

УДК 538.3(07)+372.853

О.А. Коновал

Криворізький державний педагогічний університет

## РЕАЛЬНОСТІ, ІСТИНА ТА ЕКВІВАЛЕНТНІ ОПИСИ ЯВИЩ В ЕЛЕКТРОДИНАМІЦІ

Обговорюються еквівалентні описи ряду електродинамічних задач в контексті відповідності їх реальності. Пропонується методична система вивчення електродинаміки, що спирається на фундаментальний закон Кулона, закон збереження заряду та ПВ.

**Ключові слова:** істина, еквівалентні описи, густина струму зміщення, близькодія, механізм породження електричного та магнітного полів, дидактика фізики.

Одна із цілей вивчення фізики в ВНЗ полягає в опануванні студентами основних положень фундаментальних фізичних теорій та формування на основі цих теорій адекватного об'єктивної реальності світобачення.

Метою фізики, як наукової галузі, є пошук істини, тобто, знань які адекватно відображають об'єктивний світ. В той же час виявити, пізнати фундаментальні причини, які лежать в основі фізичних явищ, побудувати об'єктивну картину світу – один із основних мотивів діяльності фізиків.

*«Звідси витікає, що вищим обов'язком фізиків є пошук тих загальних елементарних законів, з яких шляхом чистої дедукції можна одержати картину світу. До цих законів веде нелогічний шлях, а тільки заснована на проникненні в суть досліду інтуїція. При такій невизначеності методики можна думати, що існує довільне число рівноцінних систем теоретичної фізики; в принципі ця думка безумовно вірна. Але історія показала, що зі всіх мислимих побудов в даний момент тільки одна виявляється переважаною. Ніхто з тих, хто дійсно заглиблювався в предмет, не стане заперечувати, що теоретична система практично однозначно визначається світом спостережень, хоча ніякий логічний шлях не веде від спостережень до основних принципів теорій»* [2, с.40].

Тобто, ще А.Ейнштейн наголошував, що один і той же аспект фізичної реальності може бути описаний різними теоретичними конструкціями.

*«Для одного і того ж самого комплексу дослідних фактів може існувати кілька теорій, що значно розрізняються одна від одної. Але відносно висновків з теорій, які доступні для дослідної перевірки, згода між теоріями може бути настільки повною, що важко знайти такі наслідки, які дозволили б відрізнити ці теорії одна від одної»* [1, с.593].

Ситуацію, коли одну і ту ж предметну область фізики, або деякі частини її, описують дві і більше теорій, або фрагменти теорій, які приводять до однакових емпіричних наслідків називають «еквівалентними описами» [3, с.42].

В принципі, висновок про існування еквівалентних описів випливає, взагалі кажучи, із гносеологічних позицій А.Ейнштейна. При цьому він часто наголошував, що фундаментальні поняття і закони фізичної теорії – це «вільні творіння людського розуму» [2, с.183]. *«Не існує ніякого індуктивного методу, який міг би вести до фундаментальних понять фізики»* [2, с.213]. *«...пізнання не може розв'язати з голої емпірії. Такий розквіт можливий тільки з порівняння того, що придумане, з тим, що спостерігається»* [2, с.124]. *«...тільки теорія може сказати, що ж вимірюється в експерименті»*. *«Фізика є логічною системою мислення, що розвивається, основи якої можна одержати не виділенням їх якими-небудь індуктивними методами з досліду, а лише вільною вигадкою»* [2, с.226].

Тобто, принципова незвідність теорії до фізичних дослідів означає, що одну і ту ж область фактів можна описати декількома теоретичними моделями.

Прикладом такого еквівалентного опису являються три формулювання нерелятивістської квантової механіки – подання Шредингера, подання Гайзенберга та формулювання квантової механіки на мові інтегралів по траєкторіям (Р.Фейнман) [3, 4]. Другим прикладом еквівалентного опи-

су являються два формулювання спеціальної теорії відносності – в лоренцевих та галілеєвих координатах [3, 5].

Як правило, хоч еквівалентні описи і приводять до однакових емпіричних наслідків, вони інколи дають різні, і навіть несумісні між собою, уявлення про фізику явищ та об'єктивну картину світу.

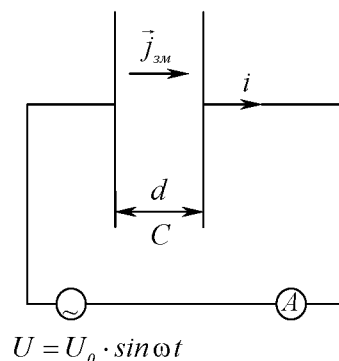
Але, якщо певний комплекс дослідних фактів може бути описаним різними, але еквівалентними теоріями, то яка із них відповідає реальності, що є істина?

*«Це приводить до нетривіальної проблеми істини: яким чином відмінність описів об'єктивного світу узгоджується з тим, що кожне з них є істинним?»* [3, с.42].

Цю проблему ми можемо сформулювати більш вузько, говорячи тільки про різні описи ряду електродинамічних задач. Тому із більш простих прикладів еквівалентних описів електродинамічних процесів наведемо наступні:

А) задача про розрядку конденсатора в традиційній методиці описується II-м законом Кірхгофа, але без особливих фізичних пояснень. Але, з точки зору польових уявлень цей процес розрядки зумовлений міграцією енергії поля із об'єму конденсатора в зовнішній простір а потім втіканням її в провідник, яким закорочено пластини конденсатора. При цьому не обійтися без рівняння Максвелла, уявлень про струми зміщення, вектор Пойнтинга. Хоч кінцевий результат одержується однаковим, очевидно, що фізична інтерпретація зовсім різна.

Б) протікання змінного струму через конденсатор, рис. 1.



**Рис. 1.** Явище протікання змінного струму через конденсатор зумовлене повністю струмами зміщення. Амперметр вимірює силу струму зміщення

Можна вказати на два еквівалентні описи цього процесу. Перший – базується на розв'язку II-го закону Кірхгофа, другий – ґрунтується на уявленні, що струм, який протікає через конденсатор, повністю зумовлений струмами зміщення. На відміну від першого, другий спосіб дає адекватне фізичне пояснення механізму цього процесу.

В) кількість теплоти, що виділяється в провіднику з активним опором  $R, i^2R$ , на електротехнічному рівні викладання та пояснення цього явища, зумовлена зіткнення електронів провідності з іонами кристалічної ґратки і передачею цим іонам своєї кінетичної енергії. З точки зору адекватних фізичних уявлень, ця кількість теплоти дорівнює

енергії електромагнітного поля, що втікає в провідник із зовнішнього простору. Знову ж таки, незважаючи на однаковий кінцевий результат фізичні пояснення принципово різні. Причому, як свідчить досвід викладання, електротехнічний рівень пояснення цих явищ суттєво спотворює розуміння студентами цих (та і інших) електродинамічних процесів. Уявлення, що носієм енергії струму являється електромагнітне поле, яке локалізоване як в провіднику так і в оточуючому його просторі, а не в носії струму (заряджені частинки) не просто сприймається ними.

Г) магнітне поле рівномірно рухомої зарядженої частинки може бути знайдене такими способами:

1) використовуючи дальнюдіючий закон Біо-Савара,

$$d\vec{B}(x, y, z) = \frac{\mu_0 \cdot i \left[ d\vec{l} \cdot \vec{r} \right]}{4\pi r^3}, \text{ який справедливий при}$$

швидкості руху носіїв струму  $v \ll c$  [6];

2) на основі рівняння Максвелла

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + q\vec{v} \cdot \delta(\vec{r} - \vec{r}'(t)), \text{ де } \vec{v} - \text{швидкість руху}$$

ЗЧ,  $q$  – величина заряду,  $\delta(\vec{r} - \vec{r}'(t))$  – дельта-функція Дірака,  $\vec{r}$  – радіус-вектор, проведений від миттєвого положення ЗЧ в дану точку поля [7].

3) з допомогою потенціалів Лієнара-Віхерта;

4) спираючись тільки на концепцію струмів зміщення та рівняння (4) [8, 9];

5) на основі закону Кулона та принципу відносності [10].

Зупинимось більш детально на способі Г4) з тим, щоб порівняти його потім з описом цієї задачі на основі способу Г1).

Як відомо, вирази для вектора  $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$  та індукції магнітного поля  $\vec{B}$  електромагнітного поля рівномірно рухомої зарядженої частинки (РЗЧ) найбільш просто можна одержати із принципу відносності (ПВ) та закону Кулона на [10, 11]:

$$\vec{D}(x, y, z, t) = \frac{q(1-\beta^2)\vec{r}}{4\pi r^3(1-\beta^2 \sin^2 \theta)^{3/2}} = \frac{q(1-\beta^2)\vec{r}}{4\pi \left\{ (x-vt)^2 + (y^2+z^2)(1-\beta^2) \right\}^{3/2}} \quad (1)$$

$$\vec{B}(x, y, z, t) = \frac{\mu_0 q [\vec{v} \cdot \vec{r}] \cdot (1-\beta^2)}{4\pi r^3 (1-\beta^2 \sin^2 \theta)^{3/2}}, \quad (2)$$

де  $q$  – величина заряду РЗЧ,  $\vec{r} = (x-vt)\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$  – радіус-вектор, проведений від миттєвого положення ЗЧ в дану точку поля  $P(x, y, z)$ ,  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $\theta$  – кут між вектором  $\vec{r}$  та

напрямом руху ЗЧ,  $\sin^2 \theta = \frac{\rho^2}{r^2}$ , див. рис.2.

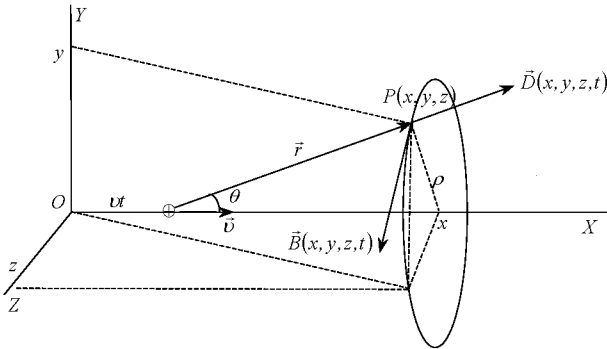


Рис. 2. Електромагнітне поле рівномірно рухомої ЗЧ

Слід наголосити ще раз, що вирази (1) та (2) являються наслідком ПВ. Іншими словами, ПВ вимагає, щоб вирази для векторів  $\vec{D}$  та  $\vec{B}$  електромагнітного поля (ЕМП) РЗЧ

мали саме такий вигляд. Але щодо механізму породження полів ПВ нічого сказати не може. А от із аналізу властивостей ЕМП РЗЧ, [12, 13, 14], випливають фундаментальні рівняння

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j}_{zm}, \quad (4)$$

де  $\vec{j}_{zm} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  – густина струму зміщення в довільній точці простору в околі РЗЧ

В роботах [9, 17] на основі концепції струмів зміщення, (4), знайдено, що напруженість МП рівномірно рухомою ЗЧ (при довільній величині швидкості руху її) дорівнює:

$$\vec{H}(x, y, z, t) = \frac{q[\vec{v} \cdot \vec{r}] \cdot (1-\beta^2)}{4\pi \left\{ (x-vt)^2 + (y^2+z^2)(1-\beta^2) \right\}^{3/2}}$$

Природно, якщо ми хочемо знайти індукцію МП в довільній точці простору, яке створюється «елементом струму», то, очевидно, можемо записати

$$d\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \cdot N = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot [d\vec{l} \cdot \vec{r}] \cdot (1-\beta^2)}{4\pi r^3 (1-\beta^2 \sin^2 \theta)^{3/2}}, \quad (5)$$

де  $N$  – число ЗЧ, що реалізують «елемент струму», рис. 3.

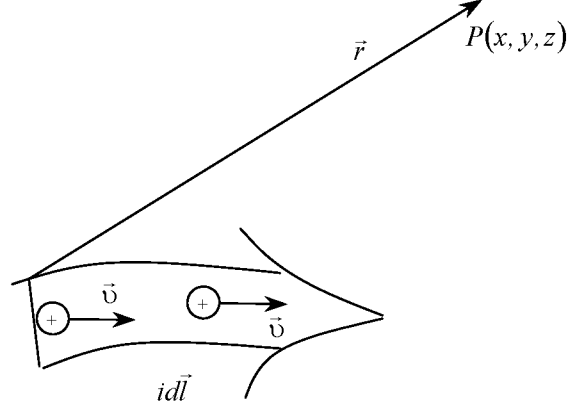


Рис. 3. Елемент струму  $idl$  реалізують рухомі ЗЧ в межах провідника довжиною  $dl$ ,  $i \cdot d\vec{l} = q\vec{v}N = \vec{j}dV$

Таким чином, з допомогою очевидних алгебраїчних перетворень нам вдалося один опис трансформувати в інший опис.

Тобто, в кожній точці простору в деякий момент часу вихор вектора  $\vec{H}$  зумовлений (породжується) густиною струму зміщення в цій же точці і в цей же момент часу.

Узагальнюючи рівняння (3) та (4) на ЕМП, що створюються довільно упорядкованими рухами заряджених частинок, приходимо до такого висновку.

Рівняння (3) та (4) не тільки пояснюють фізичний механізм породження векторів поля  $\vec{D}$  та  $\vec{B}$  ЕМП, яке пов'язано з довільними переміщеннями в просторі ЗЧ, але дозволяють знайти і самі вектори  $\vec{D}$  та  $\vec{B}$  по відомим похідним  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  і  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ .

Д) індукція МП, що створюється лінійним провідником з постійним струмом (ППС) (кінцевої, або нескінченної довжини) в довільній точці простору поза межами ППС знаходиться, як відомо:

1) з допомогою закону Біо-Савара та принципу суперпозиції;

2) шляхом розв'язання рівняння Лапласа  $\nabla^2 \vec{A} = 0$ , де  $\vec{B} = \text{rot} \vec{A}$ ,  $\vec{A}(x, y, z)$  – векторний потенціал;

3) або використовуючи рівняння (4) [15, 16].

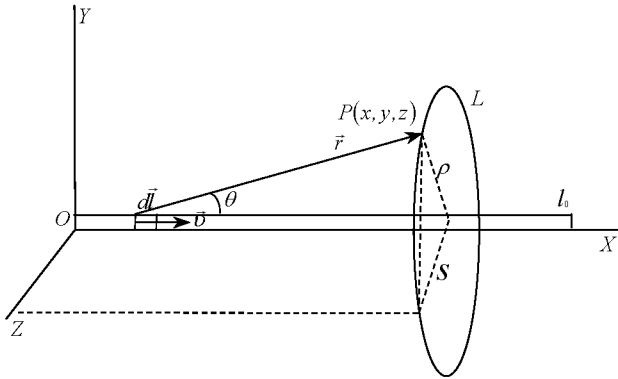
Порівняємо спосіб розв'язання цієї задачі Д3 з способами Д1 і Д2. Оскільки розв'язання способами Д1 і Д2 опи-

сано в стандартних посібниках з електродинаміки на ньому зупиняться не будемо.

Опис поперечної задачі показав, що при русі ЗЧ в кожній точці простору створюється МП, яке (згідно принципу близькодії) породжується змінним в часі електричним полем (тобто, струмами зміщення,  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ ) в цій самій

точці простору. Тому і магнітне поле ППС повинно породжуватися тільки струмами зміщення. Тобто, кожен елементарний відрізок лінійного ППС можна розглядати як заряд величиною  $dq = \tau \cdot dl$ , що рухається з дрейфовою швидкістю  $\vec{v} = \text{const}$  (де  $\tau = \frac{q \cdot n \cdot S}{\sqrt{1-\beta^2}}$  – лінійна густина заряду,  $q$  –

величина заряду кожної із частинок, які внаслідок руху утворюють струм,  $n$  – концентрація їх,  $S$  – площа поперечного перерізу провідника), *рис. 4.*



**Рис. 4.** Пояснення щодо знаходження густини струм зміщення в т.  $P(x, y, z)$  відрізка постійного струму

Використовуючи принцип суперпозиції для сумарної густини струму зміщення в довільній т.  $P(x, y, z)$ , одержуємо [15, 16]:

$$\vec{J}_{\text{зм}} = \int_0^{l_0} \vec{j}_{\text{зм}} \cdot dl = \left[ -\frac{v\tau \cdot u^3}{4\pi \cdot \rho^2 \cdot \left\{u^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2)\right\}^{3/2}} + \frac{v\tau \cdot u}{4\pi \cdot \rho^2 \cdot \left\{u^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2)\right\}^{1/2}} \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{v\tau \cdot (1-\beta^2)}{4\pi \cdot \left\{u^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2)\right\}^{3/2}} \cdot (y\vec{j} + z\vec{k}) \right]_0^{l_0}, \quad (6)$$

де  $u = x - l_0$ .

Далі на основі (4) для напруженості МП в т.  $P$  одержуємо вираз:

$$H = \frac{v\tau}{4\pi \cdot \rho} \cdot \left[ \frac{l_0 - x}{\sqrt{(x-l_0)^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2)}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + \rho^2 \cdot (1-\beta^2)}} \right], \quad (7)$$

що в нерелятивістському випадку співпадає з загальновідомою формулою для величини вектора  $\vec{H}$ .

Тобто, виходячи із концепції струмів зміщення, і вважаючи, що в довільній точці простору поза межами ППС

$\text{rot}\vec{H} \neq 0$ , ми одержали той же результат, що і при традиційному опису цієї задачі. Але в традиційному описі  $\text{rot}\vec{H} = 0$  !!

Тобто, традиційні описи, в принципі, не в змозі пояснити механізм і природу явищ, але вони дають описи, які підтверджуються дослідами та досвідом, на мові величин, що експериментально безпосередньо вимірюються: сили струмів, напруги, активні опори. І тому у значній кількості фізиків, які мають справу з таким приладами та задачами, які формулюються в термінах виключно феноменологічних, електротехнічних величин складається враження, що фізика суто експериментально-дослідна наука. І в цьому випадку (як і в інших, розглянутих вище, наприклад: протікання струму через конденсатор, чи розрядка зарядка його; магнітне поле породжується струмами зміщення) ми знову бачимо, що тільки теорія може сказати що ж вимірюється чи спостерігається на досліді.

*«Забобон, який зберігся і до цих пір, полягає в переконанні, ніби факти самі по собі, без вільної теоретичної побудови, можуть і повинні привести до наукового пізнання. Такий самообман можливий тільки тому, що нелегко усвідомити, що і ті поняття, які завдяки перевірці і тривалому вживанню здаються безпосередньо пов'язаними з емпіричним матеріалом, насправді вільно вибрані»* [2, с.276].

Як бачимо, фізичною причиною виникнення МП в околі ППС являється тільки струм зміщення.

Між еквівалентними описами взагалі і між еквівалентними описами розглянутих прикладів, як бачимо, існують глибокі відмінності в онтологічному плані, тобто в наших уявленнях про об'єктивну фізичну реальність. Тобто, як ми представляємо фізику цих явищ в рамках кожного еквівалентного опису. *«Зміна мови наукової теорії на відміну від перекладу тексту з однієї природної мови на іншу відбивається на баченні істотних аспектів структури об'єктивного світу»* [3, с.47].

Закон Біо-Савара зручний, і начебто зрозумілий, бо оперує величиною (сила струму), що легко визначається на досліді. Але не ця величина є первинною і істиною причиною виникнення  $\vec{B}$ . Не струм переносу  $I_{\text{пер}} = \frac{dq}{dt}$  породжує

МП. Формальна по суті величина  $\frac{dq}{dt}$  ніякого відношення до

механізму виникнення МП не має.  $\frac{dq}{dt} = v\tau$  – це величина заряду, який в дану мить перетинає деяку поверхню. А МП індукується полями  $\vec{D}(t)$  всіх зарядів, що реалізують елемент струму чи відрізок провідника зі струмом [17].

Тому вивчення законів МП на основі дальнодіючих, інтегральних законів Біо-Савара, Ампера-Грасмана, теорем про циркуляцію вектора  $\vec{B}$  можна назвати електротехнічним рівнем, але не фізичним. Можна навіть сказати, що опис властивостей МП постійних та квазістаціонарних струмів на основі цих дальнодіючих законів та рівнянь

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{j}, \quad \nabla^2 \vec{A} = -\mu_0 \vec{j},$$

носить «кінематичний» характер, оскільки абсолютно не пояснює природи МП, фізичних причин виникнення МП, механізмів породження та поширення його.

Можливо із-за того, що homo sapiens, як пізнаючий суб'єкт, макроскопічний, результат пізнання в будь-якій області знань на початковому етапі цього процесу не може не бути сформульованим в вигляді інтегральних законів. Тому історично так склалося, що закони фізики спочатку записувалися в термінах величин, які безпосередньо вимірювалися та контролювалися в дослідах.

Що дає наш опис цих задач?

- 1) пояснює механізм виникнення (породження) електричного та магнітного полів;
- 2) формує правильне розуміння співвідношення теоретичного і експериментального методів в пізнанні фізичних явищ;

3) в процесі вивчення фізики при послідовній аргументації формул у студентів адекватне реальності фізичне світобачення.

Звичайно, можна говорити, що кожен із описів в рамках окремої задачі доповнює один одного. Але природно поставити запитання: який із описів відповідає реальності? А чи слід в методиці використовувати начебто очевидні, спрощені (але не завжди адекватні реальності) пояснення з метою чи то зрозумілішого пояснення, чи то кращого запам'ятовування формул з посиланням на антропоморфну очевидність явища. Очевидно, що такий підхід формул збочені уявлення про фізичну реальність. Крім того, «електротехнічний рівень» опису формул не правильно уявлення про співвідношення теоретичного та емпіричного пізнання в фізиці і, зокрема, в електродинаміці.

#### Висновки

Вивчення властивостей МП постійних та квазістаціонарних струмів слід починати з детального вивчення ЕМП РЗЧ, обґрунтування та пояснення законів (1), (2), (3), (4).

Далі необхідно детально пояснити фізичний механізм породження МП рухомого ЗЧ, постійним струмом.

Показано, що використання моделі рівномірно рухомої ЗЧ та ПВ більш послідовно та несуперечливо приводить до обґрунтування фундаментальних рівнянь (3)-(4), ніж в традиційному описі. Хоча загальний принцип: немає логічного шляху від експериментального факту до теоретичного принципу правильно відображає методологію наукового пізнання, все ж в дидактиці фізики слід обґрунтовувати фундаментальні рівняння.

Показано, що одержані на цьому шляху результати можуть бути подані в інтегральній формі як дальнодіючі закони. Тобто, показати еквівалентність традиційного «електротехнічного» опису і нашого, що ґрунтуються на фундаментальних фізичних принципах (уявленнях про близькодію, принцип відносності, закон Кулона).

Методика вивчення електромагнетизму, яка ґрунтується на принципі дальнодії, суперечить самому духу сучасної фізики і, зокрема, польовим теоріям. Така методика не сумісна з фундаментальними принципами фізики. Тому обґрунтування і опис магнітної взаємодії з допомогою формул і законів, оснований на дальнодії є неадекватним і фізично помилковим (хоча такий опис і дає кінцевий результат, що відповідає фізичній реальності в наближенні  $v \ll c$ ).

Щоб в межах нашої методичної системи обґрунтувати рівняння Максвелла, як основу електродинаміки, необхідно, як уже відмічалось раніше, спиратися на фундаментальний закон Кулона, закон збереження заряду, та ПВ. В рамках же традиційної методики, крім названих законів, потрібні ще «фундаментальні» закони Біо-Савара, закон електромагнітної індукції, закон Ампера-Грассмана.

*«Із двох теорій, що пояснюють сукупність достовірних дослідних фактів в деякій області, перевагу слід віддати тій, яка вимагає менше незалежних припущень»* [1, с.690].

Наш підхід не тільки пояснює та обґрунтовує положення, які недоступні традиційній методиці, але відповідає сучасній фізичній парадигмі.

*«... То це означає, що ми намагаємося знайти систему ідей, яка дозволила б нам по можливості просто зв'язати воедино факти, що спостерігалися. Але така простота зовсім не означає, що засвоєння саме цієї системи доставить студентові менше всього клопоту. Ми маємо на увазі лише те, що система містить найменше можливе число незалежних постулатів або аксіом, бо зміст цих логічно незалежних аксіом і є тим залишок, який не пізнаваний»* [2, с.171].

#### Список використаних джерел:

1. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т.1. – М.: Наука, 1965. – 700 с.

- Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т.1. – М.: Наука, 1967. – 600 с.
- Чудинов Э.М.* Эквивалентные описания и проблема истины в физике // Методологические проблемы физики (Сборник статей, сер. «Физика», №1). – М.: Знание, 1981. – 64 с.
- Вакарчук І.О.* Квантова механіка: Підручник. – 2-ге вид., доп. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 784 с.
- Логунов А.А.* Лекции по теории относительности: Современный анализ проблемы. – М.: Изд-во Московского университета, 1983. – 183 с.
- Иродов И.Е.* Электромагнетизм. Основные законы. – 4-е изд., испр. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 320 с.: ил.
- Левич В.Г.* Курс теоретической физики. Т.1. – М.: Наука, 1969. – 912 с.
- Коновал А.А.* Вывод уравнения Максвелла для токов смещения. Статья деп. в УкрНИИИТИ. №2693. – Ук88. – 9 с.
- Коновал О.А.* Механизм возникновения магнитного поля при руси протонов // 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.
- Коновал О.А.* Особливості методики формування поняття “магнітне поле” // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – №3. – С.24-26.
- Коновал О.А., Швидкий О.В.* Властивості і моделювання електромагнітного поля рухомої зарядженої частинки // Матеріали ІХ Всеукраїнської наукової конференції “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики”. Укладачі: Шут М.І., Січкач Т.Г. – К.: НПУ, 2004. – С.52.
- Коновал О.А.* Не потенціальність електричного поля рухомої зарядженої частинки і закон електромагнітної індукції // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г.Шевченка. Серія: педагогічні науки: Збірник. У 2-х т. – Чернігів: ЧДПУ, 2002. – Вип.13. – Т.2. – С.192-195.
- Коновал О.А.* Обґрунтування рівнянь Максвелла на основі принципу відносності // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх учителів фізики та астрономії. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний університет, ІВВ, 2003. – Вип. 9. – С.101-103.
- 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.
- Коновал О.А.* Магнітне поле і струми зміщення постійних струмів // 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.169-172.
- 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.
- Коновал О.А.* Принцип близької і магнітне поле постійних струмів в курсі фізики ВНЗ // Наукові записки. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка. – 2004. – Випуск 55. – С.263-270.

Equivalent descriptions of several electrodynamics problems in a context of conformity of their reality are discussed. The methodical system of studying of electrodynamics, based on fundamental laws: the law Coulombs, the law of preservation of a charge, a principle of relativity is offered.

**Key words:** the true, equivalent descriptions, a current of displacement, the mechanism of occurrence of electric and magnetic fields, didactics of physics.

Отримано: 2.04.2006.