

УДК 372.853:378.1

**ШВИДКІСТЬ СВІТЛА ЯК КОНСТАНТА ЗВ'ЯЗКУ
МІЖ ОПТИКОЮ, ЕЛЕКТРИКОЮ І МАГНЕТИЗМОМ**

Ярослав Балабан, Володимир Іваній, Іван Мороз, Юлія Ткаченко

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка

(Суми)

Анотація. У статті наголошується на необхідності формування цілісного наукового світогляду майбутніх учителів фізики протягом всього періоду навчання. Особлива роль в цьому плані відводиться законам електродинаміки та історії її становлення як науки про нерозривний зв'язок електричних і магнітних явищ. На основі аналізу навчально-методичної літератури запропоновано методика висвітлення у курсі загальної фізики питань взаємозв'язку оптичних, магнітних та електричних явищ. Показано, що ознайомлення майбутніх учителів фізики з історією наукових досягнень, методологічними підходами і концепціями фізичної науки в їхній діалектичній єдності і протистоянні протягом певної історичної епохи, неможливе без розгляду складних світоглядних і наукових пошуків представників природничо-наукової думки. Це вимагає особливого підходу до розробки питань методики викладання курсу загальної фізики з метою виведення студентів за межі вузькопредметного мислення.

Ключові слова: *методика викладання, загальна фізика, взаємозв'язок оптичних, електричних і магнітних явищ, студенти, науковий світогляд майбутніх учителів фізики.*

Ярослав Балабан, Владимир Иваний, Иван Мороз, Юлия Ткаченко

СКОРОСТЬ СВЕТА КАК КОНСТАНТА СВЯЗИ

МЕЖДУ ОПТИКОЙ, ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ И МАГНЕТИЗМОМ

Аннотация. В статье предложена методика изложения в курсе общей физики вопросов взаимосвязи оптических, магнитных и электрических явлений. Показано, что ознакомление будущих учителей физики с историей научных достижений, методологическими подходами и концепциями физической науки невозможно без рассмотрения сложных мировоззренческих и научных поисков представителей естественно-научной мысли.

Ключевые слова: *методика преподавания, общая физика, взаимосвязь оптических, электрических и магнитных явлений, студенты, научное мировоззрение будущих учителей физики.*

Yaroslav Balaban, Volodimir Ivaniy, Ivan Moroz, Yuliia Tkachenko

THE SPEED OF LIGHT AS A COUPLING CONSTANT BETWEEN OPTICS, ELECTRICITY AND MAGNETISM

Abstract. The article is stressed that holistic scientific outlook of future physics teachers should be formed throughout the study period. In this respect the laws of electrodynamics and the historical formation of electrodynamics as the science of the inextricable connection between electrical and magnetic phenomena plays an important role.

The aim of the article is to offer the methods of teaching topics about finding interconnection between optical, magnetic and electrical phenomena in the course of general physics.

The methods of teaching topics about finding interconnection between optical, magnetic and electrical phenomena in the course of general physics is proposed based on analysis of educational and methodical literature.

Many famous physicists and mathematicians realized that electrical, magnetic and optical phenomena are closely connected among themselves. Scientists had tried to find a way for the opening of the bridge that would connect electromagnetism and optics. It is reported that Maxwell finished

searches of connection between optical, magnetic and electrical phenomena after Faraday had developed simple experimental methods that shed light on new facts and created new convictions.

The teaching method proposed the detailed description of the process of obtaining the ratio $\frac{E}{B} = c^2 \frac{q}{I \Delta l}$. The foregoing ratio establishes the connection between the values that characterize electrical (E), magnetic (B) and optical (c) phenomena. In this case, the coupling constant between optical, magnetic and electrical phenomena coincides with the square of the speed of light numerically.

It is shown that education of future physics teachers in history of scientific achievements, methodological approaches and concepts of physical science in their dialectical unity and opposition during a particular historical epoch, is impossible without consideration of difficult world outlook and scientific searches of representatives of a natural-science thought. This requires a special approach to the development of the methods of teaching course of general physics to expand the thinking of students within a single subject.

Prospects of further scientific research consist in justification of changes to the curriculum for the training of future physics teachers, predictive justification of development of physical education in the conditions of processes of globalization and integration.

Keywords: *teaching methods, General Physics, interconnection between optical, electrical and magnetic phenomena, students, scientific worldview of future physics Teachers.*

Постановка проблеми. Формування наукового світогляду майбутніх вчителів фізики відбувається протягом всього періоду навчання. Але не всі теми, навіть не всі курси фізики, вносять однаковий внесок у цей процес. На наш погляд, серед тем, які найбільшою мірою впливають на

формування цілісних уявлень про сучасну фізичну картину світу, на світоглядні, соціальні та навіть етичні погляди людей, у процесі навчання потрібно виділити теми, пов'язані з розглядом взаємозв'язку оптичних, електричних та магнітних явищ. Це пояснюється тим, що успішна робота вчителя фізики залежить не лише від рівня засвоєння ним фундаментальних законів фізики, але й від розуміння можливості їх прикладного використання. Особливу роль в цьому плані виконують закони електродинаміки, оскільки принцип роботи всіх технічних засобів, які відіграють виняткову роль у побуті та промисловості, базується на законах електромагнетизму. Отже, теорія магнітних та електричних явищ, побудова теорії електромагнітного поля та аналіз причин впливу речовини на зовнішнє поле – це той мінімум знань, яким повинні оволодіти майбутні вчителі, щоб вони у своїй подальшій роботі у якості вчителя на належному рівні викладали не лише відповідні питання фізики, але й з успіхом розглядали важливі прикладні питання (принцип роботи електродвигунів, генераторів, трансформаторів тощо). Тому зазначені питання в системі підготовки вчительських кадрів з фізики повинні мати достатньо повне і сучасне науково-методичне обґрунтування.

З огляду на те, що історична складова предмету, як і сам предмет – електродинаміка, є важливим елементом формування наукового світогляду, ми вважаємо за необхідне при вивченні її законів ознайомити студентів – майбутніх вчителів фізики з цікавими і важливими історичними фактами про дослідження видатних вчених минулих століть взаємозв'язку оптичних, електричних і магнітних явищ, які не знайшли відображень у відомих російсько- та україномовних посібниках [4; 6; 8; 10; 12; 13].

Аналіз актуальних досліджень показує, що над розробкою і висвітленням методики навчання електродинаміки працюють багато провідних науковців-методистів з фізики. Високо оцінюючи дослідження вітчизняних авторів у визначені ролі та місця електродинаміки у системі

підготовки вчителів фізики і у розбудові методики її подання у навчальному процесі, зазначимо, що їх розробки здебільшого присвячені власне методиці навчання загальної фізики та шкільного курсу фізики [1-3; 7; 11]. Питання історії встановлення основних законів електромагнітних явищ у курсі фізики в педагогічних університетах, а також висвітлення взаємозв'язку електричних, магнітних і оптичних явищ залишаються поза увагою методичної науки. Відомі праці О. А. Коновала [5] з методики навчання електромагнетизму не вирішили всіх питань, оскільки в них розроблена сучасна методика вивчення електричних і магнітних явищ у курсі теоретичної фізики на основі спеціальної теорії відносності (СТВ), що за рівнем недоступне для студентів другого курсу, які вперше достатньо ґрунтовно знайомляться з експериментальними основами електромагнетизму, а оптика їх чекає ще попереду – у наступному семестрі. Тому у студентів може скластися помилкове уявлення про відсутність зв'язку між цими явищами.

Мета статті. На основі аналізу навчально-методичної літератури з історії фізики запропонувати методику висвітлення в курсі загальної фізики питань про пошук взаємозв'язку оптичних, магнітних та електричних явищ, який наполегливо вели видатні вчені XIX століття.

Методи дослідження: теоретичний аналіз навчальної і методичної літератури з питань методики викладання загальної фізики, узагальнення і систематизація результатів дослідження з означеної проблеми, педагогічне спостереження за навчальним процесом у ВНЗ.

Виклад основного матеріалу. Завдання фізичної науки полягає у пошуку загальних законів природи і поясненні з їх допомогою різних явищ і процесів природи. Такими законами є, наприклад, закони Ньютона, що описують рух макроскопічних тіл, які при розв'язанні конкретної задачі можна розглядати як матеріальні точки. У другій половині XIX століття одержала бурхливий розвиток теорія оптичних, електричних і магнітних

явищ, в основі яких лежали закони руху та взаємодії електричних зарядів. До початку XIX століття електрика, оптика і магнетизм розглядались як окремі явища у деяких питаннях подібних, але абсолютно незалежних і не пов'язаних між собою.

Пошуки містка, що сполучає ці явища, велися дуже напружено, проте протягом довгого часу були безуспішними. Нарешті Ерстед (1820 р.) виявив, що магнітна стрілка відхиляється електричними струмами. У тому ж році Біо і Савар відкрили кількісний закон цього явища, а Лаплас сформулював його у термінах дії на відстані, тобто за допомогою поля. Цей закон надзвичайно важливий з точки зору СТВ із тієї причини, що у нього входить константа, таємнича для електромагнетизму, така, що має розмірність швидкості, яка, як надалі виявилось, є в точності рівною швидкості світла у вакуумі.

Як відомо, Біо і Савар встановили, що струм, який протікає по прямому провіднику, не притягує і не відштовхує магнітну стрілку, а прагне повернути її по колу навколо провідника (рис. 1) так, щоб її полюси рухались за правилом правого буравчика, який рухається знизу (проти годинникової стрілки) за напрямом струму.

Кількісний закон цього явища можна отримати у простій формі, припустивши, що провідник розділений на ряд коротких відрізків довжиною $\Delta \ell$ і враховуючи ефект кожного з цих елементів струму. Загальний ефект дії повного струму за принципом суперпозиції слідує звідси за допомогою додавання. Отже, опираючись на відомі експериментальні результати, сформулюємо закон для елемента струму в окремому випадку, коли магнітна стрілка (магнітний полюс) лежить у площині, що проходить через середню частину елемента і перпендикулярна напрямку струму (рис. 1, б). У цьому випадку сила, що діє на магнітний полюс одиничної величини у вибраній площині, яку будемо характеризувати як індукцію магнітного поля B , по-перше, є

перпендикулярною до лінії, що сполучає полюс з віссю елемента струму, а

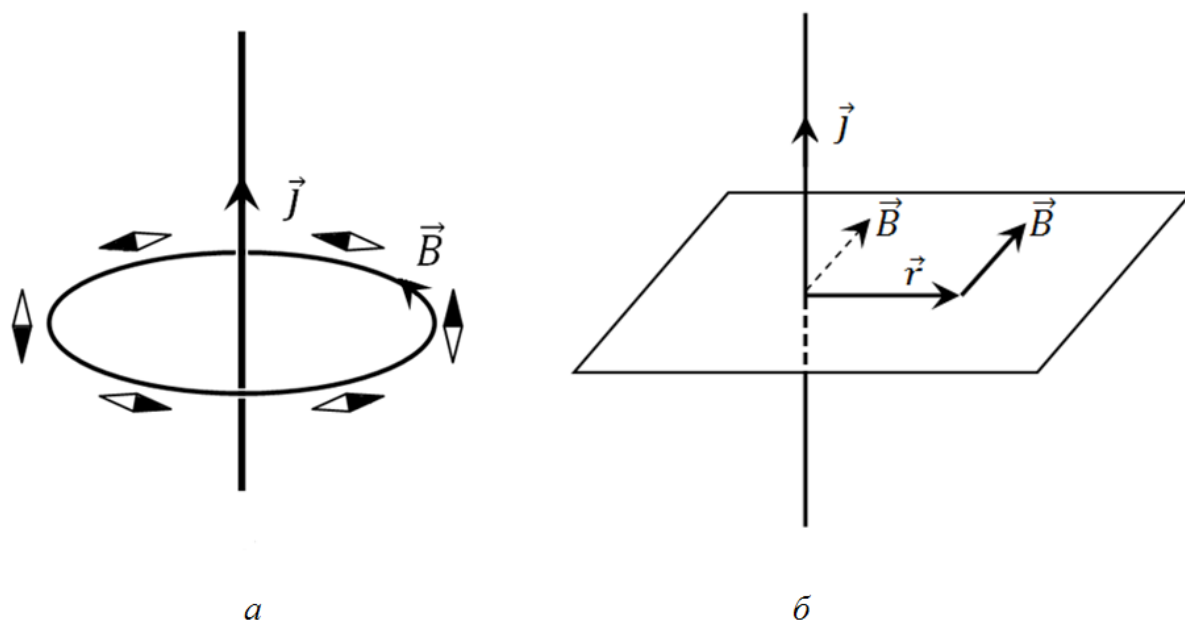


Рис. 1. а) Магнітне поле \vec{B} , що оточує струм I ; б) Напрямок поля \vec{B} перпендикулярний напрямкам густині струму I і радіус-вектору r

по-друге, є пропорційною силі струму I і довжині елемента $\Delta\ell$ і обернено пропорційною квадрату відстані r :

$$B = \text{const} \frac{I\Delta\ell}{r^2}, \quad (1)$$

тоді як кулонівська сила, що діє з боку зарядів q у даному елементі $\Delta\ell$ на одиничний пробний заряд, тобто напруженість електричного поля, дорівнює

$$E = \text{const} \frac{q}{r^2}. \quad (2)$$

Зовні ці формули подібні між собою і виявляють очевидну схожість із ньютонівським законом Всесвітнього тяжіння. Проте, магнітна сила має абсолютно інший характер, ніж електрична або ньютонівська, бо діє не в напрямі лінії, що сполучає точку спостереження з елементом струму, а перпендикулярно до неї (рис. 1, б). Як показує дослід, три вектори: густина

струму J , радіус-вектор r точки спостереження та вектор індукції B попарно перпендикулярні один одному. Звідси видно, що електродинамічні ефекти корінним чином пов'язані із структурою евклідового простору. У певному значенні вони надають нам природну прямокутну систему координат.

Коефіцієнт пропорційності, що входить у формулу (1), повністю визначений, оскільки відстань r , силу струму I і магнітну індукцію B можна виміряти. Ця постійна, очевидно, є величиною, оберненою до сили такого струму, який, протікаючи через відрізок провідника одиничної довжини, створює одиничне магнітне поле на одиничній відстані від провідника.

Відношення напруженості електричного поля до магнітної індукції, як це видно із виразів (1) і (2), це величина, яка не залежить від відстані до точки спостереження:

$$\frac{E}{B} = \text{const} \frac{q}{I \Delta \ell} \quad (3)$$

Виразимо звідси невідому константу

$$\text{const} = \frac{E}{B} \frac{I \Delta \ell}{q} \quad (4)$$

Перш ніж говорити про експериментальне визначення цієї константи, виконаємо невеликий екскурс у її природу за допомогою простого аналізу розмірності. Оскільки E чисельно дорівнює електричній силі, що діє на одиничний заряд, а величина (vB) – магнітній силі, що діє на одиничний заряд, який рухається зі швидкістю v , то відношення цих сил – величина безрозмірна. Звідси слідує, що відношення E/B має розмірність швидкості

$$\frac{E}{B} = \frac{L}{t} = \text{швидкість}$$

Оскільки сила струму I – це величина, що чисельно дорівнює заряду, який переноситься за одиницю часу, то відношення $I\Delta\ell/q$ також має розмірність швидкості

$$\frac{I \Delta\ell}{q} = \frac{L}{\Delta t} = c$$

Тому розмірність шуканої константи (4) – квадрат швидкості:

$$[const] = (швидкість)^2$$

Перші точні вимірювання цієї константи були здійснені Вебером і Кольраушем (1856 р.). Їх досліди належать до найбільш пам'ятних досягнень точного фізичного вимірювання не лише зважаючи на їх складність, але також зважаючи на наслідки, які викликані цими результатами. Одержане ними значення цієї константи виявилось рівним квадрату швидкості світла, тому вираз (3) можна записати у вигляді:

$$\frac{E}{B} = c^2 \frac{q}{I\Delta\ell} \tag{5}$$

Таким чином, константа, яка пов'язує електричні та магнітні явища, чисельно співпадає з квадратом швидкості світла. Цей збіг величин, які характеризують електричні (E), магнітні (B) та оптичні (c) явища, у одному співвідношенні (5) не може бути випадковим. Велика кількість математиків та фізиків, зокрема сам Вебер, усвідомлювали тісний взаємозв'язок між електричними, магнітними та оптичними явищами і тому шукали шлях до відкриття містка, який з'єднав би електромагнетизм і оптику. Враховуючи (5), число $\frac{1}{c^2} = 10^{-8} \text{ сек}^2 / \text{м}^2$ і є тією константою, яка пов'язувала між собою електромагнітні та оптичні явища. Ці пошуки, як відомо, завершив Максвелл після того, як розроблені Фарадеєм прості методи експерименту, пролили світло на нові факти і породили нові переконання.

Розглянутий тут, по суті, історичний нарис становлення

електродинаміки як науки про нерозривний зв'язок електричних і магнітних явищ, показує наскільки складним і тернистим був цей шлях для творців електродинаміки. Пояснюється це просто – вони стояли на позиціях дорелятивістської фізики, яка не могла розкрити органічний взаємозв'язок оптичних, електричних і магнітних явищ. У наш час добре відомо [9], що наявність магнітних явищ і тих закономірностей, які з'ясували Біо, Савар, Лаплас, Ампер, Фарадей та багато інших видатних учених, у результаті проведення і аналізу дуже складних на ті часи експериментів, може бути отримано, як наслідок закону Кулона, інваріантності заряду та релятивістських властивостей простору і часу.

Висновки та перспективи подальших розвідок. На прикладі запропонованої методики висвітлення в курсі загальної фізики питань взаємозв'язку оптичних, магнітних та електричних явищ показано, що ознайомлення майбутніх учителів фізики з історією наукових досягнень, методологічними підходами і концепціями фізичної науки в їхній діалектичній єдності і протистоянні протягом певної історичної епохи неможливе без розгляду складних світоглядних і наукових пошуків представників природничо-наукової думки. Це потребує особливих підходів до розробки методики викладання курсу загальної фізики, високого інтелектуального рівня викладачів, здатних сприяти виведенню студентів за межі вузькопредметного мислення.

Перспективу даного дослідження ми вбачаємо насамперед у обґрунтуванні змін до навчального плану для підготовки майбутніх учителів фізики, прогностичному обґрунтуванні розвитку фізичної освіти в умовах глобалізаційних та інтеграційних процесів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бендес Ю. П. Інновації щодо вивчення теми електромагнітні коливання / Ю. П. Бендес, В. Д. Сиротюк // Збірник наукових праць

Кам'янець-Подільського національного університету. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет, 2008. – Вип. 14. – С. 9-13.

2. Вознюк С. Ю. Формування поняття «електромагнітне поле» на основі фундаментальних фізичних понять / С. Ю. Вознюк, В. І. Кульчицький. // Фізика та астрономія в школі. – 1999. – № 4. – С. 43-47.

3. Горбач В. Н. Моделирование магнитных полей соленоидальных магнитных систем / В. Н. Горбач, А. Я. Сало. // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2001. – Вип. 2, Том 2. – С. 90-94.

4. Калашников С. Г. Электричество / С. Г. Калашников. – Москва: Наука, 1977. – 586 с.

5. Коновал О. А. Теоретичні та методичні основи вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності: монографія / О. А. Коновал; Міністерство освіти і науки України; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. – 346 с.

6. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм / А. Н. Матвеев. – Москва: Высшая школа, 1983. – 463 с.

7. Менумеров Р. М. К вопросу о взаимодействии элементов электрического тока / Р. М. Менумеров // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. пр. – Вип. VI: у 3-х томах. Т. 2: Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2006. – С. 263-267.

8. Мороз І. О. Основи електродинаміки. Магнітостатика: навчальний посібник / І. О. Мороз. – Суми: Видавництво «МакДен», 2011. – 162 с.

9. Мороз І. О. Спеціальна теорія відносності: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / І. О. Мороз, В. С. Іваній,

Р. І. Холодов. – Суми: Видавництво «МакДен», 2011. – 336 с.

10. Мултановский В. В. Курс теоретической физики. Классическая электродинамика / В. В. Мултановский, А. С. Василевский. – Москва: Просвещение, 1990. – 270 с.

11. Соколовський О. Й. До методики викладання питання про одиниці вимірювання основних електродинамічних величин / Соколовський О. Й. // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2003. – Вип. 3, Том 2. – С. 309-312.

12. Тамм И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – Москва: Наука, 1966. – 624 с.

13. Терлецкий Я. П. Электродинамика: учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов / Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков. – Москва: Высшая школа, 1990. – 352 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Балабан Ярослав Романович – магістр.

Іваній Володимир Степанович – кандидат технічних наук, професор кафедри фізики та методики викладання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.

Мороз Іван Олексійович – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та методики викладання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.

Ткаченко Юлія Анатоліївна – аспірант кафедри фізики та методики викладання фізики СумДПУ імені А. С. Макаренка.

Коло наукових інтересів: методика викладання фізики у ВНЗ.