

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені М. П. ДРАГОМАНОВА**

КОНОВАЛ ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ

УДК 538 (07)+372.853

**ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ
ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ ЯК РЕЛЯТИВІСТСЬКОЇ ТЕОРІЇ
У ВИЩИХ ПЕДАГОГІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**

13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика)

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора педагогічних наук

Київ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Криворізькому державному педагогічному університеті, Міністерство освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор педагогічних наук, професор
Касперський Анатолій Володимирович,
Національний педагогічний університет
імені М. П. Драгоманова,
завідувач кафедри технічної фізики і математики.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
Руденко Олександр Пантелеймонович,
Полтавський державний педагогічний університет
імені В. Г. Короленка,
завідувач кафедри фізики;

доктор педагогічних наук, професор
Садовий Микола Ілліч,
Кіровоградський державний педагогічний
університет імені Володимира Винниченка,
професор кафедри фізики та методики її викладання;

доктор педагогічних наук, професор
Сусь Богдан Арсентійович,
Національний технічний університет України «КПІ», професор
кафедри загальної та теоретичної фізики.

Захист відбудеться «29» вересня 2010 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.053.06 в Національному педагогічному університеті імені М. П. Драгоманова, 01601, м. Київ-30, вул. Пирогова, 9.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова, 01601, м. Київ-30, вул. Пирогова, 9.

Автореферат розісланий «26» серпня 2010 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є. В. Коршак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження. У зв'язку з активізацією процесу євроінтеграції України системних змін зазнає середня та вища фізична освіта.

Реформування стосується як змісту фізичної освіти, так форм і методів навчання. Мета реформування вищої та середньої фізичної освіти полягає у створенні такої системи підготовки фахівців з фізики, яка б не лише відповідала сучасному стану науки й технологій і давала можливість випускникам фізичних спеціальностей плідно працювати, а й сприяла розвитку творчих здібностей, самореалізації особистості. Мета навчання фізиці у вищому педагогічному навчальному закладі – опанування студентом фундаментальних наукових і фахових знань, умінь і навичок, необхідних для професійної діяльності на рівні вимог сьогодення, формування фізичного стилю мислення, підготовка фахівця, здатного самостійно, творчо працювати.

Усе це зумовлює підвищення вимог до фахової підготовки вчителів фізики та реалізації їх творчого потенціалу. Однією з концептуальних засад при реалізації цих цілей є фундаменталізація освіти.

Фундаменталізація фізичної освіти означає: а) реалізацію дидактичного принципу науковості, тому методика навчання електродинаміки повинна відповідати методології наукового пізнання; і те, що б) навчання фізики повинно базуватися на фундаментальних принципах фізики та відображати зокрема діалектику емпіричного й теоретичного в структурі фізичного знання, формувати світогляд і фізичний стиль мислення студента.

У рамках зіставного аналізу методик навчання електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах і запропонованої нами методики навчання електродинаміки на засадах спеціальної теорії відносності фундаментальним будемо називати закон, принцип, дослідний факт, якщо він не впливає як логічний наслідок з інших положень (фізичних принципів, експериментів).

Важливою характеристикою фундаментальності тих чи тих знань є можливість досягнення за їх допомогою глибинних, сутнісних, системоутворювальних підстав і зв'язків між різноманітними процесами та явищами навколишнього світу. Фундаментальними є знання первинні, стрижневі, системоутворювальні, методологічно значущі. Вироблені на їхній основі вміння думати, самостійно здобувати знання дають можливість не лише пояснювати найрізноманітніші явища в конкретній галузі знань, а виводити нові теоретичні положення, будувати адекватні моделі оточуючої дійсності.

Так, на основі лише двох фундаментальних положень: принципу відносності та закону Кулона – нам вдалося обґрунтувати основні закони електродинаміки та спростувати суперечності при поясненні ряду електродинамічних явищ.

Наше дослідження стосується методики навчання електродинаміки як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах (розділ «Класична електродинаміка» дисципліни «Теоретична фізика»).

Теоретичні та методичні засади навчання фізики у вищих навчальних закладах знайшли відображення в науково-методичних дослідженнях Г. Ф. Бушка, Ю. І. Діка, А. В. Касперського, А. А. Пінського, В. Г. Разумовського, О. П. Руденка, П. І. Самойленка, О. В. Сергєєва, В. П. Сергієнка, Б. А. Суся, М. І. Шута та інших. Загальні положення методики навчання фізики, зокрема й класичної електродинаміки сформульовані в працях П. С. Атаманчука, О. І. Бугайова, Б. Є. Будного, С. П. Величка, А. Т. Глазунова, С. У. Гончаренка, Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, М. Т. Мартинюка, В. В. Мултановського, І. І. Нурмінського, М. І. Садового, О. В. Сергєєва, А. В. Усової та інших.

Належно оцінюючи дослідження вчених, методистів, які розробили й забезпечили впровадження в практику вищого педагогічного навчального закладу єдиного підходу до вивчення електродинаміки, теорії відносності, розробили методику викладання цього розділу з урахуванням релятивістських поправок у шкільному курсі фізики, ми дійшли висновку, що нині ці питання не знайшли належного відображення в практиці роботи вищого навчального закладу.

Навчальний процес не ідентичний процесу наукового пізнання, так само як і процес індивідуального наукового пізнання не ідентичний процесу суспільно-історичного розвитку науки. Тому в зміст освіти традиційно включаються адаптовані, педагогічно й дидактично перероблені знання, наукові методи, філософські ідеї, принципи, закони тощо.

Але питання структури й методики вивчення курсу «Теоретичної фізики» у вищому педагогічному навчальному закладі все ще залишається відкритим.

Фізика як навчальний предмет займає провідну роль у формуванні наукового світогляду суб'єкта навчання, оскільки в процесі її вивчення найбільш повно може бути реалізований увесь цикл природничо-наукового пізнання: від спостережень фактів до формулювання проблеми, а далі – до висунення гіпотези, її логічного розвитку, теоретичного передбачення, експериментальної перевірки та використання на практиці.

На суто емпіричному рівні – на рівні усвідомлення отриманих з експерименту набору фактів, через засвоєння введених спеціальних понять та узагальнених законів, що описують зв'язок між цими поняттями, – можливе засвоєння лише початкового курсу фізики. Перехід на теоретичний рівень пізнання природи не тільки сприяє більш глибокому засвоєнню основних фізичних понять і законів, але й суттєво впливає на формування природничо-наукової картини світу суб'єкта пізнання.

Не зважаючи на суттєве підвищення ролі наукової теорії та методології в методиці навчання фізики, у більшості методичних посібників як для загальноосвітньої, так і для вищої

школи, навчання традиційно спрямовується на розгляд виокремленого розділу, засвоєння сукупності явищ, понять, суджень, дій.

Такий підхід прийнятий на всіх рівнях та етапах вивчення курсу фізики, що веде до його ускладнення, теоретизації, надання йому форм окремих чітких теорій, *однак вивчення їх усе ще традиційно відбувається переважно на емпіричному індуктивному рівні.*

У той же час провідними вченими відзначалося, що, по-перше, у навчанні не обов'язково дотримуватися логіки розгортання навчального предмету, за якою емпіричний рівень завжди передре теоретичному. По-друге, потрібна якісна перебудова навчання фізики, яка забезпечувала б відповідність фізики як навчальної дисципліни сьогоднішній логіці й структурі фізики як науки.

Якісна підготовка вчителя фізики неможлива без знання фундаментальних фізичних принципів, наукових теорій. Це відзначають багато дослідників. Провідні дидакти (О. І. Бугайов, Г. Ф. Бушок, С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак, А. В. Касперський, О. І. Ляшенко, Ю. А. Пасічник, М. І. Садовий, О. В. Сергєєв, В. П. Сергієнко, Б. А. Сусь, М. І. Шут) наголошують на необхідності тісного зв'язку методики вивчення дисципліни з методологією базисної науки, бо сутністю навчання є метод мислення науки. Електродинаміка та спеціальна теорія відносності є фундаментальними фізичними теоріями, які визначають не тільки рівень відповідної фізичної освіти, але й світогляд і стиль мислення фахівця.

Спеціальна теорія відносності (СТВ) є фундаментальною (загальнофізичною) релятивістською концепцією простору-часу, яка разом із законами та принципами квантової теорії лежить в основі сучасної фізичної картини світу. Релятивістські ідеї пронизують усі розділи фізики, а власне електродинаміка є релятивістською теорією. Значущість філософсько-світоглядного потенціалу СТВ, її освітня та виховна функція визначають її загальнолюдську цінність як невід'ємного елемента культури не тільки фахівця-фізика, але й сучасної освіченої людини.

Проте у методичному плані спостерігається деяку відірваність змісту електродинаміки як навчальної дисципліни від релятивістської фізики.

Стало вже традицією вивчати електродинаміку як науку, що базується на дослідних законах (закон Біо-Савара, закон Ампера-Грассмана, закон електромагнітної індукції), які в цілому ряді методичних робіт при вивченні вважаються відносно відокремленими, а то й зовсім непов'язаними між собою; вони інтерпретуються й розглядаються як різномірні, але фундаментальні факти; а між тим *уся електродинаміка є релятивістською теорією.*

Традиційні методики навчання *електродинаміки не використовують в достатній мірі основні положення спеціальної теорії відносності.* У зв'язку з цим, на наш погляд, зміст, структура і методика навчання електродинаміки не відповідає суті й методології цього розділу фізики як наукової галузі.

У деяких випадках традиційні підходи в принципі не можуть пояснити механізм і природу явищ, але вони дають описи, які підтверджуються дослідами та досвідом, мовою величин, що експериментально безпосередньо вимірюються: сил струмів, напруг, активних опорів тощо. І тому в значній кількості фізиків, які мають справу з такими приладами й задачами, сформульованими в термінах виключно феноменологічних, електротехнічних величин, складається враження, що фізика суто експериментально-дослідна наука.

Такий стан речей не тільки не відповідає сучасним вимогам до підготовки фахівця у вищих навчальних закладах, але й спотворює уявлення про сучасну наукову картину світу.

Ряд видатних фізиків вважали, що «тільки теорія може сказати, що ж вимірюється чи спостерігається на досліді», «фізика без теорії не є наукою, а лише досить малоцінним конгломератом окремих фактів, розібратися в яких неможливо».

Тобто, базуючись на принципах дидактики, вважаємо, що коли в науці зроблений крок до більш глибокого розуміння фізичних явищ, то при вивченні й поясненні цих фізичних явищ у загальноосвітніх і вищих навчальних закладах слід відображати цей більш високий рівень розуміння та адекватної інтерпретації.

Оскільки класична електродинаміка є лорентцковаріантною теорією, то з усього вище сказаного випливає висновок про те, що логічним і в методичному відношенні більш цілеспрямованим є викладання основ електродинаміки в курсі теоретичної фізики з послідовним використанням релятивістських ідей і методів.

При побудові адекватної методики навчання електродинаміки ми виходили також і з пріоритетних цілей, закладених у нормативних державних документах.

Закладені в Законі про вищу освіту, Національній доктрині розвитку освіти, Концепції загальної середньої освіти, Державному стандарті базової та середньої освіти тощо думки про необхідність ґрунтовного засвоєння основних фізичних явищ та ідей, оволодіння фундаментальними поняттями, законами й теоріями класичної та сучасної фізики, а також методами фізичного дослідження, формування наукового світогляду й сучасного фізичного стилю мислення в учнів і студентів співзвучні з методологічним орієнтирами, науково-методологічними засадами творчості А. Ейнштейна. А це означає зокрема, що використання ідей спеціальної теорії відносності та їх вивчення не просто бажані, а необхідні для досягнення мети, покликаної реорганізацією та реформуванням змісту фізичної освіти в Україні.

На нашу думку, не знаходить також повного й адекватного відображення в процесі навчання електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах характерна тенденція розвитку сучасної фізики: спираючись на невелике число основних принципів, сформулювати та пояснити всю сукупність фізичних явищ і законів цього розділу фізики.

Тому фундаменталізація фізичної освіти в нинішніх умовах, на нашу думку, – це реалізація ідей А. Ейнштейна, згідно з якими, стосовно електродинаміки, ми розуміємо створення науково-методичної системи навчання електродинаміки, розбудованої на основі невеликого числа фундаментальних принципів, із яких потім методом дедукції одержуються наслідки, що відповідають сукупності електромагнітних емпіричних даних.

Існуючі ж нині методики вивчення електродинаміки основані на об'єднанні великого числа окремих дослідних фактів у формі емпіричних законів, з яких шляхом порівняння встановлюються загальні закони.

У сучасній дидактиці наголошується на необхідності органічного зв'язку методики навчання дисципліни з методологією базисної науки.

Таким чином, виокремилися очевидна потреба в науково-методичному обґрунтуванні та створенні нової методичної системи вивчення основних положень електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах, яка не мала б зазначених вище недоліків.

Наше завдання полягає в тому, щоб найкоротшим шляхом, на основі найменшого числа фундаментальних принципів (принцип відносності та закон Кулона), обґрунтувати в процесі навчання електродинаміки основні положення електромагнетизму на засадах спеціальної теорії відносності та пояснити їх фізичну суть, визнаючи від самого початку систему рівнянь Максвелла як істину, що підтверджується досвідом.

Іншими словами, наше завдання полягає в реалізації ідей щодо обґрунтування основних положень електродинаміки, у процесі навчання її у вищих педагогічних навчальних закладах, на основі якомога меншого числа логічно незалежних один від одного основних аксіом і понять.

Актуальність такої постановки проблеми зумовлена також невідповідністю між:

- формальним і недостатньо поглибленим вивченням електродинаміки та спеціальної теорії відносності не тільки в школі, а й у вищому педагогічному навчальному закладі та фізично глибоким їх науковим змістом;
- другорядним місцем спеціальної теорії відносності в курсах фізики середніх і вищих навчальних закладів та фундаментальним значенням теорії відносності в сучасній фізиці й зокрема в електродинаміці;
- існуючою науково-методичною підготовкою учителів фізики та необхідністю організації ними процесу вивчення електродинаміки учнями в середніх навчальних закладах (СНЗ) на рівні сучасних вимог;
- надзвичайно глибоким поєднанням електродинаміки та спеціальної теорії відносності у формуванні фізичного стилю мислення й наукової картини світу та формальним, а інколи й недостатнім їх вивченням.

У студентів складається враження, що спеціальна теорія відносності не має відношення до повсякденних електродинамічних фізичних процесів, бо чомусь вважається, що ефекти спеціальної теорії відносності значимо можуть проявлятися тільки при русі систем відліку чи тіл зі швидкостями, близькими до швидкості світла в вакуумі.

Такі уявлення не відповідають фізичній реальності, є методично й методологічно шкідливими. Застосування принципів спеціальної теорії відносності для обґрунтування основних законів класичної та релятивістської електродинаміки продемонструє «роботу» принципів спеціальної теорії відносності й сприятиме більш глибокому розумінню суті електродинаміки та спеціальної теорії відносності.

Електродинаміка є релятивістською теорією (наприклад, рівняння Даламбера разом з умовою калібровки Лорентца коваріантні відносно перетворень Лорентца). І оскільки електродинаміка вивчає взаємодію між зарядженими частинками (ЗЧ), струмами та електромагнітним полем, вивчає властивості електромагнітного поля, яке створюється цими та іншими зарядженими частинками, то природно припустити, що ця коваріантність закладена в суті та механізмах взаємодії двох рухомих заряджених частинок (РЗЧ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження пов'язане з реалізацією основних положень Закону України «Про освіту», напрямами Державної програми «Освіта (Україна XXI століття)», з виконанням основних пунктів проекту плану дій щодо поліпшення якості фізико-математичної освіти, завдань науково-дослідних тем кафедри фізики Криворізького державного педагогічного університету «Науково-методичні основи навчання електродинаміки у навчальних закладах на засадах генералізації знань» (№ ДР 0106U001993) та «Науково-методична система вивчення електромагнетизму на засадах теорії відносності в умовах кредитно-модульного навчання» (№ ДР 0109U002916).

Тема дисертації затверджена на вченій раді Криворізького державного педагогічного університету (протокол № 5 від 12.12.2002) і погоджена в Міжвідомчій раді з координації наукових досліджень з педагогічних і психологічних наук в Україні (протокол № 9 від 25.11.2003).

Об'єкт дослідження: навчально-виховний процес у вищих педагогічних навчальних закладах.

Предмет дослідження: теоретичні і методичні основи навчання електродинаміки як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах, теоретичні та методичні засади становлення й розвитку релятивістських ідей при навчанні електродинаміки.

Мета дослідження полягає в теоретичному та методичному обґрунтуванні методики навчання електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах з використанням методів спеціальної теорії відносності. Гіпотезою дослідження стало припущення, що реалізація принципу науковості та наступності при навчанні курсу загальної та теоретичної фізики (на прикла-

ді електродинаміки) можлива за умов теоретичного та практичного обґрунтування структури й змісту електродинаміки на основі закону Кулона та спеціальної теорії відносності. А створення методики навчання електродинаміки як релятивістської теорії забезпечить науковий підхід, послідовне, цілісне й фундаментальне викладення навчального матеріалу, підвищить фахову компетентність майбутнього вчителя фізики.

З урахуванням мети, об'єкта й предмета дослідження сформульовані його основні **завдання**:

1. Провести теоретичне та методологічне обґрунтування сучасних підходів до структуризації змістової частини курсу теоретичної фізики на основі фундаментальних принципів фізики (на прикладі електродинаміки).

2. Розробити методичну концепцію реалізації підходу, який оснований на принципі фундаменталізації при навчанні теоретичної фізики (на прикладі електродинаміки) у вищих педагогічних навчальних закладах.

3. Провести науковий, методологічний і дидактичний аналіз змісту електродинаміки та теорії відносності.

4. Проаналізувати методики викладання електродинаміки, що пропонуються в існуючих підручниках і посібниках.

5. Спираючись на методи спеціальної теорії відносності та закон Кулона, обґрунтувати основні закони електродинаміки. Проаналізувати одержані результати, розглянути граничні випадки, зробити перевірку результатів на відповідність дослідним даним.

6. Розробити, а також теоретично й практично обґрунтувати методичні основи навчання електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах на послідовно релятивістських засадах.

7. На основі запропонованої методичної концепції навчання електродинаміки спростувати суперечності й недоліки традиційної методики вивчення електродинаміки.

8. Обґрунтувати фізичне та методичне пояснення механізму виникнення магнітного поля постійних струмів.

9. Здійснити експериментальну перевірку гіпотези дослідження.

Теоретико-методологічну основу дослідження складають загальнонаукові методи пізнання та, перш за все, системно-структурний підхід до предмету дослідження, оснований на пошуку цілісних характеристик (невеликого числа принципів чи положень), що лежать в основі електродинамічних явищ; діалектика емпіричного та теоретичного в пізнанні й у навчанні; принципи діалектики; основні положення загальної та спеціальної дидактики.

В теоретичному плані дослідження базується на класичних роботах та монографіях з електродинаміки та спеціальної теорії відносності Д. Бома, М. Борна, В. Л. Гінзбурга,

А. Ейнштейна, А. Зоммерфельда, А. О. Логунова, Л. І. Мандельштама, Г. Мінковського, К. Мьолера, В. Паулі, М.-А. Тоннели, В. О. Фока та ін.

Велике значення при аналізі дидактичних особливостей і різних підходів до викладання електродинаміки (як класичної, так і релятивістської) мали навчальні посібники й праці Р. Беккера, Г. О. Бугаєнко і М. Є. Фонкіча, І. І. Воробйова, І. Є. Іродова, Л. Д. Ландау і Є. М. Ліфшиця, В. Г. Левича, О. М. Малініна, А. М. Матвєєва, В. В. Мултановського, Е. Парселла, А. А. Пінського, І. В. Савельєва, Д. В. Сівухіна, І. Є. Тамма, Я. П. Терлецького, В. О. Угарова, Я. І. Френкеля та ін.

Значну роль у дослідженні методологічних аспектів при викладанні електродинаміки та теорії відносності з огляду на світоглядно-філософські функції цих розділів фізики відіграли філософські та методологічні роботи І. А. Акчуріна, М. Д. Ахундова, Д. П. Грібанова, М. А. Маркова, Ю. Б. Молчанова, О. М. Мостепаненко, В. О. Фока, Е. М. Чудинова та інших, а особливо методологічні орієнтири та науково-методологічні засади творчості й результати наукових праць А. Ейнштейна.

У світлі психолого-педагогічних і методичних проблем навчання фізики в Україні дослідження спирається на праці визнаних учених-методистів О. І. Бугайова, С. У. Гончаренка, В. В. Давидова, А. В. Касперського, Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, М. І. Садового, О. В. Сергєєва, В. П. Сергієнка, Б. А. Суся, М. І. Шута та ін.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань і перевірки гіпотези дослідження застосовувалися сукупність взаємодоповнюючих теоретичних та емпіричних методів:

– теоретичний аналіз літератури (науково-методичної, психолого-педагогічної, філософсько-методологічної) з проблем дослідження, моделювання, ідеалізація, ретроспективний метод; аналітичний і фізичний аналіз адекватних електродинамічних моделей; аналіз теорій і методик з метою виявлення шляхів розв'язання задач дослідження;

– емпіричні (цілеспрямоване педагогічне спостереження, педагогічний експеримент, методи математичної статистики), соціологічні методи (анкетування, інтерв'ювання, бесіда, тестування), які застосовувалися для визначення рівня підготовки студентів, для експериментальної перевірки ефективності запропонованої методики навчання електродинаміки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- концептуально обґрунтовано теоретичні, методологічні та методичні основи формування структури й змісту курсу теоретичної фізики для педагогічних ВНЗ (на прикладі електродинаміки), для цього фундаментальними визначено принцип відносності та закон Кулона;

- розроблено концепцію фізичної освіти студентів, яка передбачає відхід від традиційних класичних підходів до реалізації змістового компоненту теоретично й методично визначених

принципів побудови навчального матеріалу на основі наукових досягнень, і запропоновано її для реалізації у навчальному процесі;

- на основі фундаментального принципу відносності та закону Кулона запропоновано нові теоретичні та методичні підходи щодо обґрунтування: закону Біо-Савара в релятивістській формі, виразу для магнітного поля зарядженої частинки, яка рухається рівномірно й прямолінійно, формули Лорентца, формули Ампера;

- показано, що в поясненні та формулюванні методів і засобів навчання закону електромагнітної індукції (ЕМІ) вихідними є принципи теорії відносності та закон Кулона; а тому в рамках запропонованої методичної та методологічної концепції навчання електродинаміки закони Біо-Савара, Ампера-Грассмана, електромагнітної індукції розглядаються не як фундаментальні, а як наслідки більш загальних положень;

- запропоновано методику обґрунтування формул перетворення компонентів електромагнітного поля, яка базується на знаннях шкільного курсу фізики;

- у рамках концепції близькодії обґрунтовано фізичне та методичне пояснення механізму виникнення магнітного поля квазістаціонарних струмів;

- показано конкретне застосування принципів спеціальної теорії відносності для фізичного та методичного аналізу багатьох електродинамічних задач, зокрема:

- подано релятивістський опис взаємодії між провідниками зі струмами;

- у моделі провідника з постійним струмом, яка широко використовується в дидактиці фізики, запропоновано пояснення дослідної неспостережуваності непотенціального електричного поля лінійної процесії заряджених частинок;

- показано, що наявні в науково-методичній літературі пояснення релятивістських причин появи «заряду провідника зі струмом» суперечливі й потребують уточнень;

- теоретично та методично доведено доцільність запропонованої умови нейтральності провідника з постійним струмом;

- продемонстровано евристичну й дидактичну роль електродинамічних моделей при навчанні електродинаміки.

Теоретична значущість дослідження полягає в тому, що на основі фундаментальних принципів розроблена методична система, яка забезпечує можливість:

- проведення теоретичного та логіко-методологічного аналізу співвідношення класичного та релятивістського при вивченні електродинаміки;

- розроблення інноваційної системи обґрунтування фундаментальних законів електродинаміки;

– обґрунтування необхідності структурної перебудови методики навчання електродинаміки на основі методології та змісту сучасної фізики;

– запропонування інноваційну методику навчання електродинаміки на засадах теорії відносності.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- розробці інноваційної методики навчання електродинаміки з використанням методів спеціальної теорії відносності;

- упровадженні в навчальний процес вищих педагогічних навчальних закладів авторських посібників [1; 3; 4; 5; 6; 7];

- створенні та впровадженні в навчальний процес комп'ютерних програм:

- а) «Компонент» для моделювання відносності електричного і магнітного полів;

- б) для імітаційного моделювання залежності параметрів електромагнітного поля зарядженої частинки, що рухається рівномірно й прямолінійно, від швидкості руху частинки та кута спостереження;

- в) для імітаційного моделювання розподілу в просторі струмів зміщення рівномірно рухомої зарядженої частинки та лінійної процесії заряджених частинок;

- г) для комп'ютерного моделювання дослідів Біо та Савара.

- сукупності теоретичних положень і висновків, що містяться в дисертації, які дали можливість підвищити ефективність вивчення електродинаміки студентами педагогічних університетів, значно поліпшили науково-методичну, методологічну, підготовку студентів до їх професійної діяльності.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено в практику роботи Криворізького державного педагогічного університету (довідка № 26/3-237 від 27.05.2010), Бердянського державного педагогічного університету (довідка № 57/2001-01.08 від 23.10.2009), Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка (довідка № 36 від 11.06.2010), Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка (довідка № 160-Н від 17.06.2010), Запорізького національного університету (довідка № 01-25/10 від 11.02.2010), Херсонського державного університету (довідка № 14-11/920 від 02.07.2010), Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка (довідка № 04-11/792 від 21.05.2010), Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (довідка № 10/59 від 05.10.2009), Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (довідка № 1010/01 від 30.06.2010).

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, полягає:

- у визначенні напрямків і теми досліджень;

- в теоретико-методичному обґрунтуванні основних положень електродинаміки на основі закону Кулона та методів спеціальної теорії відносності;
- у розробці методики навчання електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах на цих концептуальних засадах;
- в аналізі здобутих науково-методичних результатів;
- у підтвердженні здобутими науково-методичними результатами власного концептуального підходу до розв'язання проблеми співвідношення класичного й релятивістського при вивченні електродинаміки;
- у розробці й упровадженні навчально-методичних матеріалів з теми дослідження.

Вірогідність наукових результатів дослідження та висновків забезпечується методологічною, фізичною та загальнодидактичною обґрунтованістю вихідних положень і поставлених завдань; застосуванням сукупності методів, адекватних предмету, меті, завданням та логіці дослідження; поєднанням теоретичного аналізу проблеми і практики навчання електродинаміки та спеціальної теорії відносності у вищих педагогічних навчальних закладах; широким і всебічним обговоренням результатів дослідження, висновків і методичних рекомендацій з науковцями, методистами на численних всеукраїнських і міжнародних конференціях та семінарах; урахуванням наукового доробку дослідників, які вивчали різні аспекти даної проблеми, репрезентативністю вибірки під час проведення педагогічного експерименту; упровадженням результатів дослідження в навчальний процес фізико-математичних факультетів педагогічних університетів, створенням методичних посібників.

Експериментальна база дослідження. Основна науково-методична та експериментальна робота з теми дисертації проводилася на фізико-математичних факультетах Криворізького державного педагогічного університету, Бердянського державного педагогічного університету, Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка, фізичних факультетах Запорізького національного університету, Херсонського державного університету, Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка, Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Основні результати дослідження доповідалися й обговорювалися на науково-практичних і науково-методичних конференціях:

- міжнародних: «Сучасні тенденції розвитку природничо-математичної освіти» (Херсон, 2002); «Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти» (Київ, 2001); «Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх учителів фізики і астрономії» (Кам'янець-Подільський, 2003); «Перші

міжнародні драгоманівські читання» (Київ, 2003); «Модульные технологии обучения в системе непрерывного профессионального образования (теория и практика)» (Москва, 2004); «Актуальні проблеми особистісно орієнтованого навчально-виховного процесу в системі безперервної освіти» (Кременець, 2004); «Чернігівські методичні читання з фізики, 2004 р.» (Чернігів-Ніжин, 2004); «Дидактика фізики в контексті орієнтирів Болонського процесу» (Кам'янець-Подільський, 2005); «Засоби реалізації сучасних технологій навчання» (Кіровоград, 2005); «Сучасні проблеми дидактики фізики» (Кіровоград, 2006); міжнародному симпозіумі «Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми» (Кам'янець-Подільський, 2006); «Засоби і технології сучасного навчального середовища» (Кіровоград, 2007); «Засоби і технології сучасного навчального середовища» (Кіровоград, 2008); «Управління якістю підготовки майбутніх вчителів фізики та трудового навчання» (Кам'янець-Подільський, 2009); «Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі» (Кривий Ріг, 2010);

• всеукраїнських: «Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих освітніх закладах» (Львів, 1999); «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності» (Кривий Ріг, 1999); «Засоби і методи навчання фізики» (Чернігів, 2002); «Діяльнісний підхід у навчально-пошуковому процесі з фізики» (Рівне, 2002); «Стратегічні проблеми формування змісту курсів фізики та астрономії в системі загальної середньої освіти» (Львів, 2002); «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики» (Київ, 2002); «Засоби реалізації сучасних технологій навчання» (Кіровоград, 2002); «Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі» (Кіровоград, 2002); «Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики» (Кривий Ріг, 2002); «Засоби реалізації сучасних технологій навчання» (Кіровоград, 2003); «Сучасні технології в науці та освіті» (Кривий Ріг, 2003); «Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій технічній школі» (Кривий Ріг, 2003); «Проблеми сучасної дидактики фізики в основній школі» (Умань, 2003); «Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі» (Кіровоград, 2004); «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики» (Київ, 2004); «Особливості підготовки вчителів природничо-математичних дисциплін в умовах переходу школи на профільне навчання» (Херсон, 2004); «Чернігівські методичні читання з фізики, 2005 р.» (Ніжин, 2005); науково-методичному семінарі «Комп'ютерне моделювання в освіті» (Кривий Ріг, 2006); «Чернігівські методичні читання з фізики, 2006 р.» (Чернігів, 2006); «Кредитно-модульна технологія навчання та методичне забезпечення контролю якості успішності» (Полтава, 2006); «Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі» (Кривий Ріг, 2004–2008 рр.); «Чернігівські методичні читання з фізики, 2007 р.» (Ніжин, 2007); «Фізико-технічна і фізична освіта у гуманістичній парадигмі» (Керч, 2007); «Чернігівські методичні читання з фізики, 2008 р.» (Чернігів, 2008); «Проектування освітніх середовищ як ме-

тодична проблема» (Херсон, 2008); «Актуальні питання методики навчання фізики та астрономії в середній та вищій школах» (Київ, 2008); «Чернігівські методичні читання з фізики. 2009 р.» (Чернігів, 2009); «Безперервна фізико-математична освіта: проблеми, пошуки, перспективи» (Бердянськ, 2009); «Засоби і технології сучасного навчального середовища» (Кіровоград, 2010);

- на засіданнях всеукраїнського семінару «Актуальні проблеми викладання фізики і астрономії» (Київ, 2001, 2003, 2006, 2009, 2010); а також на щорічних наукових звітних конференціях Криворізького державного педагогічного університету, засіданнях методичного семінару кафедри фізики.

Основні результати дослідження опубліковано в 75 наукових і науково-методичних працях загальним обсягом понад 120 умовних друкованих аркушів. Серед них 1 монографія; 6 посібників, два з яких мають відповідні грифи МОН України; 36 статей (з них 26 одноосібних) у провідних наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України; 29 статей і тез у збірниках наукових праць і збірниках матеріалів конференцій. Одноосібних публікацій з теми дослідження – 47.

Кандидатська дисертація з теми «Дослідження природи низькочастотних шумів фотоструму в полікристалічних шарах сульфїду кадмію» за спеціальністю 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків захищена у 1976 році. Матеріали кандидатської дисертації у тексті докторської дисертації не використано.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 347 найменувань на 36 сторінках, 11 додатків на 57 сторінках і має обсяг 488 сторінок. Основний текст містить 80 рисунків, 19 таблиць і викладений на 380 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність дослідження, визначено його об'єкт, предмет, мету, завдання, висвітлено наукову новизну, теоретичне й практичне значення одержаних результатів і висновки про їх упровадження; указано особистий внесок автора; охарактеризовано структуру роботи та доробок автора з даної теми.

У **першому розділі «Науковий і дидактичний аналіз електродинаміки»** проаналізовано структуру, теоретичні й методичні засади вивчення електродинаміки у вищому педагогічному навчальному закладі за традиційними підходами до викладання цих дисциплін.

Детально проаналізовано два методи обґрунтування рівнянь Максвелла – згідно з традиційною схемою навчання електродинаміки (шляхом так званого «узагальнення» експериментальних фактів) та на основі принципу найменшої дії (ПНД) (див. рис. 1 і рис. 2, де представлені структури змістових компонентів навчання електродинаміки за традиційною методикою та на основі ПНД).

Показано переваги і недоліки кожної з них.

Виявилося, що для послідовного обґрунтування рівнянь Максвелла на основі ПНД необхідно постулювати:

- ✓ вигляд 4-вимірному потенціалу електромагнітного поля (ЕМП);
- ✓ вигляд дії для зарядженої частинки в ЕМП;
- ✓ справедливість принципу найменшої дії для ЗЧ в ЕМП.

До того ж необхідно ввести додаткові, не прості для засвоєння студентами, поняття й величини: інтервал, 4-вимірний потенціал, 4-вимірний радіус-вектор, функцію дії.

На основі ПНД формально просто обґрунтовується перша пара рівнянь Максвелла. Але при цьому втрачається зв'язок з вихідними означеннями фізичних величин, зокрема поняттями напруженості електричного та індукції магнітного полів, які доволі абстрактно виводяться з рівняння руху зарядженої частинки.

Виявляється, що побудову теорії й вивчення електродинаміки на основі ПНД слід робити з максимальним наближенням і до експериментальних фактів, і до поступового введення надзвичайно формальним шляхом фізичних величин.

При цьому слід обов'язково весь час простежувати сумісність одержаних з використанням ПНД результатів з рівняннями Максвелла, *які одержані іншим шляхом, або розглядаються як результат узагальнення дослідних фактів* у даному підході.

Тобто метод, оснований на ПНД, хоч і відповідає деяким критеріям принципу фундаменталізації, є дещо непослідовним.

Але як плату за цю абстрактність маємо цілісний, системний, в Ейнштейнівському розумінні, підхід до вивчення електродинаміки.

Проаналізований підхід при цьому являє собою довге, абстрактне, формальне обґрунтування з попереднім введенням значної кількості 4-х вимірних величин, зміст і властивості яких сприймаються студентами важко й непереконливо. Але на цьому шляху одержується ряд надзвичайно важливих результатів: і рівняння руху зарядженої частинки в 4-вимірній формі, і тензор ЕМП, і рівняння поля в 4-вимірній формі, і друга пара рівнянь Максвелла у вакуумі та середов

Такий підхід, на наш погляд, при вивченні класичної електродинаміки в рамках базової вищої освіти в педагогічних університетах неприйнятний і недоцільний з огляду на його абстрактність, формальність і деяку відірваність від тих фізичних уявлень, які формуються в студентів-фізиків педагогічних університетів, бо не дає детальної фізичної інтерпретації електродинамічних явищ, що вивчаються.

Кращим для засвоєння й розуміння максвеллівської теорії, на нашу думку, є підхід в обґрунтуванні рівнянь Максвелла, оснований на експериментально-дослідних законах, оскільки він є більш наочним на відміну від підходу, що базується на принципі найменшої дії, містить значно менше елементів векторної алгебри.

І, крім того, в рамках цього підходу можна більш доступно пояснювати фізичну суть таких понять, як електромагнітне поле, напруженість електромагнітного поля, індукція тощо.

У той же час традиційна методика навчання електродинаміки в педагогічних ВНЗ характеризується рядом недоліків. Перш за все вона переважно, на нашу думку, носить електротехнічний характер.

Надмірне узагальнення емпіричних фактів, непослідовність викладу, нехтування релятивістськими поправками в обґрунтуванні явищ, що безпосередньо належать до галузі СТВ, призводить до деякої відчуженості змісту електродинаміки як навчальної дисципліни, від релятивістської фізики.

У рамках цієї методики емпіричний рівень засвоєння знань забезпечується індуктивним підходом до пізнання й навчання.

Традиційна методика навчання основана на об'єднанні великого числа окремих дослідних фактів у формі емпіричних законів, з яких шляхом порівняння встановлюються загальні закони.

При вивченні класичної електродинаміки за традиційною методикою послідовно не використовуються методи теорії відносності, і, як наслідок, студенти не в повному обсязі отримують суттєво-важливу інформацію, а це гальмує процес формування фізичного стилю їх мислення.

З огляду на концепцію фундаментальності фізичної освіти, *глибинні причини та необхідність появи магнітного поля не можуть бути висвітлені в принципі в рамках традиційної методики.*

Не знаходить також адекватного відображення при навчанні студентів електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах характерна тенденція розвитку сучасної фізики: спираючись на невелике число основних принципів пояснити всю сукупність фізичних явищ та законів цього розділу фізики.

Відтак, при вивченні електродинаміки за традиційною методикою не реалізований прин-

цип фундаменталізації. При аналізі навчального матеріалу було з'ясовано необхідність коректування «традиційних» підходів до засвоєння базових понять і явищ електродинаміки студентами, а саме:

- ✓ закон ЕМІ потребує такого узагальнення, щоб його локальна форма відображала дві фізичні причини, які лежать в основі явища ЕМІ;
- ✓ класичний закон Біо-Савара та закон Кулона не повинні використовуватися одночасно при аналізі електромагнітних явищ, адже це призводить до принципових помилок і суперечностей;
- ✓ закони Біо-Савара, Ампера-Грассмана, своєю чергою, самі потребують обґрунтування, оскільки не є суто експериментальними.

Традиційна методика і методика, заснована на ПНД, подають формальне й непереконливе обґрунтування рівняння Максвелла, переобтяжене значною кількістю «незалежних фундаментальних експериментальних фактів». Очевидно, необхідна зміна догматичної методики навчання електродинаміки.

У розділі показано, що в структурі викладання класичної електродинаміки за традиційною методикою виникає ряд суперечностей між теоретичним обґрунтуванням та дослідними факторами. Перш за все це стосується фізичного пояснення явища виникнення МП постійних та квазістаціонарних струмів.

Дійсно, у посібниках з електродинаміки як для вищої школи, так і для СНЗ взагалі не обговорюється питання про механізм виникнення МП постійних струмів. Обговорення та фізичне пояснення зводиться до словосполучень на зразок «електричний струм супроводжується магнітним полем», «з рухом заряджених частинок зв'язане магнітне поле», «навколо рухомих зарядів (струмів) існує магнітне поле».

Отримані узагальнення виокремили позитивні та негативні сторони використання зазначених вище підходів при вивченні класичної електродинаміки й у цілому дали змогу вважати, що попри наявності суттєвих методичних і методологічних переваг, такі підходи не є сприятливими в навчанні студентів педагогічних університетів.

Таким чином, здійснений аналіз показав, що при вивченні електродинаміки в педагогічному ВНЗ за традиційною загальноприйнятою методикою, а також за методикою, основаною на ПНД, виникає низка нерозв'язаних науково-методичних проблем, суперечностей і непослідовностей. Відтак, очевидно є потреба у створенні методичної системи вивчення основних положень електродинаміки, яка не мала б зазначених вище недоліків і базувалася б на послідовно релятивістських засадах.

Тому нами запропоноване таке бачення процесу навчання електродинаміки: *виходячи із закону Кулона та принципу відносності, як фундаментальних та незалежних один від одного*

положень, обґрунтуємо основні закони електродинаміки постійних і квазістаціонарних струмів, спростуємо суперечності й недоліки «традиційної» методики навчання електродинаміки, запропонуємо пояснення фізичного механізму породження магнітного поля, обґрунтуємо систему рівнянь Максвелла у вакуумі, і розробимо методику навчання основ електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах, як релятивістської теорії. «...то це означає, що ми намагаємося знайти систему ідей, яка дозволила б нам по можливості просто пов'язати воєдино факти, що спостерігалися. Але така простота зовсім не означає, що засвоєння саме цієї системи надасть студентові менше всього клопоту. Ми маємо на увазі лише те, що система містить найменше можливе число незалежних постулатів або аксіом». (А. Ейнштейн).

У другому розділі «Теоретичні основи навчання електродинаміки як релятивістської теорії» розкрито теоретичні основи й концептуальні засади навчання електродинаміки як релятивістської теорії, розглянуто трактування основних законів електродинаміки у «традиційному» та власне авторському баченні. Обґрунтовано основні закони електродинаміки постійних і квазістаціонарних струмів, спростовано суперечності й недоліки «традиційної» методики навчання електродинаміки, дано пояснення фізичного механізму породження магнітного поля постійними струмами, обґрунтовано систему рівнянь Максвелла у вакуумі.

Обґрунтовано висновок про те, що, оскільки класична електродинаміка є лорентцковаріантною теорією, то в логічному і в методичному відношеннях більш доцільним є викладання основи електродинаміки з послідовним використанням релятивістських ідей і методів.

Тому в основу вивчення магнітної взаємодії має бути покладений аналіз взаємодії двох ЗЧ, що рухаються з довільною за величиною швидкістю паралельно одна одній з $\vec{v} = \text{const}$.

Авторський підхід, реалізований у змісті цього розділу, дав змогу обґрунтувати з перших принципів на основі послідовного аналізу моделі взаємодії двох заряджених частинок, які рухаються з постійною швидкістю, з урахуванням принципів спеціальної теорії відносності, дедуктивного та проблемного підходів: формули для сили Лорентца; формули для сили Ампера; вираз для індукції магнітного поля, яке зв'язане з рівномірним рухом ЗЧ; закон Біо-Савара в релятивістській формі

Здійснений аналіз дав можливість упевнено вважати формули для сили Лорентца, формули для сили Ампера класичний закон Біо-Савара і закон ЕМІ нефундаментальними, оскільки вони виявилися наслідками більш загальних положень.

Показана необхідність обов'язкового врахування релятивістських ефектів, навіть якщо вони й нескінченно малі, для коректного опису електромагнітних явищ.

Так, закон Біо-Савара в релятивістській формі дає коректний опис фізичних явищ, зокрема для електромагнітного поля прямолінійного й рівномірного руху носіїв заряду.

Аналіз електромагнітного поля рівномірно рухомої зарядженої частинки (ЕМП РЗЧ) поза межами ЗЧ приводить до послідовного та несуперечливого обґрунтування фундаментальних рівнянь

На основі запропонованого й детально описаного фізичного механізму породження магнітного поля в просторі навколо провідника з постійним струмом (ППС) показано, що фізичною причиною виникнення магнітного поля в околі провідника зі струмом є тільки струм зміщення.

Обґрунтовано помилковість твердження, що закон електромагнітної індукції в інтегральній формі («правило потоку») є експериментальним законом. Цей висновок важливий для усвідомлення співвідношення теоретичного й емпіричного в процесі пізнання фізичних явищ та формулювання законів і принципів, які описують ці явища.

Уперше показано, що в основі явища ЕМІ лежать принцип відносності та закон Кулона, а закон ЕМІ у формі є наслідком принципу відносності, принципу суперпозиції та закону Кулона.

Таким чином, у результаті проведених досліджень можна констатувати (на відміну від тверджень Р. Фейнмана про відсутність єдиного глибокого принципу, який лежить в основі закону ЕМІ), що знайдений такий фундаментальний принцип. Це подання закону ЕМІ у формі

Показано, що на основі узагальненого закону ЕМІ стає можливим опис тих явищ, які в традиційній методиці вивчення явища електромагнітної індукції інтерпретуються на основі уявлень про її подвійну природу.

Тобто інтегральній формі закону ЕМІ відповідає локальна форма узагальненого закону ЕМІ.

Нами більш послідовно обґрунтована формула для швидкості зміни в часі потоку довільного векторного поля \vec{a} через рухому поверхню S .

І показано, що:

А) ця формула має місце тільки при $\vec{v} = const$ (швидкість \vec{v} усіх точок контуру, який обмежує рухому поверхню S , однакова);

Б) вона також може бути обґрунтована, виходячи з виразу субстанціональної похідної за часу довільного векторного поля.

Запропоновані способи обґрунтування основних положень електродинаміки та рівнянь Максвелла розглядаємо не як абсолютно точне їх доведення, а як певний дидактичний шлях, методичний прийом.

Запропонована авторська структура змістового компоненту методики навчання електродинаміки на засадах спеціальної теорії відносності (рис. 3).

У третьому розділі «Методична система навчання електродинаміки як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах» обґрунтовано необхідність перебу-

дови частини змісту та структури змістового компоненту розділу «Класична електродинаміка» курсу теоретичної фізики для студентів вищих педагогічних навчальних закладів на засадах генералізації знань навколо принципу відносності та поняття електромагнітного поля.

Створено модель навчання електродинаміки як релятивістської теорії студентів вищих педагогічних навчальних закладів (структура моделі показана на рис. 4), під якою розуміємо схематизоване представлення всіх організаційно-методичних заходів, що забезпечують результативність цього процесу.

Здійснено аналіз механізмів забезпечення результативного навчання електродинаміки на засадах теорії відносності студентами педагогічних ВНЗ та обґрунтовано висновок про доцільність побудови методики навчання цього розділу на основі компетентнісного, дедуктивного, проблемного та задачного підходів (близько 200 оригінальних задач) до організації навчального процесу.

Запропоновано методичну концепцію вивчення законів і властивостей магнітного поля постійних і квазістаціонарних струмів в контексті теорії відносності, яка включає:

- детальне вивчення властивостей електромагнітного поля рухомої ЗЧ;
- обґрунтування закону (1);
- застосування його для розрахунків індукції магнітного поля, взаємодії струмів в конкретних електродинамічних явищах;
- розгляд граничних випадків, коли $\beta \ll 1$, та ілюстрацію принципу відповідності;
- аналіз електромагнітного поля рівномірно рухомої зарядженої частинки, що приводить до послідовного та несуперечливого обґрунтування фундаментальних рівнянь $\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$ та
- детальний опис (на конкретних задачах) фізичного механізму породження магнітного поля постійних і квазістаціонарних струмів – фізичною причиною виникнення магнітного поля в околі провідника зі струмом являється тільки струм зміщення;
- активне використання в навчальному процесі, створених нами, комп'ютерних програм.

Оскільки в рамках запропонованої нами методичної концепції вивчення електродинаміки закон Біо-Савара в релятивістській формі (1) є наслідком закону Кулона та принципу відносності, то, як ми вважаємо, при вивченні та поясненні закону Біо-Савара не варто наголошувати на його експериментальній основі, посилаючись на досліди Біо та Савара, які начебто привели до формулювання (2).

На конкретних прикладах проілюстровано методику застосування узагальненого закону електромагнітної індукції.

Показано необхідність обов'язкового врахування релятивістських ефектів, навіть якщо вони й нескінченно малі, для коректного опису електромагнітних явищ.

Дійсно, якщо не враховувати релятивістських поправок в виразах для напруженості електричного \vec{E} та індукції магнітного \vec{B} поля РЗЧ, то в СВ K $rot\vec{E}_{кл} = 0$, а $\frac{\partial\vec{B}_{кл}}{\partial t} \neq 0$, і таким чином, $rot\vec{E}_{кл} \neq \frac{\partial\vec{B}_{кл}}{\partial t}$, що суперечить принципу відносності.

Під час роботи з матеріалами встановлено, що деякі питання теми складні для сприйняття студентами з причини високої абстрактності матеріалу.

Для унаочнення теоретичних висновків створені й упроваджені в навчальний процес комп'ютерні навчальні програми:

- для імітаційного моделювання залежності від швидкості руху частинки та кута спостереження напруженості електричного та індукції магнітного полів ЕМП зарядженої частинки, що рухається рівномірно і прямолінійно;
- для імітаційного моделювання розподілу в просторі струмів зміщення рівномірно рухомої зарядженої частинки;
- для моделювання результатів можливих дослідів Біо та Савара;
- «Компонент» для моделювання відносності електричного й магнітного полів. Розроблений програмний продукт дає можливість моделювати поведінку компонент тензора f_{ik} електричного та магнітного полів в середовищі, а також компонент тензора поляризації та намагнічування m_{ik} .

У дидактиці фізики слід еволюціонувати від емпіризму до широких теоретичних узагальнень з використанням фундаментальних фізичних теорій.

Тобто, базуючись на принципах дидактики вважаємо, що, коли в науці зроблений крок до більш глибокого розуміння фізичних явищ, то при вивченні й поясненні цих фізичних явищ в ВНЗ чи СНЗ слід відображати цей більш високий рівень розуміння та адекватної інтерпретації.

Послідовна реалізація запропонованої нами методики навчання дає можливість проілюструвати використання методів наукового пізнання для одержання фізичних закономірностей, а не просто стверджувати: «як показують досліди», – для повідомлення готових законів і формул фізики.

Експеримент показав, що запропонована нами методика сприяла отриманню студентами узагальнених знань з електромагнетизму, систематизованих навколо спільного теоретичного ядра, полегшила усвідомлення як окремих законів електродинаміки, так і всього курсу електродинаміки в цілому і сприяла формуванню у свідомості студентів наукового стилю мислення та електромагнітної картини світу.

Досвід викладання та педагогічний експеримент показали, що сукупність таких педагогічних і методичних підходів позитивно вплинули на активізацію пізнавальної діяльності студентів та рівень опанування ними питань цієї теми.

У четвертому розділі «Формування уявлень про єдність електричного та магнітного полів» у контексті завдань дослідження запропоновано й апробовано нові оригінальні способи обґрунтування формул перетворення компонент електромагнітного поля (ФПКЕМП), у яких не використовується поняття тензора ЕМП.

Ці три нових способи обґрунтування ФПКЕМП можуть бути використані навіть в навчальному процесі фізико-математичних класів СНЗ, оскільки в математичному відношенні вони ґрунтовані на алгебрі шкільного курсу математики. Ці способи обґрунтування ФПКЕМП дають можливість не тільки довести формули перетворення, але й більш ґрунтовно пояснити учням і студентам закони електромагнетизму та методику застосування принципу відносності.

Використання в навчальному процесі комп'ютерної програми «Компонент», створеної для моделювання відносності електричного і магнітного полів, як показує досвід навчання студентів, дає можливість більш ґрунтовно й наочного ілюстрування основних наслідків ФПКЕМП. З допомогою розробленої комп'ютерної програми можна більш детально аналізувати ФПКЕМП.

Програма дає можливість наочно уявити та подати електромагнітне поле й перетворення його компонент при переході від однієї системи відліку до іншої, причому не лише якісно – у вигляді відповідних зображень, але й кількісно, оскільки значення векторів \vec{E} і \vec{B} можуть бути розраховані з будь-якою точністю за відомими полями \vec{E}' і \vec{B}' та швидкістю руху СВ K' відносно СВ K .

До методичних основ вивчення властивостей електромагнітного поля та відносності поділу його на суто електричне й суто магнітне поля на засадах теорії відносності було включено проблемний і задачний підходи до подання навчального матеріалу та його засвоєння. За цією темою розроблено близько 40 задач, які мали на меті викликати в студентів певні утруднення, збуджувати інтерес через нестандартний підхід до їх розв'язання, активізувати до пошуку розв'язків, сприяти засвоєнню навчального матеріалу. Використання цих задач в навчальному процесі позитивно вплинуло на активізацію пізнавальної діяльності студентів та рівень опанування цього питання.

Використання методів СТВ при поясненні природи ЕРС уніполярної індукції робить зайвими й надуманими проблеми нерелятивістського обґрунтування цього явища.

А саме: чи обертається магнітне поле разом з магнітом; у якій частині замкненого контуру виникає ЕРС індукції: у нерухомих провідниках, що приєднують вольтметр до уніполярного гене-

ратора чи всередині самого магніту. Релятивістський підхід спростовує подібні суперечливі пояснення природи ЕРС уніполярної індукції.

Подібні міркування стають досить корисними для підвищення фундаментальної підготовки майбутніх учителів фізики та випускників ВНЗ за спорідненою спеціальністю.

У п'ятому розділі «Релятивістські ефекти при описі взаємодії провідників з постійними струмами» подано спершу аналіз навчально-методичної літератури щодо пояснення природи та властивостей стаціонарного електричного поля постійного струму (СЕПДС) і стану руху тих поверхневих зарядів, які породжують СЕПДС.

Показано, що протиріччя й суперечності в інтерпретації природи СЕПДС стосуються стану руху поверхневих зарядів і питання щодо потенціальності чи непотенціальності СЕПДС.

Дійсно, одні автори вважають, що СЕПДС створюється нерухомими й постійними в часі поверхневими зарядами, інші – що СЕПДС створюється рухомими зарядами. Але й ті, й інші автори стверджують, що СЕПДС є кулонівським і потенціальним незважаючи на те, що заряджені частинки, які створюють його, рухаються.

З вихідних принципів нами знайдено вирази для напруженості електричних полів, які породжується лінійною процесією ЗЧ та рівномірно рухомою зарядженою ниткою, і *показано, що ці поля непотенціальні*.

Показано еквівалентність ЕМП зарядженої нитки, що рухається рівномірно, та ЕМП провідника з постійним струмом такої ж довжини, дрейфова швидкість електронів провідності якого дорівнює швидкості руху нитки.

На основі принципів науковості (принцип відносності, принцип відповідності), принципу фундаментальності, дедуктивного, проблемного та задачного підходів до організації навчального процесу спростовано зазначені вище суперечності в інтерпретації потенціальності СЕПДС.

Тобто в моделі провідника з постійним струмом, яка широко використовується в дидактиці фізики, запропоновано пояснення дослідної неспостережуваності непотенціального електричного поля лінійної процесії ЗЧ: у будь-якій точці простору в будь-який момент часу в околі провідника з постійним струмом чи рухомої зарядженої нитки непотенціальне електричне поле *компенсується* вихровим електричним полем, зумовленим зміною індукції магнітного поля в часі, $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. Тут $\vec{B}(\underline{r}, y, z, t)$ – індукція магнітного поля, яке породжується лінійною процесією ЗЧ (відрезком провідника з постійним струмом). Причому $\vec{B}(\underline{r}, y, z, t)$ знаходиться згідно із законом (1).

Це ще раз підтверджує висновок про те, що при аналізі будь-яких електродинамічних явищ використання нерелятивістських наближень (формул, виразів, співвідношень) є некорект-

ним. Нехтування навіть мізерними релятивістськими ефектами при аналізі електромагнітних явищ приводить до «втрати» фізичного явища в теоретичному пізнанні, або до виникнення протиріч у поясненні явища.

У розділі проаналізовано фізичні причини, які можуть приводити до виникнення об'ємного заряду в металевому провіднику з постійним струмом.

Об'ємний заряд в однорідному ППС може виникати через пінч-ефект і в результаті релятивістських змін густини заряду електронів провідності та іонів кристалічної ґратки при русі їх відносно довільної системи відліку.

Уперше показано, що наявні в науково-методичній літературі пояснення причин появи «заряду провідника зі струмом» суперечливі й потребують уточнень. Ці суперечності зумовлені вибором умови нейтральності ППС.

Уперше проведений критичний аналіз умов нейтральності ППС, які прийняті в деяких посібниках з електродинаміки та в науково-методичних статтях.

З методичною метою подано взаємоузгоджене обґрунтування формул перетворення об'ємних густин заряду та струму при переході від до допомогою формул перетворення компонент 4-струму, та виходячи з фізичного змісту цих величин, у загальному випадку, коли і в рамках кожної з умов нейтральності, де, c – швидкість світла у вакуумі, – густини зарядів електронів провідності і позитивних іонів, відповідно, у власних системах відліку.

У рамках проблемного та задачного підходів показано, за умови нейтральності ППС, запропонованої нами, що сила взаємодії паралельних ППС, яка припадає на одиницю довжини кожного з них, з однаковою і протилежно один одному напрямленими струмами, відповідно, дорівнює

(3)

(4)

де a – віддаль між, I – сила струму, Формули (3) і (4) відрізняються від загальноприйнятого виразу,

Аналіз ЕМП, яке створюється лінійним провідником зі струмом в традиційній і нашій моделі ППС, показав, що при використанні традиційної моделі ППС порушується можливість фізичної адаптації, що «є вирішальною умовою реалізації фізичної відносності» (В. О. Фок). Таким чином, при вивченні СТВ, електродинаміки та застосуванні методів СТВ слід розрізняти фізичну відносність, як принцип «що стверджує існування відповідних явищ у різних системах відліку, і простою вимогою коваріантності рівнянь при переході від однієї СВ до іншої» (В. О. Фок).

У контексті задачного підходу подано різні прояви електромагнітної (ЕМ) взаємодії та різні описи ЕМ взаємодії двох ППС в конкретному прикладі.

При цьому ілюструється принцип відносності, методика його використання, показується інваріантність величини сили цієї взаємодії, підтверджується вірогідність одержаного результату та відмінність його від класичної формули.

Показано, що при переході від однієї системи відліку до іншої вирази для сили взаємодії між двома паралельними ППС з урахуванням релятивістського «заряду провідника зі струмом» та в традиційній моделі, коли у власній системі відліку (ВСВ) провідник зі струмом нейтральний, перетворюються згідно з вимогами теорії відносності.

На основі дидактичних принципів науковості та методологічної спрямованості при вивченні електродинаміки, послідовності, принципу фундаментальності, дедуктивного, проблемного та задачного підходів до організації навчального процесу, зв'язку практичного досвіду з науковими положеннями нам вдалося проілюструвати: «роботу» принципу відносності, принципу відповідності, сформулювати проблему вибору адекватної моделі, діалектику емпіричного та теоретичного в структурі фізичного знання й розуміння зв'язку теорії та експерименту.

І, таким чином, методика навчання електродинаміки є узгодженою, скоординованою з методологією базової науки для формування в студентів світогляду та фізичного стилю мислення, уявлень про методи наукового пізнання.

У шостому розділі **«Організація проведення та результати педагогічного експерименту»** обґрунтовано методику проведення та результати педагогічного експерименту щодо впровадження й апробації експериментальної методики навчання електродинаміки як релятивістської теорії в педагогічних ВНЗ.

Для виявлення впливу розробленої нами методики навчання електродинаміки як релятивістської теорії на якість навчання нами проведено експериментальне дослідження, що відбувалося в декілька етапів.

На підготовчому етапі (1998–2001 рр.) опрацьовувалась література, формулювалася й уточнювалася гіпотеза експериментального дослідження, на основі вивчення й аналізу теоретичних джерел визначались особливості вивчення електродинаміки в працях різних методистів, розроблялись теоретичні засади вивчення електродинаміки на основі теорії відносності.

Констатувальний етап педагогічного експерименту здійснювався протягом 2001–2002 рр. і мав на меті:

- вивчення підходів, які пропонуються викладачами фізики вищих і середніх навчальних закладів при вивченні класичної електродинаміки;
- ознайомлення з досвідом викладачів, пов'язаним з організацією навчального процесу з вивчення електричних і магнітних явищ у школі й ВНЗ;

– аналіз отриманої інформації з позицій реалізації в реальному процесі ідей фундамента- лізації та забезпечення умов для підвищення результативності пізнавальної діяльності студентів – майбутніх учителів фізики.

На цьому етапі встановлено, що при вивченні більшості тем курсу фізики навчання від- бувається індуктивним шляхом: від конкретного до загального. У більшості випадків увага сту- дентів концентрується на конкретних фактах, визначеннях, законах, а не на їх взаємозв'язках.

Узагальнення знань, їх систематизація та усвідомлення внутрішньої структури не відбу- вається. Тобто студенти не розуміють, що є головним у розділі, а що другорядним; що є причи- ною, а що наслідком подій; які поняття і закони є фундаментальними, а які є окремими випад- ками, справедливими лише за певних умов, припущень і спрощень. З цих причин знання, яких набувають студенти, є статичними, не взаємопов'язаними.

Відповіді викладачів ВНЗ на питання анкети засвідчили, що при викладанні класичної електродинаміки вони практично не використовують методи СТВ. А до фундаментальних неза- лежних і експериментальних законів електродинаміки, згідно з традиційною методикою її ви- вчення, відносять закон Кулона, закон електромагнітної індукції, закон Біо-Савара, закон збе- реження заряду, вирази для сили Ампера та сили Лорентца.

Тобто при вивченні цього розділу «Теоретичної фізики» переважає індуктивний підхід до вивчення електромагнітних явищ.

Третій етап дослідження – пошуково-аналітичний – тривав з 2002 по 2003 рік і мав на меті:

– обґрунтування критеріїв результативності розробленої методики вивчення властиво- стей електромагнітного поля стаціонарних і квазістаціонарних струмів на засадах теорії віднос- ності та їх показників.

– відбір навчальних закладів для проведення формувального експерименту та підгото- вка викладачів до проведення експериментального навчання.

У якості критеріїв і показників результативності розробленої методики навчання студен- тів класичної електродинаміки на засадах теорії відносності нами вибрані такі.

До критеріїв результативності запропонованої методики віднесено мотиваційний, когніти- вний, діяльнісний, світоглядний та оцінно-рефлексивний. Мотиваційний критерій відображає ха- рактер мотивів, ієрархію потреб студентів у вивченні курсу теоретичної фізики. Когнітивний критерій дає можливість оцінити ступінь якості засвоєних студентами знань. Діяльнісний перед- бачає визначення ступеня засвоєння студентами основних умінь, необхідних для вирішення на- вчально-пізнавальних завдань. Доцільність уведення світоглядного критерію визначається необ- хідністю оцінки впливу системи навчання на формування наукового світогляду майбутніх вчите- лів. Оцінно-рефлексивний критерій ураховує специфіку навчання студентів у педагогічному ВНЗ

та оцінює якість тих новоутворень, які забезпечують професійне становлення студентів як майбутніх вчителів фізики.

Відповідно до названих критеріїв виділено показники, описано ознаки рівнів їх сформованості, зміст діагностичних процедур щодо дослідження результативності впровадження експериментальної методики за кожним з критеріїв та за чотирма загальними рівнями.

Таблиця 1

Методика оцінки результативності вивчення електродинаміки як релятивістської теорії студентами вищих педагогічних навчальних закладів

Таблиця 2

Більш наочно відмінності можна побачити за допомогою ілюстративної діаграми (рис. 5).

ВИСНОВКИ

У дисертації зроблено теоретичне узагальнення й розроблено нову науково-методичну систему навчання електродинаміки на основі принципів фундаментальності й наочності, дедуктивного, компетентісного, проблемного та задачного підходів до організації навчального процесу з використанням закону Кулона та методів спеціальної теорії відносності.

У цій науково-методичній системі навчання електромагнетизму експериментальний і теоретичний методи пізнання у фізиці доповнюють один одного та сприяють розвитку й еволюції наукового знання.

Узагальнюючи результати вищевикладеного дослідження щодо методики навчання електродинаміки як релятивістської теорії, сформулюємо висновки.

1. У дисертаційному дослідженні на основі принципу фундаменталізації концептуально обґрунтовано теоретичні, методологічні та методичні основи формування структури й змісту курсу теоретичної фізики для педагогічних ВНЗ (на прикладі електродинаміки), фундаментальними для цього визначено принцип відносності та закон Кулона; уперше теоретично обґрунтовано методи вивчення основних законів електродинаміки з використанням методів спеціальної теорії відносності й дійсно фундаментального експериментального закону Кулона.

В основі проявів електромагнітних ефектів лежить невелике число фундаментальних принципів, і зокрема принцип відносності. Принцип відносності не є наслідком електромагнітних взаємодій (хоча історично саме так відбувалося становлення цього принципу). Він сам є фундаментальним і основоположним при описі фізичної реальності. Ця ідея повинна пронизувати вивчення всіх розділів електродинаміки.

2. Уперше показано, що для традиційної методики навчання електродинаміки характерні принципові недоліки. Класичний закон Біо-Савара та закон Кулона не повинні використовуватися одночасно при аналізі електромагнітних явищ, адже це призводить до принципових помилок і суперечностей.

На основі наукових досягнень розроблено концепцію фізичної освіти студентів, яка передбачає відхід від традиційних класичних підходів до реалізації змістового компоненту побудови навчального матеріалу, і запропоновано її для реалізації у навчальному процесі.

3. Уперше розроблено методику навчання електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах як релятивістської теорії.

У цій методичній та методологічній концепціях навчання електродинаміки закони Ампера, Біо-Савара, вираз для сили Лорентца, закон електромагнітної індукції не слід розглядати як фундаментальні, оскільки вони є наслідками принципу відносності, принципу суперпозиції та закону Кулона.

Фундамент електродинаміки – рівняння Максвелла – у дидактиці фізики можуть бути обґрунтовані на основі значно меншого числа незалежних фундаментальних принципів, ніж це прийнято в традиційній методиці навчання електродинаміки в педагогічних ВНЗ. А саме – на основі принципу відносності та закону Кулона.

Показано, що запропонована нами науково-методична система навчання електродинаміки в більшій мірі відповідає суті й методології цього розділу фізики як наукової галузі.

4. Уперше в рамках концепції близькодії обґрунтовано фізичне й методичне пояснення механізму виникнення магнітного поля квазістаціонарних струмів.

Показано, що фізичною причиною виникнення магнітного поля стаціонарних і квазістаціонарних струмів є струм зміщення в просторі поза межами провідника зі струмом.

5. Створено й упроваджено в навчальний процес комп'ютерні програми:

- а) «Компонент» для моделювання відносності електричного і магнітного полів;
- б) для імітаційного моделювання залежності електромагнітного поля зарядженої частинки, що рухається рівномірно й прямолінійно від швидкості руху частинки та кута спостереження;
- в) для імітаційного моделювання розподілу в просторі струмів зміщення рівномірно рухомої зарядженої частинки;
- г) для комп'ютерного моделювання дослідів Біо та Савара.

6. Упроваджено в навчальний процес вищих педагогічних навчальних закладів авторські посібники [1; 3; 4; 5; 6; 7].

Показано конкретне застосування принципів теорії відносності для фізичного аналізу багатьох електродинамічних задач; на засадах спеціальної теорії відносності проведений фізичний

і методичний аналіз значної кількості традиційних та оригінальних навчальних прикладів; продемонстровано евристичну й дидактичну роль електродинамічних моделей як у пізнанні так і при вивченні електродинаміки.

7. Запропоновано й упроваджено методику формування поняття про відносність поділу електромагнітного поля на суто електричне та суто магнітне поля, яка основана:

- на оригінальних способах обґрунтування формул перетворення компонентів електромагнітного поля при переході від однієї системи відліку до іншої;
- на фізичному й методичному аналізі оригінальних та традиційних навчальних задач;
- на детальному аналізі наслідків формул перетворення компонентів електромагнітного поля;
- на використанні авторської навчальної комп'ютерної програми.

8. Уперше

- подано релятивістський опис взаємодії між провідниками зі струмами;
- у моделі провідника з постійним струмом, яка широко використовується в дидактиці фізики, запропоновано пояснення дослідної неспостережуваності непотенціального електричного поля лінійної процесії заряджених частинок;
- показано, що наявні в науково-методичній літературі пояснення релятивістських причин появи «заряду провідника зі струмом» суперечливі й потребують уточнень;
- теоретично і методично обґрунтовано доцільність запропонованої нами несуперечливої умови нейтральності провідника з постійним струмом.

9. Створення методичної системи навчання електродинаміки на засадах генералізації знань навколо принципу відносності та поняття електромагнітного поля на основі принципів науковості та методологічної спрямованості, наочності, дедуктивного, компетентісного проблемного та задачного підходів до організації навчального процесу дало можливість розглядати всі розділи електродинаміки з єдиних позицій, методично поєднаних спільною ідеєю.

Це сприяло отриманню студентами узагальнених знань з електродинаміки, систематизованих навколо спільного теоретичного ядра, формуванню фізичного стилю мислення, електромагнітної картини світу, наукового світогляду і професійно-значущих якостей майбутніх вчителів, полегшило усвідомлення як окремих законів електродинаміки, так і всього курсу електродинаміки в цілому.

10. Послідовна реалізація цієї методичної системи дала можливість проілюструвати використання методів наукового пізнання для одержання фізичних закономірностей, а не просто стверджувати: «як показують досліди», – для повідомлення готових законів і формул фізики.

Поліпшилася науково-методична, фахова, методологічна підготовка студентів до їх професійної діяльності.

Значно зріс інтерес студентів до проблем електродинаміки та методики навчання її, що позначилося на активізації самостійної роботи студентів у процесі навчання.

Експериментально доведено, що методика навчання класичної електродинаміки як релятивістської теорії може бути реалізована викладачами з різним педагогічним стажем і позитивно впливати на результати навчання студентів за п'ятьма критеріями (мотиваційний, когнітивний, діяльнісний, світоглядний та оцінно-рефлексивний). Результати формульованого педагогічного експерименту підтвердили основні положення гіпотези дослідження.

Проведена робота, звісно, не вичерпує всього кола за торкнутої проблематики, зокрема науково-методичні пошуки варто продовжити в таких напрямках: а) обґрунтування з вихідних принципів явища виникнення електромагнітного випромінювання під час прискореного руху ЗЧ; б) розробка методичного забезпечення процесу вивчення природи поверхневих зарядів, які створюють СЕППС; в) створення комп'ютерної програми для вивчення властивостей векторних полів; г) дослідження проблем реформування та вдосконалення змісту фізичної освіти в Україні.

Основний зміст дисертації висвітлено в таких публікаціях автора:

Монографії:

1. 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. : іл.

Навчальні та методичні посібники:

2. Коновал А. А. Релятивистская электродинамика и относительность электрического и магнитного полей : метод. пособие / А. А. Коновал. – Кривой Рог : КГПИ, 1978. – 24 с.

3. Коновал О. А. Лекції з класичної та релятивістської електродинаміки : [навч. посіб для студ. фіз. спец. пед. ун-тів] / О. А. Коновал ; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2006. – 202 с. : іл.

4. Коновал О. А. Задачі з класичної та релятивістської електродинаміки : [навч. посіб для студ. вищ. пед. навч. закл.] / О. А. Коновал ; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2006. – 158 с. : іл.

5. Коновал О. А. Основи електродинаміки : навч. посіб для студ. фіз. спец. пед. ун-тів / О. А. Коновал ; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2007. – 378 с.

6. Коновал О. А. Основи електродинаміки : [навч. посіб для студ. вищ. пед. навч. закл.] / О. А. Коновал ; Міністерство освіти і науки України ; Криворізький державний педагогічний

університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2008. – 347 с.: іл. (*Гриф МОН України № 1.4/18-Г-365 від 08.02.2008*)

7. Коновал О. А. Відносність електричного і магнітного полів : монографічний навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О. А. Коновал ; Міністерство освіти і науки України ; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2008. – 248 с. : іл. (*Гриф МОН України № 1.4/18-Г-1681 від 08.07.2008*).

Статті у наукових фахових виданнях:

8. Коновал О. А. Електричне поле провідника зі струмом / О. А. Коновал // Дидактика дисциплін фізико-математичної та технологічної освітніх галузей : Збірник наук. пр. Кам'янець-Подільського держ. пед. ун-ту. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський : К-ПДПУ, інф.-вид. від., 2002. – Вип. 8. – С. 265–275.

9. Коновал О. А. Закон Біо-Савара в релятивістській формі / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – Вип. 42. – С. 159–165.

10. Коновал О. А. Особливості методики формування поняття «магнітне поле» / О. А. Коновал // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 3. – С. 24–26.

11. Коновал О. А. Релятивістська природа магнітного поля / О. А. Коновал // Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Стратегічні проблеми формування змісту курсів фізики та астрономії в системі загальної середньої освіти» : тези доп. – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2002. – С. 77.

12. Коновал О. А. Дидактичне та евристичне значення деяких моделей при вивченні електродинаміки / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – Вип. 46. – С. 71–76.

13. Коновал О. А. Інноваційна методика вивчення теми «Магнітне поле» в фізико-математичних класах середніх навчальних закладів / О. А. Коновал // Вересень. – 2002. – № 4 (22). – С. 66–71.

14. Коновал О. А. Механізм виникнення магнітного поля при русі протонів / О. А. Коновал // Теорія та методика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін : [зб. наук.-метод. пр.] – Рівне : РДГУ, 2002. – Вип. 4. – С. 123–125.

15. Коновал О. А. Непотенціальність електричного поля рухомої зарядженої частинки і закон електромагнітної індукції / О. А. Коновал // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки». – Чернігів : ЧДПУ, 2002. – Вип. 13 : у 2 т. – Т. 2. – С. 192–195.

16. Коновал А. А. Дидактическое значение адекватных электродинамических моделей / А. А. Коновал, П. И. Самойленко, А. В. Сергеев // Среднее профессиональное образование :

прил. к ежемесячному теоретическому и научно-метод. журн. «СПО». – 2002. – № 4. – С. 136–145. *(Автором розроблені методичні основи розрахунку взаємодії провідників зі струмами методами теорії відносності; загальне редагування статті здійснене співавторами).*

17. Коновал О. А. Струми зміщення і магнітне поле постійних струмів / О. А. Коновал // Наук. записки Нац. пед. ун-ту ім. М. П. Драгоманова : [зб. наук. ст.] / укл. П. В. Дмитренко, Л. Л. Макаренко, В. П. Сергієнко. – К. : НПУ, 2002. – Вип. 48. – С. 150–157.

18. Коновал О. А. Технологія вивчення електродинаміки на основі теорії відносності / О. А. Коновал, О. В. Сергєєв // Педагогічні науки : [зб. наук. праць]. – Херсон : Вид-во ХДУ, 2002. – Вип. 32. – Ч. 2. – С. 72–76. *(Автором запропонована і розроблена інноваційна методика вивчення електродинаміки; загальне редагування статті зроблене співавтором).*

19. Коновал О. А. Необхідність використання деяких властивостей векторного добутку векторів в курсі фізики середніх навчальних закладів / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – Вип. 46. – С. 148–156.

20. Коновал А. А. Модель управління процесом обучения физике: дидактический аспект / А. А. Коновал, П. И. Самойленко, А. В. Сергеев // Специалист. – 2003. – № 4. – С. 35–37. *(Автором розроблена модель управління процесом навчання фізики; інші розробки належать співавторам).*

21. Коновал А. А. Модель управления процессом обучения физике: психолого-педагогический аспект / А. А. Коновал, П. И. Самойленко, А. В. Сергеев // Специалист. – 2003. – № 3. – С. 27–28. *(Автором запропонована модель управління процесом навчання фізики; інші розробки належать співавторам).*

22. Коновал О. А. Формування уявлень про відносність та взаємозв'язок електричного та магнітного полів при вивченні електромагнетизму / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2003. – Вип. 51. – Ч. 1. – С. 135–141.

23. Коновал О. А. Обґрунтування рівнянь Максвелла на основі принципу відносності / О. А. Коновал // Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх учителів фізики та астрономії : Збірник наук. праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський : К-ПДПУ, інф.-вид. від., 2003. – Вип. 9. – С. 101–103.

24. Коновал О. А. Елементарне обґрунтування формул перетворення компонент електромагнітного поля / О. А. Коновал, Ю. В. Єчкало // Наукові записки Нац. пед. ун-ту ім. М. П. Драгоманова : [зб. наук. ст.] / укл.: П. В. Дмитренко, Л. Л. Макаренко, В. Д. Сиротюк]. – К. : НПУ, 2003. – Вип. LIII (53). – С. 143–148. *(Автором розроблений оригінальний спосіб обґрунтування*

формул перетворення компонент електромагнітного поля; інші розробки належать співавторові).

25. Коновал О. А. До питання про зміст та методику вивчення теми «Елементи теорії відносності» / О. А. Коновал // Збірник наукових праць : [спец. випуск] / гол. ред. В. Г. Кузь. – К. : Науковий світ, 2003. – С. 236–242.

26. Коновал О. А. Основні положення інноваційної методики вивчення електромагнетизму в ВНЗ та СНЗ / О. А. Коновал // Педагогіка вищої та середньої школи : [зб. наук. пр.] / за заг. ред. д-ра пед. наук, проф. В. К. Буряка. – Кривий Ріг : КДПУ, 2003. – Вип. 5. – С. 78–80.

27. Коновал О. А. Принцип близькодії і магнітне поле постійних струмів в курсі фізики ВНЗ / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2004. – Вип. 55. – С. 263–270.

28. Коновал О. А. Принцип відносності і закон електромагнітної індукції / О. А. Коновал // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки». – Чернігів : ЧДПУ, 2004. – Вип. 23. – С. 171–177.

29. Коновал О. А. Еволюція поглядів щодо методики формування уявлень про електромагнітне поле у школярів / О. А. Коновал, Ю. В. Єчкало // Фізика та астрономія в школі. – 2004. – № 1. – С. 28–30. *(Автором проведений аналіз методик формування уявлень про електромагнітне поле в учнів; інші розробки належать співавторові).*

30. Коновал О. А. Властивості і моделювання електромагнітного поля рухомої зарядженої частинки / О. А. Коновал, О. В. Швидкий // Матеріали ІХ Всеукраїнської наукової конференції «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики» / уклад.: М. І. Шут, Т. Г. Січкара. – К. : НПУ, 2004. – С. 52. *(Автором запропонована модель та розроблена комп'ютерна програма для моделювання електромагнітного поля рухомої зарядженої частинки; інші розробки належать співавторові).*

31. Коновал О. А. Векторний добуток векторів в курсі фізики середньої школи / О. А. Коновал // Фізика та астрономія в школі. – 2004. – № 3. – С. 45–48.

32. Коновал А. А. О физических причинах возникновения электрического поля проводника с током / А. А. Коновал // Модульные технологии обучения в системе непрерывного профессионального образования (теория и практика) : сб. науч. тр. X Международной научно-методической конференции, Москва, 23–24 марта 2004 г. – Вып. 8. – Ч. 1 / ред. кол.: В. В. Осипов, П. И. Самойленко, Ю. В. Еремин, А. Е. Краснов, В. Д. Малкина, В. Ф. Дмитриева. – С. 171–178.

33. Коновал О. А. Додаткові зауваження до закону Біо-Савара та методики його вивчення у курсі фізики ВНЗ / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2005. – Вип. 60. – С. 263–270.

34. Коновал О. А. Релятивістський опис взаємодії між провідниками зі струмами / О. А. Коновал // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки». – Чернігів : ЧДПУ, 2005. – Вип. 30. – С. 123–130.

35. Коновал О. А. Стационарне електричне поле постійного струму та принцип відносності / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2006. – Вип. 66. – Ч. 2. – С. 138–143.

36. Коновал О. А. Реальність, істина та еквівалентні описи явищ в електродинаміці / О. А. Коновал // Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми : Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський : К-ПДПУ, інф.-вид. від., 2006. – Вип. 12. – С. 117–120.

37. Коновал О. А. Зміна в часі потоку векторного поля через рухому поверхню та фундаментальні закони електродинаміки / О. А. Коновал, М. А. Слюсаренко // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки» : зб. наук. пр. – Чернігів : ЧДПУ, 2007. – Вип. 46 : у 2-х т. – Т. 2. – С. 48–53. *(Автором розроблена методика обґрунтування формули зміни в часі потоку векторного поля через рухому поверхню; інші розробки належать співавторові).*

38. Коновал О. А. Комп'ютерна програма для моделювання відносності електричного і магнітного полів / О. А. Коновал, О. В. Вершинін, О. В. Зуєв // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. – Вип. 72. – Ч. 1. – С. 184–191. *(Автором розроблені фізичні та методичні засади моделювання відносності електричного і магнітного полів та розроблена програма; інші розробки належать співавторам)*

39. Коновал О. А. Роль парадоксів у формуванні фізичного стилю мислення школярів / О. А. Коновал, Г. А. Шиліна // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка : зб. наук. пр. – Серія «Педагогічні науки». – Вип. 46 : у 2-х т. – Т. 1. – Чернігів : ЧДПУ, 2007. – С. 93–98. *(Автором проведений аналіз парадоксів теорії відносності щодо формування фізичного стилю мислення учнів і студентів; інші розробки належать співавторові).*

40. Коновал О. А. Використання програмного модуля «Компонент» для моделювання відносності електричного і магнітного полів / О. А. Коновал, О. В. Вершинін, О. В. Зуєв // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки» : [зб. наук. пр.]. – Чернігів : ЧДПУ, 2008. – Вип. 57. – С. 189–195. *(Автором розроблена методика використання програмного модуля «Компонент» для моделювання відносності електричного і магнітного полів; інші розробки належать співавторам).*

41. Коновал О. А. Електромагнітна індукція при обертанні магнетиків / О. А. Коновал //

Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2008. – Вип. 77. – Ч. 2. – С. 208–214.

42. Коновал О. А. Методика застосування узагальненого закону електромагнітної індукції / О. А. Коновал, А. В. Касперський // Інновації в навчанні фізиці та дисциплін технологічної освітньої галузі: міжнародний та вітчизняний досвід : Збірник наук. праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський: К-ПДПУ, інф.-вид. від., 2008. – Вип. 14. – С. 143–147. *(Автором розроблена методика застосування узагальненого закону електромагнітної індукції; загальне редагування статті зроблене співавтором).*

43. Коновал О. А. Методичні основи вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності / О. А. Коновал, А. В. Касперський // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 5 «Педагогічні науки : реалії та перспективи» : зб. наук. пр. / за ред. П. В. Дмитренка, В. Д. Сиротюка. – К. : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2008. – Вип. 12. – С. 152–161. *(Автором розроблена методика вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності; інші розробки належать співавторові).*

44. Коновал О. А. Історія відкриття та способи обґрунтування локальної форми закону електромагнітної індукції / О. А. Коновал // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки». – Чернігів : ЧДПУ, 2009. – Вип. 65. – С. 208–211.

45. Коновал О. А. Організація та результати педагогічного експерименту з упровадження методики вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності / О. А. Коновал // Збірник наук. праць Бердянського державного педагогічного університету. Серія «Педагогічні науки». – Бердянськ : БДПУ, 2009. – № 4. – С. 219–223.

46. Коновал О. А. Зауваження щодо змісту закону Біо-Савара-Лапласа та вивчення його в ортодоксальних методиках / О. А. Коновал, А. В. Касперський // Управління якістю підготовки майбутніх учителів фізики та трудового навчання : Збірник наук. праць Кам'янець-Подільського національного університету. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський : К-ПДПУ, інф.-вид. від., 2009. – Вип. 15. – С. 138–140. *(Автором проведений критичний аналіз методик вивчення закону Біо-Савара-Лапласа; інші розробки належать співавторові).*

47. Коновал О. А. Зіставний аналіз методик навчання електродинаміки у вищому навчальному закладі / О. А. Коновал // Наукові записки. Серія «Педагогічні науки». – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. – Вип. 90. – С. 140–144.

Методичні рекомендації, статті, тези доповідей:

48. Коновал А. А. О так называемом парадоксе Фейнмана / А. А. Коновал, В. П. Панов. –

Статья деп. в ВИНТИ, рег. № 4317-80.

49. Коновал А. А. Замечание к закону Био-Савара / А. А. Коновал, В. П. Панов. – 10 с. – Статья деп. в ВИНТИ, № 4316-80. (*Автором сформульований, уперше в методичній літературі, закон Біо-Савара в релятивістській формі та подані приклади його застосування; загальне редагування статті зроблене співавтором*).

50. Коновал А. А. Заряжен ли проводник, по которому протекает ток? / А. А. Коновал, В. П. Панов. – 12 с. – Статья депонирована в ВИНТИ, № 4318-80. (*Автором уперше в методичній літературі проведений аналіз умов нейтральності ППС та обґрунтована несуперечлива умова нейтральності провідника зі струмом; загальне редагування статті зроблене співавтором*).

51. Коновал А. А. Релятивистская интерпретация взаимодействия двух длинных токов / А. А. Коновал. – 12 с. – Статья деп. в УкрНИИНТИ, № 4 Ук-Д84.

52. Коновал А. А. О методике введения понятия магнитного поля / А. А. Коновал. – Статья деп. в НИИПВШ, №170-84.

53. Коновал А. А. Релятивистски инвариантное описание взаимодействия 2-х токов / А. А. Коновал. – 10 с. – Статья деп. в УкрНИИНТИ 17.04.84, № 1260 Ук-84.

54. Коновал А. А. Вывод уравнения Максвелла для токов смещения / А. А. Коновал. – 9 с. – Статья деп. в УкрНИИНТИ, № 2693-Ук88.

55. Коновал А. А. Закон полного тока для зарядов, движущихся с релятивистскими скоростями / А. А. Коновал. – 9 с. – Статья деп. в УкрНИИНТИ 6.06.89, № 1509-Ук89.

56. Коновал А. А. Закон Био-Савара для зарядов, движущихся с релятивистскими скоростями / А. А. Коновал // Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності : зб. наук. пр. – Кривий Ріг : Вид. від. КДПУ, 1999. – С. 147–148.

57. Коновал А. А. Об объемном заряде проводника с током / А. А. Коновал // Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в освітній діяльності : зб. наук. пр. – Кривий Ріг : Вид. від. КДПУ, 1999. – С. 143–146.

58. Коновал О. А. Магнітне поле і струми зміщення постійних струмів / О. А. Коновал // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Видавничий відділ КДПУ, 2001. – Вип. 1 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 169–172.

59. Коновал А. А. Магнитное поле как релятивистский эффект / А. А. Коновал // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Видавничий відділ КДПУ, 2001. – Вип. 1 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 173–175.

60. Коновал О. А. Властивості струмів зміщення / О. А. Коновал // Теорія та методика на-

вчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Вид. від. НацМетАУ, 2002. – Вип. 2 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 138–145.

61. Коновал О. А. Струми зміщення і магнітне поле струмів / О. А. Коновал // Матеріали VII Всеукраїнської наукової конференції «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики» / уклад.: М. І. Шут, В. П. Сергієнко. – К. : НПУ, 2002. – С. 79.

62. Коновал О. А. Ідеї теорії відносності при вивченні електродинаміки у середній загальноосвітній і вищій педагогічній школах / В. К. Буряк, О. А. Коновал, О. В. Сергєєв // Матеріали міжнародної конференції «Сучасні тенденції розвитку природничо-математичної освіти». – Херсон : Вид-во Херсонського держ. пед. ун-ту, 2002. – С. 155–160. *(Автором запропоновані методичні підходи щодо використання методів теорії відносності при вивченні електродинаміки; співавторами зроблене загальне редагування тексту статті).*

63. Коновал А. А. Психолого-педагогические условия подготовки учителя физики к реализации личностно-ориентированного обучения / А. А. Коновал, А. В. Сергеев // Сучасні технології в науці та освіті : зб. наук. пр. : у 3 т. – Т. 2. – Кривий Ріг : Вид. від. КДПУ, 2003. – С. 82–89. *(Автором зроблений критичний огляд психолого-педагогічних умов підготовки вчителя фізики; співавтором зроблене загальне редагування тексту статті).*

64. Коновал О. А. Відносність електричного і магнітного полів : Методичні аспекти / О. А. Коновал, Д. В. Рябоконт // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Видавничий відділ НМетАУ, 2003. – Вип. 3 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 154–167. *(Автором запропонований оригінальний спосіб обґрунтування формул перетворення компонент електромагнітного поля, зроблені висновки; інші положення статті належать співавторові).*

65. Коновал О. А. Зауваження щодо методики вивчення закону Біо-Савара / О. А. Коновал // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Особливості підготовки вчителів природничо-математичних дисциплін в умовах переходу школи на профільне навчання» / уклад. В. Д. Шарко. – Херсон : Олді-Плюс, 2004. – С. 51.

66. Коновал О. А. Дослід Трoutона-Нобля в системі парадоксів теорії відносності / О. А. Коновал, О. В. Швидкий // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Вид. від. НМетАУ, 2005. – Вип. 5 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 147–154. *(Автором зроблений опис досліду, проведений аналіз, сформульовані висновки; інші положення статті належать співавторові).*

67. Коновал О. А. Принцип відносності і електромагнітне поле рухомої зарядженої частинки / О. А. Коновал // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Видавничий відділ НМетАУ, 2006. – Вип. 6 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 258–262.

68. Методичні рекомендації щодо виконання та захисту курсових робіт з дисципліни «Загальна фізика» для студентів спеціальності – 6.010100 Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика. Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр / уклад. О. А. Коновал. – Кривий Ріг, 2006. – 20 с.

69. Методичні рекомендації щодо виконання та захисту кваліфікаційних та магістерських робіт з фізики для студентів спеціальностей: 7.01.01.03 Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика та основи інформатики, освітньо-кваліфікаційний рівень – спеціаліст. 8.01.01.03 Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика, освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр, науково-педагогічний напрям діяльності / уклад. О. А. Коновал. – Кривий Ріг, 2006. – 34 с.

70. Коновал О. А. Природа електромагнітної індукції / О. А. Коновал // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Вид. від. НМетАУ, 2008. – Вип. 7 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 207–209.

71. Коновал О. А. Стаціонарне електричне поле провідника зі струмом як релятивістський ефект / О. А. Коновал // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Вид. від. НМетАУ, 2008. – Вип. 7 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 198–206.

72. Коновал О. А. Фізичне пояснення деяких електротехнічних задач як реалізація принципу фундаменталізації / О. А. Коновал, А. В. Касперський // Безперервна фізико-математична освіта: проблеми, пошуки, перспективи : II Всеукр. наук.-практ. конф., 8–9 вересня 2009 р. : матеріали. – Бердянськ : БДПУ, 2009. – С. 58–59. *(Автором розроблена методика реалізації принципу фундаменталізації при поясненні ряду електромагнітних явищ; інші розробки належать співавторові).*

73. Коновал О. А. Критерії і показники результативності педагогічного експерименту з упровадження методики вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності / О. А. Коновал // Безперервна фізико-математична освіта: проблеми, пошуки, перспективи : II Всеукр. наук.-практ. конф., 8–9 вересня 2009 р. : матеріали. – Бердянськ : БДПУ, 2009. – С. 56–57.

74. Коновал О. А. Недоліки традиційної методики навчання електродинаміки / О. А. Коновал // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : [зб. наук. пр.]. – Кривий Ріг : Вид. від. НМетАУ, 2010. – Вип. 8 : у 3 т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 134–140.

75. Коновал О. А. Зіставний аналіз методик навчання електродинаміки у вищому навчальному закладі / О. А. Коновал // Засоби і технології сучасного навчального середовища : Міжнародна наук.-практ. конф., 21–22 травня 2010 р. : матеріали. – Кіровоград : Ексклюзив-Систем, 2010. – С. 137–140.

Коновал О. А. Теоретичні і методичні засади вивчення електродинаміки як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук за спеціальністю 13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика). – Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова. – Київ, 2010.

Дисертаційне дослідження присвячене теоретичному обґрунтуванню основних законів електродинаміки методами спеціальної теорії відносності й теоретичному та методичному обґрунтуванню методики навчання електродинаміки як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах.

Уперше показано, що закон Біо-Савара, закон Ампера, закон електромагнітної індукції, вираз для сили Лорентца та інші є наслідками принципу відносності, принципу суперпозиції і закону Кулона.

Розроблена методична концепція вивчення законів і властивостей електромагнітного поля постійних і квазістаціонарних струмів в контексті теорії відносності та з дотриманням принципів фундаментальності і наочності та компетентісного, дедуктивного, проблемного та задачного підходів до вивчення класичної електродинаміки.

Експериментальне запровадження розробленої методики у практику навчання класичної електродинаміки студентів вищих педагогічних навчальних закладів позитивно вплинуло на мотиваційні, когнітивні, діяльнісні, особистісні та оцінно-рефлексивні характеристики якості підготовки майбутніх вчителів фізики.

Ключові слова: електродинаміка, спеціальна теорія відносності, принцип фундаменталізації, методика навчання електродинаміки.

Коновал А. А. Теоретические и методические принципы изучения электродинамики как релятивистской теории в высших педагогических учебных заведениях. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора педагогических наук по специальности 13.00.02 – теория и методика обучения (физика). – Национальный педагогический университет имени М. П. Драгоманова. – Киев, 2010.

Диссертационное исследование посвящено теоретическому обоснованию основных законов электродинамики методами специальной теории относительности и теоретическому и методическому обоснованию методики изучения электродинамики как релятивистской теории в высших педагогических учебных заведениях.

Впервые показано, что закон Био-Савара, закон Ампера, закон электромагнитной индукции, выражение для силы Лорентца и другие являются следствиями принципа относительности, принципа суперпозиции и закона Кулона.

В модели проводника с постоянным током, которая широко используется в дидактике физики, предложено объяснение опытной ненаблюдаемости непотенциального электрического поля линейной процессии заряженных частиц.

Впервые дано детальное и последовательное релятивистское описание силы взаимодействия 2-х параллельных проводников с токами.

Впервые в научно-методической литературе по классической электродинамике представлено описание метода обоснования уравнений Максвелла в системе единиц СИ на основе принципа наименьшего действия.

В результате проведенных исследований можно констатировать (в отличие от утверждений Р. Фейнмана об отсутствии единого глубокого принципа, который лежит в основе закона электромагнитной индукции), что найден такой фундаментальный принцип. Это представление закона электромагнитной индукции в форме $\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$.

Показана необходимость обязательного учета релятивистских эффектов для корректного описания электромагнитных явлений, даже если они и бесконечно малые.

В контексте заданий исследования предложены и апробированы новые оригинальные способы обоснования формул преобразования компонент электромагнитного поля при переходе от одной системы отсчета к другой, в которых не используется понятие тензора электромагнитного поля.

Эти способы обоснования формул преобразования компонент электромагнитного поля позволяют не только обосновать формулы преобразования, но и более обстоятельно объяснить ученикам и студентам законы электромагнетизма и методику применения принципа относительности.

Показано, что имеющиеся в научно-методической литературе объяснения релятивистских причин появления «заряда проводника с током» противоречивые и нуждаются в уточнениях; предложено непротиворечивое условие нейтральности проводника с постоянным током.

Предложена и разработана методическая концепция изучения законов и свойств электромагнитного поля постоянных и квазистационарных токов в контексте теории относительности и с соблюдением принципов фундаментальности, наглядности, дедуктивного, проблемного и задачного подходов к изучению классической электродинамики, которая включает:

- детальное изучение свойств электромагнитного поля движущейся заряженной частицей;

- обоснование закона Био-Савара в релятивистской форме;
- применение его для расчетов индукции магнитного поля, взаимодействия токов в конкретных электродинамических явлениях;
- рассмотрение предельных случаев и иллюстрацию принципа соответствия;
- анализ электромагнитного поля подвижной заряженной частицы, которая приводит к последовательному и непротиворечивому обоснованию фундаментальных уравнений

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \text{ и } \operatorname{rot}\vec{H} = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t};$$

- обоснование закона электромагнитной индукции на основе принципа относительности и закона Кулона;

- детальное описание (на конкретных задачах) физического механизма порождения магнитного поля постоянных и квазистационарных токов – физической причиной возникновения магнитного поля вокруг проводника с током является только ток смещения;

- активное использование созданных нами компьютерных программ:

а) «Компонент» для моделирования относительности электрического и магнитного полей;

б) для имитационного моделирования зависимости параметров электромагнитного поля заряженной частицы, которая движется равномерно и прямолинейно, от скорости движения частицы и угла наблюдения;

в) для имитационного моделирования распределения в пространстве токов смещения равномерно движущейся заряженной частицы и линейной процессии заряженных частиц;

- г) для компьютерного моделирования опытов Био и Савара.

Экспериментальное внедрение разработанной методики в практику учебы классической электродинамики студентов высших педагогических учебных заведений положительно повлияло на когнитивные, деятельностные и личностные характеристики качества подготовки будущих учителей физики.

Ключевые слова: электродинамика, специальная теория относительности, принцип фундаментализации, методика обучения электродинамики.

Konoval O. A. Theoretical and methodical principles of study of electrodynamics as a relativism theory in higher pedagogical educational establishments. – Manuscript.

This dissertation for receiving a scientific Degree of the Doctor of Pedagogical Sciences, speciality 13.00.02 – theory and methods of teaching (Physics). – National Pedagogical University by M. P. Dragomanov. – Kyiv, 2010.

Dissertation research is devoted theoretical ground of basic laws of electrodynamics by the methods of the special theory of relativity and to theoretical and methodical ground of technology of study of electrodynamics as a relativism theory in higher pedagogical educational establishments.

Law of Biot-Savart, law of Ampere, law of electromagnetic induction, expression for force of Lorentz et al lose status of fundamental, are the consequences of principle of relativity, principle of superposition and law of Coulomb.

Methodical conception of study of laws and properties of the electromagnetic field of direct and quasistationary currents is developed in the context of theory of relativity and with the observance of principles of solidity and evidentness and deductive, problem and task going near the study of classic electrodynamics.

Experimental introduction of the developed method in practice of studies of classic electrodynamics of students of higher pedagogical educational establishments positively influenced on the level of knowledges and personality descriptions of quality of preparation of future teachers of physics.

Keywords: electrodynamics, principle of relativity, fundamental principles, method of study of electrodynamics.

Коновал Олександр Андрійович

**Теоретичні і методичні засади вивчення електродинаміки
як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук
за спеціальністю 13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика)

Підписано до друку 10.08.2010.

Формат 60x90/16. Ум.-друк. арк. – 1,9. Авт. арк. – 1,9.

Тираж 100 прим. Зам. № 27-08.

Друкарня СПД Щербенок С. Г.

Свідоцтво ДП 126-р від 12.10.2004.

вул. Рокоссовського, 5/3, м. Кривий Ріг, 50027.

(0564) 92-20-77.