувати подібну задачу, але оскільки, на наш погляд, вона містить деякий некоректний висновок, слід нагадати взаємоузгоджене обґрунтування формул перетворення об'ємних густин заряду і струму при переході від СВ K до СВ K' з допомогою формул перетворення компонент 4-струму, та виходячи із фізичного змісту цих величин, у загальному випадку, коли $V \neq v$ і в рамках кожної із умов нейтральності (5) та (8) [16].

Отже, нехай у СВ K маємо компоненти 4-струму:

$$s_1 = \rho_- v = j_x, \quad s_2 = s_3 = 0, \quad s_4 = ic\rho = 0, \quad (10)$$

де $i = \sqrt{-1}$, c – швидкість світла у вакуумі, $\rho_- = \frac{\rho_-^0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, $\beta = \frac{v}{c}$. Тоді, згідно формул перетворення компонент 4 – векторів [6], компоненти 4-струму у СВ K' дорівнюють:

$$s'_1 = \frac{j_x}{\sqrt{1 - B^2}}, \quad s'_2 = s'_3 = 0, \quad s'_4 = ic\rho' = \frac{iBj_x}{\sqrt{1 - B^2}}, \quad \text{де } B = \frac{V}{c} \quad (11)$$

із (11) одержуємо:

$$j'_x = \Gamma j_x, \quad (12)$$

$$\rho' = \frac{Vj_x}{c^2} \Gamma, \quad \text{де } \Gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - B^2}}. \quad (13)$$

Струм з точки зору СВ K' зумовлений рухом іонів та електронів з швидкостями V і $v' = \frac{V - v}{1 - B\beta}$ відповідно. Тоді, густина струму та густина заряду в ППС у СВ K' дорівнюють:

$$j'_x = \frac{\rho_+^0 V}{\sqrt{1 - B^2}} - \rho'_- v' = \Gamma j_x, \quad (14)$$

$$\rho' = \Gamma \rho_+^0 - \rho'_- = \frac{\rho_+^0 V v}{c^2} \Gamma = \Gamma \frac{Vj_x}{c^2}, \quad (15)$$

де $\rho'_- = \gamma' \cdot \rho_-^0 = \Gamma \rho_- (1 - B\beta)$, $\gamma' = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta'^2}}$.

Розділ III

Тепер, якщо припустити, що ППС у власній СВ характеризується об'ємною густиною заряду (9) і $\rho_+^0 = |\rho_-^0| = \rho^0$, то у СВ К компоненти 4-струму такі:

$$s_1 = \rho \cdot v = j_x, \quad s_2 = s_3 = 0, \quad s_4 = ic\gamma\rho^0\left(\sqrt{1-\beta^2} - 1\right), \quad \text{де } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (16)$$

а густина струму і густина заряду у СВ К' згідно формул перетворення компонент 4-струму:

$$j_x' = \rho^0\gamma \cdot \Gamma\left(v + V - V\sqrt{1-\beta^2}\right), \quad (17)$$

$$\rho' = \rho^0\gamma \cdot \Gamma\left(\sqrt{1-\beta^2} - B\beta - 1\right). \quad (18)$$

Такий самий вираз для j_x' , та ρ' ми одержимо виходячи із фізичного змісту цих величин, при умові, що провідник з струмом у власній СВ “заряджений” з об'ємною густиною заряду (9).

Повертаємося до обговорення [23], де стверджується, що при наявності компенсації електричного поля рухомих електронів провідності електричним полем нерухомих іонів, аналіз взаємодії нерухомого в СВ К протона і ППС приводить до протиріччя з ПВ, бо при вказаній компенсації сила взаємодії цього протона і ППС дорівнює нулю, але, якщо перейти до іншої інерціальної СВ, то навіть при наявності вказаної компенсації рівнодійна сила, що діє на зовнішній протон уже не дорівнює нулю. Якраз останнє не вірно. Якщо в СВ К $F=0$, то і будь-якій іншій СВ результуюча сила теж дорівнює нулю. Дійсно, в СВ К' на цей протон буде діяти і сила Лоренца, і сила з боку електричного поля, зумовленого об'ємним зарядом (4) (в СВ К має місце повна компенсація полів, $\rho = 0$). Тоді, з урахуванням (14) та (15), результуюча сила, що діє на протон в довільній інерціальній СВ К' дорівнює (рис. 2.):

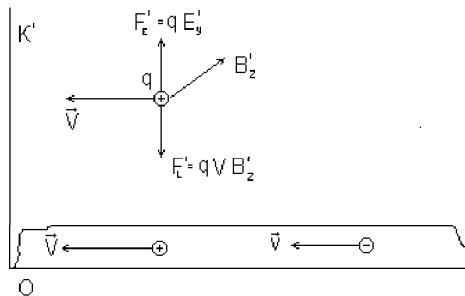


Рис. 2. Сили, які діють на протон в СВ К'

$$F'_p = F'_L - F'_E = qVB'_z - qE'_y = 0. \quad (19)$$

Якщо ж припустити, що компенсація відсутня (як це зроблено нами раніше [16, 17, 18]) і на протон у СВ К діє сила з боку рівномірно зарядженого, об'ємною густиною заряду (9), провідника зі струмом:

$$F = qE_y = \frac{qSp^0\gamma \cdot (\sqrt{1-\beta^2} - 1)}{2\pi\epsilon_0 d}, \quad (20)$$

то в будь-якій іншій СВ, як можна впевнитися використовуючи (17) та

(18), $F'_p = \frac{F}{\Gamma}$. До того ж навчальна задача, що аналізується в [23], розв'язана в [16, 18]. Якщо прийняти умови (8), (9) то всі протиріччя, викладені в пунктах 3а)-3д) розв'язуються.

Якщо умова (9) відповідає фізичній реальності, то не слід буквально розуміти слова “заряд провідника з струмом”. Додаткове електричне поле ППС є результатом збільшення поперечної складової напруженості електричного поля рухомих заряджених частинок. Тоді поле зумовлене (9) – це суперпозиція поля лінійної сукупності нерухомих іонів і поля лінійної сукупності рухомих електронів провідності [24].

Можливо умова (9) не має відношення до реальності через недосконалість моделі ППС. Вважаємо, що електронна і іонна підсистеми, в електромагнітних явищах зв'язаних з протіканням струму, ніяк не взаємодіють між собою, і існують як два незалежних лінійних ланцюжка зарядів. Але тоді треба пояснити: чому при будь-яких значеннях сили струму (при довільних значеннях β), що протікає по провіднику, реалізується дивна

умова нейтральності $\rho_+^0 = -\frac{\rho_-^0}{\sqrt{1-\beta^2}}$, якщо у відсутності струму $\rho_+^0 = -\rho_-^0$?

Без уявлень електронної теорії важко пояснити, чи навіть уявити, механізм виникнення багатьох електродинамічних явищ, тому використання моделей необхідно. Але тоді слід враховувати і всі ефекти, пов'язані з рухом електронів. Зокрема, при введенні поняття “магнітне поле” на основі аналізу взаємодії 2-х струмів, нехтування електричною взаємодією струмів, точно кажучи, є некоректним. З іншого боку, якщо така модель ППС далека

від реальності (насправді і $\oint \vec{E}d\vec{l} = 0$ по контуру, що лежить в площині провідника, і умова (9) некоректна), то як на основі такої моделі успішно пояснюється і релятивістська природа магнітного поля і безліч інших фізичних явищ. А в методиці навчання фізики ця модель активно експлуатується. Можливо ці апорії породжені не тільки недосконалістю моделі, а в першу чергу діалектикою самого процесу пізнання. Але і вивчення фізики повинно бути таким, щоб студент бачив ці суперечності, розумів необхідність появи їх і шукав шляхи подолання їх.

Тому при вивченні даного питання слід чітко формулювати задачу (яке явище аналізується, яка модель провідника з струмом розглядається).

Розділ III

Слід показати суперечності, що виникають при аналізі і поля провідника з струмом і взаємодії рухомого, відносно провідника, протона і провідника з струмом.

Список використаних джерел

1. *Гончаренко С.У.* Фізика 10 кл. Пробн. навч. посібн. для ліцеїв та класів природничо-наук. профілю. – К.: Освіта, 1998. – 445 с.
2. *Иродов И. Е.* Основные законы электромагнетизма. – М.: ВШ, 1991. – 288 с.
3. *Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П.* Электродинамика: Учеб. пособие для студ. физ. спец. университетов. – М.: Высшая шк., 1990. – 352 с.
4. *Рязанов Г.А.* Опыты и моделирование при изучении электромагнитного поля. – М.: Наука, 1966. – 208 с.
5. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Том III: Электричество. – М.: Наука, 1977. – 688 с.
6. *Угаров В.А.* Специальная теория относительности. – М.: Наука, 1977. – 384 с.
7. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм: Учебное руководство: Пер. с англ. /Под ред. А.И.Шальникова и А.О.Вайсенберга. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1983. – (Берклиевский курс физики). – 416 с.
8. *Коновал О.А.* Особливості методики формування поняття “магнітне поле” //Фізика і астрономія в школі. – 2002. – №3. – С. 24-26.
9. *Коновал О.А.* Непотенціальність електричного поля рухомої зарядженої частинки і закон електромагнітної індукції //Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г.Шевченка. Вип. 13. Серія: педагогічні науки: Збірник. У 2-х т. – Чернігів: ЧДПУ, 2002. – №13. – Т. 2. – С. 192-195.
10. *Коновал О.А.* Закон Біо-Савара в релятивістській формі //Наукові записки. – Серія: Педагогічні науки. – Вип. 42. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка. – 2002. – С. 159-165.
11. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. – М.: Наука, 1966. – 624 с.
12. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. – Т. 5. – М.: Мир, 1966. – 295 с.
13. *Николаев Г.В.* Парадокс Фейнмана и асимметрия лабораторной и движущейся систем отсчета. Статья деп. в ВИНТИ, рег. №1937-75.
14. *Мартинсон М.Л., Недоспасов А.В.* О плотности заряда внутри проводника с током //Успехи физических наук. – 1993. – Т. 163. – №1. – С. 91-92.
15. *Фок В.А.* Теория пространства, времени и тяготения. – М.: ФМЛ, 1963.
16. *Коновал А.А., Панов В.П.* Заряжен ли проводник, по которому протекает ток? Статья депонирована в ВИНТИ, рег. 4318-80.
17. *Коновал А.А.* Об объеме заряде проводника с током //Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 1999. – С. 143-146.

18. Коновал О.А. Про заряд провідника з струмом //Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції “Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих навчальних закладах”. — Львів: Львівський національний університет ім. Івана Франка, 5-6 жовтня 1999 р.
19. Коновал А.А., Панов В.П. О так называемом парадоксе Фейнмана. Стаття деп. в ВИНТИ рег. № 4317-80.
20. Бекер Р. Электронная теория. — М.: ОНТИ, 1936. — 416 с.
21. Магвеев А.Н. Электродинамика и теория относительности. — М.: ВШ, 1964.
22. Фок В.А. Теория Эйнштейна и физическая относительность. — М.: Знание, 1967. — 46 с.
23. Коновал А.А. Релятивистски инвариантное описание взаимодействия 2-х токов. Стаття деп. в УкрНИИНТИ, рег. № 1260 Ук-84.
24. Грищук В.В., Мордовець М.Т. Релятивістські ефекти при взаємодії електричних зарядів та струмів //Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г.Шевченка. Вип. 13. Серія: педагогічні науки: Збірник. У 2-х т. — Чернігів: ЧДПУ, 2002. — № 13. — Т. 2. — С. 180-181.
25. Коновал А.А., Сергеев А.В. Дидактическое значение адекватных электродинамических моделей //Специалист. — 2002.

УДК 372.833:37.035.3

Корець М.С.

(Національний педагогічний університет імені М.П.Драгоманова)

**ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ НАВЧАЛЬНИХ
ДИСЦИПЛІН НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ
ВЧИТЕЛІВ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА**

В роботі розглянуті особливості використання нових інформаційних технологій при вивченні дисциплін науково-технічної підготовки вчителів технологій виробництва. Продемонстровано оптимальний варіант використання комп'ютерної техніки при виконанні лабораторних робіт з машинознавства в системі професійної підготовки вчителів цього фаху.

In operation the features of usage of new information technologies surveyed at studing disciplines of scientific and technical preparation of the teachers of the «know-how». The optimum variant of usage of computer equipment is demonstrated at fulfilment of laboratory operations on mechanical conducting in the system of vocational training of the teachers of this speciality.

Для вчителів технологій виробництва дуже важливо мати належну науково-технічну підготовку, що слугить теоретичною базою для їх практичної роботи та вдосконалення свого фахового рівня. Це успішно можна