НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ М.П. ДРАГОМАНОВА

На правах рукопису

БУРАК Володимир Іванович

УДК 372.853 + 537.8 (07)

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ В ОСНОВНІЙ ШКОЛІ В УМОВАХ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАВЧАННЯ

13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика)

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата педагогічних наук

Науковий керівник: **Вознюк Микола Федорович**,
кандидат педагогічних наук,
доцент

Київ – 2009

ЗМІСТ

ВСТУП 4

РОЗДІЛ 1

ПРЕДМЕТ І ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ 14

1.1. Аналіз сучасного стану методики навчання електромагнетизму в основній школі …….....14

1.1.1. Загальна характеристика розвитку методики навчання електромагнетизму в основній школі ……..……14

1.1.2. Аналіз методики навчання електричних явищ ……..16

1.1.3. Аналіз методики навчання магнітних явищ …….....23

1.1.4. Аналіз методики навчання явища електромагнітної індукції ……..27

1.2. Наукові основи методики навчання електромагнетизму в основній школі за умов диференціації навчання ……..……....30

1.2.1. Психолого-педагогічні основи навчання фізики в основній школі..30

1.2.2. Диференціація навчання фізики та перспективи її запровадження в основній школі ……33

1.2.3. Генералізація навчального матеріалу курсу фізики основної школи ……39

Висновки розділу 1.....45

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМІСТУ, СТРУКТУРИ Й МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ В ОСНОВНІЙ ШКОЛІ НА ЗАСАДАХ ГЕНЕРАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ЗА УМОВ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАВЧАННЯ 50

2.1. Засади генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі ……..……..……...50

2.2. Розвиток початкових уявлень учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле ……...……...56

2.3. Удосконалення змісту, структури й методики навчання розділу «Електричні явища. Електричне поле».....67

2.3.1. Електричне поле. Електричний заряд.

Будова атома та електронна теорія ...…….…….....67
2.3.2. Електричний струм у різних середовищах …….……..……...79
2.3.3. Закони постійного електричного струму ……..……...88
2.4. Удосконалення змісту, структури й методики навчання розділу «Магнітні явища. Магнітне поле» 92
2.4.1. Магнітне поле електричного струму. Магнітні властивості речовини та магнітне поле постійних магнітів …….……...93
2.4.2. Дія магнітного поля на провідники зі струмом і на рухомі електрично заряджені частинки …….……..101
2.5. Удосконалення змісту, структури й методики навчання розділу «Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле» 104
2.5.1. Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле ……..105
2.5.2. Практичне використання явища електромагнітної індукції ……..113
2.6. Психолого-педагогічні особливості пропонованої методики навчання електромагнетизму ……..……..…….118
2.7. Особливості навчання електромагнетизму в класах з непрофільним вивченням фізики та на факультативних заняттях ……..…….……...123
Висновки розділу 2 127
РОЗДІЛ 3
ОРГАНІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.133
3.1. Констатуючий експеримент ……..……..……..134
3.2. Пошуковий експеримент ……..142
3.3. Формуючий експеримент .....…..……...157
Висновки розділу 3 …….165
ВИСНОВКИ 169
ДОДАТКИ ……..……..…….…...172
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....245

ВСТУП

Кінець XX – початок XXI ст. ознаменувався побудовою середньої освіти в Україні як суверенній незалежній державі. Найбільші зміни пов'язані з переходом до 12-річної загальної середньої освіти. Згідно з Державним стандартом базової і повної середньої освіти, курс фізики вивчають в 7–9 класах основної школи та в 10–12 класах старшої школи. Значно посилюється роль основної школи, по закінченню якої учні повинні отримати повноцінну базову освіту на відносно завершеному доступному для них рівні. Відповідно до цього, курс фізики 7–9 класів повинен бути пропедевтичним по відношенню до систематичного курсу старшої школи та базовим для основної школи, тобто мати відносно завершений характер і надавати учням систему знань про основні фізичні явища. Існує невідповідність між діючим курсом фізики та вимогами до базового курсу фізики 7–9 класів основної школи в умовах 12-річної загальної середньої освіти. У зв'язку з цим виникає потреба вдосконалення методики навчання фізики в основній школі. Гостро це питання стоїть при вивченні електромагнетизму (терміном «електромагнетизм» ми об'єднуємо електричні й магнітні явища та електромагнітну індукцію).

Різні аспекти методики навчання електромагнетизму напрацювали в науково-методичній літературі, навчальних посібниках і дисертаційних дослідженнях М. С. Білий [9], О. І. Бугайов [13], [16], Б. Б. Буховцев [40], М. Ф. Вознюк [47], С. У. Гончаренко [62], [63], [66], С. Є. Каменецький [112], [113], [165], [257], Є. В. Коршак [132], [133], Г. С. Ландсберг [289], О. І. Ляшенко [129], [131], М. Т. Мартинюк [15], Б. Ю. Миргородський [135], [170], Г. Я. Мякішев [175], [176], В. П. Орєхов [164], А. А. Пінський [167], [271], О. А. Покровський [78], О. В. Пьоришкін [43], [198]–[205], [224]–[226], В. Г. Разумовський [186], Н. О. Родіна [209]–[211], [227]–[229], [232], В. Ф. Савченко [128]–[133], [237], [263], А. В. Усова [166], [265], М. М. Шахмаєв [283], [284] та ін. Аналіз науково-методичної та навчальної літератури і педагогічної практики свідчить про значні здобутки методики навчання електромагнетизму в основній школі. Суттєве вдосконалення методики навчання електромагнетизму пов'язане з реформою шкільної фізичної освіти в 1967–1972 роках. Якщо до цього періоду фізика в основній школі вивчалась май-

же виключно на емпіричному рівні, то після реформи завдяки, перш за все, генералізації шкільного курсу фізики чітко прослідкується націленість не тільки на емпіричне, але й на теоретичне осягнення значної частини навчального матеріалу. Разом з тим, багато питань залишаються невирішеними. Виникає необхідність удосконалення змісту, структури й методики навчання електромагнетизму відповідно до засад побудови базового курсу фізики основної школи.

Удосконалення методики навчання електромагнетизму повинно базуватись на врахуванні особливостей *розумового розвитку підлітків* і на досягненнях в області психології розумової діяльності учнів. Аналіз психолого-педагогічної літератури (Ж. Піаже [206], Л. С. Виготський [44], О. М. Леонтьєв [144], Д. Б. Ельконін [290], В. В. Давидов [51], Г. С. Костюк [137], В. А. Крутецький [140], В. С. Мухіна [174] та ін.) свідчить, що основним когнітивним новоутворенням підліткового віку є формальне мислення, але рівень його сформованості в підлітків лежить у дуже широких межах.

Перспективним є використання таких психолого-педагогічних теорій: а) теорія провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів (Л. С. Виготський, Д. Б. Ельконін, Г. С. Костюк, О. М. Леонтьєв); б) теорія поетапного формування розумових дій (П. Я. Гальперін [57], [58], Н. Ф. Тализіна [254]); в) теорія розвиваючого навчання в трьох його основних напрямах: 1) дидактична система загального розвитку учнів шляхом навчання на високому рівні складності з провідною роллю теоретичних знань (Л. В. Занков [96]); 2) теорія «змістовного теоретичного узагальнення» (В. В. Давидов [75], [76]); 3) проблемне навчання (В. Оконь [183], О. М. Матюшкін [161], Р. І. Малафєєв [154]).

Аналіз науково-методичної літератури (О. В. Пьоришкін [43], [211], О. І. Бугайов [13], В. Г. Разумовський [186], С. Є. Каменецький [257], А. В. Усова [166], М. Т. Мартинюк [156], В. Ф. Савченко [263] та ін.) показує, що на початку вивчення фізики (12–14 років) у більшості підлітків превалює наочно-образне мислення, абстрактне ж мислення перебуває тільки на стадії становлення та поступового нарощування. Тому вихідним є індуктивний підхід у навчанні з орієнтацією на розвиток емпіричного мислення. Одночасно використовують можливості логі-

чних міркувань дедуктивним шляхом з орієнтацією на розвиток абстрактного, теоретичного мислення. У цілому можна відмітити тенденцію до поєднання розвитку емпіричного й теоретичного мислення підлітків при вивченні фізики.

Важливим засобом удосконалення змісту й структури шкільного курсу фізики заслужено вважається *генералізація*, яка означає виділення загального, головного принципу (ідеї) та побудову на цій основі методики навчання з підпорядкуванням часткового, окремого головному. Шкільна практика підтвердила високу ефективність вивчення різних явищ природи в основній школі з використанням генералізації в двох напрямах (В.Г. Разумовський [186], О.В. Пьоришкін [211], О. І. Бугайов [3], [17], О. І. Ляшенко [152], М. Т. Мартинюк [158]): 1) явищний (феноменологічний) підхід, який пов'язаний з розвитком уявлень про основні фізичні явища відповідно до ускладнення форм руху матерії; 2) генералізація курсу фізики завдяки використанню двох об’єднуючих теорій – основних положень про будову речовини, пов’язаних з молекулярно-кінетичною теорією, та початкових уявлень про будову атома, пов’язаних з елементами електронної теорії.

Традиційна методика розкриває електричні й магнітні явища та електромагнітну індукцію відносно відокремлено, унаслідок чого навчання електромагнетизму в основній школі не має спільної об’єднуючої основи. Наше завдання полягає в установленні такої об’єднуючої основи та в упровадженні генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі.

Одним з основних напрямів удосконалення навчального процесу за умов 12-річної загальної середньої освіти є широке впровадження *диференціації навчання*. У вітчизняній педагогічній практиці орієнтуються, перш за все, на впровадження рівневої та профільної диференціації [14], [17], [152].

Відповідно до Державного стандарту базової і повної середньої освіти [81]–[83], профільну диференціацію впроваджують для старшої школи. В основній школі профільна диференціація не передбачається, «особистісно орієнтований підхід здійснюється через варіативність методик організації навчання залежно від пізнавальних здібностей, а також через факультативні курси» [82, с. 1]. Це відповідає висновкам психологів, що більшість учнів, унаслідок вікових особливостей свого

розвитку, не готові до профільного навчання в ранньому підлітковому віці. Разом з тим, частина учнів основної школи вже готова до вибору пріоритетних освітніх галузей та до поглибленого вивчення відповідних предметів. Цей висновок підтверджується практикою роботи шкіл нового типу, в яких у 1990 роках та на початку XXI ст. поглиблене вивчення фізики починалось з восьмого класу. Для врахування індивідуальних запитів і розвитку талановитої та творчо обдарованої молоді в Державному стандарті «під час складання типових навчальних планів для учнів спеціалізованих шкіл, гімназій, ліцеїв і колегіумів дозволяється перерозподіляти між освітніми галузями до п’ятнадцяти відсотків навчального часу, визначеного інваріантною частиною Базового навчального плану» [82, с. 1].

Згідно з Концепцією профільного навчання [126], у 8–9 класах 12-річної школи запроваджується допрофільна підготовка з метою професійної орієнтації учнів і сприяння вибору напряму профільного навчання в старшій школі. Це дає підстави для дослідження перспективності поглибленого вивчення електромагнетизму за умов допрофільної диференціації навчання в основній школі нового типу.

Актуальність теми. Аналіз традиційної методики навчання електромагнетизму в основній школі свідчить про наявність багатьох невирішених проблем при вивченні електричних і магнітних явищ та електромагнітної індукції. У зв’язку з переходом до 12-річної середньої освіти виникає гостра потреба в удосконаленні змісту, структури й методики навчання електромагнетизму в основній школі відповідно до засад побудови базового відносно завершеного курсу фізики 7–9 класів. При цьому необхідно, щоб удосконалення методики навчання електромагнетизму відповідало потребам розвитку як основного загалу учнів, так і творчо обдарованих підлітків, що можливо за умови запровадження диференціації навчання.

Наведений аналіз обґрунтовує вибір теми дисертаційного дослідження «*Методика навчання електромагнетизму в основній школі в умовах диференціації навчання*».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційне дослідження пов’язане з реалізацією основних положень Державного стандарту базової і повної середньої освіти в Україні в частині, яка стосується побудови змісту, структури й методики навчання електромагнетизму як

розділу відносно завершеного базового курсу фізики основної школи. Дисертаційна робота виконана згідно з планом науково-дослідної роботи «Теорія та методика навчання фізики в загальноосвітній школі» кафедри теорії та методики навчання фізики і астрономії Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова.

Тема дисертаційного дослідження затверджена на засіданні Вченої ради Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова (протокол №8 від 26.02.2004 р.) і узгоджена в Раді з координації наукових досліджень в галузі педагогіки та психології в Україні (протокол №5 від 25.05.2004 р.).

Об'єкт дослідження – процес навчання електромагнетизму в основній школі.

Предмет дослідження – зміст, структура й методика навчання електромагнетизму в основній школі за умов диференціації навчання.

Мета дослідження – теоретичне обґрунтування, вдосконалення, розробка та експериментальна перевірка змісту, структури й методики навчання електромагнетизму в основній школі за умов диференціації навчання.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму на основі 1) понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії та 2) явищного (феноменологічного) підходу – може привести не тільки до вдосконалення традиційної, але й до побудови принципово нової методики навчання електромагнетизму в основній школі, яка сприяє формуванню узагальнених уявлень з електромагнетизму та підвищує ефективність і результативність навчання за умов його допрофільної диференціації.

Для досягнення поставленої мети й перевірки сформульованої гіпотези були визначені наступні **основні завдання**:

1. Проаналізувати в науково-методичній і психолого-педагогічній літературі та в практиці шкільного навчання стан і тенденції розвитку методики навчання електромагнетизму в основній школі й виявити основні невирішені проблеми.

2. На основі аналізу літературних джерел урахувати вікові особливості роз-

витку підлітків і досягнення в області психології їх розумової діяльності при подальшому вдосконаленні методики навчання електромагнетизму.

3. Проаналізувати за літературними джерелами підстави й перспективи запровадження допрофільної диференціації навчання електромагнетизму в основній школі.

4. На основі аналізу науково-методичної літератури виявити стан і перспективи генералізації навчального матеріалу з фізики як ефективного засобу вдосконалення методики навчання електромагнетизму в основній школі.

5. Науково обґрунтувати та вибудувати засади генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі.

6. Обґрунтувати та розробити зміст, структуру й методику навчання електромагнетизму в основній школі на запроваджених засадах генералізації за умов диференціації навчання.

7. Підготувати навчальний посібник з електромагнетизму для учнів основної школи, розробити методичні рекомендації для учителів, навчальну програму й тематичне планування до навчального посібника.

8. Перевірити в ході педагогічного експерименту ефективність і результативність пропонованої методики навчання електромагнетизму в умовах диференціації навчання.

Методи дослідження.

Теоретичні – аналіз, систематизація й узагальнення науково-методичної та психолого-педагогічної літератури з досліджуваної проблеми; теоретичний аналіз положень психології та педагогіки про вікові особливості розвитку учнів підліткового віку; логіко-методологічний аналіз змісту, структури й методики навчання електромагнетизму, шкільних програм, підручників, навчальних посібників.

Емпіричні – цілеспрямовані педагогічні спостереження в процесі освоєння учнями електромагнетизму; вивчення та узагальнення передового досвіду вчителів і методистів з досліджуваної проблеми; аналіз експертних оцінок науковців та вчителів; анкетування й тестування учнів; педагогічний експеримент (констатуючий, пошуковий, формуючий) і аналіз його результатів з використанням апарату математичної статистики.

Методологічну основу досліджень становлять:

фундаментальні положення теорії та методики навчання фізики; методична ідея диференціації навчання; методична ідея генералізації знань як засобу вдосконалення змісту й структури шкільного курсу фізики; Закон України «Про освіту» та Державний стандарт базової і повної (12-річної) середньої освіти;

основні положення психолого-педагогічних теорій: провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів; поетапного формування розумових дій; розвиваючого, проблемного навчання.

Наукова новизна отриманих результатів:

• уперше обґрунтовано, що генералізація навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі може здійснюватись на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, які доцільно формувати у свідомості учнів на якісному рівні саме в основній школі;

• уперше концептуально обґрунтовано, що генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму на основі 1) понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії та 2) явищного (феноменологічного) підходу – приводить до побудови принципово нової методики навчання електромагнетизму в основній школі, яка сприяє формуванню узагальнених уявлень з електромагнетизму;

• уперше розроблено зміст, структуру й методику навчання електромагнетизму в основній школі відповідно до вибраних напрямів генералізації, удосконалено методику навчання цілого ряду тем електромагнетизму, модифіковано й удосконалено демонстраційний експеримент, що дозволило вирішити проблеми, характерні для традиційної методики;

• підтверджено готовність учнів основної школи до поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації навчання (на прикладі фізико-математичних класів шкіл нового типу).

Теоретичне значення отриманих результатів:

• отримали подальший розвиток ідеї, що об’єднуючою основою при вивченні всіх тем електромагнетизму можуть служити поняття електромагнітного поля

(С. Є. Каменецький) та електромагнітної взаємодії (В. В. Мултановський), адаптовані до сприйняття учнями основної школи; обґрунтовано ефективність сумісного використання цих двох об'єднуючих понять;

• здійснено подальший розвиток ідеї генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму на основі елементів електронної теорії, завдяки сумісному її використанню з генералізацією на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля;

• розширено зміст поняття «генералізація» за рахунок використання термінів «генералізація змісту й структури навчального предмету (фізики)» та «генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму» (або його скорочений аналог «генералізація електромагнетизму»);

• отримали подальше впровадження ідеї та теорії: провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів; поєднання індуктивного й дедуктивного методів навчання; поєднання розвитку наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів, поетапного формування розумових дій; розвиваючого, проблемного навчання.

Практичне значення отриманих результатів:

видано навчальний посібник з електромагнетизму для класів основної школи з поглибленим вивченням фізики та підготовлено до друку навчальний посібник з електромагнетизму для класів з непрофільним вивченням фізики; розроблено відповідні навчальні програми й тематичне планування; розроблено методичні рекомендації для учителів щодо використання посібників;

зміст, структура й методика навчання електромагнетизму, викладені в дисертації, ***упроваджені*** в навчальний процес Криворізького Жовтневого ліцею (довідка № 201 від 01.06.2007), Криворізького природничо-наукового (Саксаганського) ліцею (довідка № 222/3-07 від 06.06.2007), Криворізької гімназії № 91 (довідка № 75 від 06.06.2007), Криворізької гімназій № 49 (довідка № 110 від 06.06.2007), Дніпропетровської спеціалізованої багатопрофільної школи № 23 (довідка № 1075 від 12.11.2008), Криворізького державного педагогічного університету (довідка № 26/3-376 від 27.10.2008), Кіровоградського державного педагогічного універси-

тету імені Володимира Винниченка (довідка № 1344 від 02.12.2008).

Вірогідність отриманих результатів забезпечується: відповідністю методологічної основи та методів дослідження його меті й завданням; коректним використанням статистичних методів при аналізі результатів експерименту; обговоренням результатів дослідження на конференціях і семінарах науковців, методистів, учителів; підтвердженням ефективності пропонованої методики навчання електромагнетизму в ході педагогічного експерименту; упровадженням результатів дослідження в педагогічну практику.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному виконанні всіх етапів дослідження: виявлення невирішених проблем традиційної методики навчання електромагнетизму; обґрунтування підстав і перспектив запровадження допрофільної диференціації навчання фізики (електромагнетизму) в основній школі; наукове обґрунтування засад генералізації як ефективного засобу вдосконалення методики навчання електромагнетизму; розробка змісту, структури й методики навчання електромагнетизму в основній школі, удосконалення методики навчання цілого ряду тем електромагнетизму, модифікація та вдосконалення демонстраційного експерименту; створення навчальних посібників з електромагнетизму для основної школи, розробка навчальних програм і тематичного планування до посібників; проведення педагогічного експерименту й аналіз його результатів; упровадження в навчальну практику.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дослідження доповідались і обговорювались на дванадцяти наукових конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Активізація пізнавальної діяльності у вищій і загальноосвітній школі» (Кривий Ріг, 2000); Міжнародна науково-теоретична конференція «Психолого-педагогічні проблеми підготовки вчительських кадрів в умовах трансформації суспільства» (Київ, 2000); Всеукраїнська науково-практична конференція «Теорія та методика навчання фізики» (Кривий Ріг, 2001, 2002, 2004–2006); звітно-наукова конференція молодих вчених НПУ ім. М. П. Драгоманова (Київ, 2003); Всеукраїнська науково-практична конференція «Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі» (Кіровоград, 2004); Міжнародна на-

уково-методична конференція «Дидактики дисциплін фізико-математичної та технологічної освітніх галузей» (Кам’янець-Подільський, 2004); Міжнародна науково-практична конференція «Чернігівські методичні читання з фізики» (Чернігів, 2005, 2007); а також на чотирьох засіданнях Всеукраїнського науково-методичного семінару «Актуальні проблеми викладання фізики та астрономії» (НПУ ім. М. П. Драгоманова, Київ, 2002–2005), восьми щорічних звітно-наукових конференціях Криворізького державного педагогічного університету (2000–2007), одинадцяти курсах підвищення кваліфікації учителів фізики при Криворізькому державному педагогічному університеті (2000–2007), на районних та міських методичних об’єднаннях учителів фізики м. Кривого Рогу (2000–2007).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження висвітлені у 14 опублікованих працях, з яких 11 одноосібних; у тому числі 6 одноосібних публікацій у наукових фахових виданнях з педагогічних наук, затверджених ВАК України, 6 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць, 1 одноосібний навчальний посібник з електромагнетизму для класів основної школи з поглибленим вивченням фізики, 1 тези доповіді на науково-практичній конференції.

РОЗДІЛ 1
ПРЕДМЕТ І ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз сучасного стану методики навчання електромагнетизму в основній школі

1.1.1. Загальна характеристика розвитку методики навчання електромагнетизму в основній школі

Аналіз методики навчання електромагнетизму в основній школі ми здійснюємо, починаючи з ***1967*** року, у якому опубліковано проект нових програм з фізики [212] і започатковано кардинальну перебудову шкільного курсу фізики. Суть реформи шкільної фізичної освіти полягала у відході від переважно емпіричного (в основній школі – практично від повністю емпіричного) підходу при вивченні фізики до посилення ролі фізичних теорій, починаючи з основної школи. Ідейною основою реформи стала генералізація шкільного курсу фізики [186].

У радянський період ***1967***–***1991*** років навчання електромагнетизму в основній школі здійснювалось за єдиними підручниками О. В. Пьоришкіна та Н. О. Родіної [197], [199]–[202], [204] [225], [226], [228], [229]. У реформованому курсі фізики вивчення електромагнетизму в основній школі значною мірою орієнтують не тільки на пропедевтичне ознайомлення учнів з низкою електромагнітних явищ, але й на пояснення фізичної суті частини з них. При цьому виходять, по-перше, з початкових уявлень про будову речовини, котру вивчають на самому початку шкільного курсу фізики [196], [200]–[203], [223], [226], [227], і, по-друге, з початкових уявлень про будову атома й елементів електронної теорії, з якими учні ознайомлюються в процесі вивчення електричних явищ. У навчанні поєднують емпіричний підхід з формуванням у свідомості учнів певного рівня доступних теоретичних узагальнень, спираючись на широке використання демонстраційного експерименту й орієнтуючись в основному на індуктивний метод пізнання, доповнюючи його, по можливості, дедуктивним [9], [43], [164]–[166], [198], [209]–[211]. Особливості змісту й структури електромагнетизму в основній школі радянського періоду приведені в Додатку А 1.

З ***1992*** року починається період побудови середньої освіти в Україні як суверенній незалежній державі. Розвиток методики навчання фізики в останньому десятилітті XX ст. взаємопов'язаний з більш масштабними процесами, такими як напрацювання та введення в дію закону України «Про освіту» [94], розробка концепції неперервної фізичної освіти в навчальних закладах України [3], напрацювання проектів державного стандарту середньої освіти [80] та стандарту шкільної фізичної освіти [61], [62] для 11-річної середньої школи.

У 1992–1999 роках українські методисти О. І. Бугайов і М. Т. Мартинюк розробляють інтегрований курс фізики і астрономії, підручники для 7–9 класів [216], [15], [16] та відповідне методичне забезпечення [185], [156]–[159]. Стосовно електромагнетизму, вітчизняна методична система характеризується суттєвими, але не кардинальним змінами по відношенню до радянської методичної системи.

Наприкінці XX – на початку XXI ст. українські методисти Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко розробляють нові підручники з фізики для основної школи [128], [129], [131], [132], планування уроків до них [130] і відповідне методичне забезпечення [134], [263]. Ця методична система продовжує традиції радянської, але й має значні відмінності при вивченні електромагнетизму.

Особливості змісту й структури електромагнетизму в основній школі у вітчизняних методичних системах приведені в Додатку А 1.

Аналогічні процеси становлення методики навчання фізики в цілому та електромагнетизму зокрема характерні й для Росії [205], [256], [257], [167] (Додаток А 1). Цікавими є можливі варіанти вивчення електромагнетизму в контексті розвитку методики навчання фізики в школах Великобританії [294], [295] та США [296].

Початок XXI ст. ознаменувався обґрунтуванням і побудовою спочатку концепції системи ***12-річної середньої освіти*** [124], [125] та відповідно концепції фізичної освіти в 12-річній загальноосвітній школі [136], [17], [18], а згодом – Державного стандарту базової і повної середньої освіти [81]–[83]. Відповідно до цього, курс фізики 7–9 класів повинен бути базовим для основної школи, тобто мати відносно завершений характер і надавати учням систему знань про основні фізичні явища, в тому числі й про явища електромагнетизму [219].

1.1.2. Аналіз методики навчання електричних явищ

Порівняльний аналіз змісту й методики навчання окремих тем здійснюємо в межах двох (розкритих нижче) змістових модулів, найменування яких визначаємо на основі систематизації особливостей побудови змісту й структури шкільного курсу фізики в 1969–2007 роках за підручниками та відповідними методичними посібниками [197]–[204], [225]–[229], [128]–[132], [15], [9], [209]–[211], [164]–[166], [118], [43], [257], [156], [263].

Змістовий модуль 1

«Електризація тіл. Електричний заряд. Електричне поле. Будова атомів»

Аналіз навчальної та науково-методичної літератури (Додаток А 2) свідчить про доцільність виокремлення зазначеного в заголовку змістового модуля з групуванням навчального матеріалу навколо вивчення таких тем.

1. Електризація тіл. Два види зарядів. Взаємодія заряджених тіл. Електричне поле.
2. Електроскоп. Провідники і непровідники електрики. Подільність електричного заряду. Електричний заряд. Дискретність електричного заряду. Електрон.
3. Будова атомів. Пояснення електричних явищ.

Проаналізуємо теми, методика навчання яких містить невирішені проблеми.

Електризація тіл. Два види зарядів. Взаємодія заряджених тіл.

Вивчення трьох вказаних тем нерозривно пов’язано між собою: наявність електризації доводять через електричну взаємодію; два види електричного заряду розкривають паралельно з питанням взаємодії тіл, заряджених однойменними та різнойменними електричними зарядами (Додаток А 3). З огляду на це, вдалим є вивчення всіх цих тем в одному параграфі, як це здійснено в підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 9–10] і запропоновано в публікації [101].

Відмітимо два невирішені питання традиційної методики вивчення явища електризації. По-перше, це відсутність у підручниках опису переконливих дослідів з електризації тіл при їх контакті. Педагогічна практика засвідчує про необхідність проведення таких дослідів, тому що одне тільки словесне пояснення електризації тіл при контакті є недостатньо переконливим для значної частини учнів.

По-друге, від самого початку учням демонструють взаємодію електрично заряджених тіл не тільки з іншими електрично зарядженими тілами, але й з електронейтральними тілами (клаптиками паперу, пушинками, тощо). Це веде до формування невірних уявлень про можливість взаємодії заряджених частинок з електрично нейтральними, на що в своїх роботах вказує М.Ф. Вознюк [45]–[49].

Електричне поле.

У всіх підручниках і методичних посібниках важливе значення надається формуванню у свідомості учнів поняття про електричне поле (Додаток А 4).

До методично суперечливих питань відносимо наступне.

1. У вітчизняних підручниках уявлення учнів про електричне поле посилюють вивченням закону Кулона [128], [129], [131], [132, с. 75–76], [15, с. 16–19]. Основна методична доцільність вивчення закону Кулона пов’язана з тим, що з нього чітко видно, що електричний заряд характеризує електричну взаємодію. У підручниках О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка закон Кулона висвітлено як матеріал для додаткового читання (окремий параграф перед вивченням електричного поля) [15, с. 16–19]. Аналіз показує, що при подальшому вивченні фізики в основній школі, закон Кулона не використовується («не працює») ні разу, що свідчить про доцільність його вивчення саме в якості додаткового матеріалу.

2. У підручниках [200]–[202], [226], [203], [227], [128], [129], [131], [132, с. 75–76] не розкрито механізм електричної взаємодії, який пов’язаний з кінцевою швидкістю її поширення. Правда, в методичному посібнику [166, с. 263] рекомендують говорити учням, що «дія на заряджені тіла електричного поля передається не миттєво, а з кінцевою швидкістю – швидкістю світла с = 300000 км/с». Зовсім не торкаються питання графічного зображення електричного поля, без чого неможливо сформувати повноцінні уявлення учнів про електричне поле. Електричне поле та електричну взаємодію висвітлено як відокремлені самодостатні види поля та взаємодії, тоді як вони є одними з проявів більш загальних електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії.

Перераховані проблеми частково вирішені в підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 20–23]. На основі демонстраційного експерименту вво-

дять поняття «силової лінії електричного поля», як лінії, «яка показує напрям сили, з якою електричне поле діє на вміщений у дану точку поля пробний точковий додатний заряд». У якості прикладу зображують картину «силових ліній електричного поля» двох різнойменно та двох однойменно заряджених тіл. Зазначають також [15, с. 22], що електричне поле є складовою більш загального електромагнітного поля, котре поширюється зі швидкістю 300000 км/с.

3. У всіх підручниках недостатньо підкреслено, що електричне поле нерозривно зв'язано з електрично зарядженими частинками. Не розкрито, що електричне поле має певну енергію. Щоправда, в методичному посібнику [166, с. 264] рекомендують на прикладі простих дослідів по переміщенню заряджених тіл в електричному полі обґрунтувати наявність енергії електричного поля.

Електричний заряд.

Уведення поняття електричного заряду є достатньо суперечливим і непростим методичним питанням. У зв'язку з цим відмітимо наступне.

1. Більшість методистів дотримуються поетапного введення поняття електричного заряду: спочатку при вивченні електризації тіл – на якісному рівні, а згодом, при вивченні подільності електричного заряду – як фізичної величини з відповідною одиницею [228], [229], [204], [129], [131], [132], [166], [257], [156], [263]. Це створює значні методичні труднощі та приводить до певної розмитості поняття електричного заряду в свідомості учнів при використанні термінів «електричний заряд», «два види (роди) електричного заряду», «позитивний та негативний електричні заряди» на початковому етапі, ще до повноцінного введення електричного заряду як фізичної величини.

2. Поза межами основних підручників [228], [229], [204], [129], [131], [132] залишилось надзвичайно важливе питання – закон збереження електричного заряду. Інколи методисти говорять про нейтралізацію рівних за абсолютною величиною, але протилежних за знаком зарядів. У методичному посібнику М. С. Білого [9, с. 185] радять у цьому місці підкреслювати про незнищуваність електричного заряду. У підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 10] при вивченні електризації тіл не тільки говорять про «нейтралізацію зарядів тіл», але й зазначають (без обґрунтування) про закон збереження електричного заряду.

Будова атомів. **Пояснення електричних явищ**.

Традиційні радянська та вітчизняні методичні системи відпрацювали вдалий в цілому варіант вивчення основних особливостей *ядерної моделі будови атома* [228], [229], [204], [15], [129], [131], [132]. Але, на наш погляд, при вивченні будови атому використано далеко не всі можливості розвитку уявлень учнів про будову речовини, що розкрито у пункті 2.3.1.

Уведення уявлень про електрон і будову атомів є одним з найважливіших завдань при вивченні електричних явищ, оскільки на цій основі можна запровадити *дедуктивний метод* при поясненні механізму електризації та використати *елементи електронної теорії* при подальшому вивченні електромагнетизму.

Відмітимо основні не вирішені проблеми.

1. У підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 33–36] коротко висвітлюють початкові відомості про електронну теорію. Інші автори в основній школі, та у шкільному курсі взагалі, широко використовують елементи електронної теорії для пояснення різноманітних явищ електромагнетизму без вживання терміну «електронна теорія». Методика розкриття та використання електронної теорії потребує свого подальшого розвитку.

2. У всіх підручниках зазначають, що в металах частина електронів, найбільш віддалених від ядер своїх атомів, практично втрачає з ними зв’язок і стає вільною. Завдяки наявності вільних електронів, метали є провідниками. У методичному посібнику А. В. Усової [166, с. 265] саме в цьому місці рекомендують привести рисунок зі схематичним зображенням кристалічної решітки металу. З цим можна погодитись, тому що одного словесного короткого опису про наявність вільних електронів мало для розуміння учнями навчального матеріалу.

Змістовий модуль 2 «Електричний струм. Сила струму, електрична напруга, електричний опір, закон Ома. Робота і потужність електричного струму»

Аналіз навчальної та науково-методичної літератури (Додаток А 5) свідчить про доцільність групування навчального матеріалу навколо вивчення таких тем.

1. Електричний струм. Джерела електричного струму. Електричне коло та

його складові частини. Природа електричного струму. Напрям струму. Дії струму.

2. Сила струму та її вимірювання. Електрична напруга та її вимірювання. Залежність сили струму від електричної напруги. Електричний опір. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола. Реостати.

3. Послідовне з'єднання провідників. Паралельне з'єднання провідників.

4. Робота і потужність електричного струму.

Проаналізуємо теми, методика навчання яких містить невирішені проблеми.

Електричний струм і його напрям. **Природа електричного струму**. **Дії електричного струму**.

Послідовність і особливості розкриття зазначених тем у радянській та вітчизняних методичних системах суттєво відрізняється між собою (Додаток А 6).

Аналіз свідчить про необхідність подальшого вирішення наступних проблем.

1. Багатьом учням важко дається розуміння того, що напрям руху негативно заряджених частинок протилежний до напряму електричного струму. Напрошується більш детальне розкриття питання напряму електричного струму на прикладі впорядкованого руху як позитивно, так і негативно заряджених частинок.

2. У традиційній методиці вказують, що електричний струм існує тільки за наявності електричного поля. Але, оскільки про поле учні мають недостатні уявлення, то для них залишається незрозумілим де саме зосереджено електричне поле, як і чому воно спричинює впорядкований рух електрично заряджених частинок у провідниках. Недостатньо чітко сформульовані умови існування електричного струму.

3. Природу електричного струму вивчають по суті тільки у металах. В електролітах та газах природу електричного струму здебільшого згадують настільки стисло, що можливість протікання електричного струму за рахунок впорядкованого руху позитивно та негативно заряджених вільних іонів учням малозрозуміла [228], [229, с. 67–71], [129], [131], [132, с. 92–94].

У вітчизняному підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка значною мірою висвітлено природу електричного струму в електролітах і газах [15, с. 255–272], але тільки після вивчення послідовного й паралельного з'єднання провідників.

4. Учні не можуть зрозуміти суті хімічної дії електричного струму, оскільки не вивчають природи електричного струму в електролітах. Ці питання розглянуто тільки на емпіричному рівні.

5. Висвітлення традиційною методикою питання *магнітної дії* електричного струму, яке є дуже важливим і вкрай необхідним для подальшого введення одиниці сили струму і для розуміння принципу дії електровимірювальних приладів, пов'язано з наступними принциповими методичними труднощами [229, с. 69–70], [204], [15, с. 210–213], [129], [131], [132, с. 84–86, с. 90–92] (Додаток А 6):

а) у підручниках і методичних посібниках у тій чи іншій мірі використовують постійні магніти, а поняття про магнітні полюси учні отримують значно пізніше; б) суть магнітної дії електричного струму, особливо в досліді Ерстеда, є незрозумілою для багатьох учнів, унаслідок відсутності початкових уявлень про магнітне поле; в) з цієї ж причини малозрозумілим для учнів є обертання рамки зі струмом, розміщеної між полюсами магніту, та принцип дії гальванометра.

Сила струму та її вимірювання.

Аналіз науково-методичної літератури стосовно можливих варіантів послідовності введення таких фізичних величин, як сила струму I, електрична напруга U, електричний опір R свідчить, що найбільш доступною для учнів основної школи вважається послідовність $I \rightarrow U \rightarrow R$ (Додаток А 7).

При вивченні сили струму невирішеними є наступні методичні проблеми.

1. Як засвідчує педагогічна практика, учні легко звикають і використовують одиницю сили струму. Але, переважна більшість учнів на цьому етапі не розуміють, чому між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія. Тому можна вважати вдалим віднесення цієї частини матеріалу в рубрику додаткового [15, с. 220–221]. Традиційна методика побудована таким чином, що фізичний зміст одиниці 1 А (однієї з основних фізичних величин) залишається нерозкритим.

2. Ще одна складність пов'язана з термінологією. Багато учнів на початковому етапі путають поняття сила та сила струму, тим більше, що обидва ці поняття фігурують в означенні одиниці сили струму. У методичних посібниках [198], [9, с. 208–210], [209], [164], [210], [43, с. 186–188], [211], говорячи про силу струму,

рекомендують зазначати, що історично назва цієї фізичної величини склалась невдало; що термін «сила» у виразі «сила струму» не має ніякого відношення до сили, яка характеризує взаємодію та має одиницю 1 Н. На жаль, ці рекомендації зовсім не знайшли свого відображення в підручниках.

Електрична напруга та її вимірювання.

Електричну напругу та її одиницю в основній школі вводять на основі енергетичного підходу: через роботу електричного поля (електричного струму) по перенесенню одиничного заряду, використовуючи формулу $U = A / q$. Вивчення цієї теми в радянській [228], [229], [204] та вітчизняних [129], [131], [132], [15] методиках має ряд відмінностей, в тому числі й суттєвих (Додаток А 8).

Більшість методистів справедливо вважають, що поняття електричної напруги важко сприймається учнями основної школи. Так, у методичних посібниках за авторством О. В. Пьоришкіна [43, с. 189] та С. Є. Каменецького [165, с. 51] зазначено, що незалежно від того, які методичні прийоми використовують під час введення поняття електричної напруги, більшість учнів сприймають це поняття не відразу, а поступово до нього звикають по мірі його використання в навчанні та повсякденній практиці, у ході розв’язування задач і в процесі виконання лабораторних робіт.

Невирішеними залишаються наступні методичні проблеми.

1. Недостатньо розкрито фізичну суть електричної напруги, саме як енергетичної характеристики електричного поля.

2. Традиційна методика побудована таким чином, що на цьому етапі учні не в змозі зрозуміти на достатньому рівні принцип дії електровимірювальних приладів. По суті справи, учні вчаться користуватись амперметром і вольтметром, не розуміючи принципу їх дії. З одного боку, у підручниках при вивченні магнітної дії електричного струму, сили струму та електричної напруги зазначається в самих загальних рисах про принцип дії електровимірювальних приладів. З іншого, – знань учнів недостатньо для розуміння цього питання через відсутність уявлень про магнітне поле, яке вивчають тільки в наступному розділі.

Вивчення тем «***Залежність сили струму від електричної напруги***. ***Елект-***

ричний опір. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола. Реостати» розкрито в Додатку А 9. Ускладнення радянської методики полягає в тому, що поняття електричного опору та, особливо, його одиниці вводять спочатку без відповідної формули. Учням незрозуміло, чому 1 Ом = 1 В / 1 А, оскільки формулу R = U / I вивчають тільки в наступному параграфі.

Заслуговує уваги вивчення цих тем єдиним блоком в одному параграфі, так як це здійснено в підручнику вітчизняних авторів О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка, [15, с. 224–232] та у відповідному методичному посібнику [156]. При цьому не тільки економиться навчальний час, але й зникають зазначені вище методичні ускладнення, пов'язані з уведенням одиниці електричного опору.

Методики вивчення тем «***Послідовне і паралельне з'єднання провідників***» та «***Робота і потужність електричного струму***» розкриті у Додатках А 10 та А 11.

1.1.3. Аналіз методики навчання магнітних явищ

Спільним для радянської та вітчизняних методичних систем є те, що спочатку вивчають магнітне поле електричного струму, а потім – магнітне поле постійних магнітів [197]–[204], [225]–[229], [128]–[132], [15], [9], [209]–[211], [164]–[166], [118], [43], [257], [156], [263]. Тобто одразу прагнуть надати учням узагальнене уявлення, що магнітне поле існує навколо провідників зі струмом, а отже й навколо рухомих електрично заряджених частинок (оскільки електричний струм являє собою напрямлений рух електрично заряджених частинок). А потім використовують отримані знання при подальшому вивченні навчального матеріалу, опираючись частково на дедуктивний метод пізнання (Додаток А 12).

У зв'язку з цим, М. С. Білий відмічав наступне [9, с. 232]: «…для вивчення магнітного поля доводиться користуватися магнітною стрілкою. … На нашу думку, до пояснення нового матеріалу треба з'ясувати, що учні знають про властивості магнітів, повторити будову компаса, означення магнітних полюсів, взаємодію полюсів, пригадати причину орієнтування магнітної стрілки…». У методичному посібнику С. Є. Каменецького [257, с. 264] розвивають цей підхід і більш широко розглядають постійні магніти, їх полюси, взаємодію магнітів, їх магнітне поле і

тільки після цього переходять до досліду Ерстеда. Аналогічної думки дотримуємось і ми, оскільки магнітна взаємодія у свідомості учнів асоціюється спочатку зі взаємодію магнітів, а не зі струмом.

Аналіз змісту і послідовності вивчення магнітних явищ у радянській та вітчизняних методичних системах свідчить про зручність групування навчального матеріалу навколо вивчення таких тем (Додаток А 12).

1. Магнітне поле. Магнітне поле прямого струму. Лінії магнітного поля. Магнітне поле кругового струму. Магнітне поле котушки зі струмом. Електромагніти.
2. Постійні магніти. Взаємодія магнітів. Магнітне поле постійних магнітів. Магнітні властивості речовини. Магнітне поле Землі.
3. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Електродвигун постійного струму. Електровимірювальні прилади.

Проаналізуємо теми, методика навчання яких містить невирішені проблеми.

Магнітне поле. **Магнітне поле прямого струму**. **Лінії магнітного поля**.

Особливості введення *поняття магнітного поля* на основі *досліду Ерстеда* у радянських і вітчизняних підручниках охарактеризовані в Додатку А 13.

Важливим є питання термінології стосовно поняття «*лінії магнітного поля*».

У шкільних підручниках 1969–1980 років [197], [225], [199], [200] та відповідних методичних посібниках [198], [9], [209], [164], [210] користувались терміном «силові лінії магнітного поля». Починаючи з 1981 р. у підручниках [201], [202], [226], [228], [229], [204] та методичних посібниках [43], [211], [165], [166], [257] вживають термін «магнітні лінії магнітного поля». Оскільки лінія є математичним поняттям, то говорити про магнітні (чи електричні) лінії, на нашу думку, недоцільно. Достатньо обмежитись терміном «лінії магнітного поля».

У вітчизняних підручниках та у відповідних методичних посібниках [128]–[132], [15], [156], [263] повернулись до терміну «силові лінії магнітного поля».

У фізиці коректним є поняття «лінії індукції магнітного поля». Але, оскільки в основній школі поняття індукції магнітного поля вводити недоцільно, ми надалі користуватимемось зрозумілим і скороченим терміном «лінії магнітного поля». При цьому маємо на увазі, що в старших класах уводять науково повноцінне по-

няття «лінії індукції магнітного поля» [40], [176], [63], [133]. Обґрунтування методичної доцільності використання в основній школі терміну «лінії магнітного поля» здійснено в пункті 2.4.1.

Особливості введення понять «лінії магнітного поля», «напрям ліній магнітного поля» та вивчення картини ліній *магнітного поля провідника зі струмом*, з використанням правила правої руки [15, с. 304–305] і правила свердлика [128], [129], [131], [132, с. 134] чи без цих мнемонічних правил, надані в Додатку А 13.

У підручниках О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 306–307] на завершення цієї теми стисло пояснюють, що магнітне поле має енергію.

Відмітимо, що у всіх підручниках та методичних посібниках недостатньо розкрито, або зовсім не відмічено, що існує тільки магнітне поле, а поняття ліній магнітного поля вводять для візуалізації наших уявлень про поле. Крім того, недостатньо [15], або зовсім [201], [202], [226], [228], [229], [204], [128], [129], [131], [132] не розкрито, що магнітне поле є особливим видом матерії.

Методика вивчення тем «***Магнітне поле колового струму та котушки зі струмом***. ***Електромагніти***» розкрита в Додатку А 14.

Вивчення тем «***Постійні магніти***. ***Взаємодія магнітів***. ***Магнітне поле постійних магнітів***. ***Магнітні властивості речовини***» за радянською та вітчизняними методиками охарактеризовано в Додатку А 15. Аналіз навчальної та науково-методичної літератури свідчить, що невирішеними є наступні методичні проблеми: 1) недостатньо, а то й зовсім не розкрито природу магнітного поля постійних магнітів; 2) тему «Магнітні властивості речовини» (без якої уявлення учнів про будову речовини є неповними) необхідно доопрацювати таким чином, щоб на доступному для учнів рівні розкрити фізичну суть основних типів магнетиків та особливості їх намагнічування.

Дія магнітного поля на провідник зі струмом. **Електродвигун постійного струму**. **Електровимірювальні прилади**.

Вивчення теми «*Дія магнітного поля на провідник зі струмом*» розширює уявлення учнів про магнітну дію електричного струму та про магнітне поле в ці-

лому. Висвітлення цієї теми в ранніх радянських підручниках 1969–1988 років [197], [225], [199, с. 156–157], [200], у вітчизняних підручниках Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [128], [129], [131], [132, с. 141–142] та О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 317–320] передбачає визначення напряму дії сили Ампера на основі правила лівої руки. У такому разі *обертання рамки зі струмом в магнітному полі* пояснюють на основі напряму дії сили Ампера [197], [225], [199, с. 158–159], [200], [128], [129], [131], [132, с. 142], [15, с. 212, с. 320].

У всіх підручниках приводиться достатньо детальне пояснення будови, принципу дії, прикладів використання та переваг *електродвигуна постійного струму*. Будова й принцип дії *електровимірювальних приладів* у повній мірі розкриті в підручниках Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [128], [129], [131], [132, с. 143–146]. Інші особливості вивчення цих тем відображені в Додатку А 16.

До невирішених проблем відносимо наступне.

1. Вивчення електродвигуна постійного струму носить емпіричний характер: при цьому недостатньо аналізують напрям дії сили Ампера і, як наслідок, у недостатній мірі обґрунтовують причину одностороннього обертання рамки [201], [202], [226], [228], [229, с. 123–124], [204], [15, с. 320–322], [128]–[132, с. 142–143].

2. Як у радянських, так і у вітчизняних підручниках при вивченні магнітних явищ зовсім не аналізують *взаємодію провідників зі струмом*. Коротко про цю взаємодію йдеться при введенні одиниці сили струму [228], [229], [204, с. 71–73], [128], [129], [131], [132, с. 94–98], [15, с. 219–223]. Але, як зазначалось у пункті 1.1.2, на той момент неможливо було обґрунтувати, що між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія, бо учні ще не вчили поняття магнітного поля і, тим більше, сили Ампера та правила лівої руки, без яких неможливо науково пояснити вказану взаємодію. При вивченні магнітних явищ така можливість появилась (у випадку вивчення сили Ампера і правила лівої руки), але традиційна методика не використовує її. Тобто, введення одиниці сили струму 1 А – однієї з основних одиниць у системі СІ, виявилось до кінця не обґрунтованим. Крім того, взаємодія провідників зі струмом має і самостійне пізнавальне значення.

1.1.4. Аналіз методики навчання явища електромагнітної індукції

Явище електромагнітної індукції неоднозначно трактується в науково-методичній літературі. Внаслідок цього існують різні підходи щодо методики навчання цієї теми не лише в шкільному курсі фізики [40], [176], [177], [63], [65], але й у вищих навчальних закладах [242, с. 264–296], [268, с. 51–76], [191, с. 228–272], [160, с. 312–320], [105, с. 178–206], [236, с.181–198], [84, с. 275–287], [142, с. 344–360], [103, с. 224–252], [251, с. 47–57]. Сучасне наукове трактування електромагнітної індукції (з виокремленням двох типів ефектів електромагнітної індукції, з поясненням на основі польових уявлень, з урахуванням принципу відносності) розкрито в Додатку А 17 [276, с. 537–538], [1], [5], [120], [122].

Аналіз навчальної та науково-методичної літератури свідчить, що наприкінці 1950 років [267], [221], [194] та після реформи шкільної фізичної освіти в 1967–1980 роках вивчення явища електромагнітної індукції в основній школі здійснювалось на емпіричному рівні, без належного теоретичного осягнення його фізичного змісту [197], [225], [199], [200], [16], [198], [9], [209], [164], [210], [43]. Але в цілому методика навчання тих років забезпечувала отримання учнями певної системи емпіричних знань з електромагнітної індукції на доступному рівні.

У 1981–1988 роках [201], [202], [226] вивчення явища електромагнітної індукції скоротили настільки, що воно виявилось малозрозумілим для більшості учнів. Починаючи з 1989 р. (перехід на 11-річний термін навчання) явище електромагнітної індукції повністю вилучили з програм основної школи і перенесли в старші класи [228], [229], [204]. Останнє характерно і для вітчизняних підручників Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [128]–[132] наприкінці ХХ – на початку ХХІ ст. Згідно навчальних програм цього періоду [215], [217], [218], явище електромагнітної індукції вивчають в основній школі тільки в тих класах, для яких фізика є профільним предметом, а в інших класах – тільки в старшій школі.

У вітчизняному підручнику за редакцією О. І. Бугайова [16, с. 6–28] поновлюють вивчення явища електромагнітної індукції в основній школі. При цьому орієнтуються не тільки на емпіричне вивчення явища електромагнітної індукції,

але й на певне теоретичне осягнення фізичної суті ряду важливих питань. Структурно виділяють окремий розділ «Електромагнітна індукція».

Згідно з Державним стандартом базової і повної середньої освіти [82, с. 1–13], курс фізики основної школи повинен бути відносно завершеним і надавати учням цілісні уявлення про основні фізичні явища, у тому числі про явище електромагнітної індукції. Отже явище електромагнітної індукції обґрунтовано повертається в навчальні програми [219].

Проаналізуємо теми, методика навчання яких містить невирішені проблеми.

Явище електромагнітної індукції. **Самоіндукція**.

Методику вивчення *явища електромагнітної індукції* у 1950 та у 1969–1980 роках і характерні для неї проблеми розкрито у Додатку А 18 [221], [267], [194], [197], [225], [199], [200].

Більш послідовно явище електромагнітної індукції розкрито у вітчизняному підручнику за редакцією О. І. Бугайова [16, с. 6–12].

По-перше, розділено два типи ефектів явища електромагнітної індукції. Для пояснення першого типу ефектів явища електромагнітної індукції використовують традиційні досліди зі взаємним рухом магніту (чи електромагніту) та котушки. Обґрунтовують, що «струм у котушці виникає внаслідок зміни в ній зовнішнього (відносно неї) магнітного поля; незмінне магнітне поле електричного струму не збуджує» [16, с. 7]. Дають означення явища електромагнітної індукції: «Електромагнітною індукцією називають явище збудження електричного струму змінним магнітним полем» [16, с. 6].

По-друге, здійснена спроба більш глибоко розкрити фізичний зміст явища електромагнітної індукції через аналіз індукційного електричного поля [16, с. 8–9]. Правда, індукційне електричне поле при цьому описано настільки стисло, що цей матеріал є малозрозумілим для більшості учнів. Як показує педагогічна практика, поняття індукційного електричного поля є дуже складним навіть для учнів старшої школи. Це вимагає виваженого його введення в основній школі.

По-третє, для визначення напряму індукційного струму використовують правило Ленца [16, с. 9–11].

По-четверте, другий тип ефектів явища електромагнітної індукції «Індукційний струм у рухомому провіднику» розміщено в окремому параграфі [16, с. 16–18]. При цьому підкреслюють, що «відповідальним» за виникнення цього індукційного струму «є сила Лоренца, а не змінне магнітне поле».

Відмітимо, що методика розкриття фізичної суті другого типу явища електромагнітної індукції потребує подальшого вдосконалення. Перш за все, це пов'язано з тим, що індукційний струм у провіднику, котрий рухається з постійною швидкістю в однорідному магнітному полі, «перетинаючи лінії поля», існує тільки протягом короткого проміжку часу, коли відбувається перерозподіл електричних зарядів під дією сили Лоренца. Як тільки цей перерозподіл закінчився, електрорушійна сила на кінцях провідника приймає стале значення, а індукційний струм зникає. Це свідчить про недоцільність посилання саме на індукційний струм як характерну ознаку другого типу ефектів явища електромагнітної індукції.

У вітчизняному підручнику за редакцією О. І. Бугайова [16, с. 15–16] висвітлюють на якісному рівні також *явище самоіндукції*. Використовують традиційні демонстрації явища самоіндукції в котушці з залізним осердям при замиканні та розмиканні електричного кола постійного електричного струму. При поясненні самоіндукції вдало посилаються на правило Ленца.

Як показує практика, явище самоіндукції є достатньо складним для значної частини учнів навіть у старшій школі. Виникає питання доцільності його вивчення в основній школі, що проаналізовано в пункті 2.5.1.

Генератор змінного електричного струму, трансформатор, передавання і використання електричної енергії.

Аналіз методики вивчення принципу дії та будови *генератора електричного струму* і *трансформатора* приведено у Додатку А 19. Відмітимо, що в підручниках та методичних посібниках [221], [267], [194], [197], [225], [199]–[202], [226], [16], [198], [9], [209]–[211], [164], [43] ці теми висвітлюють на емпіричному рівні, а теоретичне обґрунтування або майже відсутнє, або ж малозрозуміле учням. Виникає потреба вдосконалення методики вивчення цих тем на доступному для учнів основної школи теоретичному рівні.

Відомості про *виробництво, передавання і використання електроенергії* коротко розглянуто у підручниках для основної школи [16, с. 22–24], [221], [267, с. 174–175], [194]. Багато цікавих відомостей для розкриття цієї теми можна почерпнути з підручників для старшої школи [177], [64], [65].

Отже, на основі аналізу сучасного стану методики навчання електромагнетизму в основній школі в науково-методичній і навчальній літературі та у педагогічній практиці можна зробити висновок, що традиційна методика має значні здобутки при вивченні питань електромагнетизму й надає учням достатньо об'ємну та певним чином упорядковану систему знань, поєднує емпіричний підхід, опираючись на широке використання фізичного експерименту, з формуванням у свідомості учнів доступних теоретичних узагальнень і орієнтується в основному на індуктивний метод пізнання, доповнюючи його, по можливості, дедуктивним. Разом з тим, багато питань залишаються невирішеними і методика навчання електромагнетизму потребує подальшого вдосконалення у зв'язку, насамперед, з переходом до 12-річної загальної середньої освіти.

1.2. Наукові основи методики навчання електромагнетизму в основній школі за умов диференціації навчання

1.2.1. Психолого-педагогічні основи навчання фізики в основній школі

1. Аналіз психолого-педагогічної літератури (Ж. Піаже [206], Л. С. Виготський [44], О. М. Леонтьєв [144], Д. Б. Ельконін [290], В. В. Давидов [51], Г. С. Костюк [137], В. А. Крутецький [140], І. А. Зимня [97], В. С. Мухіна [174] та ін.) щодо ***особливостей розумового розвитку підлітків*** свідчить, що: 1) основним когнітивним новоутворенням підліткового віку є *формальне мислення* та пов'язані з ним абстрактно-понятійне, гіпотетико-дедуктивне, теоретичне, наукове мислення; 2) рівень сформованості формального мислення підлітків має дуже широкі межі, особливо на початку підліткового віку (Додаток Б 1).

Аналіз науково-методичної літератури (О. В. Пьоришкін, О. І. Бугайов, В. Г. Разумовський, С. Є. Каменецький, А. В. Усова, М. Т. Мартинюк, В. Ф. Сав-

ченко та ін.) [209]–[211], [164]–[166], [232], [13], [43], [186], [257], [156], [263] щодо ***вікових особливостей розумового розвитку учнів основної школи при вивченні фізики*** показує, що в більшості підлітків на початку вивчення фізики (12-14 років) *превалює наочно-образне мислення, а абстрактне перебуває тільки на стадії становлення* та поступового нарощування. У зв'язку з цим першочергове значення має використання різних *засобів наочності*: перш за все, це демонстрація дослідів, показ приладів, макетів, моделей (матеріальних), екранно-звукові засоби, тощо. Навчання зазвичай складається з наступних етапів: спостереження фізичного явища чи процесу, отримання фактів; аналіз фактів, виділення суттєвих ознак, формулювання висновків; експериментальна перевірка висновків; удосконалення знань, набуття практичних вмінь та навичок в процесі виконання спеціальних навчальних завдань, узагальнення вивченого. При цьому до умовиводів учні доходять *індуктивним* шляхом і превалює *емпіричне мислення*.

Одночасно, вже від самого початку вивчення фізики, використовують можливості логічних міркувань *дедуктивним* шляхом: виходять з наявних загальних теоретичних уявлень; висувають певні передбачення та роблять висновки; перевіряють їх правильність. Найбільшою мірою це стосується використання основних положень про будову речовини та електронної теорії. Експеримент при цьому є не початковою, а кінцевою ланкою пізнання і служить для підтвердження правильності зроблених висновків. У такому разі превалює розвиток *абстрактного мислення*, що є основою *теоретичного мислення*.

Дисертаційні дослідження розумового розвитку учнів основної школи при вивченні фізики (Додаток Б 1) дають підстави для орієнтації на розвиток не тільки наочно-образного мислення, але також його вищого рівня – дивергентного мислення; для посилення ролі формального, абстрактного мислення; для поєднання розвитку індуктивного та дедуктивного мислення; емпіричного та теоретичного мислення; для поступового розвитку наукового мислення (О. І. Ляшенко [151], М. Т. Мартинюк [157], [158], Б. Є. Будний [21], К. С. Макаренко [153], І. В. Коробова [127], В. В. Денисенко [79] та ін.). Подібні погляди відстоюють методисти Д. Я. Костюкевич та В. І. Баштовий у науковій публікації [138].

2. У нашому дослідженні ми виходимо з висновків Л. С. Виготського [44], С. Л. Рубінштейна [234], О. М. Леонтьєва [144], [145] та Д. Б. Ельконіна [290], котрі обґрунтовують ***провідну роль навчання в розумовому розвитку учнів*** за умови, коли учіння є провідною діяльністю. Причому, як вважали Л. С. Виготський [44, с. 374–390], Д. Б. Ельконін [290, с.191–199], Г. С. Костюк [137, с.248], *навчання здійснює свою провідну роль у розумовому розвитку учнів перш за все через зміст засвоюваних знань шляхом опанування науковими, а не емпіричними поняттями*.

Погляди Л. С. Виготського та О. М. Леонтьєва стали відправною точкою *теорії поетапного формування розумових дій* П. Я. Гальперіна з відповідною орієнтаційною основою дій П. Я. Гальперіна і Н. Ф. Тализіної [58], [253], [254, с.128–131], що мають за мету цілеспрямоване керування процесом розумового розвитку учнів. Подальшим важливим напрямом розвитку теорії та практики навчальної діяльності є ***розвиваюче навчання*** (Додаток Б 2), трьома основними напрями якого є: 1) дидактична система Л. В. *Занкова* (загального розвитку учнів шляхом навчання на високому рівні складності з провідною роллю теоретичних знань) [96]; 2) «змістовне теоретичне узагальнення» В. В. *Давидова* (дидактична система розвитку науково-теоретичного мислення шляхом віднаходження генетично-вихідного відношення з наступним сходженням від абстрактного до конкретного) [75]; 3) *проблемне навчання*, що полягає в створенні та вирішенні проблемних ситуацій з орієнтацією на чотири рівні проблемного навчання (В. Оконь [183], О. М. Матюшкін [161], Р. І. Малафєєв [154], О. І. Ляшенко [95] та ін.).

Автори основних посібників з методики навчання фізики (О. В. Пьоришкін, М. С. Білий, О. І. Бугайов, В. Г. Разумовський, С. Є. Каменецький, А. В. Усова, М. Т. Мартинюк, В. Ф. Савченко) відстоюють думку про перспективність використання в основній школі (наряду з іншими) проблемного, розвиваючого навчання [9], [13], [43], [156], [164]–[166], [186], [209]–[211], [232], [257], [263].

Розвиваюче, проблемне навчання, теорію поетапного формування розумових дій (у сукупності, чи певне з них) як важливі чинники ефективності різних аспектів навчальної діяльності в своїх дисертаційних дослідженнях використовують: М. Т. Мартинюк [157], [158, с.128–131] при обґрунтуванні науково-методичних

засад навчання фізики в основній школі; О. І. Ляшенко [151, с.8–44] при дослідженні взаємозв'язку теоретичного та емпіричного в навчанні фізики; С. П. Величко [41] для подальшого розвитку системи фізичного експерименту; К. С. Макаренко [153] для формування в учнів елементів дедуктивного методу міркування; М. В. Остапчук [187, с.2–11] при розробці системи фізичних завдань; Л. В. Яїцька [292, с.7–18] для індивідуалізації навчання; В. В. Денисенко [79, с.8–15] для формування теоретичного мислення підлітків у процесі вивчення фізики; М. В. Каленик [108] при формуванні поняття фізичної величини в учнів основної школи; І. В. Коробова [127, с.10–16] для успішного розвитку дивергентного мислення.

Як відмічають у науковій публікації М. І. Шут та В. П. Сергієнко, використання розвиваючого і проблемного навчання є однією з передумов повноцінного розуміння фізики учнями [288]. Особливості використання проблемно-модульного навчання при вивченні електромагнітної індукції розкриті в публікаціях [74], [280], [281]. М. В. Каленик показує важливість використання проблемного навчання для розвитку творчих здібностей учнів [109]. М. В. Остапчук розкриває суть проблемного навчання, як дидактичної системи навчання фізики [188].

Все це свідчить про перспективність виваженого використання вказаних видів навчання в процесі вдосконалення методики вивчення фізики в цілому та електромагнетизму зокрема.

1.2.2. Диференціація навчання фізики та перспективи її запровадження в основній школі

1. Питання *індивідуалізації* та *диференціації навчання* ретельно проаналізовано в психолого-педагогічній та науково-методичній літературі (І. Е. Унт [261], В. Я. Забранський [91, с.14–24], С. Є. Каменецький [256], О. І. Бугайов [14], [17], О. І. Ляшенко [152], А. Фурман [277], Н. Є. Мойсеюк [171, с. 269–276], Т. О. Лукіна [148, с.34–52], [149], Т. І. Туркот [260], та ін.). Значення термінів індивідуалізація та диференціація навчання (і споріднених їм термінів), аналіз різних видів диференціації (внутрішня, зовнішня, елективна, селективна) та критеріїв, за якими вони здійснюються, приведено в Додатку Б 3. Ми не ставимо за мету всебічно ви-

світлити дану проблему, а розглядаємо її з позицій розкриття перспектив запровадження диференціації навчання фізики в основній школі.

Передумовою індивідуалізації та диференціації навчання є широкий спектр здібностей учнів, переконливо доказаний як психологічними дослідженнями, так і дослідженнями вікових особливостей розвитку учнів (в тому числі підлітків) в процесі вивчення фізики, про що говорилось у пункті 1.2.1. Індивідуалізація та диференціація навчання слугують виявленню та розвитку природних задатків, здібностей, потенціальних можливостей учнів, усесторонньому розвитку їх особистості.

У Державному стандарті базової і повної середньої освіти [82], [83], одним з основних принципів побудови системи середньої освіти є індивідуалізація та диференціація навчання. Основними видами диференціації в середніх школах України кінця XX – початку XXI ст. є рівнева та профільна диференціація. При вивченні фізики питання рівневої та профільної диференціації найбільш повно розкрито в наукових працях О. І. Бугайова [14], [17]. Достатньо повна характеристика рівневої та профільної диференціації приведена у програмах з фізики для середніх шкіл [215]–[219]. *Рівнева диференціація* охарактеризована в Додатку Б 4. Основну ж увагу ми зосереджуємо на аналізі профільної диференціації, оскільки в нашому дисертаційному дослідженні вона є однією з важливих складових подальшого вдосконалення методики навчання електромагнетизму в основній школі.

Профільна диференціація передбачає диференціацію *за змістом навчання*. Суть її полягає в тому, що різні за профілем навчальні класи (групи) вивчають предмет (фізику) за програмами та навчальними посібниками, які відрізняються не тільки глибиною викладу матеріалу, змістом і обсягом навчальних завдань, вимогами до знань, умінь і навичок учнів, але й, головне, змістом навчання – переліком розділів, тем і питань [14], [3], [124], [125], [17], [215]–[219].

Основним критерієм, за яким здійснюється профільна диференціація, є здібності, нахили та уподобання учнів до вивчення певного предмету, предметів певного освітнього напряму чи певної освітньої галузі. Існує цілий ряд профілів, наприклад, профілі природничо-математичного напряму (фізико-математичний, фізичний, фізико-хімічний, біофізичний, тощо), профілі технологічного, суспільно-

гуманітарного, філологічного, художньо-естетичного, спортивного напрямів [258]. Різні профілі можуть створюватись як всередині навчального закладу середньої освіти, так і весь навчальний заклад може мати певний профіль, наприклад, фізико-математичний. Існують й спеціалізовані школи для обдарованих дітей.

У Державному стандарті базової і повної середньої освіти [81]–[83] та у Концепції профільного навчання [126], у концептуальних засадах реформування шкільної фізичної освіти [152], профільна диференціація стає основним видом диференціації навчання в старшій школі (Додаток Б 4). У 8–9 класах 12-річної школи, з метою професійної орієнтації учнів та сприяння у виборі ними напряму профільного навчання в старшій школі, запроваджується *допрофільна підготовка* [126]. Рівнева диференціація, за умов профільного навчання, доповнює профільну.

2. Проаналізуємо ***перспективи запровадження диференціації навчання фізики в основній школі***.

Найбільш повно *рівнева диференціація* навчання в основній школі обґрунтована у дисертаційному дослідженні М. Т. Мартинюка. Весь навчальний матеріал диференційовано на трьох рівнях: рівні обов'язкових результатів, підвищеному і поглибленому рівнях [157, с. 6–21], [158, с. 49–81, с. 128–131]. Кінцевим результатом дослідження є розробка у співавторстві з О. І. Бугайовим і впровадження в шкільну практику підручників для 7–9 класів, в яких чітко прослідкується основний навчальний матеріал, що відповідає рівню обов'язкових результатів, та додатковий навчальний матеріал, що відповідає підвищеному й поглибленому рівням [15], [16].

Ідею впровадження диференціації навчання на рівні створення підручників для спеціалізованих загальноосвітніх шкіл-інтернатів (шкіл, класів) інтенсивної педагогічної корекції (для дітей із затримкою психічного розвитку) реалізовано В. Д. Сиротюком [243], [244]. Електромагнітні явища розкрито на доступному для учнів цієї категорії емпіричному рівні.

Стан вивчення та впровадження диференціації навчання фізики в основній школі відображено в наукових публікаціях В. К. Буряка [39], Ю. М. Галатюка і В. І. Тищука [56], М. В. Каленика [107], В. В. Мендерецького [163], Ю. П. Мінаєва

[169], Н. А. Іваницької і В. Ф. Савченка [99], [100] та у дисертаційних дослідженнях М. В. Остапчука [187], Т. О. Лукіної [148, с.34–52], [149], А. Л. Стеблецького [249], Л. В. Яїцької [292], Г. О. Котельникова [139], М. П. Руденка [235]. Аналіз цих робіт свідчить про значні здобутки в упровадженні рівневої диференціації та певні напрацювання в упровадженні профільної диференціації при навчанні фізики в основній школі (Додаток Б 5).

Важливим для організації диференціації навчання, особливо *профільної диференціації*, є питання про те, у якому віці більшість учнів проявляє здібності до того чи іншого виду діяльності. Як показують дослідження психологів, такі здібності починають формуватись та яскраво проявлятись у підлітковому віці. Саме в цьому віці виникають глибокі, стійкі інтереси, формується свідоме, активне відношення до навколишнього, інтенсивно розвивається творче мислення [141, с. 114–115]. Причому підлітки оцінюють різні види діяльності, перш за все, з точки зору інтересів, а лиш потім – з точки зору іншої системи цінностей (наприклад, вибір майбутньої професії). Але, з іншої сторони, для підліткового віку характерними є дуже великі градації у рівні та темпах розвитку учнів. Це повністю стосується й здатності учнів до надання пріоритету певному профілю навчання. Педагогічна практика показує, що більшість підлітків, унаслідок вікових особливостей свого розвитку, не готові до раннього профільного навчання. Це свідчить про ***недоцільність запровадження профільного навчання для основного загалу учнів основної школи***. Більше того, запровадження профільного навчання в ранньому підлітковому віці для багатьох учнів не тільки передчасне, але й може виявитись несприятливим для їх подальшого загального розвитку.

Разом з тим, частина учнів основної школи вже визначилась з вибором пріоритетних освітніх галузей та готова до поглибленого вивчення відповідних предметів. Цей висновок підтверджується не тільки дослідженнями психологів, але й багаторічною практикою роботи шкіл нового типу, у яких в останньому десятилітті ХХ ст. і на самому початку ХХІ ст. профільне навчання починалось з 8 класу 11-річної середньої школи (в 7 класі учні тільки починають вивчати фізику, тому виявити інтерес та здібності учнів до вивчення фізики можна наприкінці 7 класу).

Широке впровадження рівневої та профільної диференціація навчання як у старшій, так і в основній школі знаходить своє відображення в навчальних програмах 1992 р. [215] та 1996 р. [217] останнього десятиліття XX ст., коли відкривались і проходили етап становлення гімназії, колегіуми, ліцеї (школи нового типу).

В останньому десятилітті XX ст. і на самому початку XXI ст. у наукових публікаціях О. І. Бугайова [14], у навчальних програмах з фізики [215]–[218], у Концепції неперервної фізичної освіти в навчальних закладах України [3], Концепції розвитку загальної середньої освіти [124], Концепції фізичної освіти в 12-річній загальноосвітній школі [17] відстоювалась думка про запровадження профільної диференціації, насамперед, у старшій школі, але, крім того, в окремих випадках, (зокрема, при поглибленому вивченні фізики в школах нового типу) – і у 8–9 класах основної школи. Можливість профільного навчання фізики в класах з поглибленим її вивченням, починаючи з 8 класу, відмічається також у дисертаційному дослідженні М. Т. Мартинюка [157, с.16].

Згодом, у Державному стандарті базової і повної середньої освіти [81]–[83], у Концепції профільного навчання [126] та навчальній програмі [219] акцент змінився – виходять з того, що навчання є профільним у старшій школі. В основній школі «зміст освіти … є єдиним для всіх учнів; особистісно орієнтований підхід здійснюється через варіативність методик організації навчання залежно від пізнавальних здібностей, а також через факультативні курси» [82, с. 1]. Разом з тим, «для учнів спеціалізованих шкіл, гімназій, ліцеїв і колегіумів дозволяється перерозподіляти між освітніми галузями до п’ятнадцяти відсотків навчального часу, визначеного інваріантною частиною Базового навчального плану»; є ще й значний резерв навчального часу варіативної частини [82, с. 1–2].

Згідно з Концепцією профільного навчання [126], у 8–9 класах 12-річної школи запроваджується ***допрофільна підготовка***, яка сприяє вибору напряму профільного навчання в старшій школі та професійній орієнтації учнів. Форми реалізації допрофільної підготовки – введення курсів за вибором, поглиблене вивчення окремих предметів на диференційованій основі, факультативні заняття [126].

Різні аспекти допрофільного навчання, особливості, перспективи та завдання

його впровадження розглянуто в спецвипуску «Профільне навчання» [220]. Методологічні засади організації допрофільної підготовки учнів основної школи розкрито в публікації [231]. Досвід упровадження допрофільного навчання (методики визначення профілю для учнів, навчально-методичне забезпечення, організація навчально-виховного процесу, психологічний супровід) описано в статті [73].

У методичних рекомендаціях Міністерства освіти і науки України упровадження допрофільної підготовки в основній школі пропонують здійснювати за тими ж основними напрямами і профілями, які передбачає профільне навчання в старших класах [168], [262].

Отже, поряд з безпрофільним навчанням основного загалу учнів основної школи як доповнення до цієї загальної тенденції ***існують підстави для запровадження поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації навчання в основній школі*** у середніх навчальних закладах нового типу за рахунок передбаченого в Державному стандарті перерозподілу між освітніми галузями до п’ятнадцяти відсотків інваріантної частини навчального часу та у формі факультативних занять. Це враховує індивідуальні запити та сприяє розвиткові талановитої та творчо обдарованої молоді. Але відбір учнів, готових до поглибленого вивчення фізики в підлітковому віці, необхідно проводити дуже виважено і ретельно.

Ми впроваджуємо організаційну модель допрофільної підготовки в межах одного загальноосвітнього навчального закладу, оскільки її найлегше організувати в рамках нашого дослідження. Поглиблене вивчення фізики (електромагнетизму) при цьому здійснюємо за спеціальними програмами.

Як бачимо, питання про запровадження поглибленого вивчення фізики в основній школі на різних етапах розвитку шкільної фізичної освіти вирішувалось по різному і становить вагому наукову психолого-педагогічну та методичну проблему. У рамках нашого дослідження ми не ставимо за мету повністю вирішити цю проблему. Наше завдання полягає в тому, щоб перевірити готовність учнів фізико-математичних класів до поглибленого вивчення електромагнетизму в основній школі за умов диференціації навчання.

1.2.3. Генералізація навчального матеріалу курсу фізики основної школи

1. Проаналізуємо ***сучасний стан генералізації навчального матеріалу шкільного курсу фізики***.

Термін «*генералізація*» згідно його етимології походить від латинського «generalis» – загальний, спільний, головний. С. У. Гончаренко в педагогічному словнику приводить наступне тлумачення [67, с. 65]: «Генералізація в педагогіці – процес узагальнення, який полягає у встановленні істинних спільних властивостей явищ і предметів, що вивчаються, з одночасним нехтуванням неістотними.»

У методиці термін «***генералізація***» означає виділення загального, головного принципу (ідеї) та побудову на цій основі методики навчання з підпорядкуванням часткового, окремого головному. Термін «генералізація» використовують у декількох розуміннях: «генералізація знань» (В. Г. Разумовський [186], О. І. Бугайов [17], Н. В. Пастернак [192]); «генералізація навчального матеріалу» (О. І. Бугайов, О. І. Ляшенко [3], [151], [152]; М. Т. Мартинюк [158], М. І. Садовий [239]); «генералізація змісту навчального предмету» (В. І. Каленик [106]). Зазначені терміни споріднені за своєю суттю, але кожен з них має свою специфіку. У випадку «*генералізації знань*» загальне, головне виділяють зі всього обсягу знань, що підлягають засвоєнню учнями. У разі «*генералізації навчального матеріалу*» спільне, головне виокремлюють зі всього навчального матеріалу певного предмету (фізики); наслідком генералізації навчального матеріалу є генералізація знань учнів. «*Генералізація змісту навчального предмету*» передбачає відбір загального, головного вже на рівні змісту певного навчального предмету.

Поняття генералізації у методиці навчання фізики появилось, насамперед, завдяки працям В. Г. Разумовського, котрий, на основі аналізу і виявлення такого рівня узагальнення навчального матеріалу, який є доступним для учнів, обґрунтував ефективність удосконалення шкільного курсу фізики шляхом виділення його теоретичного ядра [186, с. 77–104]. Особливо чітко це простежується в старших класах, коли узагальнення на доступному для учнів рівні здійснюють на основі фундаментальних фізичних теорій, таких як класична механіка, молекулярно-

кінетична теорія і термодинаміка, класична електродинаміка, квантова фізика. Відповідно, *генералізація* в старшій школі здійснюється *на основі* зазначених *фундаментальних фізичних теорій*. У кожній з фундаментальних фізичних теорій В. Г. Разумовський виділяє наступні структурні складові: основа (узагальнення спостережень і експериментальних фактів, вихідні фізичні поняття, величини, моделі), ядро (система найбільш загальних законів, принципів, постулатів), висновки (наслідки з теорії, отримані дедуктивним шляхом). Особливу увагу в генералізації знань вчений надає виділенню теоретичного ядра [186, с. 77–104].

Важливість генералізації полягає, насамперед, у підвищенні теоретичного рівня навчання завдяки виділенню основного навчального матеріалу, котрий складає ядро шкільного курсу фізики. Це полегшує розуміння фізичної суті виучуваного за рахунок відділення головного від допоміжного й другорядного, сприяє формуванню у свідомості учнів узагальнених знань, посилює теоретичне мислення та розумовий розвиток учнів, зменшує об’єм навчального матеріалу й економить час.

Педагогічна практика останніх десятиліть переконливо характеризує генералізацію навчального матеріалу як один з найефективніших методів удосконалення шкільного курсу фізики. Провідні вітчизняні методисти О. І. Бугайов, О. І. Ляшенко, М. Т. Мартинюк та інші надають важливого значення використанню генералізації при вдосконаленні шкільного курсу фізики [3], [158], [152], [17].

У науковій публікації О. І. Бугайова, О. І. Ляшенка та В. М. Андронова генералізація навчального матеріалу на основі фундаментальних фізичних теорій враховується нарівні з органічним поєднанням класичної та сучасної фізики [3]. Генералізацію навчального матеріалу на базі фундаментальних фізичних понять запроваджують у дисертаційних дослідженнях Б.Є. Будний [21] та М.І. Садовий [239]. Н. В. Пастернак у дисертаційному дослідженні [192] розширює поняття генералізації за рахунок обґрунтування *генералізації на основі методологічних знань*.

2. Проаналізуємо ***стан генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму*** у старших класах з метою її можливої адаптації для основної школи.

Теоретичним ядром класичного електромагнетизму (класичної електродинаміки) є, передусім, система чотирьох рівнянь макроскопічної електродинаміки

Максвелла, доповнена трьома «матеріальними» рівняннями електронної теорії Лоренца. З позицій методики навчання фізики найбільш переконливо це питання розкрито в роботах В. В. Мултановського [173, с. 33–37], С. Є. Каменецького [112, с. 15–18], В. Г. Разумовського [186, с. 91–95]. Основним у класичному електромагнетизмі є поняття електромагнітного поля. На основі теоретичного ядра можна пояснити всі явища класичного електромагнетизму. Наявність теоретичного ядра створює передумови для генералізації класичного електромагнетизму.

Недостатня математична підготовка учнів та принципова складність теорії Максвелла не дозволяє розкрити її в достатній мірі в шкільному курсі фізики. На сьогоднішній день не існує загальноприйнятого доступного для більшості учнів викладення рівнянь Максвелла. Унаслідок цього шкільна електродинаміка не має спільного теоретичного ядра, а складається з відносно відокремлених розділів: електричне поле, постійний електричний струм, електричний струм у різних середовищах, магнітне поле, електромагнітна індукція, електромагнітні коливання, електромагнітні хвилі. Кожен з цих розділів має своє теоретичне ядро і вивчення електродинаміки здійснюється відповідно до принципу циклічності В. Г. Разумовського [230]. Отже, традиційна шкільна електродинаміка в недостатній мірі використовує можливості генералізації навчального матеріалу. У такій ситуації В. Г. Разумовський пропонує ядро узагальнення шкільної електродинаміки формулювати на рівні якісних висновків теорії Максвелла-Лоренца, котрі стосуються електричного поля, магнітного поля, електромагнітного поля [186, с. 93–95]. Поняття електромагнітного поля вивчають, орієнтуючись на індуктивний підхід, наприкінці електромагнетизму, узагальнюючи уявлення про електричне поле, магнітне поле, електромагнітну індукцію в процесі вивчення електромагнітних хвиль. Такий варіант вивчення поняття електромагнітного поля підтримує в дисертаційному дослідженні М. Ф. Вознюк [46], [47]. Зазначеного підходу дотримуються автори традиційних шкільних підручників [40], [175], [284], [285], [65], [66]. Певне вдосконалення цієї методики, за рахунок формування поняття електромагнітного поля вже наприкінці вивчення електромагнітної індукції з подальшим його узагальненням в процесі вивчення електромагнітних хвиль, здійснено в

радянських шкільних підручниках Г.Я. Мякішева [176], [177], вітчизняних підручниках для поглибленого вивчення фізики С. У. Гончаренка [63], [64] та у дисертаційному дослідженні Л. С. Недбаєвської [180].

З метою більш широкого використання ідей Максвелла в шкільному курсі фізики, С.Є. Каменецький [112, с.31–35], [113] пропонує вивчення електромагнетизму в старшій школі розпочати з пропедевтичного ознайомлення з поняттям електромагнітного поля на основі узагальнення знань з електричних явищ, магнітних явищ та явища електромагнітної індукції, отриманих в основній школі [197], [225], [199], [200]. Такий підхід дає деякі переваги, оскільки при подальшому вивченні електричного та магнітного полів учні враховують, що існує «єдине» електромагнітне поле. По суті, це спроба *генералізації навчального матеріалу електромагнетизму в старшій школі на основі поняття електромагнітного поля*, хоча сам термін «генералізація» С. Є. Каменецький не вживає. Відмітимо, що запропонований варіант генералізації електромагнетизму не є до кінця послідовним. Так, пропедевтичний етап побудовано таким чином, що наявність електромагнітного поля не доводять у достатній мірі, а значним чином тільки постулюють. Це пов’язано з тим, що в основній школі недостатньо уваги приділено аналізу електричного та магнітного полів, а електромагнітну індукцію розкрито тільки на емпіричному рівні, не використовуючи її польового трактування [197], [225], [199], [200]. Але, в цілому, зазначений напрям генералізації, на нашу думку, є важливим резервом для подальшого вдосконалення методики навчання електромагнетизму не тільки в старшій, але й в основній школі.

Запропоновано також узагальнення здійснювати не тільки на рівні якісних висновків теорії Максвелла-Лоренца, але й на більш високому теоретичному рівні, адаптованому до поглибленого вивчення фізики [11], [112]–[115], [54], [173], [240], [189], [63], [64], [50], [155], [90], [120]–[123], [85], [271], [272].

3. Проаналізуємо ***особливості генералізації навчального матеріалу при вивченні фізики в основній школі***.

У посібниках з методики навчання фізики генералізацію характеризують як основу для відбору навчального матеріалу в основній школі [43, с. 6–13], [186,

с. 124], [211], [165, с. 10–11]. Генералізація дозволяє посилити роль фізичної теорії та розвиток теоретичного мислення учнів уже в основній школі. Починаючи з 1967 р. розкриття значної частини навчального матеріалу здійснюють *на основі двох теорій* – елементів молекулярно-кінетичної теорії будови речовини та елементів електронної теорії – на доступному для підлітків якісному рівні.

У радянських і вітчизняних підручниках для 7 класу та у відповідних методичних посібниках, *основи молекулярно-кінетичної теорії* будови речовини вивчаються на самому початку курсу фізики [200]–[203], [226], [198], [9], [209]–[211], [164], [232], [13], [43], [186, с. 124], [257], [156], [263]. Це дозволяє використовувати отримані знання при подальшому вивченні фізики для пояснення властивостей речовини в трьох агрегатних станах, для з'ясування причини тиску в рідинах і газах, для розкриття суті теплових явищ (у тому числі при агрегатних перетвореннях речовини), електромагнітних явищ. *Елементи електронної теорії* вивчають у процесі ознайомлення з будовою атомів (та іонів) майже на початку вивчення електричних явищ, що дає можливість пояснити фізичну суть явища електризації, природу електричного струму провідності в металах, електролітах і газах, наявність магнітного поля рухомої електрично зарядженої частинки на основі досліду Ерстеда, магнітні властивості речовини, тощо. Практика навчання фізики протягом останніх десятиліть підтвердили високу ефективність запровадження генералізації навчального матеріалу в основній школі.

Окрім генералізації навчального матеріалу на основі цих двох теорій, у змісті та структурі курсу фізики основної школи чітко простежується розвиток уявлень про основні фізичні явища відповідно до *ускладнення форм руху матерії*: механічний рух і взаємодія, теплові явища, електромагнітні явища, світлові явища. В. Г. Разумовський пов'язує останнє з тим, що учні основної школи здійснюють узагальнення, перш за все, на рівні фізичних явищ, понять, величин, окремих моделей, законів [186, с. 77–78]. О. І.Бугайов та М. Т. Мартинюк вдало іменують цю особливість курсу фізики основної школи терміном «*явищний* (*феноменологічний*) *підхід*» і стверджують, що явищний підхід *є визначальним у структуруванні існуючого курсу фізики основної школи* [157, с. 19–20], [158], [17, с. 11].

У зв’язку з переходом на 12-річний термін навчання, відповідно до Концепції фізичної освіти в 12-річній загальноосвітній школі [17], [18] і Державного стандарту базової і повної середньої освіти [81]–[83], значно посилюється роль основної школи, по закінченню якої учні повинні отримати повноцінну базову освіту на відносно завершеному доступному для них рівні. Основній школі відповідає відносно завершений курс фізики 7–9 класів, що охоплює початкові відомості про більшість основних фізичних явищ. Тобто, *учні основної школи повинні отримати на доступному для них рівні цілісне уявлення про основні фізичні явища*: механічні, теплові, електромагнітні (в тому числі про явище електромагнітної індукції), світлові, початкові уявлення про явища ядерної фізики.

Усі ці зміни повинні знайти своє відображення в генералізації навчального матеріалу курсу фізики основної школи. О. І.Бугайов та М. Т. Мартинюк пропонують наступне: 1) за основу для побудови базового курсу фізики 7–9 класів основної школи взяти «феноменологічний («явищний») підхід, … коли навчальний матеріал групується навколо визначальних фізичних явищ» …; 2) під час осягнення суті цих явищ «вводяться елементи і початкові відомості відповідних фізичних теорій: молекулярно-кінетичної, електронної, електромагнітної … та ін.» [17, с. 11], [157, с. 19–20], [158]. О. І. Ляшенко, при аналізі концептуальних засад реформування шкільної фізичної освіти в основній школі, зазначає: «Генералізуючою основою … навчального матеріалу … доцільно обрати адаптовані до навчання теоретичні системи знань, що пояснюють конкретні види фізичних явищ – механічні, теплові, електричні, магнітні, світлові тощо» [152, с. 40]. Подальший розвиток цих ідей здійснено в наступному розділі дисертаційної роботи.

Електричні й магнітні явища та електромагнітну індукцію в основній школі (в тому числі й у 9 класі 12-річної школи) вивчають відносно відокремлено; у певній мірі враховано взаємозв’язок між електричними й магнітними явищами, особливо при вивченні електромагнітної індукції, але, в цілому, навчання електромагнетизму в основній школі не має об’єднуючої основи. Наше завдання полягає в установленні такої об’єднуючої основи і в упровадженні генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі (що розкрито в розділі 3).

Висновки розділу 1

На основі огляду науково-методичної та навчальної літератури і педагогічної практики здійснено критичний **аналіз сучасного стану методики навчання електромагнетизму в основній школі**. Суттєве вдосконалення методики пов'язане з реформою шкільної фізичної освіти, започаткованою в 1967 р. Традиційна методика має значні здобутки при вивченні питань електромагнетизму й надає учням достатньо об'ємну та певним чином впорядковану систему знань, поєднує емпіричний підхід, опираючись на широке використання фізичного експерименту, з формуванням у свідомості учнів доступних теоретичних узагальнень і орієнтується в основному на індуктивний метод пізнання, доповнюючи його, по можливості, дедуктивним. Разом з тим, багато питань залишаються невирішеними і методика навчання електромагнетизму потребує подальшого вдосконалення у зв'язку, насамперед, з переходом до 12-річної загальної середньої освіти.

При вивченні ***електричних явищ*** потребують вирішення наступні питання.

1. Від самого початку учням демонструють взаємодію електрично заряджених тіл не тільки з іншими електрично зарядженими тілами, але й з електронейтральними тілами, що веде до формування невірних уявлень про можливість взаємодії заряджених частинок з електрично нейтральними [45]–[49]. Крім того, у підручниках відсутні переконливі досліди з електризації тіл при контакті.

2. Недостатньо розкрито, що електрична взаємодія має характер близькодії. Поняття електричного поля вивчають стисло, не торкаючись (або недостатньо аналізуючи) питання графічного його зображення. Недостатньо розкрито, що електричне поле є складовою більш загального електромагнітного поля (електричне поле постає неначе відокремлений самодостатній вид поля). Мало уваги приділено обґрунтуванню наявності енергії в електричного поля.

3. Потребує вдосконалення методика введення електричного заряду як фізичної величини. Недостатньо розкритим (або зовсім не розкритим) виявляється один з фундаментальних законів фізики – закон збереження електричного заряду. Зовсім не згадується про інваріантність електричного заряду.

4. При вивченні будови атому є резерви щодо поглиблення уявлень учнів про будову речовини. Потребує вдосконалення методика висвітлення основ електронної теорії та її використання для пояснення механізму електризації тіл.

5. При введенні поняття електричного струму неповно розкрито дію електричного поля на вільні позитивно та негативно заряджені частинки. Недостатньо висвітлено природу електричного струму, пов'язаного з впорядкованим рухом позитивно та негативно заряджених вільних іонів. Потребує вдосконалення методика вивчення природи електричного струму в електролітах (хімічна дія струму) і газах. Бажано розкрити уявлення про плазму як четвертий агрегатний стан речовини.

6. Існує ускладнення в розкритті магнітної дії електричного струму ще до вивчення поняття магнітного поля. Ще в більшій мірі це стосується введення одиниці сили струму 1 А: переважна більшість учнів на цьому етапі не розуміють, чому між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія. Крім того, учні вчаться користуватись амперметром і вольтметром, практично не знаючи принципу їх дії.

7. Недостатньо розкрито фізичну суть електричної напруги, саме як енергетичної характеристики електричного поля.

При вивченні ***магнітних явищ*** потребують вирішення наступні питання.

1. Згідно з традиційною методикою, поняття магнітного поля вводять на основі досліду Ерстеда. Тобто одразу вводять достатньо складне загальне поняття магнітного поля як такого, що існує навколо провідників зі струмом, а значить і навколо рухомих електрично заряджених частинок. При цьому не враховують, що магнітна взаємодія у свідомості учнів асоціюється спочатку не зі струмом, а через взаємодію постійних магнітів, яка за навчальною програмою вивчається в другу чергу.

2. Потребує уточнення поняття «лінії магнітного поля». Занадто стисло аналізується картина (спектр) ліній магнітного поля. Недостатньо розкрито, що магнітна взаємодія має характер близькодії, що магнітне поле є складовою більш загального електромагнітного поля як виду матерії. Мало уваги приділено обґрунтуванню наявності енергії в магнітного поля.

3. Потребує вдосконалення методика розкриття природи магнітного поля постійних магнітів та методика навчання теми «Магнітні властивості речовини».

4. При вивченні сили Ампера обмежуються тільки випадком взаємно перпендикулярного розташування провідника зі струмом і «ліній магнітного поля». Не проаналізована магнітна взаємодія паралельних провідників зі струмом, унаслідок чого виявився нерозкритим фізичний зміст одиниці сили струму 1 А. Вивчення принципу дії електродвигунів постійного струму здійснено на емпіричному рівні.

5. Потребує вдосконалення методика вивчення сили Лоренца, розгляд якої необхідний для надання учням узагальнених уявлень про дію магнітного поля.

При вивченні ***явища електромагнітної індукції*** потребують вирішення наступні питання.

1. Згідно з Державним стандартом базової і повної середньої освіти, курс фізики основної школи повинен бути відносно завершеним і надавати учням цілісні уявлення про основні фізичні явища, в тому числі про електромагнітну індукцію.

2. Потребує подальшого вдосконалення методика розкриття фізичної суті двох типів ефектів електромагнітної індукції (на доступному для учнів рівні), а також методика навчання явища самоіндукції.

3. При вивченні питань практичного використання явища електромагнітної індукції на прикладі генератора змінного електричного струму й трансформатора обмежуються емпіричним рівнем, не висвітлюючи фізичну суть питань.

4. Недостатньо уваги приділено порівнянню електричного й магнітного полів. Зовсім не розглянуто питання відносності електричного й магнітного полів.

5. Основним недоліком традиційної методики, на нашу думку, є відсутність будь-яких уявлень про електромагнітне поле й електромагнітну взаємодію та відсутність об’єднуючої основи при вивченні електричних явищ, магнітних явищ і електромагнітної індукції.

У процесі подальшого розвитку методики навчання електромагнетизму необхідно суттєвим чином вдосконалити *структуру* курсу з відповідним упорядкуванням змістових модулів навчального матеріалу.

Обґрунтовано **наукові основи методики навчання електромагнетизму в основній школі за умов диференціації навчання**.

1. Аналіз психолого-педагогічної літератури (Ж. Піаже, Л. С. Виготський, О. М. Леонтьєв, Д. Б. Ельконін, В. В. Давидов, Г. С. Костюк, В. А. Крутецький, В. С. Мухіна та ін.) щодо ***особливостей розумового розвитку підлітків*** свідчить, що: 1) основним когнітивним новоутворенням підліткового віку є *формальне мислення* та пов'язані з ним абстрактно-понятійне, гіпотетико-дедуктивне, теоретичне, наукове мислення; 2) рівень сформованості формального мислення підлітків має дуже широкі межі, особливо на початку підліткового віку.

Ми орієнтуємось на використання: а) теорії *провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів*, особливо її висновку, що навчання здійснює свою провідну роль у розумовому розвитку учнів, перш за все, через зміст засвоюваних знань шляхом опанування науковими, а не емпіричними поняттями (Л. С. Виготський, О.М. Леонтьєв, Д. Б. Ельконін, Г. С. Костюк); б) *теорії поетапного формування розумових дій* та вчення про фактори і типи орієнтаційної основи дій (П. Я. Гальперін, Н. Ф. Тализіна); в) *розвиваючого навчання* у трьох його основних напрямах: 1) дидактична система Л. В. Занкова; 2) «змістовне теоретичне узагальнення» В.В. Давидова; 3) проблемне навчання.

2. Проаналізовано в науково-методичній, психолого-педагогічній літературі та в педагогічній практиці суть і особливості *профільної диференціації*, яка стає головним видом диференціації у старших класах, та *допрофільної підготовки*, що запроваджується у 8–9 класах основної школи за 12-річного терміну навчання. Зроблено висновок, що поряд з безпрофільним навчанням основного загалу учнів основної школи як доповнення до цієї загальної тенденції ***існують підстави для запровадження поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації навчання в основній школі*** нового типу за рахунок передбаченого в Державному стандарті перерозподілу між освітніми галузями до п'ятнадцяти відсотків інваріантної частини навчального часу та у формі факультативних занять. Це враховує індивідуальні запити і сприяє розвиткові талановитої та творчо обдарованої молоді. Але відбір учнів, готових до поглибленого ви-

вчення фізики в підлітковому віці, необхідно проводити дуже виважено й ретельно.

3. Аналіз науково-методичної літератури та педагогічної практики останніх десятиліть переконливо характеризує *генералізацію навчального матеріалу* як один з найефективніших методів удосконалення шкільного курсу фізики як у старшій, так і в основній школі. У методиці термін «***генералізація***» означає виділення загального, головного принципу (ідеї) та побудову на цій основі методики навчання з підпорядкуванням часткового, окремого головному. Охарактеризовано загальновживані терміни «*генералізація знань*», «*генералізація навчального матеріалу*», «*генералізація змісту навчального предмету*».

Проаналізовано сучасний стан генералізації навчального матеріалу курсу фізики старшої школи в цілому та електромагнетизму зокрема з метою можливої їх адаптації до основної школи.

Проаналізовано ***особливості генералізації навчального матеріалу курсу фізики основної школи***: починаючи з 1967 р. генералізація значної частини навчального матеріалу здійснюється *на основі двох теорій* – елементів молекулярно-кінетичної теорії будови речовини та елементів електронної теорії – на доступному для підлітків якісному рівні (В. Г. Разумовський).

Окрім того, чітко простежується *явищний* (*феноменологічний*) *підхід*, пов'язаний з розвитком уявлень про основні фізичні явища відповідно до ускладнення форм руху матерії. Для базового відносно завершеного курсу фізики основної школи за 12-річного терміну навчання О. І. Бугайов, О. І. Ляшенко та М. Т. Мартинюк пропонують поєднати «явищний» (феноменологічний) підхід і адаптовані до навчання початкові відомості відповідних фізичних теорій. Подальший розвиток цієї ідеї здійснено в наступному розділі дисертаційної роботи.

Електричні й магнітні явища та електромагнітну індукцію в основній школі вивчають відносно відокремлено, навчання електромагнетизму в основній школі не має об’єднуючої основи. Наше завдання полягає в установленні такої об’єднуючої основи та в упровадженні генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі.

РОЗДІЛ 2
УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМІСТУ, СТРУКТУРИ Й МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ В ОСНОВНІЙ ШКОЛІ НА ЗАСАДАХ ГЕНЕРАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ЗА УМОВ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАВЧАННЯ

2.1. Засади генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі

1. Нашою метою є вдосконалення методики навчання електромагнетизму в основній школі не тільки на рівні навчального матеріалу, але й на рівні його змісту й структури. Тому виникає потреба у використанні, окрім загальновживаних термінів «генералізація знань», «генералізація навчального матеріалу», «генералізація змісту навчального предмету», також і терміну «*генералізація змісту й структури навчального предмету* (*фізики*)», що передбачає відшукання загального, головного не тільки на рівні змісту певного навчального предмету (фізики), але й чітке відображення генералізації змісту в побудові структури навчального предмету. Уживатимемо і термін «*генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму*» або його скорочений аналог «*генералізація електромагнетизму*», що полягає в установленні загальної, головної об'єднуючої основи на всіх рівнях: як на рівні змісту й структури, так і на рівні всього навчального матеріалу з електромагнетизму.

Обґрунтування засад генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму здійснюємо з урахуванням здобутків теорії та практики запровадження генералізації у навчальний процес, відображених у пункті 1.2.3.

Насамперед, ураховуємо та узагальнюємо погляди О. І.Бугайова, О. І. Ляшенка, М.Т. Мартинюка [17, с.11], [152, с.40], [157, с.19–20], [158] відповідно до яких, *генералізація* змісту, структури й навчального матеріалу курсу фізики в основній школі (за 12-річного терміну навчання) здійснюється *у двох взаємодоповнюючих напрямах*: 1) *явищний* (*феноменологічний*) *підхід, пов'язаний з осягненням суті визначальних фізичних явищ*; 2) *осягнення суті початкових відомостей відповідних*

фізичних теорій.

Відповідно до цього при вдосконаленні методики навчання електромагнетизму в основній школі основну увагу надаємо розкриттю фізичної суті електромагнітних явищ (електричних, магнітних, електромагнітної індукції) на основі осягнення суті початкових відомостей відповідних теорій електромагнетизму.

Важливим здобутком традиційної методики навчання електромагнетизму є *генералізація навчального матеріалу на основі елементів електронної теорії*, котра пронизує всі розділи електромагнетизму та широко використовується для пояснення електричних явищ і частково – при вивченні магнітних явищ та явища електромагнітної індукції. У процесі вдосконалення методики навчання електромагнетизму ми широко використовуємо елементи електронної теорії. Разом з тим, як відмічалось у підрозділі 1.1, методика висвітлення основ електронної теорії та її використання для пояснення явищ електромагнетизму потребує вдосконалення.

Проаналізуємо завдяки чому можна покращити генералізацію змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму в основній школі. Терміном «електромагнетизм» у нашому дослідженні ми об’єднуємо електричні явища, магнітні явища та явище електромагнітної індукції.

Як зазначалось у підрозділі 1.1 дисертаційного дослідження, в основній школі вивчають лише окремо електричне та магнітне поля, залишаючи поза увагою питання про їх єдність і про існування електромагнітного поля. Відсутність будь-яких уявлень про електромагнітне поле є, на нашу думку, основним недоліком традиційної методики вивчення електромагнітних явищ (електричних, магнітних, електромагнітної індукції). Тільки в деяких пробних підручниках останнього десятиліття для 9 класу основної школи коротко розкривають поняття електромагнітного поля під час послідуючого вивчення електромагнітних хвиль [16, с. 115–118], [167]. Традиційна методика у деякій мірі враховує взаємозв’язок між електричними й магнітними явищами, особливо при вивченні явища електромагнітної індукції. Але в цілому електричні явища, магнітні явища та явище електромагнітної індукції розкривають відносно відокремлено, унаслідок чого навчання електромагнетизму в основній школі не має спільної об’єднуючої основи. Назріла не-

обхідність удосконалення методики навчання електромагнітних явищ.

У зв’язку з переходом до 12-річної середньої освіти учні основної школи повинні мати цілісне уявлення (на доступному для них рівні) про основні фізичні явища, у тому числі й про явища електромагнетизму. Аналіз структури електромагнетизму показує, що оволодіння учнями цілісних уявлень з електромагнетизму можливо лише за умови узагальнення знань на основі поняття електромагнітного поля. Саме для надання цілісних уявлень з електромагнетизму ми пропонуємо розкрити на якісному рівні поняття електромагнітного поля вже в основній школі. Цим самим ми продовжуємо розвивати ідеї С. Є. Каменецького та Й. Г. Пустильника [112], [113], які здійснили спробу об’єднати вивчення електродинаміки в старшій школі на основі формування поняття електромагнітного поля (пункт 1.2.3).

Окрім того, врахуємо наступне. На основі критичного огляду чотирьох фундаментальних фізичних теорій (класична механіка, статистична фізика, електродинаміка, квантова теорія) В. В. Мултановський обґрунтовує, що побудова змісту й структури шкільного курсу фізики може здійснюватись не тільки на основі фундаментальних фізичних теорій, але й на більш високому рівні узагальнення – рівні фундаментальних фізичних взаємодій, що приводить до несуперечливого формування сучасної фізичної картини світу [173, с. 44–50, с. 134–157].

Розвиваючи погляди В. В. Мултановського про концептуальне значення для всього шкільного курсу фізики поняття фундаментальних фізичних взаємодій, можна стверджувати, що об’єднуючою основою для формування цілісних уявлень з електромагнетизму є поняття електромагнітної взаємодії. Ураховуючи, що поняття електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії не тільки взаємно доповнюють одне одного, але й у сукупності розкривають електромагнітні явища на більш глибокому науковому рівні, ми орієнтуємось на сумісне використання цих понять, адаптованих до сприйняття учнями основної школи виключно на доступному для них якісному рівні. Зазначене вище дає підстави для висунення гіпотези про доцільність формування у свідомості учнів на якісному рівні понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля саме в основній школі. Більше того, поняття електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, на наш погляд,

можуть стати ядром генералізації всього курсу електромагнетизму в основній школі. Центральною ланкою нашої гіпотези є припущення, що саме ***генералізація електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля*** є відправною точкою подальшого вдосконалення змісту, структури й методики навчання електромагнетизму в основній школі.

Оскільки при генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму ми орієнтуємось також на повноцінне використання *елементів електронної теорії*, то напрошується сумісне використання зазначених напрямів генералізації. Разом вибудовується ***генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також на основі елементів електронної теорії***. Такий підхід відповідає науковим усталеним уявленням, що *теоретичним ядром* класичного електромагнетизму (електродинаміки) є, передусім, теорія електромагнітного поля Максвелла, доповнена електронною теорією Лоренца. При цьому одним з важливих завдань є онтодидактичне опрацювання навчального матеріалу з метою його адаптації до основної школи на доступному для учнів якісному рівні.

Урахуємо, що для всього курсу фізики основної школи в цілому характерним є явищний підхід як напрям генералізації, що пов'язаний з осягненням суті визначальних фізичних явищ. Тому при генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму ми реалізуємо, перш за все, *поєднання двох визначальних напрямів генералізації*: 1) ***генералізація на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії***; 2) ***явищний*** (***феноменологічний***) ***підхід***.

Указана генералізація відповідає засадам побудови базового відносно завершеного курсу фізики основної школи [17], [18], [81]–[83] й дозволяє: а) об'єднати навколо спільного теоретичного ядра весь навчальний матеріал, що полегшує його сприйняття та усвідомлення учнями; б) надати узагальнені доступні учням знання з електромагнетизму; в) поєднати індуктивний та дедуктивний підходи у навчанні; г) поєднати розвиток наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів.

Звернемо увагу на те, що при генералізації змісту, структури й навчального матеріалу базового курсу фізики основної школи в цілому, на першому місці стоїть явищний (феноменологічний) підхід, а на другому – осягнення суті початкових відомостей відповідних фізичних теорій. Це виправдано тим, що явищний підхід пронизує всі розділи базового курсу фізики. Для осягнення ж явищ у кожному розділі використовують початкові відомості з різних фізичних теорій.

Стосовно генералізації електромагнетизму, то на перше місце ми ставимо генералізацію на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії, а на друге – явищний (феноменологічний) підхід. Це зумовлено тим, що поняття електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також використання елементів електронної теорії не тільки пронизують весь електромагнетизм, але й є його теоретичним ядром. Електричні ж явища, магнітні явища та явище електромагнітної індукції суттєво відмінні між собою і розглядаються в різних розділах електромагнетизму.

Необхідно врахувати також наступне. Державний стандарт базової і повної середньої освіти [81]–[83] та Концепція фізичної освіти у 12-річній загальноосвітній школі [17] особливу увагу відводять освоєнню учнями способів пізнавальної і творчої діяльності та фізичних методів наукового пізнання (методологічні знання). Н. В. Пастернак у дисертаційному дослідженні [192] обґрунтувала доцільність генералізації на основі методологічних знань. При цьому необхідно враховувати, що учні основної школи, з огляду на особливості їх розумового розвитку, можуть тільки частково оволодіти способами пізнавальної і творчої діяльності та фізичними методами наукового пізнання. У зв’язку з цим, в основній школі *генералізація на основі методологічних знань* (способів пізнавальної і творчої діяльності та фізичних методів наукового пізнання) на доступному для учнів рівні може трактуватись як допоміжний напрям генералізації.

2. Удосконалення методики навчання електромагнетизму здійснюємо, насамперед, на засадах генералізації його змісту, структури й навчального матеріалу, що передбачає поєднання двох визначальних напрямів генералізації: 1) генералізація на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного

поля, а також елементів електронної теорії; 2) явищний (феноменологічний) підхід. У зв'язку з цим, весь навчальний матеріал з електромагнетизму як окремого розділу фізики об'єднуємо під спільним заголовком «***Електромагнітні явища***. ***Електромагнітне поле***» з відповідними його розділами: «Електричні явища. Електричне поле» (розділ 1); «Магнітні явища. Магнітне поле» (розділ 2); «Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле» (розділ 3) [29]–[38]. У такому разі, вже в загальному заголовку та в назві трьох розділів простежується націленість на явищний підхід і на формування поняття електромагнітного поля та його двох проявів у виді електричного й магнітного полів.

Відмітимо, що об'єднання навчального матеріалу з електромагнетизму під спільним заголовком продовжує традиції радянських підручників 1969–1988 років (заголовок «Електрика» [197], [225], [199]–[202], [226]) та вітчизняних підручників [15] і навчальних програм з фізики [219] (заголовок «Електромагнітні явища»).

Ми перевірили *три можливі підходи* до вивчення понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля. Перші два з них охарактеризовані в підрозділі 3.2 при аналізі педагогічного експерименту. Найбільш послідовним, на нашу думку, є *третій підхід*, структурна схема вивчення електромагнетизму для якого приведена на рис.2.1. Відповідне обґрунтування змісту, структури й методики навчання електромагнетизму розкрито нами в публікаціях [31]–[37] і навчальному посібнику [38] та є центральною частиною дисертаційного дослідження.

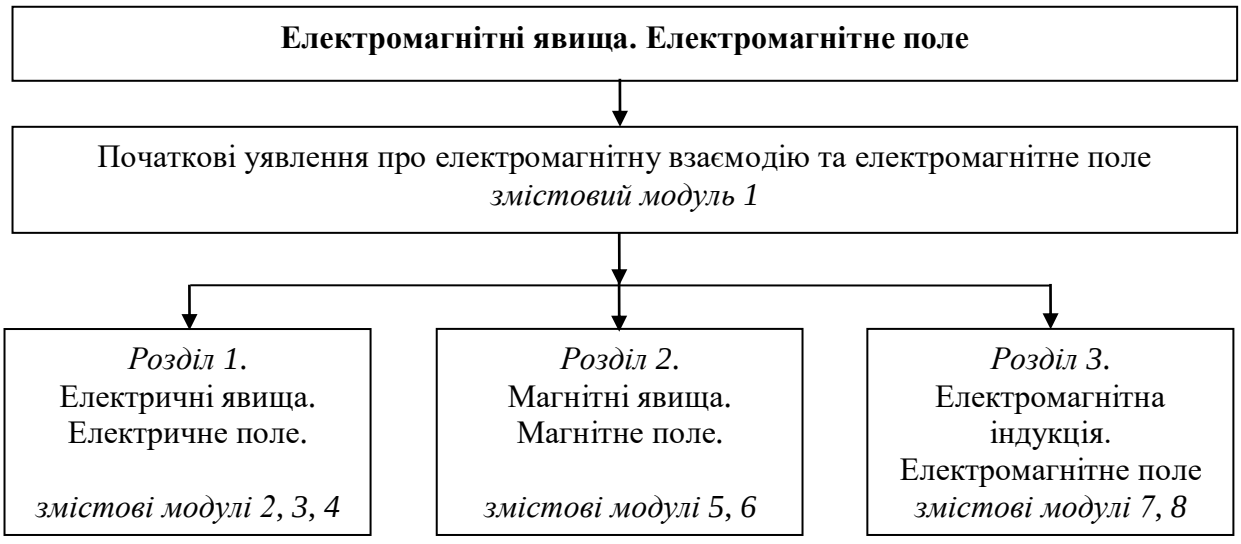


Рис.2.1. Структурна схема вивчення електромагнетизму

2.2. Розвиток початкових уявлень учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле

***Змістовий модуль 1* «*Початкові уявлення учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле*»** є своєрідним розширеним вступом до електромагнетизму. У ньому за невелику кількість логічних і методичних кроків у межах усього трьох (проаналізованих нижче) параграфів формуємо початкові, достатньо узагальнені якісні уявлення учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле [31]–[38].

§ 1. Початкові уявлення про електричну взаємодію та електричне поле

§ 1.1. Електризація тіл. Електрична взаємодія. Електричний заряд. Два види електричного заряду

У § 1.1, розвиваючи підхід, запропонований О. І. Бугайовим та М. Т. Мартинюком [15], [156] (пункт 1.1.2), ми об’єднуємо вивчення таких питань як електризація тіл, електрична взаємодія, електричний заряд, два види електричного заряду.

1. Електризація тіл контактом чи тертям. Електрична взаємодія.

Проводимо поетапно досліди з електризації тіл контактом і тертям та вивчаємо взаємодію виключно між електрично зарядженими тілами (рис. 2.2):

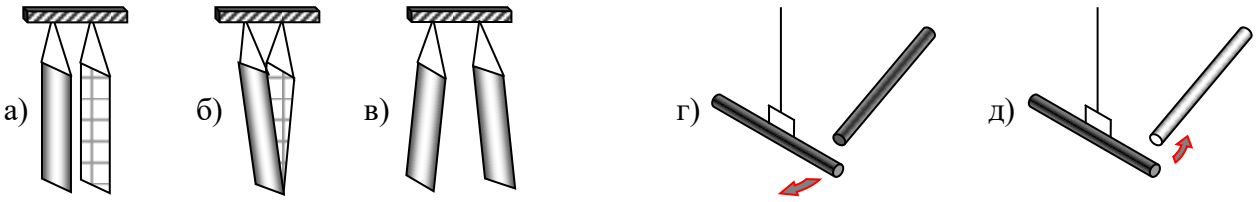


Рис. 2.2. Електрична взаємодія електрично заряджених тіл

а) відсутність взаємодії між не наелектризованими поліетиленовою і паперовою смугами; б) притягання між взаємно наелектризованими поліетиленовою і паперовою смугами; в) відштовхування між двома поліетиленовими смугами, наелектризованими об папір; г) взаємне відштовхування ебонітових стержнів, наелектризованих об хутро; д) притягання ебонітового стержня, наелектризованого об хутро, до скляного стержня, наелектризованого об шовк чи сухий папір, тощо [32]–[34], [37], [38].

Допомагаємо учням поетапно дійти *висновків*: при контакті тіл, що посилюється внаслідок тертя, тіла електризуються і набувають електричного заряду, між ними виникає ***електрична взаємодія***; в електризації беруть участь два тіла.

Відмітимо три основні методичні особливості вивчення цього матеріалу.

По-перше, при формуванні початкових уявлень про електричну взаємодію демонструємо взаємодію виключно між електрично зарядженими тілами, розвиваючи погляди, запропоновані в 1980 роках у роботах М. Ф. Вознюка [45]–[49]. У авторефераті дисертаційного дослідження [46, с. 12] відмічено, що демонстрація взаємодії наелектризованих тіл з не наелектризованими на початковому етапі вивчення електричних явищ не сприяє виявленню головної властивості заряджених тіл та їх відмінності від незаряджених і веде до формування невірних уявлень про можливість взаємодії заряджених частинок з електрично нейтральними. У дисертаційній роботі [47, с. 101] відстоюється думка, що при початковому формуванні поняття про електричний заряд слід уникати демонстрації взаємодії наелектризованих тіл з не наелектризованими; це питання слід розглянути після вивчення будови атома, коли учні володітимуть необхідними для пояснення цих дослідів знаннями. У зазначених працях обґрунтовується необхідність більш чіткого поетапного введення поняття електричної взаємодії як особливого виду нової (для учнів) властивості.

Виходячи з цього, з метою уникнення невірних уявлень про суть електричної взаємодії, ми на даному етапі не демонструємо дію електрично заряджених тіл на електрично нейтральні тіла (наприклад, притягання дрібних електронейтральних клаптиків паперу до зарядженого ебонітового чи скляного стержнів, що характерно для традиційної методики). Такі досліди ми проводимо й аналізуємо після вивчення будови атома, коли учні в змозі зрозуміти механізм цієї взаємодії.

По-друге, демонстрацію електризації контактом виконуємо перед демонстрацією електризації тертям, розвиваючи ідеї, запропоновані М. Ф. Вознюком [45], [47, с. 98], [48], який встановив, що вдалі, надійні демонстраційні досліди з електризації тіл при контакті отримуємо, використовуючи смуги з рентгенівської та поліетиленової плівок чи смуги з інших пар більш доступних матеріалів, напри-

клад, паперу й поліетиленової плівки та шовкової тканини й целофану; вчений рекомендує виконувати ці досліди перед демонстрацією електризації тертям.

Ми розвиваємо цей підхід, який сприяє формуванню правильних уявлень учнів про те, що тертя приводить до збільшення площі контакту тіл і, як наслідок, до посилення взаємодії наелектризованих тіл. Використовуємо такі доступні матеріали, як смуги сухого паперу та поліетилену (наприклад, формату А 4).

По-третє, з метою розкриття специфічності електричної взаємодії та формування узагальнених уявлень учнів про різні види взаємодії, при введенні електричної взаємодії порівнюємо її з гравітаційною взаємодією, аналогічно до того, як це запропоновано у літературі [45]–[49].

2. Електричний заряд як фізична величина. Два види електричного заряду.

Пояснюємо, що на основі аналізу великої кількості дослідів з електризації тіл, фізики прийшли до таких висновків [34], [37], [38].

1. Тіло може бути зарядженим (наелектризованим) у різній мірі. Чим у більшій мірі заряджене (наелектризоване) тіло, тим у більшій мірі воно проявляє електричну взаємодію. Уводять фізичну величину, котра характеризує електричну взаємодію – *електричний заряд* $\boldsymbol{q}$. Чим у більшій мірі наелектризоване (заряджене) тіло, тим більший воно має електричний заряд. Одиницею електричного заряду в системі СІ є 1 Кулон: [q] = 1Кл.

2. Існує тільки *два види електричного заряду*: позитивний та негативний заряди, котрі позначають знаками «+» та «–» відповідно. …Існує тільки *два види електрично заряджених частинок* – позитивно та негативно заряджені частинки. До складу кожного атому входить однакова кількість позитивно та негативно заряджених частинок з однаковим за модулем електричним зарядом; тому кожен атом і молекула є електрично нейтральними. У електронейтральних тілах позитивні та негативні заряди присутні в однаковій мірі та компенсують один одного.

3. *Різнойменно електрично заряджені тіла* (*частинки*) *взаємно притягуються, а однойменно заряджені – взаємно відштовхуються між собою*.

Наприкінці § 1.1 пропонуємо учням сформулювати висновки (в навчальному посібнику в якості прикладу приведено формулювання висновків). Після § 1.1 уч-

ням для самоконтролю пропонується відповісти на поставлені питання і для вдосконалення знань виконати відповідну вправу [38] (Додаток В 1).

Відмітимо дві основні методичні особливості вивчення цього матеріалу.

Першою суттєвою відмінністю нашої методики є введення поняття електричного заряду не тільки на якісному рівні, але як фізичної величини, вже на самому початку вивчення електричних явищ.

Як було відмічено у пункті 1.1.2, традиційна методика вводить поняття електричного заряду поетапно (спочатку, при вивченні електризації тіл – на якісному рівні, а згодом, при вивченні подільності заряду (з використанням електрометрів) – як фізичної величини з відповідною одиницею), що створює значні методичні труднощі та приводить до поганого розуміння учнями термінів «електричний заряд», «два види електричного заряду», «позитивний та негативний електричні заряди» на початковому етапі, ще до повноцінного введення електричного заряду як фізичної величини.

У працях М. Ф. Вознюка [45], [46], [47,с. 99–100] пропонується пропедевтичне введення електричного заряду на самому початку вивчення електричних явищ ще під час експериментів з електризації тіл контактом чи тертям, тому що вже у цих дослідах чітко видно, що електрична взаємодія може проявлятись у більшій чи меншій мірі. Такий підхід дає ряд методичних переваг, оскільки сприяє більш усвідомленому сприйняттю учнями поняття електричного заряду, починаючи від самого початку вивчення електричних явищ. У підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 9] теж, уже при вивченні електризації тіл, указують, що електричний заряд є фізичною величиною. Але у зазначених працях та в указаному підручнику на початковому етапі не вводять позначення та одиницю електричного заряду, а здійснюють це згодом. Тобто, і за цього підходу, поняття електричного заряду формують протягом ряду навчальних занять.

Ми ж вводимо електричний заряд як фізичну величину вже на самому початку вивчення електричних явищ, оскільки в серії вибраних демонстраційних дослідів чітко видно не тільки наявність нової властивості – здатності наелектризованого тіла до електричної взаємодії, але й те, що тіло може бути зарядженим у бі-

льшій чи меншій мірі та, відповідно, у більшій чи меншій мірі проявляти здатність до електричної взаємодії [34], [37], [38]. Такий підхід дає ряд методичних переваг: посилює науковий рівень навчання та сприяє більш усвідомленому сприйняттю учнями понять і термінів «електричний заряд», «два види електричного заряду», «позитивний та негативний електричні заряди» вже від самого початку вивчення електричних явищ. Зважаючи на важливість введення електричного заряду як фізичної величини, відображаємо це у назві відповідного підпараграфу.

Друга особливість стосується висвітлення висновку про існування двох видів електричного заряду і, відповідно, двох видів електрично заряджених частинок. Пояснюємо, що до складу кожного атому входить однакова кількість позитивно та негативно заряджених частинок з однаковим за модулем електричним зарядом, тому кожен атом і молекула є електрично нейтральними; у електрично нейтральних тілах позитивні й негативні заряди присутні в однаковій мірі та компенсують один одного. У такому разі, учні в загальних рисах розуміють у чому полягає відмінність між незарядженими і зарядженими тілами від самого початку вивчення електричних явищ. Таке пояснення доступне для учнів і базується на відомостях про молекулярно-атомарну будову речовини (генералізація навчального матеріалу на основі елементів молекулярно-кінетичної теорії будови речовини). Які це заряджені частинки (електрони, протони, іони) та як саме вони пов’язані з будовою атома, на цьому етапі ми не вивчаємо, оскільки для обґрунтованого їх введення в учнів ще немає необхідної бази знань (цей матеріал розкрито в наступному змістовому модулі).

§ 1.2. Початкові уявлення про електричне поле

Задаємо питання проблемного характеру: Яким чином електрично заряджені тіла чи частинки взаємодіють між собою на відстані ? Чи не передається взаємодія між електрично зарядженими тілами через повітря ? Завдяки чому здійснюється взаємодія на відстані між електрично зарядженими тілами чи частинками ?

Обґрунтовуємо наступне: ***існує електричне поле електрично зарядженої частинки*** чи тіла; *електричне поле невіддільне від електрично зарядженої частинки* (тіла); електричне поле є тим «посередником», завдяки якому здійснюється

електрична взаємодія на відстані (електричне поле однієї зарядженої частинки чи тіла діє на іншу заряджену частинку чи тіло та навпаки, між ними завдяки електричному полю існує електрична взаємодія на відстані). Чим більша величина електричних зарядів частинок чи тіл, тим більш інтенсивне їх електричне поле і тим більша сила електричної взаємодії між ними.

Зазначаємо, що оскільки людина своїми органами чуття безпосередньо не сприймає електричного поля, то про його існування роблять висновок за його діями на електрично заряджені частинки чи тіла. Переконуємо учнів в реальності існування електричного поля і демонструємо, що *електричне поле виявляють за його дією на електрично заряджену частинку* чи тіло. Демонструємо, що поблизу заряджених тіл поле діє сильніше, а з віддаленням від них воно слабшає.

На завершення вказуємо, що існує електричне поле й іншої природи, котра буде розкрита наприкінці вивчення електромагнетизму.

По відношенню до традиційної методики, ми: 1) більш ретельно розкриваємо, що електричне поле невіддільне від електрично зарядженої частинки (тіла); 2) для поступового формування узагальнених уявлень про електричне поле не тільки обґрунтовуємо наявність електричного поля електрично зарядженої частинки (тіла), але й зазначаємо про існування електричного поля іншої природи (мається на увазі вихрове електричне поле, природа якого розкрита при вивченні електромагнітної індукції у третьому розділі електромагнетизму).

§ 2. Початкові уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле

§ 2.1. Початкові уявлення про магнітну взаємодію

Насамперед ураховуємо, що у свідомості учнів магнітні явища спочатку асоціюються з постійними магнітами (пункт 1.1.3). Тому, після короткої історичної довідки про існування природних і штучних магнітів починаємо вивчати магнітну взаємодію на основі дослідів з магнітами й магнітною стрілкою [23], [24], [26], [27], [29]–[33], [35], [37], [38]. При проведенні демонстрацій, беремо спочатку нефарбований магніт і перевіряємо на досліді, що він електронейтральний. Демонструємо, що залізні ошурки, цвяшки чи інші дрібні залізні предмети чіпляються до

магніту у вигляді густої «бороди» по краях магніту і не притягуються до його середини. Уводимо поняття магнітних полюсів як таких ділянок магніту, де найбільше проявляється його магнітна дія. На основі орієнтації офарбованого магніту чи магнітної стрілки відносно географічних полюсів Землі (як велетенського магніту) вводимо поняття північного N та південного S магнітних полюсів.

Зближуємо магніти й спостерігаємо, що *магніти притягуються різнойменними та відштовхуються однойменними полюсами*. Відштовхування магнітів зручно спостерігати на кільцевих офарбованих магнітах, нанизаних на немагнітний стержень (наприклад, на олівець чи ручку), коли верхній магніт «висить» у повітрі, відштовхуючись від нижнього однойменним полюсом. Демонструємо, що при наближенні до магніту магнітної стрілки, остання обертається та притягується до магніту своїм протилежним полюсом. Разом з учнями робимо висновок, що в дослідах проявляється новий вид взаємодії – ***магнітна взаємодія*** (оскільки магніти й магнітні стрілочки електрично нейтральні, то взаємодія між ними не може бути електричною). Обґрунтовуємо, що Земля є велетенським магнітом.

На завершення § 2.1, з метою формування вірних уявлень про магнітні полюси, одразу підкреслюємо: скільки б раз не розділяти постійний магніт на дві частини вздовж границі розділу полюсів, завжди кожен зі шматків знову матиме і полюс N, і полюс S. Тобто, у природі не спостерігається окремих полюсів N або S, всі магніти мають обидва полюси одночасно. Магнітні полюси, у певному розумінні, умовні і їх вводять для зручності аналізу магнітної взаємодії.

Суттєвою відмінністю нашої методики є те, що вивчення магнітних явищ ми розпочинаємо не з досліду Ерстеда, а зі взаємодії постійних магнітів, тому що саме з цим спочатку асоціюються магнітні явища у свідомості учнів. Відмітимо, що згідно нової навчальної програми з фізики для 12-річної школи [219], яка опублікована перед початком 2007/2008 навчального року (пізніше виконаних нами досліджень), магнітні явища в основній школі розпочинають вивчати теж саме зі взаємодії магнітів. Важливим є те, що для формування вірних уявлень про магнітні полюси, ми одразу обґрунтовуємо відсутність у природі окремих полюсів N або S та певну умовність самого поняття магнітних полюсів.

§ 2.2. Початкові уявлення про магнітне поле

Задаємо учням питання: Завдяки чому здійснюється магнітна взаємодія на відстані між магнітами ? Завдяки чому виникає орієнтаційна дія на відстані на магнітну стрілку з боку Землі чи магніту ?

Обґрунтовуємо, що навколо Землі та постійних магнітів існує ***магнітне поле***, що ***магнітна взаємодія здійснюється завдяки наявності магнітного поля***; що магнітне поле є тим «посередником», завдяки якому здійснюється магнітна взаємодія на відстані. Переконуємо учнів у реальності існування магнітного поля та демонструємо, що *наявність магнітного поля легко виявити за його орієнтаційною дією на магнітну стрілку*.

Посилаємось на відомий у фізиці експериментальний факт, що магнітна стрілка орієнтується певним чином навколо рухомих електрично заряджених частинок. Допомагаємо учням зрозуміти, що *навколо рухомих електрично заряджених частинок (тіл) існує магнітне поле*. Тобто, ми одразу формуємо у свідомості учнів узагальнені уявлення: ***навколо нерухомих електрично заряджених частинок*** *(тіл)* ***існує електричне поле***, *а* ***навколо рухомих – як електричне поле, так і магнітне поле***. Зазначаємо про існування магнітного поля й іншої природи, що буде вивчатись згодом.

§ 3. Початкові уявлення про електромагнітне поле та електромагнітну взаємодію. Два види матерії

1. Відносність електричного та магнітного полів. Електромагнітне поле.

Заряджаємо тіло і задаємо учням питання: яке поле існує навколо нерухомого електрично зарядженого тіла? навколо рухомого електрично зарядженого тіла? Учні легко відповідають на поставлені питання.

Учитель бере це електрично заряджене тіло та рухається разом з ним. Знову запитуємо учнів: яке поле існує навколо електрично зарядженого тіла відносно вас? яке поле існує відносно учителя? Допомагаємо учням зрозуміти, що відносно учнів (у системі відліку, пов’язаній з учнями) існує як електричне поле, так і магнітне поле. А відносно учителя (у системі відліку, пов’язаній з учителем) існує тільки електричне поле, тому що електрично заряджене тіло не рухається віднос-

но учителя.

Згадуємо, що навколо нерухомого магніту існує тільки магнітне поле, котре ми виявляємо за допомогою магнітної стрілки. Зазначаємо, що згодом ми доведемо а) про існування навколо рухомого магніту як магнітного, так і електричного полів та б) якщо ми не рухаємось відносно магніту, то спостерігаємо магнітне поле, а якщо рухаємось відносно магніту, то спостерігаємо як магнітне, так і електричне поля. Отже, у одній системі відліку існує магнітне поле, а в іншій – як магнітне, так і електричне поля.

Той факт, що відносно одних спостерігачів (у одній системі відліку) існує тільки електричне чи тільки магнітне поле, а відносно інших спостерігачів (у іншій системі відліку) існують як електричне, так і магнітне поля, по-перше, свідчить про ***відносність електричного та магнітного полів*** і, по-друге, дає підстави вважати, що ***існує*** «*єдине*» ***електромагнітне поле***, котре в одній системі відліку може проявлятись як тільки електричне поле чи тільки магнітне поле, а в іншій системі відліку як електричне та магнітне поля одночасно. *Електричне поле та магнітне поле є двома проявами «єдиного» електромагнітного поля*.

Згадуємо про відносність механічного руху і підводимо учнів до узагальнення: *поняття відносності стосується не тільки механічного руху, але й електромагнітних явищ*.

2. Електромагнітна взаємодія.

Переконуємо учнів у тому, що ***існує електромагнітна взаємодія***, *котра в окремих випадках може проявлятись як електрична чи магнітна взаємодія*. *Електромагнітна взаємодія здійснюється завдяки електромагнітному полю*.

Пояснюємо учням механізм електромагнітної взаємодії: згідно сьогоднішніх уявлень, котрі підтверджені експериментально, електромагнітна взаємодія поширюється у вигляді електромагнітного поля не миттєво, а з певною кінцевою, хоч і дуже великою швидкістю – ***у вакуумі електромагнітна взаємодія поширюється зі швидкістю приблизно 300000 км/с*** **= $3 \cdot 10^8$ м/с**. Так, наприклад, експериментально доведено, що електромагнітні радіохвилі, завдяки яким здійснюється радіозв’язок, телевізійний зв’язок чи мобільний супутниковий зв’язок, поширюють-

ся саме з такою швидкістю. Світло у вакуумі теж поширюється зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с – найбільшою зафіксованою експериментально на сьогоднішній день швидкістю.

Отже, ми розкриваємо, що електромагнітна (електрична, магнітна) взаємодії мають характер близькодії, хоча сам термін «близькодія» в основній школі не використовуємо.

3. Енергія електромагнітного поля. Два види матерії – речовина і поле.

Переконуємо учнів на конкретних прикладах у тому, що оскільки електромагнітне (електричне, магнітне) поля здатні виконати роботу, то *електромагнітне* (*електричне, магнітне*) *поля мають певну енергію*. Той факт, що електромагнітне поле має енергію, свідчить про реальність його існування.

Узагальнюємо знання учнів про *матерію*. Згадуємо з учнями про такий *вид матерії* як *речовина*. Оскільки електромагнітне поле існує реально, то воно теж є матерією. Узагальнюючи сказане, приходимо до висновку: існує такий *вид матерії* як *поле*. Остаточно можемо сказати, що ***існує два види матерії – речовина і поле***. Поле (електромагнітне поле) як вид матерії є не менш реальним, ніж речовина. Зазначаємо учням, що згідно сьогоднішніх уявлень фізики, речовина і поле не є відокремленими видами матерії, вони не просто доповнюють одне одного, але й тісно взаємопов'язані між собою.

На завершення змістового модуля 1 підводимо **підсумки** про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле і про їх конкретні прояви у вигляді електричної взаємодії та електричного поля і магнітної взаємодії та магнітного поля (Додаток В 2).

Відмітимо наступні *загальні особливості пропонованої методики*.

1. Методика введення понять електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії саме в основній школі розробляється нами вперше.

2. Виокремлення змістового модуля 1 «Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле», який є своєрідним розширеним вступом до електромагнетизму, має принципове значення і є центральною ланкою генералізації; у ньому ми формуємо початкові, достатньо узагальнені якісні уявлен-

ня учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле.

3. Відповідно до пропонованого варіанту генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму, для розвитку початкових, достатньо узагальнених уявлень про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле, відібрано тільки найбільш важливий навчальний матеріал. При цьому орієнтуємось в основному на використання індукції як методу наукового пізнання, йдучи від простих дослідів до теоретичних якісних узагальнень. На завершення змістового модуля 1 при підведенні підсумків про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле і про їх конкретні прояви у вигляді електричної взаємодії та електричного поля і магнітної взаємодії та магнітного поля, йдемо, навпаки, від загального до конкретного.

4. На цьому пропедевтичному етапі сприяємо розумінню учнями понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, спонукаємо їх до засвоєння цих понять, перевіряємо глибину засвоєння, але остаточне оцінювання отриманих знань про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле здійснюємо тільки наприкінці вивчення розділу 3 і всього електромагнетизму.

5. Отримані початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле застосовуємо й поглиблюємо, конкретизуємо й збагачуємо при подальшому вивченні електромагнітних явищ у трьох наступних розділах (рис. 2.1) шляхом поєднання дедукції та індукції.

6. Навчання здійснюємо за розробленим навчальним посібником [38], характерні особливості якого приведені у Додатку В 3, а зміст – у Додатку Д 1.

7. Структурування змісту здійснюємо таким чином, щоб, відповідно до пропонованого варіанту генералізації, чітко виділяти споріднений логічно і взаємозв’язаний методично навчальний матеріал, що складає відносно завершену цілісну одиницю змісту. Для цього виокремлюємо розділи, підрозділи (змістові модулі), параграфи, підпараграфи, а при необхідності ще й пункти, що підкреслює наскрізну підпорядкованість навчального матеріалу.

2.3. Удосконалення змісту, структури й методики навчання розділу «Електричні явища. Електричне поле»

У ***розділі 1*** «***Електричні явища***. ***Електричне поле***» продовжуємо вивчати електричні явища та поглиблюємо уявлення про електричну взаємодію та електричне поле як прояви електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля у межах трьох змістових модулів, відображених на рис.2.3 [31], [34], [38].

Одразу відмітимо, що методика навчання електромагнетизму, яка висвітлена у наступних підрозділах 2.3–2.5, у повній мірі стосується класів з поглибленим вивченням фізики. Особливості методики для непрофільних класів проаналізовано в підрозділі 2.7 дисертаційної роботи.



Рис.2.3. Структурна схема вивчення розділу 1

2.3.1. Електричне поле. Електричний заряд. Будова атома та електронна теорія

Зазначений заголовок включає в себе три тісно взаємопов'язані між собою теми, що становлять цілісний ***змістовий модуль 2*** (***підрозділ 1.1*** навчального посібника [38]): 1) розширення та поглиблення уявлень про електричне поле як один з проявів електромагнітного поля, у тому числі за рахунок візуалізації уявлень про поле на основі введення поняття ліній електричного поля; 2) вивчення будови атома, розкриття суті електронної теорії та її використання для пояснення механізму різних способів електризації; 3) розвиток узагальнених уявлень про електричний заряд. Розкриваємо ці теми в наступній послідовності [34], [38].

§ 4. Електроскоп і електрометр. Діелектрики, провідники, напівпровідники.

§ 5. Лінії електричного поля та їх напрям.

§ 6. Подільність і дискретність електричного заряду. Електрон, протон.

§ 7. Будова атомів, іонів. Уточнення основних положень про будову речовини.

§ 8. Електронна теорія та пояснення електричних явищ на її основі.

§ 9. Закон збереження електричного заряду. Незалежність величини електричного заряду від швидкості.

Важливим у змістовому модулі 2 є поглиблення уявлень учнів про електричне поле за рахунок візуалізації уявлень про нього на основі введення поняття ліній електричного поля та використання отриманих знань при вивченні електричних явищ. Тому напрошується якомога більш раннє розкриття цієї теми. При цьому зручно проводити демонстраційний експеримент із заряджанням металевих тіл з паперовими смужками (султан, тощо) від електрофорної машини. Для пояснення подібних демонстрацій необхідно спочатку розкрити тему «Електроскоп і електрометр. Діелектрики, провідники, напівпровідники» (§ 4), а вже потім – тему «Лінії електричного поля та їх напрям» (§ 5).

Вивченню будови атома, електронної теорії та її використання (§ 7, § 8) передує розкриття теми «Подільність і дискретність електричного заряду. Електрон, протон» (§ 6), тому що без відомостей про електрон і протон неможливо пояснити будову атома та надати уявлення про електронну теорію. На завершення вивчаємо закон збереження електричного заряду та незалежність величини електричного заряду від швидкості (§ 9), котрі обґрунтовуємо на основі електронної теорії.

Такий підхід до структурування навчального матеріалу є розвитком методики навчання 1969–1988 років, коли виділяли змістовий модуль «Будова атомів», і методики 1990 років О. І. Бугайова та М. Т. Мартинюка, у якій перераховані теми вивчають у межах розділу «Електричні заряди. Будова атомів» (пункт 1.1.2).

Основна відмінність нашої методики, окрім генералізації змісту й структури електромагнетизму навколо понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, полягає у націленості на більш глибоке розкриття поняття електричного поля як одного з проявів електромагнітного поля; на використання знань про будову атома для поглиблення основних положень молекулярно-кінетичної теорії речовини і для цілеспрямованого висвітлення електронної теорії та її використан-

ня для пояснення електричних явищ; на розвиток узагальнених уявлень про електричний заряд. Ураховуючи значення електронної теорії як одного з головних чинників генералізації як електромагнетизму, так і всього курсу фізики основної школи, термін «електронна теорія» виносимо у заголовок змістового модуля 2.

Нижче розкриті ті особливості пропонованої методики навчання, котрі значним чином відрізняються від традиційної.

§ 4. Електроскоп і електрометр. Діелектрики, провідники, напівпровідники

На основі демонстраційних дослідів з електрометрами формуємо узагальнені емпіричні уявлення про те, що речовина за своїми електричними властивостями поділяється на три групи: діелектрики, провідники, напівпровідники (у традиційній методиці на цьому етапі про напівпровідники не згадують).

§ 5. Лінії електричного поля та їх напрям

У традиційній методиці поняття ліній напруженості електричного поля вводять здебільшого у старших класах. Тільки у підручниках О. І. Бугайова та М. Т. Мартинюка [15, с. 20–23] вже в основній школі вводять поняття «силової лінії електричного поля» та демонструють ряд картин електричного поля, використовуючи кювету з рідким діелектриком, до якого підмішано порошок з крупинками довгастої форми. Ми продовжуємо розвиток цього підходу, оскільки без графічного унаочнення електричного поля, уявлення учнів про нього є неповними. Окрім того, в основній школі при вивченні магнітного поля вводять поняття ліній магнітного поля. У рамках єдиного методичного підходу щодо вивчення електричних явищ і електричного поля та магнітних явищ і магнітного поля, логічно ввести й поняття ліній електричного поля.

Ураховуючи складність цього поняття для учнів основної школи, його вивчення здійснюємо індуктивним шляхом, що відображено у роботах [34], [38]. Спочатку аналізуємо як діє електричне поле сферичного позитивно зарядженого тіла (частинки) на пробну позитивно заряджену частинку з малим позитивним зарядом. Пояснюємо, що електричний заряд пробної частинки повинен бути достатньо малим, щоб не вносити суттєвих змін у те електричне поле, котре ми вивчаємо. Обґрунтовуємо можливість і зображуємо електричне поле у вигляді ліній, що

напрямлені симетрично від позитивно зарядженого тіла (Додаток В 4). Аналогічно поступаємо для сферичного негативно зарядженого тіла (частинки). Для візуалізації уявлень про електричне поле проводимо досліди з «султанами», приєднаними до електрофорної машини: а) позитивно заряджений «султан»; б) негативно заряджений «султан». Досліди зі султанами та електрофорною машиною є дуже наочними, надзвичайно цікавими для учнів і достатньо інформативними. Зауважуємо, що на паперові смужки крім електричного поля діє сила тяжіння, тому їх розташування, хоч і дає простий метод вивчення картини ліній електричного поля, не ідеально відтворює цю картину.

Спостерігаємо за розміщенням паперових смужок, прикріплених по обидві сторони до металевих пластин, приєднаних до двох полюсів електрофорної машини. Робимо висновок про електричне поле. Зближуємо різнойменно заряджені пластини і спостерігаємо, що електричне поле зосереджено в основному між пластинами. Зображуємо відповідну картину ліній електричного поля (Додаток В 4). Переконуємо учнів, що в будь-якій точці електричного поля сила, що діє на пробний позитивний електричний заряд, напрямлена по дотичній до лінії електричного поля (вздовж лінії електричного поля).

Означення ліній електричного поля та напряму ліній електричного поля вводимо на основі узагальнення вивченого. ***Лінії електричного поля*** (*лінії напруженості електричного поля*) являють собою лінії, по дотичній до яких у кожній точці діють електричні сили з боку електричного поля на пробну електрично заряджену частинку з малим позитивним електричним зарядом. За *напрям ліній електричного поля* вибрали той напрям, у якому електричне поле діє на пробну позитивно заряджену частинку. *Лінії електричного поля електрично заряджених частинок і тіл не замкнуті*, вони починаються на позитивно заряджених і закінчуються на негативно заряджених частинках. *Реально існує тільки електричне поле, а лінії поля є уявними, їх вводять для графічного унаочнення наших уявлень про поле* [34], [38].

Відмітимо, що запропоноване означення ліній електричного поля не суперечить коректному означенню ліній напруженості електричного поля. Для введення

ж поняття ліній напруженості електричного поля необхідно спочатку вивчити напруженість електричного поля та принцип суперпозиції. Оскільки для основного загалу учнів основної школи вивчення цих питань є передчасним, то термін «лінії напруженості електричного поля» є для них незрозумілим. У такій ситуації вважаємо за доцільне пропедевтичне введення скороченого терміну «лінії електричного поля» як синоніму повного терміну «лінії напруженості електричного поля». Водночас, з метою забезпечення неперервної освіти в основній і старшій школі та для уникнення переучування, у процесі пояснення та в кінцевому означенні використовуємо й повний термін. Термін «лінії електричного поля» використовує у навчальному посібнику Г. С. Ландсберг [289, с. 41–48].

Наші дослідження показали, що учні добре розуміють картину ліній електричного поля для точкового електричного заряду (як позитивного, так і негативного). Не виникає ускладнень зі сприйняттям картини ліній електричного поля між двома різнойменно зарядженими металевими пластинами. Труднощі виникають при аналізі картини ліній електричного поля системи двох різнойменно чи однойменно заряджених частинок, бо її неможливо обґрунтувати без принципу суперпозиції. У зв’язку з цим, зображення картини ліній електричного поля для системи двох електрично заряджених частинок (на основі експериментального спостереження електричного поля двох «султанів», розташованих на невеликій відстані) ми відносимо до додаткового навчального матеріалу. Розкриваємо його з метою посилення узагальнених уявлень учнів про лінії електричного поля на емпіричному рівні в кінці параграфу (після основного матеріалу). Не вимагаємо від учнів обов’язкового засвоєння додаткового матеріалу.

Уведення поняття ліній електричного поля та зображення картини ліній електричного поля надає широкі можливості для розвитку дивергентного мислення учнів. Поняття ліній електричного поля широко використовуємо при подальшому вивченні електромагнетизму.

§ 6. Подільність і дискретність електричного заряду. Електрон, протон

Розвиваючи підходи методики Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 77–78], надаємо учням поняття про дискретність електрично-

го заряду. Роз'яснюємо суть термінів неперервність і дискретність та відмічаємо, що природі властива як неперервність, так і дискретність. Остаточно доходимо висновків: *у природі існує найменша неподільна порція електричного заряду* $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл, тобто *електричний заряд є дискретною фізичною величиною*; *дискретність – одна з особливостей електричного заряду* [34], [38].

Вивчаємо дві частинки з елементарним електричним зарядом: не тільки негативно заряджений електрон (як у традиційній методиці), але й одразу – позитивно заряджений протон (з посиланням на експеримент Резерфорда 1919 р.); порівнюємо між собою їх маси. Такий підхід сприяє розвиткові узагальнених уявлень про існування у природі електрично заряджених частинок з неподільним електричним зарядом і забезпечує легше розуміння учнями будови атому та його ядра. Зазначаємо про існування й інших електрично заряджених частинок.

§ 7. Будова атомів та іонів.
Уточнення основних положень про будову речовини

§ 7.1. Дослід Резерфорда. Будова атомів. Будова іонів

Доступне описання досліду Резерфорда відносимо до додаткового матеріалу [34], [38], а висновки з нього і наступне розкриття будови атомів та іонів – до основного. Ураховуємо знання, отримані учнями у змістовому модулі 1, і обґрунтовуємо електромагнітну природу взаємодії між електронами та ядром атома (навколо рухомих електрично заряджених частинок існує як електричне, так і магнітне поля) та підкреслюємо основну роль електричної взаємодії.

На прикладі ядерної моделі атома розкриваємо важливість, наближеність та наявність границь використання фізичних моделей.

При вивченні іонів, для формування більш узагальнених уявлень, розкриваємо можливість утворення позитивно та негативно заряджених іонів не тільки з атомів, але також з молекул. Пояснюємо яким чином з атому гелію утворюється альфа-частинка, що сприяє кращому розумінню досліду Резерфорда. Крім того, у якості додаткового матеріалу, розкриваємо, що з іонів складаються деякі речовини та пояснюємо це на прикладі кухонної солі.

Відомості про кількість протонів і нейтронів у атомному ядрі та про ізотопи на цьому етапі не розглядаємо, оскільки у 9 класі основної школи учні окремо вивчатимуть початкові відомості з фізики атомного ядра, куди й відноситься цей навчальний матеріал.

§ 7.2. Уточнення основних положень про будову речовини

Важливою особливістю нашої методики є поглиблення основних положень про будову речовини на основі знань про будову атомів та іонів. Це є принциповим моментом, оскільки молекулярно-кінетична теорія будови речовини є однією з теорій, на основі якої здійснюється генералізація курсу фізики основної школи.

На основі актуалізації знань учнів про будову речовини та матеріалу попереднього параграфу, уточнюємо *перше положення про будову речовини*: *речовина в трьох агрегатних станах складається з молекул, атомів, іонів* (до цього учні знали тільки про молекули й атоми).

Задаємо питання проблемного характеру: Сили якої природи діють між молекулами, атомами, іонами ? Яка природа цієї взаємодії ? Учні роблять висновок, що ***взаємодія між атомами, іонами, молекулами речовини має електромагнітну природу***. Допомагаємо учням уточнити *третє положення про будову речовини*: *молекули, атоми, іони речовини взаємодіють* (*притягуються, відштовхуються*) *між собою силами електромагнітної природи* (до цього природу взаємодії між молекулами й атомами учні не аналізували).

Згадуємо, що теорія про будову речовини дуже широко використовується при поясненні багатьох фізичних явищ, наводимо приклади та підкреслюємо, що молекулярно-кінетична теорія будови речовини значно поглиблюється за рахунок врахування відомостей з електромагнетизму.

§ 8. Електронна теорія та пояснення електричних явищ на її основі

Ураховуючи, що електронна теорія широко використовується при дедуктивному поясненні електромагнітних та інших явищ, розвиваючи ідеї О. І. Бугайова і М. Т. Мартинюка [15, с. 33–34] (пункт 1.1.2), розкриваємо суть теорії та використовуємо термін «електронна теорія» в базовому курсі фізики основної школи. Виходячи з того принципового моменту, що електронна теорія (поряд з молекуляр-

но-кінетичною) є одним з головних чинників генералізації курсу фізики основної школи, зазначений термін виносимо не тільки у заголовок параграфу, але й у заголовок змістового модуля 2. У ході навчання використовуємо індуктивно-дедуктивний підхід: спочатку, на конкретному прикладі пояснюємо особливості будови металів, діелектриків і напівпровідників та надаємо учням початкові уявлення про електронну теорію індуктивним шляхом; а надалі, при поясненні механізму електризації та наступних явищ електромагнетизму – посилюємо його дедуктивним. Висвітлення теми здійснюємо в межах трьох підпараграфів [34], [38].

§ 8.1. Особливості будови металів, діелектриків і напівпровідників. Електронна теорія

1. *Будову металів* розкриваємо, розвиваючи ідеї, відображені в методичному посібнику за редакцією А. В. Усової [166, с. 265] (пункт 1.1.2): вже на цьому етапі використовуємо традиційний рисунок з моделлю кристалічної решітки металу, більш повно описуємо його будову та доходимо висновків: у вузлах кристалічної решітки металів знаходяться переважно позитивні іони, між якими хаотично рухаються *вільні електрони*; вільні електрони можуть рухатись через весь метал; саме наявність вільних електронів робить метали провідниками [34], [38].

Стосовно будови діелектриків та напівпровідників пояснюємо таке. Дослідження будови діелектриків показало, що *діелектрики* не мають вільних електрично заряджених частинок. Електрони надійно поєднані зі своїми молекулами, атомами чи іонами, з яких складається діелектрик. Саме тому електрично заряджені частинки не можуть рухатись через діелектрик. Дослідження будови напівпровідників свідчить, що *напівпровідники* мають невелику кількість вільних електрично заряджених частинок, порівняно з металами. Унаслідок цього метали є кращими провідниками, ніж напівпровідники.

2. Підкреслюємо, що при теоретичному поясненні наявності провідників, діелектриків, напівпровідників виходять з будови їх атомів, іонів, молекул і, насамперед, ураховують, що до складу атомів входять електрони. Зазначаємо, що відповідна теорія має назву – електронна теорія. Аналізуємо, що в попередньому параграфі ми уточнили основні положення про будову речовини теж на основі ви-

користання електронної теорії.

Остаточно формулюємо: «***Електронна теорія*** при поясненні фізичних явищ, особливо явищ електромагнетизму, виходить з електромагнітної природи атомів, іонів, молекул і, насамперед, ураховує, що до їх складу входять електрони».

Таким чином, при вивченні цієї теми вирішуємо три методичні проблеми.

По-перше, на основі отриманих знань про будову атомів, іонів, речовини пояснюємо якими саме особливостями будови металів, діелектриків, напівпровідників зумовлена їх різна провідність. Цим самим ми поглиблюємо на якісному теоретичному рівні початкові уявлення учнів про діелектрики, провідники, напівпровідники, отримані в § 4 на емпіричному рівні.

По-друге, ураховуємо, що для пояснення електричних явищ необхідно надати учням достатні уявлення про будову металів, діелектриків та напівпровідників саме на цьому етапі.

По-третє, цей доступний і незначний за об’ємом матеріал дозволяє індуктивним шляхом підвести учнів до введення терміну «електронна теорія» та надати початкові уявлення про електронну теорію, з метою її подальшого використання для пояснення електромагнітних явищ. У нашій методиці це має особливе значення, оскільки електронна теорія є одним з визначальних чинників генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з магнетизму в основній школі.

§ 8.2. Механізм електризації тіл контактом чи тертям

Структурно виокремлюємо два (зазначені нижче) дещо відмінні механізми електризації та пояснюємо їх на основі електронної теорії.

1. ***Механізм електризації незаряджених тіл контактом чи тертям***.

Традиційне пояснення цього механізму електризації доповнюємо детальним аналізом таких його конкретних прикладів, як електризація тертям ебонітового стержня об хутро та скляного стержня об шовк чи сухий папір, оскільки ці досліди дуже широко використовуються під час демонстрацій [34], [38].

2. ***Механізм передачі електричного заряду контактом від зарядженого тіла до незарядженого***.

Механізм передачі електричного заряду контактом від негативно заряджено-

го ебонітового та позитивно зарядженого скляного стержнів до електрометра залишився поза увагою традиційних підручників, хоча подібні досліди широко використовуються у шкільній практиці. Проводимо демонстрацію: негативно зарядженим ебонітовим стержнем доторкаємось до сфери електрометра і спостерігаємо за відхиленням стрілки електрометра. Допомагаємо учням пояснити механізм заряджання електрометра за рахунок переходу частини електронів у місці контакту від ебонітового стержня до металевої сфери, стержня та стрілки електрометра (пояснення підкріплюємо рисунком) [34], [38].

Аналогічним чином розкриваємо механізм передачі електричного заряду від позитивно зарядженого скляного стержня до електрометра за рахунок переходу частини електронів у місці контакту від металевої сфери до ебонітового стержня.

§ 8.3. Механізм електризації тіл через наведення

1. ***Механізм електризації металів через наведення***.

Проводимо дослід і допомагаємо учням пояснити на основі електронної теорії механізм електризації електрометра через наведення від негативно зарядженого ебонітового стержня (пояснення підкріплюємо рисунком); подібні досліди, завдяки їх простоті, широко використовуються у шкільній практиці. Остаточно доходимо висновку: тілу можна надати електричний заряд не тільки через контакт чи тертя, але й без контакту, через наведення заряду в електричному полі; у металах наведення електричного заряду пов’язане з рухом вільних електронів під дією електричного поля [34], [38].

2. ***Дія електрично зарядженого тіла на незаряджені діелектрики***.

Традиційна методика не розкриває механізм притягання електрично нейтральних тіл з діелектрика до заряджених тіл, а зазначає тільки, що це питання буде розглянуто в старших класах. Ураховуючи широкий прояв цього механізму електризації у повсякденні та маючи на меті формування узагальнених уявлень учнів з електромагнетизму, ми розглядаємо це явище в основній школі.

Проводимо дуже цікавий для учнів дослід з притяганням дрібних електронейтральних клаптиків сухого паперу (діелектрик) до негативно зарядженого ебонітового стержня. Спонукаємо учнів до вирішення проблеми на основі електрон-

ної теорії, актуалізуємо знання про будову діелектриків і доходимо основного висновку: електрично заряджене тіло (стержень) діє на незаряджений діелектрик (на клаптики паперу) завдяки тому, що електричне поле зарядженого тіла діє на електрично заряджені частинки, які входять до молекул, атомів, іонів незарядженого діелектрика. Ця частина матеріалу є обов'язковою для вивчення.

У якості додаткового матеріалу пояснюємо, у чому саме полягає дія електричного поля на електрично заряджені частинки діелектрика [34], [38].

§ 9. Закон збереження електричного заряду.
Незалежність величини електричного заряду від швидкості

Основною особливістю нашої методики є розвиток узагальнених уявлень про електричний заряд [30], [31], [34], [37], [38].

1. Традиційна методика або зовсім не розглядає, або недостатньо обґрунтовує в основній школі один з фундаментальних законів фізики – ***закон збереження електричного заряду*** (пункт 1.1.2). Разом з тим, вивчення закону збереження електричного заряду цілком доступно учням і дуже корисно як з точки зору розвитку узагальнених уявлень про електричний заряд, так і з метою його використання при подальшому вивченні електромагнетизму в основній школі.

Обґрунтовуємо закон збереження електричного заряду індуктивним шляхом на основі актуалізації знань та додаткового аналізу наступних прикладів: а) у досліді з одним зарядженим і другим незарядженим однаковими електрометрами, при їх з'єднанні металевим стержнем, електричний заряд порівно перерозподіляється між двома електрометрами; б) нейтралізація електричного заряду при з'єднанні двох однакових електрометрів, заряджених на початку однаковим за модулем, але різним за знаком електричним зарядом; в) при електризації тіл контактом чи тертям заряджаються обидва тіла, негативно заряджене тіло має надлишок електронів, позитивно заряджене тіло має недостачу електронів, тобто надлишок позитивних іонів, а значення електричного заряду на кожному з тіл однакове за модулем; г) атом є електрично нейтральною частинкою, оскільки електричний заряд усіх електронів, що рухаються навколо ядра, дорівнює за модулем електричному заряду всіх протонів ядра; якщо від атома «відривається» один еле-

ктрон, то атом перетворюється у позитивний іон.

Підсумовуємо, що в усіх цих прикладах електричний заряд тільки перерозподіляється між частинками чи тілами таким чином, що результуючий їх електричний заряд залишається незмінним; у цьому і полягає суть закону збереження електричного заряду. Уводимо поняття замкнутої системи і формулюємо *закон збереження електричного заряду*: алгебраїчна сума електричного заряду замкнутої системи є величиною сталою. Окремо відмічаємо, що саме завдяки справедливості закону збереження електричного заряду зручно два види електричного заряду позначати знаками «+» та «–».

На завершення підкреслюємо, що закон збереження електричного заряду є одним з найважливіших законів фізики, а закони збереження є фундаментальними (основоположними) законами фізики. Узагальнюємо відомості про вивчені на даний момент два закони збереження: закон збереження енергії та закон збереження електричного заряду.

2. ***Незалежність величини електричного заряду від швидкості*** обґрунтовуємо наступними простими міркуваннями. Візьмемо, наприклад, електрично нейтральне тіло: електричний заряд усіх електронів тіла скомпенсований електричним зарядом усіх протонів атомних ядер. Нагріємо це тіло. При нагріванні збільшується швидкість теплового руху молекул, атомів, іонів тіла в цілому та електронів і ядер зокрема. Оскільки маса електронів набагато менша за масу ядер, то швидкість теплового руху електронів зростатиме в більшій мірі. І, якщо б величина електричного заряду залежала від швидкості, то атоми втратили б електронейтральність. Оскільки атомів у тілі надзвичайно багато, то тіло при нагріванні з електронейтрального стало б зарядженим, що не спостерігається на практиці. Отже, величина електричного заряду не залежить від швидкості. Зазначаємо, що незалежність величини електричного заряду від швидкості руху електрично заряджених частинок чи тіл підтверджено точними фізичними експериментами.

Підкреслюємо, що при обґрунтуванні закону збереження електричного заряду та незалежності величини електричного заряду від швидкості ми скористались електронною теорією.

3. ***Узагальнюємо відомості про електричний заряд***: 1) електрично заряджена частинка невіддільна від свого електромагнітного (електричного) поля; зовнішнє електромагнітне (електричне) поле чинить дію на електрично заряджені частинки (тіла); 2) існує два види електричного заряду (позитивний та негативний); 3) електричний заряд є фізичною величиною з одиницею 1 Кл; 4) закон збереження електричного заряду; 5) подільність електричного заряду; 6) дискретність електричного заряду; 7) незалежність величини електричного заряду від швидкості.

Отже, розвиток узагальнених уявлень про електричний заряд у змістовому модулі 2 здійснюємо в два етапи внаслідок складного взаємного підпорядкування різних тем, тому що подільність та дискретність електричного заряду (§ 6) передують вивченню будови атома та електронної теорії (§ 8), а закон збереження електричного заряду та незалежність величини електричного заряду від швидкості (§ 9) обґрунтовуємо на основі електронної теорії.

На завершення змістового модуля 2 підводимо підсумки: систематизуємо й узагальнюємо вивчений матеріал про електричне поле (як один з проявів електромагнітного поля), про електричний заряд, будову атома і речовини та про електронну теорію [30], [31], [34], [38].

2.3.2. Електричний струм у різних середовищах

Основною особливістю нашої методики є те, що ми поєднуємо розкриття поняття електричного струму з вивченням навчального матеріалу теми «***Електричний струм у різних середовищах***» та виокремлюємо відповідний ***змістовий модуль 3*** (***підрозділ 1.2*** навчального посібника [38]). У такому разі появляється можливість обґрунтовано надати учням узагальнене уявлення, що електричний струм являє собою рух як негативно, так і позитивно електрично заряджених частинок на прикладі металів, електролітів, газових розрядів; доказово продемонструвати дії електричного струму; а також власне розглянути на якісному рівні природу струму в різних середовищах з використанням електронної теорії. Переваги нашої методики пов’язані також з широким використанням уявлень учнів про електричну взаємодію та електричне поле, магнітну взаємодію та магнітне поле, електро-

магнітну взаємодію та електромагнітне поле, отриманих раніше [30], [31], [34], [38].

Ураховуємо також напрацювання традиційної методики (пункт 1.1.2), у тому числі, започатковані у вітчизняних підручниках О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 255–261], [16, с. 29–51], і адаптуємо для основної школи матеріал шкільних підручників старших класів [40], [284], [66], [133], посилюючи при цьому якісний аналіз механізму основних процесів на основі електронної теорії.

§ 10. Електричний струм та його напрям. Джерела електричного струму

При вивченні теми «***Електричний струм та його напрям***» (***§ 10.1***) підводимо учнів до висновку, що необхідною умовою існування електричного струму є наявність вільних електрично заряджених частинок та електричного поля (джерела електричного поля). Актуалізуємо знання учнів про електронну теорію і допомагаємо учням зрозуміти, що цими вільними електрично зарядженими частинками є, перш за все, негативно заряджені вільні електрони (наприклад, у металах) та позитивно і негативно заряджені вільні іони.

Відмітимо, що за традиційною методикою учні мають недостатні уявлення про електричне поле і для них залишається незрозумілим, де саме зосереджено електричне поле, як і чому воно спричинює впорядкований рух електрично заряджених частинок у провідниках. Щоб уникнути цього недоліку ми покроково зображуємо (рис. 2.4) лінії електричного поля, аналізуємо напрям сил, з якими електричне поле діє на вільні позитивно та негативно заряджені частинки, та напрям їх руху. Надаємо розширене поняття напряму електричного струму (на основі поняття ліній електричного поля): *за напрям електричного струму вибрали той напрям, у якому в електричному полі впорядковано рухаються позитивно електрично заряджені частинки*; *напрям електричного струму співпадає з напрямом ліній електричного поля*. Доводимо, що напрям електричного струму для позитивно та негативно заряджених частинок співпадає, хоча вони рухаються в протилежних напрямах (це достатньо складне для учнів питання недостатньо розкрито у традиційній методиці). Отже, поняття напряму електрично-

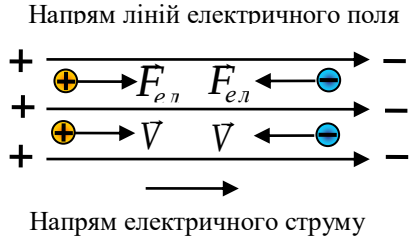


Рис. 2.4. Напрям електричного струму

го струму ми вводимо ще до вивчення його природи в металах для того, щоб електричний струм у свідомості учнів зразу асоціювався з впорядкованим рухом як позитивно, так і негативно заряджених частинок.

У темі «***Джерела електричного струму***» (***§ 10.2***) теж використовуємо поняття ліній електричного поля при формулюванні висновку стосовно напряму електричного струму: якщо полюси джерела електричного струму з'єднати провідником, то по провіднику *протікає електричний струм вздовж напряму ліній електричного поля від позитивно до негативно зарядженого полюса за межами джерела електричного струму*.

Вивчення теми «***Електричне коло та його складові частини***» (***§ 11***) здійснюємо на основі традиційної методики, насамперед, відображеної у вітчизняних підручниках Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 89–90].

§ 12. Електричний струм у металах. Теплова і магнітна дії електричного струму

§ 12.1. Природа електричного струму в металах

Особливістю запровадженої методики навчання цієї теми порівняно з традиційною є використання відомостей про електричне поле, лінії електричного поля, електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле [38].

Актуалізуємо знання з електронної теорії про будову металів та про електричний струм і допомагаємо учням дійти висновків: 1) носіями електричного струму в металах є вільні електрони; електричний струм у металах – це впорядкований рух вільних електронів під дією електричного поля; 2) електрони рухаються проти напряму ліній електричного поля від негативно до позитивно зарядженого полюса джерела струму; електричний струм напрямлений від позитивно до негативно зарядженого полюса джерела струму в напрямі ліній електричного поля.

На основі знань про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле (змістовий модуль 1) учням легко зрозуміти, що при замиканні електричного кола, в металевому провіднику зі швидкістю майже $3 \cdot 10^8$ м/с поширюється електромагнітне поле; з такою швидкістю електромагнітне поле діє на вільні електрони у металі і вони майже одночасно починають впорядковано рухатись по провіднику.

Традиційне вивчення теми «***Теплова дія електричного струму***» (***§ 12.2***) на

емпіричному рівні ми посилюємо аналізом механізму цієї дії, котрий приводить до висновку: теплова дія електричного струму пов'язана з перетворенням енергії електричного поля у внутрішню енергію.

§ 12.3. Магнітна дія електричного струму

Традиційна методика реалізує емпіричне вивчення магнітної дії електричного струму і характеризується рядом принципових проблем (пункт 1.1.2). Основна проблема полягає у неможливості розкриття суті магнітної дії електричного струму без надання початкових уявлень про магнітне поле, котре за традиційною методикою вивчається тільки в наступному розділі. Переваги нашої методики зумовлені, насамперед, тим, що в змістовому модулі 1 учні вже отримали початкові, достатньо узагальнені уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле.

Задаємо питання проблемного характеру: Чи існує поле навколо металевого провідника без струму? Навколо провідника зі струмом? Яке поле? Актуалізуємо знання, отримані учнями у змістовому модулі 1, що навколо нерухомої електрично зарядженої частинки існує електричне поле, навколо рухомої – електромагнітне поле, тобто як електричне, так і магнітне поля. Висловлюємо гіпотезу, що оскільки електричний струм являє собою впорядкований рух електрично заряджених частинок, то навколо провідника зі струмом повинно існувати магнітне поле. Демонструємо фундаментальний дослід Ерстеда та переконуємось у справедливості нашого припущення. Дослід доповнюємо відповідними рисунками. Таким чином, ми дедуктивно, використовуючи електронну теорію, демонструємо магнітну дію електричного струму. Ще більш суттєвим є те, що учні усвідомлено сприймають магнітну дію електричного струму, на відміну від традиційної методики.

Аналізуємо на основі електронної теорії зв'язок між магнітним полем рухомої електрично зарядженої частинки та магнітним полем провідника зі струмом і формулюємо узагальнений висновок: *існує магнітне поле рухомих електрично заряджених частинок, у тому числі й магнітне поле провідників зі струмом*.

Задаємо питання проблемного характеру: чи існує зворотна дія магнітного поля на провідник зі струмом ? Демонструємо (рис.2.5) втягування провідника зі струмом у магнітне поле дугоподібного магніту, виштовхування провідника при

зміні напряму струму, зміну напряму дії на протилежну при зміні полярності магнітів. Легке сприйняття учнями цього матеріалу зумовлено отриманими у змістовому модулі 1 початковими знаннями про магнітне поле й про магнітні полюси. Допомагаємо учням дійти висновку: *магнітне поле діє на провідник зі струмом, тому що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле*.

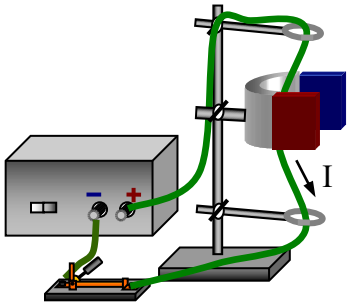


Рис. 2.5. Дія магнітного поля на провідник зі струмом

Відмітимо, що ми демонструємо дію магнітного поля на вертикально підвішений гнучкий провідник зі струмом. Такий варіант досліду є, на нашу думку, більш вдалим, ніж традиційне використання горизонтально підвішеного провідника. При вертикальному розташуванні провідника чітко видно на яку саме його ділянку діє магнітне поле. Тоді як при горизонтальному його розташуванні, магнітне поле діє як на горизонтальну ділянку, так і на ті ділянки вертикальних підвідних провідників, які знаходяться поблизу магніту. Ми уникаємо цієї деталі на початковому етапі та демонструємо більш прозорий випадок дії магнітного поля на вертикальний провідник зі струмом. Згодом, в процесі вивчення сили Ампера і правила лівої руки, ми аналізуємо й дослід з горизонтально розташованими у магнітному полі провідниками.

Виконуємо традиційну демонстрацію дії магнітного поля на маленьку рамку зі струмом, розміщену посередині дугоподібного магніту.

Достатньо розширене (як для початкового етапу) ознайомлення з магнітною дією електричного струму та зворотною дією магнітного поля на провідник зі струмом і рамку зі струмом зумовлено важливістю цього матеріалу для послідуючого доказового введення одиниці сили струму 1 А та пояснення принципу дії електровимірювальних приладів у наступному змістовому модулі.

§ 13. Електричний струм в електролітах та іонних розплавах. Хімічна дія електричного струму. Електроліз

§ 13.1. Електролітична дисоціація. Природа електричного струму в електролітах

Демонструємо, що є рідини-діелектрики, через які електричний струм не протікає (дистильована вода, олія, тощо). Демонструємо добру провідність розчину

мідного купоросу і відмічаємо, що водні розчини солей, лугів, кислот проводять електричний струм. Надаємо поняття про електроліти: *електроліти є провідниками електричного струму*; *до електролітів належать розчини солей*, *лугів і кислот у воді* (або іншому розчинникові).

Пояснюємо за електронною теорією, що молекули солей, лугів, кислот і води складаються з позитивно та негативно заряджених іонів; у цілому кожна молекула електронейтральна, тому солі, луги, кислоти, дистильована вода є діелектриками. Розкриваємо, які саме іони входять до складу молекул солей ($NaCl$, $CuSO_4$), лугів ($NaOH$, $Ca(OH)_2$), кислот (HCl, H_2SO_4) і води. Пояснюємо механізм розпаду електронейтральної молекули, внаслідок електричної взаємодії з молекулами води, на позитивні та негативні іони. Надаємо означення *електролітичної дисоціації*. Виконуємо запис процесу електролітичної дисоціації на прикладі мідного купоросу. Надаємо поняття рекомбінації.

Допомагаємо учням сформулювати висновки: 1) *електричний струм в електролітах являє собою впорядкований рух вільних позитивно та негативно заряджених іонів*, *утворених в процесі електролітичної дисоціації*; *природа електричного струму в електролітах – іонна*; 2) позитивно заряджені іони рухаються в напрямі до негативно зарядженого катоду (в напрямі ліній електричного поля), негативно заряджені іони рухаються в напрямі до позитивно зарядженого аноду (проти напряму ліній електричного поля), електричний струм в електроліті напрямлений від позитивно зарядженого аноду до негативно зарядженого катоду (в напрямі ліній електричного поля).

§ 13.2. Термодисоціація. Природа електричного струму в іонних розплавах

Висвітлення цієї теми, яка залишилась поза межами навчальних програм не тільки основної, але й старшої школи, зумовлене двома основними причинами: 1) націленість нашої методики на формування узагальнених знань; 2) промислове отримання ряду металів саме з іонних розплавів.

Розкриваємо тему за наступною схемою: тепловий рух → термодисоціація → іонний розплав → запис процесу термодисоціації на прикладі окису алюмінію → природа електричного струму в іонних розплавах.

§ 13.3. Хімічна дія електричного струму. Електроліз та його використання

Актуалізуємо знання учнів про теплову та магнітну дію електричного струму і поглиблюємо їх на прикладі електролітів та іонних розплавів.

Спостерігаємо за явищем електролізу мідного купоросу. Аналізуємо механізм перетворення позитивно заряджених двовалентних іонів міді (шляхом приєднання двох вільних електронів від катоду) в електронейтральні атоми міді, що осідають на катоді. Цим самим розкриваємо хімічну дію електричного струму. Приводимо основні приклади використання електролізу.

Відмітимо, що в основній школі ми не розглядаємо закони Фарадея для електролізу, оскільки їх виведення на основі знань з молекулярної фізики можливе тільки в старшій школі.

§ 14. Електричний струм у газах. Газові розряди. Світлова дія електричного струму. Поняття про плазму

§ 14.1. Іонізація молекул і атомів. Природа електричного струму в газах

Актуалізуємо знання учнів, що за звичайних умов газ (наприклад повітря) є діелектриком і електричний струм через нього не протікає. Демонструємо явище протікання електричного струму через підігріте полум'ям повітря. Ураховуючи, що учні на цьому етапі ще не ознайомились з електровимірювальними приладами, запроваджуємо спрощений варіант досліду (рис. 2.6). Його суть полягає у використанні електрометрів у якості індикаторів електричного струму: при підігріванні повітря між заздалегідь зарядженими металевими пластинами, електрометри розряджаються, що свідчить про протікання короткочасного струму.

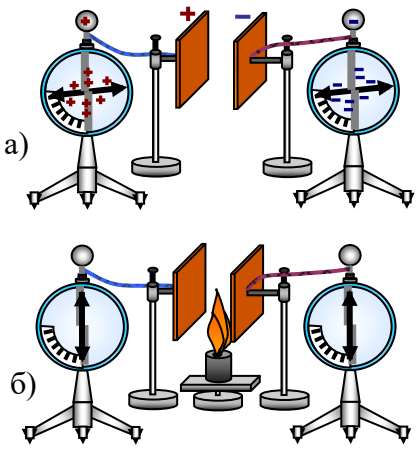


Рис. 2.6. Електричний струм в газах

Покроково задаємо питання проблемного характеру: Як пояснити результат досліду ? Завдяки чому газ з діелектрика стає провідником ? Яка природа електричного струму у в газах ? Допомагаємо учням на основі електронної теорії розкрити механізм термоіонізації газу. Коротко розказуємо про іонізацію під дією опромінювання, що характеризується високою енергією (ультрафіолетові, рентге-

нівські, гамма-промені) та зазначаємо про ударну іонізацію. Схематично зображуємо процес іонізації на прикладі атому гелію. Надаємо означення *іонізації молекул чи атомів* та поняття рекомбінації. Спонукаємо учнів пояснити природу струму в газах. Формулюємо висновки: 1) *Електричний струм у газах являє собою впорядкований рух вільних електронів та позитивно (і частково негативно) заряджених іонів*, *утворених у процесі іонізації молекул чи атомів*; *природа електричного струму в газах – електронно-іонна*; 2) вільні електрони рухаються набагато швидше за іони і вносять більший вклад в електричний струм у газах.

§ 14.2. Газові розряди. Світлова дія електричного струму

Спостерігаємо й вивчаємо на доступному рівні газові розряди (іскровий та дуговий – як основні, а коронний та тліючий – як додаткові види розрядів) і приклади їх використання. Відомості про ударну іонізацію надаємо в якості додаткового матеріалу, а вивчення понять самостійного та несамостійного розрядів відносимо в старшу школу. На прикладі газових розрядів переконуємось, що протікання електричного струму через газ приводить до його нагрівання; теплова дія електричного струму в газах супроводжується *світловою дією*. Актуалізуємо знання про магнітну дію електричного струму та підкреслюємо, що *навколо електричного струму будь-якої природи існує магнітне поле.*

§ 14.3. Плазма – четвертий агрегатний стан речовини

З метою розвитку узагальнених уявлень учнів про будову речовини, уважаємо за доцільне надати учням початкові уявлення про плазму, як четвертий агрегатний стан речовини, саме в основній школі.

Пояснюємо, що в іонізованому газі виникає *нова властивість*: у речовині *посилену роль відіграють сили електричної (електромагнітної) взаємодії* між відокремленими електрично зарядженими частинками; існує *четвертий агрегатний стан речовини – плазма* – частково або повністю іонізований газ, у якому кількість позитивно та негативно заряджених частинок практично співпадає.

Надаємо початкові відомості про низькотемпературну частково іонізовану та високотемпературну повністю іонізовану плазму. Спонукаємо учнів пояснити, як залежить агрегатний стан речовини від температури, та зробити висновок, що

плазма є провідником. Наводимо приклади плазми: іоносфера Землі, Сонце, зірки; у тому числі підкреслюємо, що в стані плазми знаходиться переважна частина речовини у Всесвіті – приблизно 99% за сучасними уявленнями. Відмічаємо про практичне використання плазми: газові розряди, термоядерні реакції.

§ 15. Поняття про електричний струм у вакуумі

Висвітлюємо тільки основні початкові якісні уявлення про електричний струм у вакуумі [30], [31], [34], [38].

§ 15.1. Термоелектронна емісія.
Двохелектродна вакуумна лампа – вакуумний діод. Дослід Йоффе

Розкриваємо фізичну суть *термоелектронної емісії*.

На прикладі двохелектродної лампи вивчаємо природу електричного струму у вакуумі. Обґрунтовуємо теоретично і доводимо експериментально односторонню провідність вакуумного діода.

Особливістю нашої методики є використання досліду Йоффе як найбільш повноцінного експериментального доведення наявності магнітного поля навколо рухомих електрично заряджених частинок. Суть досліду така: за допомогою двох спарених магнітних стрілок підтверджують наявність магнітного поля навколо електронів, що впорядковано рухаються від катоду до аноду у вакуумній трубці при її ввімкненні до джерела постійного електричного струму [84, с.227], [284, с. 142]. Аналіз досліду Йоффе саме на цьому етапі пов’язаний з тим, що для його розуміння необхідно мати початкові уявлення про електричний струм у вакуумі. Поради стосовно проведення демонстраційного досліду надані у публікації [77].

§ 15.2. Електронно-променева трубка

Надаємо початкові відомості про будову та призначення електронно-променевої трубки. Учні мають уявлення про електричне поле між двома паралельними металевими пластинами (§ 5), тому їм легко зрозуміти, що таке конденсатор і як його електричне поле може впливати на рух електронів. Оскільки електричну напругу як фізичну величину вивчають тільки в наступному змістовому модулі 4, то залежність напруги на пластинах конденсатора від часу коректно за-

мінюємо на залежність електричного заряду від часу і розглядаємо в якості додаткового матеріалу.

§ 16. Поняття про електричний струм у напівпровідниках

Цю дуже важливу, але достатньо складну для учнів основної школи тему розкриваємо на доступному для них рівні. Структурно виокремлюємо два підпараграфи. § 16.1. *Будова напівпровідників. Власна та домішкова провідність напівпровідників*: особливості хімічних зв’язків напівпровідників, природа власної та домішкової провідності. § 16.2. *Початкові уявлення про напівпровідникові діод і транзистор*: будова напівпровідникового діоду та демонстрація його односторонньої провідності (механізм утворення електронно-діркового переходу з використанням поняття ліній електричного поля переносимо в старші класи); транзистор розглядаємо оглядово на емпіричному рівні, з прикладами використання.

Відмітимо, що наприкінці 8 класу 12-річної школи на уроках хімії учні вивчають хімічний зв'язок, у тому числі й ковалентний зв'язок. Згідно навчальної програми з фізики [219], електромагнітні явища, у тому числі й електричний струм у напівпровідниках, вивчають у 9 класі. Це створює передумови для ознайомлення з особливостями хімічних зв’язків напівпровідників на уроках фізики в основній школі.

На завершення змістового модуля 3 узагальнюємо якісні знання учнів про електричний струм, його напрям, про природу електричного струму в різних середовищах і дію електричного струму на основі електронної теорії з використанням поняття електричного поля, ліній електричного поля та їх напряму.

2.3.3. Закони постійного електричного струму

Змістовий модуль 4 «***Закони постійного електричного струму***» відповідає ***підрозділу 1.3*** навчального посібника [38]. Традиційна методика відпрацювала надійний варіант вивчення цієї теми (пункт 1.1.2).

Водночас, невирішеними залишились ряд проблем, основними з яких є наступні: 1) не вдається обґрунтувати введення одиниці сили струму 1 А, оскільки

на цьому етапі, згідно традиційної методики, учні не в змозі зрозуміти, чому між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія; 2) учні вчаться користуватись електровимірювальними приладами, по суті не розуміючи принципу їх дії; 3) недостатньо розкрито фізичну суть електричної напруги, саме як енергетичної величини, котра характеризує електричне поле.

У рамках запропонованого нами підходу ці методичні труднощі знаходять своє вирішення: перші дві проблеми вирішуються на основі отриманих уже відомостей про магнітну взаємодію, магнітне поле (змістовий модуль 1) і магнітну дію електричного струму (змістовий модуль 3); третя проблема вирішується на основі розширеного уявлення про електричне поле та лінії електричного поля (змістовий модуль 2). Суттєво й те, що детальне вивчення поняття електричного струму та природи електричного струму в різних середовищах виключно на якісному рівні у змістовому модулі 3 створює передумови для більш повноцінного висвітлення суті фізичних величин (сила струму, електрична напруга, електричний опір) і законів (закон Ома, закони послідовного та паралельного з'єднання) у змістовому модулі 4 не тільки для металів (як за традиційного підходу), але й для інших провідників [30], [31], [34], [38]. Важливо, що тільки у змістовому модулі 4 вивчаємо матеріал на рівні доступних фізичних величин і законів, тоді як у всіх інших змістових модулях навчання здійснюється виключно на якісному рівні. Розкриємо основні особливості нашої методики.

§ 17. Сила струму та її вимірювання

Силу струму вводимо за традиційною методикою (пункт 1.1.2).

Особливістю нашої методики є обґрунтоване введення одиниці сили струму 1 А та пропедевтичне пояснення принципу дії амперметра.

Демонструємо взаємодію двох паралельних провідників зі струмом. Задаємо питання проблемного характеру стосовно природи цієї взаємодії. На основі актуалізації знань про магнітне поле навколо провідника зі струмом і про дію магнітного поля на провідник зі струмом (§ 12.3), допомагаємо учням обґрунтувати, що між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія. Вводимо одиницю сили струму 1 А; при цьому не просто говоримо про силу взаємодії між ділянками

паралельних провідників зі струмом, а підкреслюємо, що це сила магнітної взаємодії. Пояснюємо, як вводять одиницю електричного заряду: 1 Кл = 1 А·1 с. Актуалізуємо знання учнів про орієнтаційну дію магнітного поля на рамку зі струмом і надаємо їм пропедевтичні уявлення про будову та принцип дії амперметра.

§ 18. Електрична напруга та її вимірювання

Обґрунтовуємо необхідність введення електричної напруги за традиційною методикою, запровадженою у підручниках Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [132, с. 100–103]. Особливістю нашої методики є розкриття фізичної суті електричної напруги саме як енергетичної величини, котра характеризує електричне поле, та пропедевтичне пояснення принципу дії вольтметра.

Актуалізуємо знання учнів, що електричний струм у провідниках протікає за наявності електричного поля. Використовуємо графічне зображення ліній електричного поля всередині провідника (рис.2.7). Пояснюємо, що електричне поле, переміщуючи електрично заряджену частинку з деякої точки 1 в іншу точку 2, виконує певну роботу $A_{1,2}$. Відношення цієї роботи до величини перенесеного заряду q є важливою фізичною величиною $U_{1,2} = A_{1,2} / q$ – це електрична напруга, котра є енергетичною характеристикою електричного поля. Формулюємо відповідне означення та вводимо одиницю електричної напруги 1 В.

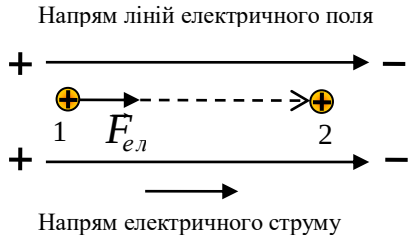


Рис. 2.7. Електрична напруга – енергетична характеристика електричного поля

§ 19. Залежність сили струму від електричної напруги. Електричний опір. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола

Розвиваючи методичні підходи, започатковані у підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 224–232], вивчаємо ці теми єдиним блоком на прикладі металевих провідників (пункт 1.1.2). При цьому ми підкреслюємо (у тому числі в заголовку), що розкритий закон Ома справедливий саме для однорідної ділянки електричного кола, яка не містить джерела електричного струму. Додатково пояснюємо на якісному рівні особливості закону Ома для інших типів провідників.

§ 20. Залежність електричного опору провідників від їх геометричних розмірів, речовини і температури

Структурно виокремлюємо три підпараграфи.

§ 20.1 *Залежність електричного опору провідників від їх геометричних розмірів і речовини. Питомий електричний опір* (вивчаємо тему традиційно на прикладі металів і поширюємо отримані знання на інші види провідників).

§ 20.2 *Резистори*. *Реостати*. *Потенціометри* (потенціометри вивчаємо у якості додаткового матеріалу).

§ 20.3 *Залежність електричного опору провідників від температури* (тільки на якісному рівні, причому не тільки для металів, але й для електролітів, газів і напівпровідників, проводячи порівняльну характеристику цієї залежності на основі уявлень електронної теорії).

§ 21. Послідовне, паралельне та змішане з'єднання провідників

Цю тему вивчаємо у межах трьох підпараграфів: § 21.1. *Послідовне з'єднання провідників*; § 21.2. *Паралельне з'єднання провідників*; § 21.3. *Змішане з'єднання провідників*.

Закони послідовного й паралельного з'єднання провідників спочатку обґрунтовуємо теоретично: для сили струму – на основі закону збереження електричного заряду; для електричної напруги – на основі закону збереження енергії; для електричних опорів – на основі закону Ома. Тим самим ми формуємо узагальнені уявлення і показуємо, що закони послідовного й паралельного з'єднання провідників є наслідком вказаних вище більш загальних фізичних законів. Теоретичні висновки одразу підтверджуємо експериментально, підкреслюючи поєднання теоретичного та експериментального методів дослідження у фізиці. Тобто, ми вивчаємо закони послідовного й паралельного з'єднання провідників дедуктивно. Зазначаємо, що історично ці закони спершу встановили експериментально, а вже згодом обґрунтували теоретично. Оскільки значній частині учнів важко дається розуміння електричних схем зі змішаним з'єднанням, розглядаємо цю тему на конкретних прикладах у рамках окремого підпараграфу.

§ 22. Робота і потужність електричного струму

Розвиваємо підходи, запроваджені в підручниках вітчизняних методистів Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 127–130] та О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 278–300] (пункт 1.1.2). Весь навчальний матеріал висвітлюємо в межах одного параграфу з виокремленням трьох підпараграфів: § 22.1. *Робота і потужність електричного струму*; § 22.2. *Кількість теплоти, що виділяється в провіднику зі струмом*. *Практичне використання теплової дії електричного струму*; § 22.3. *Дія електричного струму на організм людини*. *Заходи безпеки під час роботи з електричним струмом*. Ці теми цілком вписуються в загальний заголовок «Закони постійного електричного струму», тому ми структурно відносимо їх до змістового модуля 4.

На завершення змістового модуля 4 підводимо підсумки і систематизуємо та узагальнюємо вивчений матеріал про закони постійного електричного струму. Систематизуємо та узагальнюємо навчальний матеріал розділу 1 «Електричні явища. Електричне поле».

2.4. Удосконалення змісту, структури й методики навчання розділу «Магнітні явища. Магнітне поле»

У ***розділі 2*** «***Магнітні явища***. ***Магнітне поле***» продовжуємо вивчати магнітні явища і поглиблюємо уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле, як прояви електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля в межах двох змістових модулів, відображених на рис.2.8 [31], [35], [38]. Структурування навчального матеріалу за традиційної методики розкрито у пункті 1.1.3.

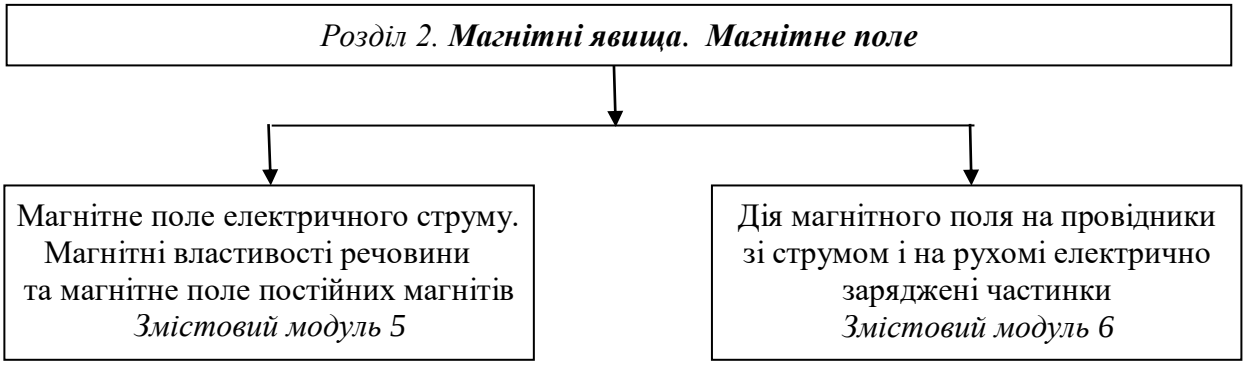


Рис. 2.8. Структурна схема вивчення розділу 2

2.4.1. Магнітне поле електричного струму.
Магнітні властивості речовини та магнітне поле постійних магнітів

Відмітимо три основні особливості нашої методики: 1) розвиваємо уявлення про магнітні явища, магнітну взаємодію, магнітне поле, саме як прояви електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля; 2) детально вивчаємо картини ліній магнітного поля прямого провідника, кільця та соленоїда зі струмом з відповідними мнемонічними правилами, що сприяє розвитку дивергентного мислення; 3) поєднуємо вивчення магнітних властивостей речовини на основі електронної теорії з розширенням уявлень про «джерела» магнітного поля на основі розкриття природи магнітного поля постійних магнітів. Весь навчальний матеріал тісно взаємопов'язаний між собою і становить цілісне структурне об'єднання – ***змістовий модуль 5*** (***підрозділ 2.1*** навчального посібника [38]).

§ 23. Магнітне поле провідників зі струмом

Зазначену тему розкриваємо у межах чотирьох підпараграфів [23], [24], [26], [27], [30], [31], [35], [38].

§ 23.1. Лінії магнітного поля та їх напрям

Актуалізуємо знання учнів про магнітну взаємодію, магнітне поле, дію магнітного поля. Уводимо поняття *лінії магнітного поля* та *напряму лінії магнітного поля* (пункт 1.1.3). Підкреслюємо, що *реально існує тільки магнітне поле*, а поняття ліній магнітного поля вводимо для візуалізації наших уявлень про поле.

Методична доцільність використання саме терміну «***лінії магнітного поля***» зумовлена наступним. У фізиці коректним є поняття «лінії індукції магнітного поля», тому що дотичні до них указують саме напрям індукції магнітного поля в кожній його точці. Але широко вживають й інші терміни. Так, у фізичній енциклопедії [274, с. 670–672], [275, с. 12–16] використовують терміни «силові лінії магнітного поля» (11 раз) та «лінії магнітного поля» (3 рази). Експериментально напрям ліній індукції магнітного поля визначають за допомогою маленьких магнітних стрілочок (залізних ошурків) чи маленьких рамок зі струмом. Напрям ліній індукції магнітного поля співпадає з напрямом, котрий вказують північні полюси магнітних стрілочок чи праві нормалі рамок зі струмом. Орієнтація магнітних

стрілок (залізних ошурок) чи маленьких рамок зі струмом у магнітному полі пов'язана, перш за все, з моментами сил, а не з силами. Більше того, напрям сили Лоренца, що діє на рухомий електричний заряд з боку магнітного поля, взагалі є перпендикулярним до напряму ліній індукції. Все це свідчить про невдалість терміну «силові лінії магнітного поля». Враховуючи аналогічні міркування В. Ф. Савченко ще у 1985 р. робить висновок, що термін «лінія магнітного поля» треба визнати правильнішим з наукового погляду, а пропущене слово «індукція» доповнити в старших класах [238, с. 18–19]. Термін «лінії магнітного поля» використовує у навчальному посібнику Г.С. Ландсберг [289, с. 280].

Використання науково виваженого терміну «лінії індукції магнітного поля» потребує попереднього введення індукції магнітного поля як фізичної величини, що є передчасним для учнів основної школи. Тому ми обмежуємось уживанням в основній школі терміну «лінії магнітного поля», котрий не суперечить коректному терміну «лінії індукції магнітного поля» та є його тимчасовим скороченим синонімом. Разом з тим, з метою забезпечення неперервної освіти в основній і старшій школі та для уникнення переучування, в процесі пояснення та в кінцевому означенні використовуємо і повний термін.

§ 23.2. Магнітне поле прямого провідника зі струмом

Актуалізуємо знання учнів про дослід Ерстеда. На основі традиційного демонстраційного експерименту (спостерігаємо за розташуванням маленьких магнітних стрілок і залізних ошурків навколо прямого провідника зі струмом при двох напрямах струму), підводимо учнів до висновку: *лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом* являють собою співвісні концентричні кола, центри яких співпадають з віссю провідника. Формулюємо *правило свердлика* та *правило правої руки* й підкріплюємо їх відповідними рисунками (Додаток В 5). Відмітимо, що для частини учнів, котрі погано уявляють собі закручування правого гвинта, більш доступним є правило правої руки.

§ 23.3. Магнітне поле кільця зі струмом

У рамках дедуктивного підходу, допомагаємо учням за правилами свердлика чи правої руки зробити висновки: *лінії магнітного поля кільця зі струмом* (коло-

вого струму) замкнуті та утворюють тор. Використовуємо традиційний дослід (спостерігаємо за розташуванням маленьких магнітних стрілок і залізних ошурків навколо кільця зі струмом) і переконуємось у правильності міркувань. Формулюємо зворотне правило свердлика та зворотне правило правої руки для визначення напряму ліній магнітного поля всередині колового струму і підкріплюємо їх відповідними рисунками (Додаток В 5). Термін «зворотне правило» ми вживаємо для усунення неоднозначності при використанні «прямих» та «зворотних» мнемонічних правил, що полегшує їх сприйняття учнями.

§ 23.4. Магнітне поле соленоїда

Демонструємо учням соленоїди (котушки) та спостерігаємо картину ліній магнітного поля навколо соленоїда зі струмом. Допомагаємо учням пояснити отриману картину ліній магнітного поля: ураховуємо, що соленоїд являє собою набір кругових струмів, і використовуємо зворотні та прямі правила свердлика й правої руки. Зображуємо графічно картину ліній магнітного поля, у тому числі й в розрізі (Додаток В 5). На основі орієнтації магнітних стрілок уводимо північний N і південний S полюси соленоїда та кільця зі струмом. Звертаємо увагу, що лінії магнітного поля за межами соленоїда направлені від N до S, а всередині – від S до N; причому, у зворотному правилі правої руки, великий палець вказує на північний полюс соленоїда.

Аналізуємо, що картини ліній магнітного поля соленоїда й кільця зі струмом аналогічні. Причому, на прикладі кільця зі струмом чітко видно, що окремого полюсу N чи S не існує, магнітні полюси нероздільні, тому що одна сторона кільця відповідає північному, а інша – південному полюсу (Додаток В 5).

Передбачаємо теоретично та перевіряємо на досліді, що соленоїди (кільця) зі струмом, як і магніти, притягуються до інших соленоїдів (кілець) зі струмом чи магнітів різнойменними полюсами і відштовхуються від них однойменними полюсами. Демонструємо, що магнітне поле виявляє орієнтаційну дію на кільце (рамку) зі струмом чи маленький соленоїд і за їх допомогою можна вивчати картину (спектр) магнітного поля (Додаток В 5).

Узагальнюємо матеріал параграфу 23, у тому числі робимо висновок, що лінії

магнітного поля провідників зі струмом замкнуті.

Висвітлення матеріалу параграфу 23 як на емпіричному, так і на якісно-теоретичному рівні, вважаємо важливим для повноцінного вивчення магнітного поля провідників зі струмом і для розвитку дивергентного мислення учнів.

§ 24. Магнітні властивості речовини. Магнітне поле постійних магнітів

Доцільність вивчення теми «Магнітні властивості речовини», яка не входить до стандартних програм, пов'язана з наступними причинами.

По-перше, відсутність відомостей про магнітні властивості речовини не дозволяє забезпечити повноту знань про магнітні явища. По-друге, необхідно забезпечити єдність підходів при вивченні електричних і магнітних явищ. У розділі 1 «Електричні явища. Електричне поле» не тільки вивчають поняття електричного поля, але й розглядають електричні властивості речовини. У розділі 2 «Магнітні явища. Магнітне поле» логічно не тільки надати учням поняття магнітного поля, але й розглянути магнітні властивості речовини. По-третє, в основній школі на якісному рівні необхідно розкрити основні відомості про будову речовини. Без вивчення магнітних властивостей речовини це завдання буде реалізовано не повністю.

Розвиваємо ідею сумісного вивчення зазначених тем, запроваджену у вітчизняних підручниках О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 326–331] (пункт 1.1.3), посилюючи використання електронної теорії. Крім того, з метою формування узагальнених уявлень про різні «джерела» магнітного поля, цю тему розглядаємо одразу після вивчення магнітного поля провідників зі струмом. Така послідовність розкриття тем зумовлена ще й тим, що в наступному змістовому модулі 5 при вивченні дії магнітного поля на провідники зі струмом широко використовують постійні магніти і тому напрошується попереднє висвітлення природи магнітного поля постійних магнітів [35], [38].

§ 24.1. Магнітне поле атома. Природа магнітного поля речовини

Актуалізуємо знання учнів, що поділ речовини за електричними властивостями на провідники, напівпровідники та діелектрики знаходить своє пояснення в межах електронної теорії.

У рамках проблемного навчання, на основі електронної теорії та відомостей про магнітне поле кругового струму, допомагаємо учням зробити висновки: *орбітальний рух електрона в атомі являє собою елементарний коловий струм* (своєрідне кільце зі струмом); *елементарний коловий струм* «*породжує*» *орбітальну складову магнітного поля* (аналогічно до кільця зі струмом, рис. 2.9). Це перша складова магнітного поля атома. З метою формування узагальнених уявлень про природу магнітного поля зазначаємо, що окрім орбітальної складової магнітного поля існує ще одна, так звана, *спінова складова магнітного поля*, зумовлена складною, до кінця не розкритою внутрішньою структурою електронів та умовним обертанням електронів навколо своїх осей.

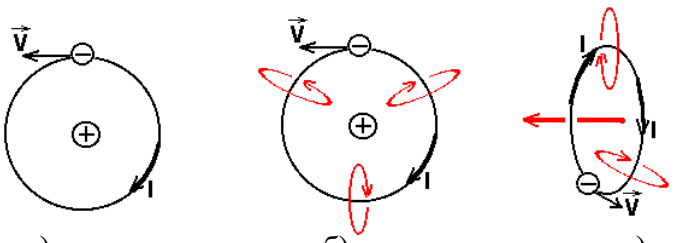


Рис. 2.9. Магнітне поле атома

Пояснюємо наступне: сума всіх орбітальних та спінових складових магнітних полів, пов'язаних з кожним електроном, що входить до складу атома (іона), дає результуюче *магнітне поле атома* (іона); накладання магнітних полів атомів (іонів), що входять до складу молекули, створює результуюче *магнітне поле молекули*. Поєднання магнітного поля молекул дає результуюче *магнітне поле речовини* (тіла). Робимо висновки: ***природа магнітного поля речовини подвійна*** (існує два «джерела» магнітного поля речовини): 1) *орбітальна складова магнітного поля*; 2) *спінова складова магнітного поля*.

Узагальнюємо уявлення про «джерела» магнітного поля: 1) *магнітне поле навколо рухомих електрично заряджених частинок*, у тому числі навколо провідників зі струмом та орбітальна складова магнітного поля речовини; 2) *спінова складова магнітного поля речовини*.

§ 24.2. Три основні типи магнетиків

Для доведення наявності трьох основних типів магнетиків посилаємось на експериментальні дослідження. Скористаємось джерелом достатньо сильного магнітного поля постійних магнітів чи електромагніту з осердям. Якщо по черзі вносити в магнітне поле тіла з різних речовин і точними приладами визначати чи

вносять ці тіла зміни в магнітне поле, то дослідження великої кількості речовин показує, що за магнітними властивостями їх можна розділити на три основні групи – *три основних типи магнетиків*.

Перша група – це *феромагнетики* («ферум» – залізо) – речовини, які при внесенні їх у магнітне поле у великій або дуже великій мірі посилюють магнітне поле (залізо, нікель, кобальт та інші). Друга група – це *парамагнетики* – речовини, які при внесенні їх у магнітне поле, слабо або дуже слабо посилюють магнітне поле (солі заліза, нікеля, кобальта, алюміній та інші). Третя група – це *діамагнетики* – речовини, які при внесенні їх у магнітне поле дуже слабо послаблюють магнітне поле (мідь, дистильована вода, повітря та інші).

Зауважимо, що традиційним вважається наступне експериментальне доведення наявності трьох типів магнетиків: феромагнетики легко намагнічуються і сильно втягуються в магнітне поле; парамагнетики слабо намагнічуються і слабо втягуються в магнітне поле; діамагнетики дуже слабо намагнічуються і дуже слабо виштовхуються з магнітного поля. Але все це справедливо для неоднорідного магнітного поля. Саме в градієнтному магнітному полі спостерігається втягування чи виштовхування магнетиків унаслідок наявності відповідних сил та моментів сил. У однорідному магнітному полі магнетики тільки намагнічуються і тим самим посилюють чи послаблюють магнітне поле, але не рухаються у ньому, що і враховано нами з метою уникнення формування хибних уявлень про дію магнітного поля на магнетики. Проведення ж традиційних дослідів здійснюємо згодом, після вивчення природи магнетиків та особливостей їх намагнічування.

Опираючись на знання учнів про будову атомів, іонів, молекул, речовини та електронну теорію, пояснюємо особливості будови магнетиків.

Діамагнетики – це речовини, в яких результуюче магнітне поле кожного атома (молекули) рівне нулю; діамагнетики не мають власного магнітного поля.

Парамагнетики – це речовини, кожен атом (молекула) яких має своє магнітне поле, але магнітна взаємодія між атомами (молекулами) слабка і внаслідок хаотичного теплового руху магнітні поля різних атомів (молекул) орієнтуються хаотично, тому результуюче магнітне поле парамагнетика дорівнює нулю.

Феромагнетики – це речовини, атоми (молекули) яких мають власні магнітні поля, котрі внаслідок сильної магнітної взаємодії між різними атомами (молекулами) вилаштовуються в одному напрямі в межах доменів; кожен домен «створює» значне магнітне поле. Зазначаємо, що феромагнетизм неможливий без спінової складової магнітного поля, завдяки якій і існує сильна магнітна взаємодія між окремими атомами (молекулами) та орбітальні магнітні поля вилаштовуються в одну сторону в межах окремого домену. Приводимо відповідні рисунки і розширюємо приклади магнетиків різного типу.

У якості додаткового матеріалу розкриваємо два питання. Перше стосується перетворення феромагнетика в парамагнетик при температурі Кюрі. Друге стосується того, що в усіх речовинах (окрім атомарного водню) присутня діамагнітна складова, але в парамагнетиках діамагнетизм «перекривається» парамагнетизмом, а у феромагнетиків діамагнетизм ще в більшій мірі «перекривається» феромагнетизмом. На завершення підкреслюємо, що між молекулами (атомами, іонами) існує як електрична, так і магнітна взаємодія – *електромагнітна взаємодія*.

§ 24.3. Намагнічування магнетиків.
Магнітом'які та магнітотверді феромагнетики

Розглядаємо *механізм намагнічування магнетиків*. *Діамагнетик* дуже слабо послаблює магнітне поле, а значить дуже слабо намагнічується в напрямі, протилежному до напряму зовнішнього магнітного поля. *Парамагнетик* слабо або дуже слабо посилює магнітне поле. Значить парамагнетик слабо або дуже слабо намагнічується в напрямі зовнішнього магнітного поля. Якщо діа- чи парамагнетик винести з магнітного поля, то вони повністю розмагнічуються.

Феромагнетик легко намагнічується та у великій або дуже великій мірі посилює магнітне поле, отже феромагнетик легко намагнічується в напрямі зовнішнього магнітного поля. Феромагнетик у зовнішньому магнітному полі сам стає магнітом і створює своє магнітне поле, яке може в сотні й тисячі разів перевищувати зовнішнє. Демонструємо наявність *магнітом'яких* та *магнітотвердих* феромагнетиків, наводимо їх приклади і область застосування.

§ 24.4. Магнітне поле постійних магнітів

Актуалізуємо знання учнів, що постійні магніти є магнітотвердими феромагнетиками. З демонстраційних дослідів аналізуємо картину ліній магнітного поля постійних магнітів і робимо висновки: *лінії магнітного поля завжди замкнуті*, магнітне поле існує як зовні, так і всередині магнітів, за межами магніту лінії магнітного поля виходять з північного та входять у південний магнітний полюс, а всередині, навпаки – виходять з південного та входять у північний полюс; *магнітні заряди відсутні*; *магнітні полюси умовні*. Звертаємо увагу на те, що картина ліній магнітного поля штабового магніту та соленоїда зі струмом аналогічні між собою.

§ 25. Електромагніти та їх використання

Уперше з електромагнітами учні ознайомились при вивченні магнітного поля соленоїда. Але причину легкого намагнічування та розмагнічування електромагнітів вони можуть усвідомити лише після вивчення природи і особливостей намагнічування феромагнетиків. Це пояснює місце даної теми в навчальній програмі.

Тему вивчаємо з використанням дедукції як методу пізнання, оскільки учні на основі отриманих знань про феромагнетики самі можуть зробити висновок, який матеріал осердя необхідно застосувати і можуть запропонувати деякі приклади використання електромагнітів на практиці та пояснити принцип роботи електромагнітних кранів, реле, простого телеграфу, електродзвінків, джерел магнітного поля, магнітних сепараторів, тощо. Практичне використання електромагнітів підкріплюємо схемами й дослідами.

§ 26. Магнітне поле Землі та тіл Сонячної системи

Вивчення цієї цікавої та порівняно легкої теми доцільно провести в формі конференції, використовуючи багаж традиційної методики.

На завершення змістового модуля 5 підводимо підсумки: систематизуємо та узагальнюємо вивчений матеріал про магнітні явища, магнітне поле і магнітну взаємодію як прояви електромагнітного поля і електромагнітної взаємодії та про магнітні властивості речовини.

2.4.2. Дія магнітного поля на провідники зі струмом і на рухомі електрично заряджені частинки

Весь навчальний матеріал, що розкриває дію магнітного поля на провідники зі струмом і на рухомі електрично заряджені частинки, тісно взаємопов'язаний між собою і становить цілісне структурне об'єднання – ***змістовий модуль 6*** (***підрозділ 2.2*** навчального посібника [38]). При вивченні окремих тем опираємось на багаж традиційної методики (пункт 1.1.3), посилюємо розкриття фізичної суті явищ та орієнтуємось на формування узагальнених уявлень про дію магнітного поля [23], [24], [26], [27], [30], [31], [35], [38].

§ 27. Дія магнітного поля на провідники зі струмом

§ 27.1. Сила Ампера. Правило лівої руки

Актуалізуємо знання учнів про дію магнітного поля на провідник зі струмом (§ 12.3, рис.2.5). Додатково проводимо традиційний дослід з горизонтально розташованим провідником. Використання різних варіантів досліду полегшує розуміння правила лівої руки. Формулюємо правило лівої руки, використовуючи поняття напряму ліній магнітного поля, та зображуємо чотири характерні випадки дії сили Ампера (Додаток В 6).

Демонструємо, що сила Ампера зростає при збільшенні сили струму в провідникові та посиленні магнітного поля. Зазначаємо про зростання сили Ампера зі збільшенням довжини провідника, що знаходиться в магнітному полі.

Традиційна методика обмежується тільки випадком взаємно перпендикулярного розташування провідника зі струмом і «ліній магнітного поля», що веде до невірних уявлень про те, що магнітне поле діє на провідник зі струмом за будь-якої його орієнтації. Ми підкреслюємо, що сила Ампера найбільша, коли провідник розташований перпендикулярно до ліній магнітного поля, а для провідника, розташованого вздовж ліній магнітного поля, сила Ампера дорівнює нулю.

§ 27.2. Взаємодія паралельних провідників зі струмом

За традиційною методикою введення одиниці сили струму 1 А залишається нерозкритим, оскільки при вивченні електричних явищ учні ще не в змозі зрозу-

міти, що між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія, а при вивченні магнітних явищ до цієї теми не повертаються (пункт 1.1.3). За нашої методики при введенні одиниці сили струму (розділ 1, § 17) учні розуміють, що між провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія. Але особливості цієї взаємодії можна розкрити тільки в розділі 2 «Магнітні явища. Магнітне поле». Ураховуючи, що одиниця сили струму 1 А належить до основних одиниць системи СІ, а вивчення магнітної взаємодії провідників зі струмом має й самостійне пізнавальне значення, у розділі 2 ми вивчаємо цю тему більш досконально.

У рамках дедуктивного підходу на основі знань про магнітне поле провідника зі струмом та силу Ампера, використовуючи відповідні рисунки (Додаток В 7), допомагаємо учням обґрунтувати притягання паралельних провідників з однаково напрямленими струмами та відштовхування паралельних провідників з протилежно напрямленими струмами. На основі цього обґрунтовуємо введення одиниці сили струму 1 А.

§ 28. Дія магнітного поля на рамку зі струмом. Двигун постійного електричного струму. Електровимірювальні прилади

§ 28.1. Дія магнітного поля на рамку зі струмом

Емпіричне традиційне вивчення дії магнітного поля на рамку зі струмом доповнюємо теоретичним поясненням: не тільки допомагаємо учням обґрунтувати причину обертання рамки зі струмом шляхом використання правила лівої руки і аналізу напряму дії сили Ампера на кожну ділянку рамки, але й спонукаємо їх пояснити чому рамка встановлюється своєю площиною перпендикулярно до ліній магнітного поля (Додаток В 8). Останнє необхідно для кращого розуміння принципу дії двигунів постійного електричного струму.

§ 28.2. Принцип дії та будова двигуна постійного електричного струму

Традиційне висвітлення цієї теми на емпіричному рівні доповнюємо розкриттям фізичної суті матеріалу на доступному теоретичному рівні з аналізом напряму дії сили Ампера за відповідними рисунками (Додаток В 8) з використання дедуктивного методу навчання.

§ 28.3. Принцип дії та будова електровимірювальних приладів

Розвиваючи підходи, запроваджені у підручниках Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [132, с. 143–146], розкриваємо будову та принцип дії електровимірювальних приладів, посилюючи використання дедуктивного підходу при поясненні принципу дії приладів магнітоелектричної системи.

§ 29. Дія магнітного поля на рухомі електрично заряджені частинки

1. Вивчення дії магнітного поля отримує своє логічне завершення при висвітленні сили Лоренца. Розвиваючи підхід, запроваджений у вітчизняному підручнику О. І. Бугайова та М. Т. Мартинюка [15, с. 317–318], актуалізуємо знання учнів про силу Ампера та електричний струм і висловлюємо гіпотезу, що магнітне поле діє на рухомі електрично заряджені частинки. Підтверджуємо гіпотезу дослідним шляхом: актуалізуємо знання учнів про електронно-променеву трубку; спостерігаємо за відхиленням світлої плями, а значить і пучка електронів під дією магнітного поля (постійних магнітів), чим і доводимо дію магнітного поля на рухомі електрично заряджені частинки. Даємо означення сили Лоренца.

У рамках проблемного навчання, використовуючи відповідні рисунки (Додаток В 9), допомагаємо учням зрозуміти і сформулювати правило лівої руки для визначення напряму дії сили Лоренца. Порівнюємо силу Ампера й силу Лоренца та доходимо висновку, що сила Лоренца найбільша у випадку, коли електрично заряджена частинка рухається перпендикулярно до напряму ліній магнітного поля, і рівна нулю, якщо заряджена частинка рухається вздовж ліній магнітного поля.

2. У якості додаткового матеріалу розкриваємо (на відповідних ілюстраціях), що траєкторія руху електрично зарядженої частинки в магнітному полі буде коловою, якщо швидкість частинки перпендикулярна до напряму ліній магнітного поля, та спіральною (гвинтовою), якщо частинка влітає в магнітне поле під деяким кутом (відмінним від 0^0 та 90^0) до напряму ліній магнітного поля. Зазначаємо, що саме завдяки цьому магнітне поле Землі захищає нас від електрично заряджених частинок, що рухаються від Сонця та з Космосу.

3. На завершення розширюємо уявлення про магнітне поле. Актуалізуємо знання про різні «джерела» магнітного поля (§ 24). Узагальнюємо вивчення дії

магнітного поля на провідники зі струмом і на рухомі електрично заряджені частинки. Співставляємо різні «джерела» магнітного поля з однієї сторони і різні способи виявлення (дії) магнітного поля – з іншої.

§ 30. Дія магнітного поля на живі організми та людину

Цю тему вивчаємо у формі конференції, використовуючи, насамперед, вивчений до цього матеріал (різні «джерела» магнітного поля, магнітні властивості речовини; магнітне поле Землі; дія магнітного поля на речовину, провідники зі струмом, рухомі електрично заряджені частинки) та відомості з біології. Тема надає широкі можливості для проведення інтегрованого заняття фізики з біологією.

На завершення змістового модуля 6 систематизуємо й узагальнюємо вивчений матеріал про дію магнітного поля. Систематизуємо й узагальнюємо навчальний матеріал розділу 2 «Магнітні явища. Магнітне поле».

2.5. Удосконалення змісту, структури й методики навчання розділу «Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле»

Зміст, структуру й методику навчання явища електромагнітної індукції за традиційної методики розкрито в пункті 1.1.4 дисертаційного дослідження. Основними невирішеними проблемами традиційної методики є недостатнє розкриття фізичної суті явища електромагнітної індукції та, насамперед, відсутність будь-яких уявлень про електромагнітне поле і відсутність об'єднуючої основи при вивченні електричних явищ, магнітних явищ та електромагнітної індукції. Зусилля нашої методики направленні на вирішення цих проблем.

У ***розділі 3*** «***Електромагнітна індукція***. ***Електромагнітне поле***» в межах двох змістових модулів, відображених на рис.2.10, завершуємо вивчення електромагнітних явищ, електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, початкові уявлення про які розкриті в змістовому модулі 1 і поглиблені в розділі 1 та розділі 2 навчального посібника «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле» [25], [28], [29], [30], [31], [36], [38].

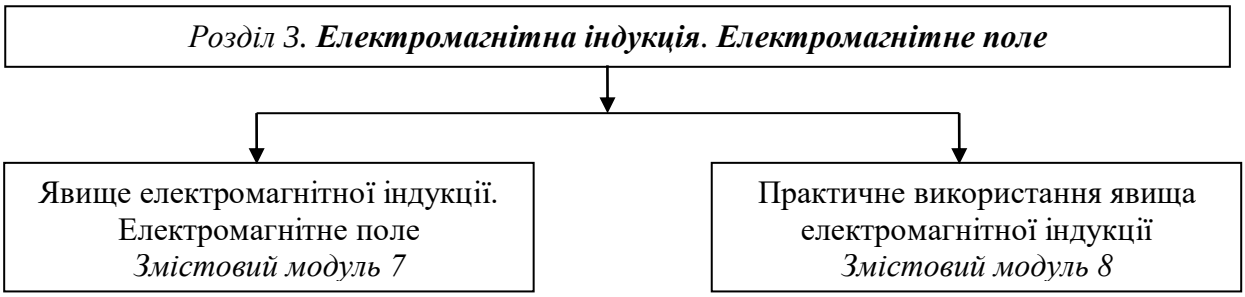


Рис. 2.10. Структурна схема вивчення розділу 3

2.5.1. Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле

У ***змістовому модулі 7*** «***Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле***» (***підрозділ 3.1*** навчального посібника [38]) розкриваємо фізичну суть явища електромагнітної індукції, котре кардинальним чином поглиблює взаємозв'язок між електричним і магнітним полями та підтверджує існування «єдиного» електромагнітного поля. Поглиблюємо й узагальнюємо уявлення про електромагнітне поле, у тому числі про «джерела» електричного та магнітного полів за рахунок узагальнення Максвелла, що змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле і, навпаки, змінне електричне поле породжує магнітне поле.

§ 31. Відкриття явища електромагнітної індукції

Актуалізуємо знання учнів про електричне та магнітне поля, про їх взаємозв'язок, про відносність електричного та магнітного полів і початкові уявлення про електромагнітне поле.

Задаємо питання проблемного характеру: Чи може магнітне поле породити електричне поле ? (зазвичай говорять тільки про електричний струм).

Надаємо історичні відомості, що першим ствердно відповів на аналогічне питання М. Фарадей. Зазначаємо, що дослідники пройшли довгий і складний шлях до розуміння взаємозв'язку електричного та магнітного полів і природи електромагнітного поля, рухаючись від простого до більш складного; ми ж аналізуватимемо відкриття Фарадея, враховуючи одразу сучасні досягнення фізики електромагнітних явищ. Надаємо означення: *явище наведення електричного поля* (*електричних зарядів, електричного струму*) *магнітним полем називають* ***явищем електромагнітної індукції***.

Відмітимо, що традиційна методика на початковому етапі вивчення явища електромагнітної індукції враховує наведення в магнітному полі тільки електричного струму. Польова природа явища в основній школі зазвичай не розглядається, а якщо і згадується [16, с. 6–28], то тільки згодом. Ми ж одразу націлюємо учнів на розуміння польового трактування електромагнітної індукції, оскільки саме воно дозволяє розкрити фізичну суть явища. З метою розвитку узагальнених уявлень про явище електромагнітної індукції, ми надаємо таке спрощене означення, котре відповідає саме польовому його трактуванню. На перше місце ставимо наведення магнітним полем електричного поля, а вже потім – електричного струму. На початковому етапі від учнів не вимагаємо, щоб вони знали й обґрунтовували це означення; подібне завдання ставиться тільки наприкінці змістового модуля 7 після розкриття фізичного змісту явища електромагнітної індукції.

На завершення параграфу зазначаємо про існування двох типів ефектів явища електромагнітної індукції, котрі розкриті в наступних параграфах.

§ 32. Перший тип ефектів явища електромагнітної індукції. Вихрове електричне поле

§ 32.1. Перший тип ефектів явища електромагнітної індукції

Проводимо ряд традиційних дослідів (аналогічних до тих, котрі проводив Фарадей) по наведенню індукованого електричного струму в котушці, замкнутій на гальванометр, при взаємному русі магніту й котушки (рис.2.11).

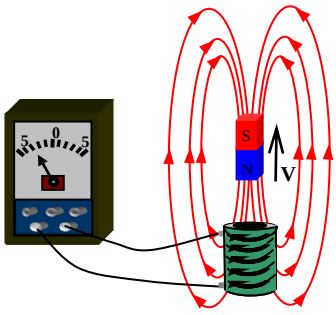


Рис. 2.11. Виникнення індукованого струму при взаємному русі магніту і котушки

Особливість нашої методики полягає в наступному. У рамках проблемного навчання аналізуємо як змінюється кількість ліній магнітного поля та величина магнітного поля, що пронизують контур, утворений замкнутим провідником (рис.2.11), і робимо висновок: *за будь-якої зміни величини магнітного поля та кількості ліній магнітного поля*, що пронизують контур, утворений замкнутим провідником, у цьому провіднику *виникає індукований електричний струм, який існує тільки під час цієї зміни*. Надаємо поняття *змінного магнітного поля* як такого, що змінюється з плином часу.

Для підтвердження отриманого висновку проводимо традиційний дослід з двома розташованими на спільному залізному осерді котушками, одна з яких через ключ і реостат приєднана до джерела постійного електричного струму, а друга замкнута на гальванометр. Допомагаємо учням пояснити результати дослідів і виявити спільну причину виникнення індукованого струму при замиканні чи розмиканні електричного кола та при зміні електричного струму реостатом.

§ 32.2. Правило Ленца

На конкретних прикладах та на основі аналізу проведених дослідів (рис.2.11 та ін.), з використанням відповідних рисунків (рис.2.12), індуктивним шляхом ро-

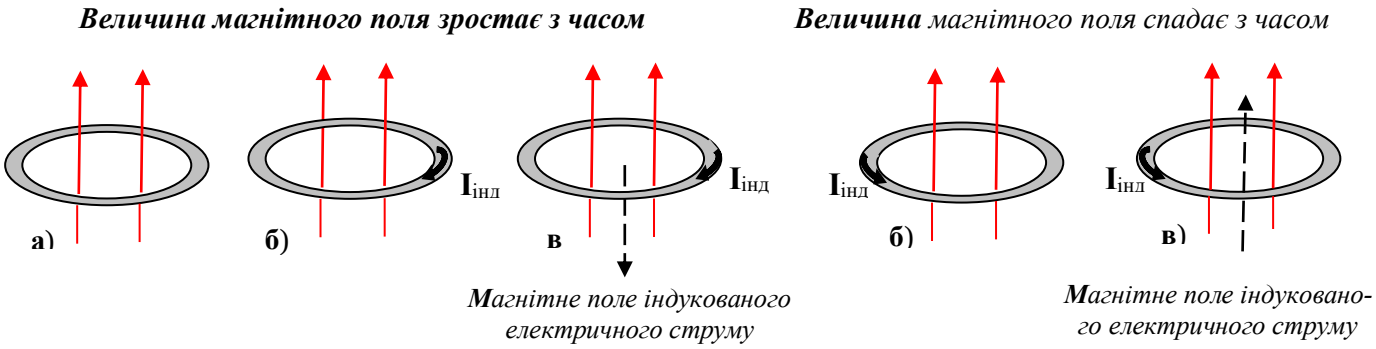


Рис. 2.12. Визначення напряму індукованого електричного струму за правилом Ленца

зкриваємо *правило Ленца*: індукований (індукційний) електричний струм виникає такого напряму, щоб протидіяти причині, яка його породжує (скорочене формулювання); індукований електричний струм у замкнутому провіднику виникає такого напряму, що магнітне поле індукованого струму протидіє зміні кількості ліній магнітного поля чи зміні величини магнітного поля, котре спричинило індукований струм (розширене формулювання).

§ 32.3. Фізична суть першого типу ефектів явища електромагнітної індукції. Вихрове електричне поле

Актуалізуємо знання учнів, що електричний струм по провіднику протікає тільки за наявності електричного поля всередині провідника, причому напрям електричного струму відповідає напряму ліній електричного поля. Наявність індукованого електричного струму свідчить про наявність відповідного індукованого електричного поля. На основі дослідів та особливо за рис.2.12 переконуємо уч-

нів, що індуковане електричне поле в провіднику напрямлене по колу в ту ж сторону, що й індукований електричний струм. Зображуємо відповідну картину ліній індукованого електричного поля та звертаємо увагу на їх замкнутість (рис.2.13). Надаємо *поняття вихрового поля*. Підкреслюємо вихровий характер магнітного та індукованого електричного полів.

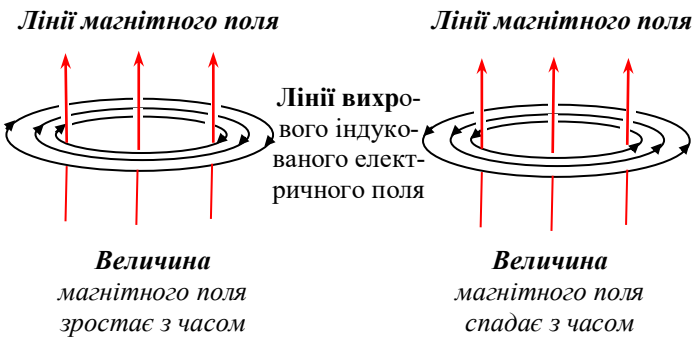


Рис.2.13. Лінії вихрового електричного поля

Розкриваємо, що вихрове індуковане електричне поле кардинальним чином відрізняється від електричного поля, пов'язаного з електрично зарядженими частинками: лінії останнього електричного поля починаються на позитивно заряджених і закінчуються на негативно заряджених частинках, мають початок і кінець; лінії ж вихрового індукованого електричного поля, породженого змінним магнітним полем, завжди замкнуті; у них немає ні початку, ні кінця.

Наголошуємо, що під час зміни магнітного поля виникає вихрове електричне поле незалежно від того, чи внесено в дану область простору провідний контур. Вихрове індуковане електричне поле є первинним по відношенню до індукованого (індукційного) електричного струму, котрий служить зручним індикатором наявності вихрового електричного поля.

Наводимо історичну довідку про Д. Максвелла.

На завершення формулюємо остаточний висновок параграфу 32:

Суть першого типу ефектів явища електромагнітної індукції полягає в ***породженні вихрового індукованого електричного поля змінним магнітним полем***. *Лінії вихрового індукованого електричного поля замкнуті. Індукований електричний струм у замкнутому провідникові протікає внаслідок виникнення вихрового індукованого електричного поля*: *за будь-якої зміни величини магнітного поля та кількості ліній магнітного поля, що пронизують контур, утворений замкнутим провідником, у цьому провіднику виникає індукований електричний струм, який існує тільки під час цієї зміни*.

Отже, при вивченні явища електромагнітної індукції ми не обмежуємось емпіричним рівнем і аналізом виникнення тільки індукованого електричного струму (це характерно для традиційної методики), а одразу з'ясовуємо, що причиною цього електричного струму є наявність вихрового електричного поля, індукованого змінним магнітним полем. Цим самим ми сприяємо формуванню узагальнених уявлень учнів про явище електромагнітної індукції.

§ 33. Явище самоіндукції

Явище самоіндукції є достатньо складним для значної частини учнів навіть у старшій школі. Виникає питання доцільності його вивчення в основній школі. У зв'язку з цим можна відмітити наступне. Якщо мати на меті побудову відносно завершеного базового курсу фізики основної школи, то напрошується висвітлення таких тем як електромагнітні коливання та електромагнітні хвилі, у тому числі механізм виникнення електромагнітних коливань у коливальному LC-контурі. А для цього необхідно посилатись на явище самоіндукції. Саме такий підхід запроваджено в підручнику за редакцією О. І. Бугайова [16, с. 127–130]. У цьому разі, вивчення явища самоіндукції в основній школі є методично виправданим. Окрім того, вивчення явища самоіндукції дозволяє на більш високому науковому рівні розкрити принцип дії трансформатора. Виникає тільки потреба в такому подальшому вдосконаленні методики навчання явища самоіндукції, щоб воно виявилось якомога доступнішим для учнів основної школи.

Особливості нашого підходу щодо методики навчання явища самоіндукції в основній школі полягають у наступному (Додаток В 10): 1) достатньо складне для учнів явище самоіндукції вивчаємо як на емпіричному, так і на доступному теоретичному рівнях; 2) поєднуємо індуктивний підхід (виходимо з конкретних дослідів з поступовим їх узагальненням) з дедуктивним (фізичну суть явища розкриваємо на основі знань про явище електромагнітної індукції з попередніх параграфів); 3) при поясненні матеріалу модифікуємо традиційний експеримент та обмежуємось тільки однією електричною схемою, що полегшує сприйняття матеріалу учнями; інші досліди використовуємо в процесі вдосконалення знань, набуття умінь і навичок; 4) при висвітленні явища самоіндукції ми аналізуємо не тільки

змінний індукований електричний струм, але й індуковане вихрове електричне поле, тоді як зазвичай говорять тільки про струм; 5) уникаємо терміну «змінний електричний струм» (учні його ще не вчили); говоримо тільки про електричний струм чи силу струму, що змінюються з плином часу.

§ 34. Індукування електричного поля при русі провідника в постійному магнітному полі – другий тип ефектів явища електромагнітної індукції

Пояснюємо, що коли провідник рухається в магнітному полі, «перетинаючи лінії поля», то у провіднику відбувається розділення електрично заряджених частинок, унаслідок чого на кінцях провідника накопичуються, індукуються позитивно та негативно електрично заряджені частинки (рис. 2.14 а), з якими пов'язане *індуковане* (індукційне) *електричне поле*, лінії якого починаються на позитивно та закінчуються на негативно заряджених частинках (рис. 2.14 б). Якщо ж провідник рухається «вздовж ліній магнітного поля», то розділення заряджених частинок не відбувається.

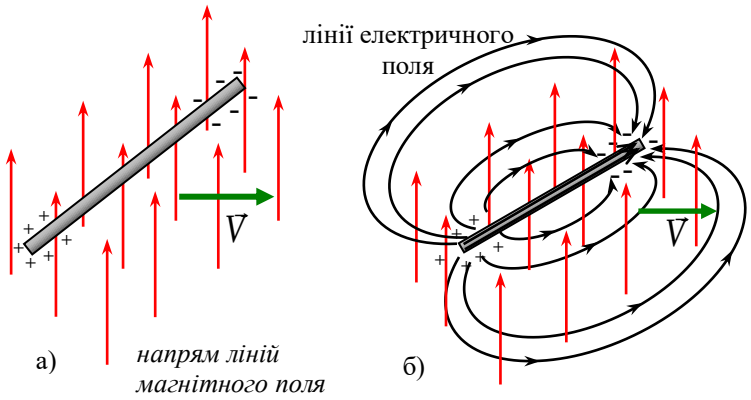


Рис.2.14. На провіднику, що рухається у магнітному полі, індукуються електричні заряди (а), з якими пов'язане відповідне індуковане електричне поле (б)

Підкреслюємо, що індукований (індукційний) електричний струм у провіднику, який рухається прямолінійно й рівномірно, «перетинаючи лінії однорідного магнітного поля», існує тільки протягом короткого часу перерозподілу електричних зарядів у провіднику. Після цього величина індукованих зарядів не змінюється, тобто електричний струм зникає. Оскільки індукований електричний струм існує не завжди, то основну увагу звертаємо на індуковані електрично заряджені частинки й пов'язане з ними індуковане електричне поле.

Водночас, на досліді легше спостерігати наявність саме індукованого електричного струму. Тому ми використовуємо традиційну демонстрацію виникнення індукованого електричного струму в замкнутому на гальванометр провіднику, що рухається в магнітному полі, «перетинаючи лінії магнітного поля».

Пояснюємо, що аналогічні явища відбуваються у випадку нерухомого провідника, відносно якого рухається магнітне поле (магнітна система). Суттєвим є відносний рух провідника й магнітного поля. Доходимо спільного висновку: ***індукування електричного поля*** (*електрично заряджених частинок, електричного струму*) ***при взаємному русі провідника й магнітного поля*** *– це і є другий тип ефектів явища електромагнітної індукції*.

У якості додаткового матеріалу розкриваємо (з використанням відповідних рисунків) причину розділення електричних зарядів на основі дії *сили Лоренца*.

Порівнюємо спільні та відмінні риси двох типів ефектів явища електромагнітної індукції. *Спільним* для двох типів ефектів явища електромагнітної індукції є те, що в обох випадках ми маємо справу з *наведенням електричного поля магнітним полем*. *Відмінність* полягає в наступному: для першого типу ефектів явища електромагнітної індукції *змінне магнітне поле породжує вихрове індуковане електричне поле*, лінії якого замкнуті; для другого типу ефектів *постійне магнітне поле індукує* електричне поле, лінії якого починаються на позитивно та закінчуються на негативно заряджених частинках, індукованих на провіднику при взаємному русі провідника й магнітного поля.

Отже, при вивченні другого типу явища електромагнітної індукції ми не обмежуємось аналізом тільки умов виникнення індукованого електричного струму (що характерно для традиційної методики), а основну увагу зосереджуємо на аналізі умов виникнення індукованих електрично заряджених частинок та відповідного індукованого електричного поля.

Таким чином, при вивченні явища електромагнітної індукції ми послідовно розкриваємо учням фізичну суть обох типів ефектів електромагнітної індукції на основі їх польового трактування. Аналізуємо відповідні картини ліній індукованого електричного поля, зокрема вихрового електричного поля, але на пропедевтичному рівні. В основній школі не ставиться за мету розуміння деталей картини ліній електричних полів, індукованих магнітними полями. Достатньо розуміння фізичної суті явища електромагнітної індукції на рівні його польового трактування. Використання картин ліній індукованого електричного поля сприяє форму-

ванню у свідомості учнів певного образу про це поле, допомагає краще зрозуміти природу електромагнітної індукції, розвиває дивергентне мислення.

§ 35. Електромагнітне поле

Актуалізуємо знання учнів про електричне поле, магнітне поле, електромагнітне поле, явище електромагнітної індукції.

Підкреслюємо, що відкриття явища електромагнітної індукції стало поворотним моментом у розумінні взаємозв'язку і спільної природи електричного та магнітного полів. Обґрунтовуємо узагальнення Максвелла: не тільки *змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле,* але й, навпаки, *змінне електричне поле породжує магнітне поле*. Отже, електричне поле та магнітне поле взаємно породжують одне одного. А наявність електричного поля чи магнітного поля залежить від вибору системи відліку. На основі аналізу взаємозв'язку електричного й магнітного полів Максвелл першим передбачив, що електричне поле й магнітне поле не просто тісно пов'язані між собою, а утворюють спільне ціле – «єдине» *електромагнітне поле*.

Систематизуємо й узагальнюємо уявлення учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле, про «джерела» електричного та магнітного полів і формулюємо висновок. Існує ***електромагнітне поле*** – вид матерії, завдяки якому здійснюється електромагнітна взаємодія, що поширюється у вакуумі зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с; електромагнітне поле має енергію. *Електричне поле й магнітне поле* – це два види (прояви) електромагнітного поля; наявність електричного поля чи магнітного поля залежить від вибору системи відліку.

Електричне поле має подвійну природу: 1) електричне поле електрично заряджених частинок (лінії якого починаються на позитивно та закінчуються на негативно заряджених частинках); 2) вихрове електричне поле, породжене змінним магнітним полем (лінії вихрового поля замкнуті).

Магнітне поле завжди вихрове і має потрійну природу: 1) магнітне поле рухомих електрично заряджених частинок (у тому числі провідників зі струмом та орбітальна складова магнітного поля речовини); 2) магнітне поле, породжене змінним електричним полем; 3) спінова складова магнітного поля речовини.

2.5.2. Практичне використання явища електромагнітної індукції

Використання явища електромагнітної індукції стало одним з найважливіших чинників науково-технічного прогресу. Традиційна методика при вивченні питань практичного використання явища електромагнітної індукції на прикладі генератора змінного електричного струму і трансформатора, обмежується здебільшого тільки емпіричним рівнем. Потребують доопрацювання питання виробництва, передавання і використання електроенергії та взаємозв'язку розвитку електроенергетики з охороною природи (пункт 1.1.4). Ми об'єднуємо ці теми у ***змістовий модуль 8*** «***Практичне використання явища електромагнітної індукції***» (***підрозділ 3.2*** навчального посібника [38]), до якого входять

§ 36. Генератор змінного електричного струму.

§ 37. Індукований електричний струм у масивних провідниках.

§ 38. Принцип дії та будова трансформатора.

§ 39. Виробництво, передавання на відстань і споживання електроенергії.

§ 40. Електрифікація та охорона природи.

Розкриваємо теми як на емпіричному, так і доступному теоретичному рівні, поєднуючи індуктивний та дедуктивний методи навчання [25], [28], [29], [30], [31], [36], [38].

§ 36. Генератор змінного електричного струму

§ 36.1. Принцип дії та будова генератора змінного струму

Вивчення цієї теми починаємо з питання: Що буде при вимушеному обертанні рамки в магнітному полі ? Знань учнів з попереднього змістового модуля 7 достатньо, аби зрозуміти, що обертання рамки в магнітному полі супроводжується зміною кількості ліній магнітного поля, які пронизують рамку, а, отже, і виникненням індукованого електричного струму (Додаток В 11).

Правильність міркувань перевіряємо на демонстраційній моделі генератора. При обертанні рамки в магнітному полі, спостерігаємо коливання стрілки гальванометра відносно нульової позначки: у рамці виникає індукований електричний струм, який змінюється з часом за величиною та напрямом, а в деякі моменти ча-

су приймає нульове значення. Зазначаємо, що такий струм називається змінним. Розглянутий генератор виробляє (генерує) змінний електричний струм, тому його називають індукційним генератором змінного струму.

На діючих моделях, таблицях і рисунках (Додаток В 11) вивчаємо будову генератора (магнітна система, обмотки, кільця, щітки) й особливості конструкції основних видів генераторів. Підкреслюємо, що генератори є головним робочим вузлом різних електростанцій. Допомагаємо учням сформулювати висновки: 1) *принцип дії індукційного генератора змінного струму* заснований на використанні явища електромагнітної індукції: у замкнутій рамці, що обертається в магнітному полі, виникає змінний індукований електричний струм (обертатись може й магніт чи електромагніт при нерухомій рамці); 2) генератори перетворюють механічну енергію в електричну і є на сьогоднішній день основним джерелом електроенергії.

Порівнюємо принцип дії та будову електродвигунів і генераторів. Коротко згадуємо про інші джерела електричної енергії. У якості додаткового матеріалу розкриваємо терміни: індуктор, якір, ротор, статор.

§ 36.2. Змінний електричний струм

Актуалізуємо знання про постійний електричний струм як такий, що не змінюється з часом. Формулюємо означення змінного електричного струму як такого, що змінюється з часом за величиною і за напрямом.

Аналізуємо зміну кількості ліній магнітного поля, які пронизують рамку, в результаті її обертання в магнітному полі. Використовуємо правило Ленца та обґрунтовуємо, що напрям індукованого електричного струму в рамці через кожні півоберта рамки змінюється на протилежний.

Підкреслюємо, що при обертанні рамки генератора з постійною швидкістю індукційний струм змінюється за гармонічним законом (за законом синуса або косинуса). Зображуємо графічно залежність сили такого струму від часу та від кута повороту рамки. На графіках вказуємо в яких точках сила струму має максимальне додатне значення (стрілка гальванометра в досліді відхиляється, наприклад, управо); в яких точках сила струму має максимальне від’ємне значення (стрілка

відхиляється вліво); в яких – сила струму дорівнює нулеві (стрілка гальванометра проходить нульову позначку); з'ясовуємо, яким кутам повороту рамки відповідають ці точки. Відповідно говоримо не лише про змінний струм, але й про змінну напругу. Підкреслюємо, що змінний електричний струм знайшов широке практичне використання. На завершення відмічаємо, що в Україні та в багатьох інших країнах виробляють змінний електричний струм з частотою 50, а в США – 60 коливань сили струму за одну секунду. Якщо на момент вивчення цієї теми учнів ще не знатимуть таких тригонометричних функцій як синус і косинус, то графічне зображення змінного струму переносимо в старші класи, залишаємо тільки параграф § 36 (без поділу на підпараграфи § 36.1 та § 36.2).

§ 37. Індукований електричний струм у масивних провідниках

Проводимо демонстраційний експеримент: вносимо в магнітне поле котушки з магнітним осердям, увімкненої до джерела змінного електричного струму, суцільне металеве кільце (перший дослід) і лампочку, на яку замкнута плоска котушка (другий дослід). Спостерігаємо нагрівання суцільного металевого кільця та загорання лампочки. Аналізуємо, що змінний електричний струм породжує відповідне змінне магнітне поле; внаслідок явища електромагнітної індукції, змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле, лінії якого розміщені в площині, перпендикулярній до напряму ліній магнітного поля; вихрове електричне поле зумовлює протікання в провідникові індукованого електричного струму, який і нагріває металеве кільце та розжарює лампочку в дослідах. При використанні постійного електричного струму магнітне поле теж є постійним і не породжує вихрового електричного поля та індукованого електричного струму.

Аналізуємо протікання індукованого електричного струму в металевому масивному провіднику, розміщеному в змінному магнітному полі. Пояснюємо велике значення цих струмів для масивних провідників. Проводимо досліди (з використанням розбірного шкільного трансформатора), у яких індукованими струмами нагріваємо металевий стержень і розплавлюємо олово. Розказуємо про практичне використання індукційних печей.

Наводимо історичну довідку про Фуко. Пояснюємо, що в багатьох випадках

індуковані електричні струми в масивних провідниках є шкідливими та приводять до втрат енергії на нагрівання (частина електричної енергії перетворюється у внутрішню енергію). Зазначаємо, що у наступному параграфі (при вивченні трансформатора) розкрито простий спосіб уникнення цих втрат.

§ 38. Принцип дії та будова трансформатора

Звертаємо увагу учнів на те, що при практичному використанні енергії електричного струму дуже часто виникає потреба змінювати електричну напругу в багато разів. Так, більшість побутових електроприладів розраховані на напругу 220 В, промислові електродвигуни – на 220 В, 380 В, 600 В і більше. Генератори електростанцій, як правило, виробляють електричний струм при напрузі в декілька тисяч вольт (до 20 кВ). Для передавання електроенергії по лініях електропередач вигідно використовувати напругу в десятки й сотні тисяч вольт. Перетворювати постійну напругу дуже складно. Проте збільшувати чи зменшувати змінну напругу значно простіше. Вказуємо, що пристрої, за допомогою яких здійснюють перетворення змінної напруги, називають трансформаторами.

Вивчаємо будову демонстраційного трансформатора: замкнуте осердя з магнітом'якого матеріалу, первинна та вторинна обмотки. Наводимо принципову схему й умовне зображення трансформатора.

Проводимо досліди з демонстраційним трансформатором з відомою кількістю витків N_1 і N_2 в обмотках. Приєднуємо первинну обмотку до джерела змінної напруги. Міряємо «ідеальним» вольтметром напругу U_1 на кінцях первинної обмотки (напругу джерела) та напругу U_2 на кінцях вторинної обмотки. Спостерігаємо, що при зміні напруги джерела U_1, змінюється й напруга U_2. Записуємо експериментальні дані та приходимо до висновків: а) завжди виконується приблизне співвідношення: $U_1/U_2 \approx N_1/N_2$ (напруга на виході трансформатора відрізняється від напруги на його вході приблизно в стільки разів, у скільки відрізняється кількість витків вторинної обмотки від кількості витків первинної обмотки); б) існує можливість використання як підвищувальних, так і знижувальних трансформаторів. Переконуємось на досліді, що від джерела постійної напруги трансформатор не працює.

Розкриваємо, що принцип дії трансформатора засновано на використанні явища електромагнітної індукції. Пояснюємо теоретично принцип роботи трансформатора, виходячи з того, що змінний електричний струм створює змінне магнітне поле. Обґрунтовуємо використання магнітом'якого осердя.

Виводимо вираз для коефіцієнта корисної дії трансформатора

$$\eta = \frac{P_{КОР}}{P_{ЗАТР}} \cdot 100\% = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%.$$

Підкреслюємо, що він може наближатись до 100%. Тому, внаслідок закону збереження енергії, в скільки разів збільшується напруга на трансформаторові, приблизно в стільки ж разів зменшується сила струму і навпаки. Тобто, трансформатор перетворює не тільки змінну напругу, але й змінний струм.

У якості додаткового матеріалу пояснюємо чому осердя набирають з тонких електрично ізольованих пластин. Основною особливістю нашої методики є те, що теми параграфів 36–38 розкриваємо не тільки на емпіричному, але й на доступному для учнів теоретичному рівні, поєднуючи індуктивний та дедуктивний методи навчання [25], [28], [29], [30], [31], [36], [38].

Найлегшим для учнів у змістовому модулі 8 є навчальний матеріал двох останніх параграфів (§ 39. Виробництво, передавання на відстань і споживання електроенергії. § 40. Електрифікація та охорона природи) і його вивчення не викликає ускладнень. Разом з тим, висвітлення цього матеріалу має надзвичайно важливе освітнє та розвиваюче значення, розкриває роль фізики як основи науково-технічного прогресу, сприяє екологічному вихованню учнів. Доцільно значну частину питань цих розділів запропонувати учням у вигляді рефератів та творчих робіт і винести їх на семінари або конференції. Особливості методики навчання цього матеріалу розкрито в Додатку В 11.

На завершення підводимо підсумки змістового модуля 8, розділу 3 і всього розділу фізики «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле».

Паралельно з вивченням теоретичного матеріалу, важливе значення надаємо виконанню лабораторних робіт згідно навчальних програм [215]–[219].

2.6. Психолого-педагогічні особливості пропонованої методики навчання електромагнетизму

У підрозділі 1.2.1 ми проаналізували психолого-педагогічні основи навчання фізики в основній школі, а в розділі 3 врахували їх при вдосконаленні методики навчання електромагнетизму.

Основним когнітивним новоутворенням підліткового віку є формальне мислення (Ж. Піаже [206]), рівень сформованості якого має дуже широкі межі, особливо на початку підліткового віку, який співпадає з початком вивчення фізики (12–14 років), коли превалює наочно-образне мислення, тоді як абстрактне мислення у більшості з підлітків перебуває тільки на стадії становлення та поступового нарощування. Вивчення електромагнетизму приходиться на 8 клас 11-річної та 9 клас 12-річної школи, коли учням виповнюється 14 років. У цьому віці формальне мислення учнів вже значною мірою сформовано та продовжує своє нарощування. Відповідно до цього вибудовуємо зміст, структуру й методику навчання електромагнетизму таким чином, щоб сприяти поступовому нарощуванню потенціалу формального мислення та пов'язаних з ним абстрактно-понятійного, гіпотетико-дедуктивного, теоретичного, наукового мислення.

Водночас, для учнів основної школи першочергове значення має використання різних засобів наочності, тому вивчення тем електромагнетизму наповнено демонстраційними дослідами, показами приладів, макетів, моделей. При вивченні частини тем до умовиводів учні доходять індуктивним шляхом і превалює емпіричне мислення, коли починаємо зі спостереження фізичного явища чи процесу, аналізуємо факти, виділяємо суттєві ознаки і на завершення формулюємо висновки. Такою є методика навчання тем змістового модуля 1, у якому індуктивним шляхом, покроково надаємо учням початкові уявлення про електричну взаємодію та електричне поле, магнітну взаємодію та магнітне поле, електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле. За цією схемою вводимо поняття ліній електричного поля, надаємо початкові уявлення про електронну теорію (змістовий модуль 2), про електричний струм, джерела електричного струму, електричне коло та його складові (змістовий модуль 3), вивчаємо закон Ома, залежність елект-

ричного опору провідників від їх геометричних розмірів і температури (змістовий модуль 4), уводимо поняття ліній магнітного поля (змістовий модуль 5), висвітлюємо два типи ефектів електромагнітної індукції (змістовий модуль 7).

Одночасно, при вивченні електромагнетизму використовуємо можливості логічних міркувань дедуктивним шляхом: учні виходять зі вже отриманих теоретичних знань, висувають певні гіпотези, розвивають їх і роблять висновки, перевіряють їх правильність експериментально. У такому разі превалює розвиток абстрактного мислення, що є основою теоретичного мислення.

Найбільшою мірою дедуктивний підхід у навчанні електромагнетизму стосується використання отриманих у змістовому модулі 1 початкових уявлень про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле при подальшому вивченні електричних явищ і електричного поля (розділ 1), магнітних явищ і магнітного поля (розділ 2). Насамперед це: формування уявлень про електричне поле та магнітне поле, не як відокремлені самодостатні поля, а як прояви електромагнітного поля; розкриття магнітної дії електричного струму (змістовий модуль 3); уведення одиниці сили струму (змістовий модуль 4). Не в меншій мірі дедуктивний підхід стосується використання основних положень про будову речовини та електронної теорії для пояснення різних електромагнітних явищ (механізм електризації, електричний струм у різних середовищах, магнітне поле атома та речовини, сила Лоренца). Отже, дедуктивний підхід у навчанні зумовлений, передусім, запровадженою генералізацією змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії.

Дедуктивний метод стосується також вивчення тем: послідовне й паралельне з’єднання провідників; робота і потужність електричного струму (змістовий модуль 4); магнітне поле кільця та соленоїда зі струмом; електромагніти та їх використання (змістовий модуль 5); використання сили Ампера для пояснення взаємодії паралельних провідників зі струмом, дії магнітного поля на рамку зі струмом, у тому числі принцип дії електровимірювальних приладів і двигуна постійного електричного струму (змістовий модуль 6); принцип дії індукційного гене-

ратора змінного електричного струму (змістовий модуль 8).

Вивчення електромагнетизму надає чудові можливості для розвитку не тільки наочно-образного мислення, але й вищого його рівня – дивергентного мислення. Це, насамперед, стосується: графічного зображення картини ліній електричного поля заряджених частинок і тіл, магнітного поля провідників зі струмом (прямий провідник, кільце, соленоїд) з відповідними мнемонічними правилами свердлика й правої руки, магнітного поля Землі, вихрового електричного поля; вивчення мнемонічного правила лівої руки для визначення напряму дії сили Ампера й сили Лоренца; схематичного зображення ядерної моделі будови атома, будови металів, процесу електролітичної дисоціації, іонної природи електричного струму в електролітах, процесу іонізації, орбітальної складової магнітного поля атома.

У всіх розділах і змістових модулях електромагнетизму, починаючи з першого, ми не обмежуємось емпіричним рівнем розгляду електромагнітних явищ, а розкриваємо їх фізичну суть на основі опанування науковими поняттями (електрична взаємодія, електричне поле заряджених частинок і тіл, лінії електричного поля, магнітна взаємодія, магнітне поле рухомих електрично заряджених частинок, лінії магнітного поля, електромагнітна взаємодія, електромагнітне поле, діелектрик, провідник, електричний струм, електроліт, газовий розряд, плазма, діамагнетик, парамагнетик, феромагнетик, вихрове електричне поле), фізичними величинами (електричний заряд, сила струму, електрична напруга, електричний опір, робота і потужність електричного струму, сила Ампера, сила Лоренца), фізичними законами (закон Ома для однорідного електричного кола, закони послідовного й паралельного з’єднання провідників, закон Джоуля-Ленца) та фізичними теоріями, на доступному для учнів рівні якісному рівні (електронна теорія, теорія електромагнітного поля).

Така методика сприяє впровадженню ідеї провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів за умови, коли навчання здійснює свою провідну роль у розумовому розвитку учнів перш за все через зміст засвоюваних знань шляхом опанування науковими, а не емпіричними поняттями (Л. С. Виготський [44], Д. Б. Ельконін [290], Г. С. Костюк [137]). Цьому сприяє генералізація змісту,

структури й навчального матеріалу з електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії, що дозволяє об'єднати весь навчальний матеріал з електромагнетизму навколо його теоретичного ядра, сприяє формуванню узагальнених уявлень і цілісних образів про виучувані явища, посилює теоретичне мислення та розумовий розвиток учнів.

У пропонованій методиці навчання електромагнетизму ми використовуємо також основні положення таких психолого-педагогічних теорій, як теорія поетапного формування розумових дій, теорія розвиваючого, проблемного навчання.

Стосовно теорії поетапного формування розумових дій з відповідною орієнтовною основою дій (П. Я. Гальперін, Н. Ф. Тализіна [57], [58], [253], [254]), можна відмітити наступне. Завдяки запровадженій генералізації, ми орієнтуємось на використання вищих рівнів орієнтовної основи дій, що забезпечують формування цілісних, узагальнених уявлень як про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле в цілому і електричне й магнітне поля, як його прояви, так і про окремі електромагнітні явища, властивості, моделі, закони, теорії (електронна теорія та її використання, електричний заряд, електричний струм у різних середовищах, магнітні властивості речовини, дія магнітного поля, два типи ефектів явища електромагнітної індукції, тощо). Водночас, при вивченні окремих тем ми орієнтуємось на використання неповного складу орієнтирів та формування часткових (конкретних) знань (електричний струм у напівпровідниках, у вакуумі; сила Лоренца; вихрове електричне поле, тощо). Це зумовлено тим, що вказані теми є складними для учнів основної школи і детальніше їх вивчають у старших класах.

Щодо розвиваючого навчання можна відмітити наступне.

Пропонована методика враховує й використовує дидактичну систему Л. В. Занкова [96], оскільки ми реалізуємо навчання на високому рівні складності з провідною роллю теоретичних знань.

Ще в більшій мірі ми використовуємо «змістовне теоретичне узагальнення» В. В. Давидова [75] – дидактичну систему розвитку науково-теоретичного мислення шляхом віднаходження генетично-вихідного відношення з наступним схо-

дженням від абстрактного до конкретного. У запровадженому варіанті генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму генетично-вихідним відношенням є абстрактні поняття електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементи електронної теорії, які вводимо індуктивним шляхом через розгляд предметно-матеріальних умов їх походження (а не в готовому вигляді), що потім робить можливим реалізувати дедуктивний підхід у навчанні, зі сходженням від абстрактного до конкретного.

У пропонованій методиці навчання електромагнетизму широко використовується проблемне навчання, яке сприяє активізації учбової діяльності, розвитку пізнавальної самостійності та творчих здібностей учнів. У підрозділах 2.2–2.5 дисертаційного дослідження відображено використання проблемного навчання при вивченні, насамперед, таких тем: електрична взаємодія та електричне поле, магнітна взаємодія та магнітне поле (змістовий модуль 1); лінії електричного поля, будова атомів, іонів і узагальнення основних положень про будову речовини (змістовий модуль 2); електричний струм і його напрям, магнітна дія електричного струму, електричний струм в електролітах, газах (змістовий модуль 3); сила струму та її одиниці (змістовий модуль 4); магнітне поле атома і речовини (змістовий модуль 5); сила Лоренца (змістовий модуль 6); два типи ефектів явища електромагнітної індукції (змістовий модуль 7). Для створення проблемних ситуацій широко залучаємо демонстраційний експеримент проблемного характеру. Орієнтуємось в основному на використання другого (учитель створює проблемну ситуацію та залучає учнів до її вирішення) і третього (учитель створює проблемну ситуацію, учні її вирішують) рівнів проблемного навчання. Це чітко видно з тексту навчального посібника [38], у якому виділено питання проблемного характеру щодо виучуваного матеріалу.

Отже, у пропонованій методиці навчання електромагнетизму впроваджено ідеї та теорії: провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів; поєднання індуктивного і дедуктивного методів навчання; поєднання розвитку наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів; поетапного формування розумових дій; розвиваючого, проблемного навчання.

2.7. Особливості навчання електромагнетизму в класах з непрофільним вивченням фізики та на факультативних заняттях

У повній мірі методика навчання електромагнетизму, яка запропонована в підрозділах 2.2–2.5, може бути реалізованою в умовах *диференціації навчання* в класах з поглибленим вивченням фізики.

Вивчення електромагнетизму в непрофільних класах здійснюємо, враховуючи рівень розумового розвитку учнів: дещо знижуємо рівень теоретичного обґрунтування і у більшій мірі (ніж для профільних класів) орієнтуємось на емпіричні методи пізнання; спрощуємо методику навчання найбільш складних питань, частину матеріалу переносимо в розряд додаткового, а окремі питання взагалі переносимо в старшу школу. Скорочення обсягу навчального матеріалу зумовлено також меншою кількістю годин, відведених на вивчення фізики. Але в цілому, *загальні підходи* щодо генералізації навчального матеріалу електромагнетизму *залишаються єдиними*.

Підготовлено до друку навчальний посібник з електромагнетизму для класів з непрофільним вивченням фізики в основній школі (для основного загалу учнів).

Методика навчання *змістового модуля 1* «Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле», що є основою генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму, залишається незмінною.

Для *змістового модуля 2* «Електричне поле. Електричний заряд. Будова атома та електронна теорія» характерні наступні зміни. При введенні понять ліній електричного поля та їх напряму (§ 5) обмежуємось вивченням доступних для учнів картин ліній електричного поля навколо відокремлених сферичних електрично заряджених тіл та електричного поля між двома різнойменно зарядженими металевими пластинами. Електричне поле від двох сферичних електрично заряджених тіл тільки демонструємо, щоб показати, що електричне поле змінюється при зміні взаємного положення заряджених тіл, але не аналізуємо його.

При висвітленні будови атомів та іонів (§ 7) вивчаємо тільки фізичну суть ядерної моделі атома без аналізу самих дослідів Резерфорда (зазначаємо, що відповідні експериментальні дослідження аналізуватимемо в старших класах).

У процесі використання електронної теорії для пояснення електричних явищ при розкритті дії електрично зарядженого тіла на незаряджений діелектрик (§ 8.3), демонструємо цю дію без аналізу механізму взаємодії: обмежуємось тільки тим, що вона зумовлена дією електричного поля зарядженого тіла на електрично заряджені частинки електрично нейтрального тіла.

Суттєве скорочення обсягу навчального матеріалу характерне для *змістового модуля 3* «Електричний струм у різних середовищах». Висвітлюємо тільки основний матеріал, що розкриває фізичну суть виучуваного, та основні приклади практичного використання струму в різних середовищах у темах: електричний струм в електролітах, хімічна дія струму (§ 13); електричний струм у газах, газові розряди, плазма (§ 14); електричний струм у напівпровідниках (§ 16). Тему «Електричний струм у вакуумі» (§ 15) скорочуємо й переносимо в розряд додаткового матеріалу.

У *змістовому модулі 4* «Закони постійного електричного струму» теоретичний матеріал залишаємо в цілому незмінним. Дещо знижуємо вимоги до учнів стосовно теоретичного обґрунтування законів та орієнтуємось на використання більш простих задач в процесі набуття учнями практичних умінь і навичок.

Значне скорочення обсягу навчального матеріалу характерне для *змістового модуля 5* «Магнітне поле електричного струму. Магнітні властивості речовини та магнітне поле постійних магнітів». Скорочуємо й об’єднуємо вивчення магнітного поля кільця та соленоїда зі струмом (§ 23.3, § 23.4). Стосовно магнітних властивостей речовини та магнітного поля постійних магнітів, висвітлюємо тільки основний матеріал, що розкриває фізичну суть виучуваного, та розглядаємо основні приклади практичного використання магнітів (§ 24). У більшій мірі орієнтуємось на емпіричний рівень розкриття трьох типів магнетиків та особливостей їх намагнічування, а якісне теоретичне пояснення розглядаємо як додатковий матеріал.

У *змістовому модулі 6* об’єднуємо вивчення § 28.1 та § 28.2 і відносимо у рубрику додаткового матеріалу ретельне пояснення напряму обертання рамки зі струмом у магнітному полі та у двигуні постійного струму. У параграфі 29 обмежуємось обґрунтуванням дії магнітного поля на рухомі електрично заряджені частинки, а правило лівої руки для сили Лоренца, особливості руху частинок у магні-

тному полі відносимо в старшу школу. У зв'язку з цим коротшим стає заголовок змістового модуля 6 «Дія магнітного поля на провідники зі струмом».

У *змістовому модулі 7* «Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле» в процесі висвітлення першого типу ефектів явища електромагнітної індукції (§ 32.3) обмежуємось тільки основним висновком стосовно природи вихрового електричного поля та замкнутості його ліній; аналіз же напряму ліній переносимо в старшу школу. Тему «Явище самоіндукції» (§ 33) скорочуємо й переносимо у розряд додаткового матеріалу. У процесі розкриття другого типу ефектів явища електромагнітної індукції (§ 34) обмежуємось емпіричним рівнем, а картину ліній електричного поля індукованих електрично заряджених частинок і пояснення причини їх розділення переносимо в старшу школу.

У *змістовому модулі 8* «Практичне використання явища електромагнітної індукції» вивчення змінного електричного струму (§ 36), індукованого електричного струму в масивних провідниках (§ 37), принципу дії та будови трансформатора (§ 38) здійснюємо в основному індуктивним шляхом: починаємо з емпіричного рівня та доповнюємо його якісним теоретичним обґрунтуванням.

За умов диференціації навчання, *поглиблення уявлень учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле* можна реалізувати *на* ***факультативних заняттях***. Учнів із класів з непрофільним вивченням фізики «підтягуємо» до рівня програми для поглибленого вивчення електромагнетизму. Для найбільш обдарованих учнів, насамперед, із класів з поглибленим вивченням фізики, на факультативних заняттях є можливість удосконалити знання про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле на більш високому теоретичному рівні шляхом розкриття основних фізичних величин та законів електромагнетизму: закон Кулона; напруженість електричного поля, принцип суперпозиції (в тому числі картина ліній напруженості електричного поля для системи двох точкових зарядів); робота електричного поля по переміщенню електричного заряду, початкові уявлення про потенціал і різницю потенціалів; електрорушійна сила, початкові уявлення про стаціонарне електричне поле; закон Ома для повного кола, уявлення про закони Кірхгофа; індукція магнітного поля, закони для сили Ампера і сили Лоренца; по-

тік індукції магнітного поля; закон електромагнітної індукції. У якості навчальних посібників можна скористатись шкільними підручниками для старших класів чи підручником за редакцією Г. С. Лансберга [289].

Таким чином, загальні підходи стосовно принципів побудови змісту, структури й методики навчання електромагнетизму в непрофільних класах, у класах з поглибленим вивченням фізики і на факультативних заняттях, в цілому залишаються єдиними. Насамперед, це поєднання двох визначальних напрямів генералізації: 1) генералізація на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії; 2) явищний (феноменологічний) підхід, – що передбачає націленість на формування узагальнених уявлень з електромагнетизму, на поєднання розвитку наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів, на поєднання індуктивного та дедуктивного методів пізнання і приводить до побудови нової методики навчання електромагнетизму в основній школі. Відмінність полягає у рівні генералізації, у рівні формування узагальнених уявлень, у співвідношенні між індуктивним і дедуктивним методами навчання та між різними формами мислення.

Висновки розділу 2

1. Розширено зміст поняття «генералізація» за рахунок використання термінів «генералізація змісту й структури навчального предмету (фізики)», «генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму» (або його скорочений аналог «генералізація електромагнетизму»).

2. Дістали подальший розвиток ідеї, що об'єднуючою основою при вивченні всіх тем електромагнетизму можуть слугувати адаптовані до сприйняття учнями основної школи поняття електромагнітного поля (С. Є. Каменецький) та поняття електромагнітної взаємодії (В. В. Мултановський). Обґрунтовано ефективність сумісного використання цих двох об'єднуючих понять.

На основі аналізу структури електромагнетизму вперше обґрунтовано, що поняття електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, адаптовані до сприйняття учнями, доцільно формувати в їх свідомості на якісному рівні саме в основній школі; що ці поняття є ядром генералізації електромагнетизму, а генералізація електромагнетизму на основі цих понять є відправною точкою вдосконалення методики навчання електромагнетизму в основній школі.

Уперше концептуально обґрунтовано наступне: оскільки генералізація електромагнетизму передбачає повноцінне використання елементів електронної теорії, а для всього курсу фізики основної школи в цілому характерним є явищний підхід, то при генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму ми *поєднуємо два визначальні напрями генералізації*: 1) ***генералізація на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії***; 2) ***явищний*** (***феноменологічний***) ***підхід***.

Указана генералізація відповідає засадам побудови базового відносно завершеного курсу фізики основної школи і дозволяє: а) об'єднати навколо спільного теоретичного ядра весь навчальний матеріал, що полегшує його сприйняття та усвідомлення учнями; б) надати узагальнені доступні учням знання з електромагнетизму; в) поєднати індуктивний та дедуктивний підходи у навчанні; г) поєднати розвиток наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів.

3. Відповідно до вибраних напрямів генералізації, удосконалено зміст і структуру навчання електромагнетизму, що дозволило вирішити проблеми, характерні для традиційної методики, і привело до побудови принципово нової методики навчання електромагнетизму в основній школі.

Весь навчальний матеріал з електромагнетизму об'єднуємо в *розділ фізики* «***Електромагнітні явища***. ***Електромагнітне поле***». Виокремлюємо змістовий модуль 1 «Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле», який є своєрідним розширеним вступом до електромагнетизму і центральною ланкою його генералізації; в ньому індуктивним шляхом, за невелику кількість логічних і методичних кроків, формуємо початкові, достатньо узагальнені якісні уявлення учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле. Ці уявлення застосовуємо й поглиблюємо, конкретизуємо й збагачуємо при подальшому вивченні електромагнітних явищ шляхом поєднання дедукції та індукції в трьох розділах «Електричні явища. Електричне поле», «Магнітні явища. Магнітне поле», «Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле».

При структуруванні змісту виділяємо споріднений логічно і взаємозв'язаний методично навчальний матеріал, який складає відносно завершену цілісну одиницю змісту: розділи, підрозділи, параграфи, підпараграфи, що підкреслює наскрізну підпорядкованість навчального матеріалу.

Розроблено ***навчальний посібник*** з електромагнетизму для класів з поглибленим [38] та підготовлено до друку навчальний посібник для класів з непрофільним вивченням фізики в основній школі.

4. Удосконалено методику навчання цілого ряду тем електромагнетизму.

Змістовий модуль 1 «***Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле***» містить всього три параграфи, у яких:

- при вивченні електричної взаємодії, на початковому етапі демонструємо взаємодію виключно між електрично зарядженими тілами, розвиваючи погляди, запропоновані М. Ф. Вознюком [45]–[49]; електричний заряд як фізичну величину вводимо вже на самому початку вивчення електричних явищ; удосконалюємо методику введення поняття електричного поля (§ 1);

- ураховуємо, що у свідомості учнів магнітні явища спочатку асоціюються з постійними магнітами, і використовуємо їх при вивченні магнітної взаємодії; удосконалюємо методику введення поняття магнітного поля та надаємо учням узагальнені уявлення, що навколо нерухомих електрично заряджених частинок (тіл) існує електричне поле, а навколо рухомих – електричне та магнітне поля (§ 2);
- розробляємо методику й надаємо учням початкові уявлення про відносність електричного та магнітного полів, про «єдине» електромагнітне поле та електромагнітну взаємодію, про два види матерії – речовину й поле (§ 3).

У ***розділі 1*** «***Електричні явища***. ***Електричне поле***» продовжуємо вивчати електричні явища і поглиблюємо уявлення про електричну взаємодію та електричне поле як прояви електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля в межах трьох змістових модулів.

Змістовий модуль 2 «*Електричне поле. Електричний заряд. Будова атома та електронна теорія*» має три основні методичні особливості:

- поглиблюємо уявлення учнів про електричне поле шляхом введення *поняття ліній електричного поля*;
- при вивченні будови атома, на основі врахування електромагнітної природи взаємодії між електронами та ядром атома, розширюємо перше і третє положення про будову речовини; надаємо учням уявлення про *електронну теорію* та використовуємо її для пояснення різних явищ електромагнетизму;
- розкриваємо *узагальнені уявлення про електричний заряд*.

Виокремлюємо *змістовий модуль 3* «*Електричний струм у різних середовищах*», у якому вдосконалюємо методику і висвітлюємо поняття електричного струму, джерел електричного струму, природу електричного струму в металах, електролітах, газах, вакуумі, напівпровідниках.

Суттєвими є переваги нашої методики при розкритті *магнітної дії електричного струму*: учні усвідомлено і значною мірою дедуктивно сприймають магнітну дію електричного струму, в тому числі дослід Ерстеда, оскільки вони вже отримали початкові, достатньо узагальнені уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле і про електронну теорію в попередніх змістових модулях.

У *змістовому модулі 4* «*Закони постійного електричного струму*» вдалось вирішити ряд проблем традиційної методики:

- *обґрунтовано вводимо одиницю сили струму* 1 А – на основі отриманих у попередніх змістових модулях відомостей про магнітну взаємодію, магнітне поле та магнітну дію електричного струму учням легко зрозуміти, що між паралельними провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія;
- учні більш усвідомлено користуються електровимірювальними приладами на базі отриманих початкових уявлень про принцип їх дії;
- на основі розширеного уявлення про електричне поле та лінії електричного поля розкриваємо *фізичну суть електричної напруги*, саме як енергетичної величини, котра характеризує електричне поле.

У ***розділі 2*** «***Магнітні явища***. ***Магнітне поле***» продовжуємо вивчати магнітні явища і поглиблюємо уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле як прояви електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля в межах двох змістових модулів.

У *змістовому модулі 5* «*Магнітне поле електричного струму. Магнітні властивості речовини та магнітне поле постійних магнітів*»:

- детально вивчаємо картини (спектри) ліній магнітного поля прямого провідника, кільця та соленоїда зі струмом з відповідними мнемонічними правилами, що сприяє розвитку дивергентного мислення;
- важливу роль надаємо вивченню теми «*Магнітні властивості речовини*»: опираємось на електронну теорію та розкриваємо орбітальну складову магнітного поля атома і зазначаємо про спінову складову магнітного поля; доводимо, що речовину за магнітними властивостями можна розділити на *три основні типи магнетиків – феромагнетики*, *парамагнетики*, *діамагнетики*; пояснюємо особливості будови та механізм намагнічування діа-, пара-, феромагнетиків (магнітом'яких і магнітотвердих); висвітлюємо природу магнітного поля постійних магнітів, чим розширюємо уявлення учнів про «джерела» магнітного поля.

У *змістовому модулі 6* «*Дія магнітного поля на провідники зі струмом і на рухомі електрично заряджені частинки*»:

- удосконалюємо методику вивчення сили Ампера; аналізуємо *магнітну взаємодію паралельних провідників зі струмами* та обґрунтовуємо *введення одиниці сили струму* 1 А;
- удосконалюємо на доступному для учнів теоретичному рівні методику вивчення дії магнітного поля на рамку зі струмом, принципу дії та будови двигуна постійного електричного струму й електровимірювальних приладів;
- для формування узагальнених уявлень про дію магнітного поля вивчаємо на якісному рівні *силу Лоренца*.

У ***розділі 3*** «***Електромагнітна індукція***. ***Електромагнітне поле***» завершуємо вивчати електромагнітні явища, електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле в межах двох змістових модулів.

Змістовий модуль 7 «*Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле*» має такі суттєві методичні особливості:

- розглядаємо індуктивним шляхом два типи ефектів явища електромагнітної індукції; не обмежуємось аналізом умов виникнення індукованого електричного струму (що характерно для традиційної методики), а розкриваємо (доступним для учнів чином) його фізичну суть на рівні польового трактування;
- підкреслюємо, що відкриття явища електромагнітної індукції стало поворотним моментом у розумінні взаємозв'язку та спільної природи електричного й магнітного полів; обґрунтовуємо *узагальнення Максвелла*, що не тільки змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле, але й, навпаки, змінне електричне поле породжує магнітне поле, що електричне поле й магнітне поле не просто тісно пов'язані між собою, а утворюють спільне ціле – «єдине» ***електромагнітне поле***; узагальнюємо уявлення учнів про «джерела» електричного поля та магнітного поля, про електромагнітне поле в цілому.

У *змістовому модулі 8* «*Практичне використання явища електромагнітної індукції*» розкриваємо, що використання явища електромагнітної індукції стало одним з найважливіших чинників науково-технічного прогресу, і висвітлюємо матеріал як на емпіричному, так і доступному теоретичному рівні, поєднуючи індуктивний та дедуктивний методи навчання.

Таким чином, в основній школі відомості про явище електромагнітної індукції, про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле розглядаємо виключно на якісному рівні, ураховуючи вікові особливості розвитку учнів.

5. Модифіковано й удосконалено демонстраційний фізичний експеримент при вивченні таких тем: електризація та електрична взаємодія тіл; лінії електричного поля; електричний струм у газах; магнітна дія електричного струму і сила Ампера; магнітні властивості речовини; магнітне поле рухомої електрично зарядженої частинки; дія магнітного поля на рухому електрично заряджену частинку; явище самоіндукції.

У пропонованій методиці навчання електромагнетизму впроваджено ідеї та теорії провідної ролі навчання у розумовому розвитку учнів, поетапного формування розумових дій, розвиваючого, проблемного навчання.

У повній мірі запропоновані підходи можуть бути реалізованими в умовах ***диференціації навчання*** для класів з поглибленим вивченням фізики. Більше того, з найбільш обдарованими учнями на факультативних заняттях можна поглибити їх знання про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле за рахунок вивчення основних законів електромагнетизму.

У класах з непрофільним вивченням фізики спрощуємо методику навчання найбільш складних питань електромагнетизму, а частину матеріалу переносимо в старшу школу. Але, в цілому, загальні підходи щодо генералізації навчального матеріалу електромагнетизму, щодо побудови змісту, структури й послідовності вивчення окремих тем, щодо націленості на формування узагальнених уявлень, на поєднання розвитку наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів, на поєднання індуктивного та дедуктивного методів пізнання – залишаються єдиними. Відмінність полягає в рівні генералізації та рівні формування узагальнених уявлень, у співвідношенні між індуктивним і дедуктивним методами навчання, у співвідношенні між різними формами мислення учнів.

РОЗДІЛ 3
ОРГАНІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Педагогічний експеримент здійснювався в три етапи – констатуючий, пошуковий та формуючий експеримент – і тривав сім навчальних років (з 1999/2000 н.р. по 2005/2006 н.р.)

До 1999/2000 н.р. включно здобувач працював учителем фізики і завідувачем кафедри фізики в Криворізькому Жовтневому ліцеї та очолював міське методичне об'єднання учителів фізики шкіл нового типу. Починаючи з 2000/2001 н.р. здобувач працює старшим викладачем на кафедрі фізики в Криворізькому державному педагогічному університеті та за сумісництвом – учителем фізики в Криворізькому Жовтневому ліцеї.

У констатуючому, пошуковому та формуючому експерименті брали участь учні Жовтневого та Саксаганського ліцеїв м. Кривого Рогу як із класів, в яких фізика є профільним предметом, так із класів з непрофільним вивченням фізики. У формуючому експерименті брали також участь учні гімназій № 91 та № 49 м. Кривого Рогу із класів з непрофільним вивченням фізики. Усього в експерименті брали участь 855 (436/419) учнів – тут і надалі у чисельнику вказано дані для класів, у яких фізика є профільним предметом, у знаменнику – для класів, у яких фізика є непрофільним предметом. Уроки і експеримент у фізико-математичних класах Жовтневого ліцею проводив безпосередньо здобувач; у інших класах експериментом керував автор, а уроки проводили інші учителі – переважно учителі-методисти вищої категорії, учні яких посідають призові місця у міських і обласних олімпіадах та конкурсах з фізики. Експеримент здійснювався в умовах реального процесу навчання.

У експерименті також брали участь студенти-фізики IV і V курсів Криворізького державного педагогічного університету в рамках навчального предмету «Методика навчання фізики», при проходженні педагогічної практики в школі та при виконанні кваліфікаційних і магістерських робіт.

На всіх етапах експерименту вивчали якісні та кількісні показники засвоєння

учнями основних питань електромагнетизму в основній школі на основі аналізу результатів контрольних, самостійних, лабораторних робіт по кожному розділу та кожному змістовому модулю електромагнетизму. Проводили анкетування учнів. Виявляли проблеми, які виникають в учнів при вивченні електромагнетизму. З'ясовували основні причини виявлених проблем. Обговорювали результати в середніх навчальних закладах, на базі яких проводився експеримент, на районних та міських методичних об'єднаннях учителів фізики, з методистами Дніпропетровського обласного інституту післядипломної освіти, з науковцями Криворізького державного педагогічного університету, із С. У. Гончаренком як керівником секції фізики експериментального майданчика Саксаганського ліцею при Академії педагогічних наук України, з науковим керівником дисертаційного дослідження М. Ф. Вознюком. Вивчали експертні оцінки і висновки науковців та учителів-методистів.

Протягом всього експерименту на прикладі вивчення електромагнетизму досліджували також готовність учнів основної школи до запровадження допрофільної диференціації навчання, починаючи з 8 класу 11-річної середньої школи.

3.1. Констатуючий експеримент

1. Констатуючий експеримент полягав у вирішенні наступних ***завдань***:

а) з'ясування якісних та кількісних показників засвоєння учнями основних питань електромагнетизму в основній школі;

б) виявлення проблем, які виникають в учнів при вивченні електромагнетизму;

в) з'ясування основних причин кожної з виявлених проблем та аналіз можливих варіантів їх вирішення;

г) дослідження готовності учнів основної школи до поглибленого вивчення електромагнетизму за умов допрофільної диференціації навчання, починаючи з восьмого класу 11-річної середньої школи;

д) формулювання гіпотези дисертаційного дослідження.

Констатуючий експеримент тривав три навчальні роки – 1999/2000,

2000/2001 та 2001/2002 н.р. У констатуючому експерименті брали участь 189 (96/93) учнів.

2. З'ясування якісних і кількісних показників засвоєння учнями основних питань електромагнетизму за традиційної методики дозволило зробити такі висновки (чисельні дані наведено при аналізі формуючого експерименту):

- переважна більшість учнів опановує основні питання електромагнетизму;
- традиційна методика навчання електромагнетизму (за підручниками Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [128], [129]), яка поєднує емпіричний підхід з формуванням у свідомості учнів доступних теоретичних узагальнень, опираючись на широке використання фізичного (перш за все демонстраційного) експерименту, і орієнтується в основному на індуктивний метод пізнання, доповнюючи його частково дедуктивним, є доступною для переважної більшості учнів основної школи.

Водночас, виявлено, які фізичні явища, процеси, поняття, величини, моделі, закони є достатньо складними і їх розуміння становить вагому проблему для учнів. Проаналізовано основні причини кожної з виявлених проблем.

При вивченні ***електричних явищ*** виявлено наступні основні проблеми.

- На початковому етапі вивчення електризації та електричної взаємодії значна частина учнів недостатньо розуміє, що електрична взаємодія стосується виключно взаємодії між електрично зарядженими тілами. Причиною цього є те, що від самого початку учням демонструють взаємодію електрично заряджених тіл не тільки з іншими електрично зарядженими тілами, але й з електронейтральними тілами. Це приводить до формування невірних уявлень про можливість взаємодії заряджених частинок з електрично нейтральними. Причому, проблема не вирішується повністю навіть після подальшого вивчення механізму електризації.
- На початковому етапі вивчення електричної взаємодії учні користуються поняттями (термінами) «електричний заряд», «два види електричного заряду», «позитивний та негативний електричні заряди» без розуміння їх суті, що приводить до розмитості поняття електричного заряду у свідомості учнів. Проблема не

вирішується повністю навіть після подальшого введення електричного заряду як фізичної величини. Основною причиною цього є введення поняття електричного заряду в два етапи: спочатку при вивченні електризації тіл – на якісному рівні, а згодом, при вивченні подільності електричного заряду – як фізичної величини з відповідною одиницею.

- Значна частина учнів недостатньо розуміє, що являє собою електричне поле, що електричне поле невіддільне від електрично заряджених частинок чи тіл, що електричне поле є видом матерії та має енергію. Більшість учнів сприймає електричне поле як відокремлений вид поля. Причиною цього є недостатнє розкриття поняття електричного поля.
- Більшість учнів не в змозі пояснити механізм взаємодії електрично заряджених тіл з незарядженими. Це зумовлено вивченням теми на емпіричному рівні.
- При введенні поняття електричного струму учні не розуміють, що являє собою електричне поле всередині провідника і як саме електричне поле спричинює впорядкований рух електрично заряджених частинок. Основною причиною цього є недостатні уявлення про електричне поле. Значна частина учнів не в змозі пояснити чому рух негативно заряджених частинок протилежний до напряму електричного струму.
- Хімічну дію електричного струму учні характеризують тільки на емпіричному рівні, не розуміючи що являє собою електричний струм в електролітах.
- Магнітну дію електричного струму учні характеризують тільки на емпіричному рівні, їм важко зрозуміти чому електричний струм у провіднику чинить магнітну дію за межами провідника.
- При введенні одиниці сили струму 1 А, переважна більшість учнів не розуміє, чому між провідниками зі струмом існує взаємодія (магнітна взаємодія). На цьому етапі учні вчаться користуватись амперметром і вольтметром, майже не розуміючи принципу їх дії. Це зумовлено відсутністю хоча б початкових уявлень про магнітне поле.
- Значна частина учнів недостатньо розуміє фізичну суть електричної напруги. Більшість учнів не розуміє, яким чином електрична напруга, що є енерге-

тичною величиною, характеризує електричне поле. Причиною цього є недостатнє розкриття поняття електричного поля.

- При вивченні законів постійного електричного струму значній частині учнів важко дається розрахунок змішаного з'єднання провідників.

При вивченні ***магнітних явищ*** виявлено такі основні проблеми.

- На початковому етапі багатьом учням важко дається розуміння поняття магнітного поля, котре вводять на основі фундаментального досліду Ерстеда. Причиною цього є те, що магнітна взаємодія у свідомості учнів асоціюється спочатку не зі струмом, а через взаємодію постійних магнітів, яка за навчальною програмою вивчається пізніше.
- Більшість учнів сприймає магнітне поле як відокремлений вид поля. Причиною цього є відсутність уявлень про електромагнітне поле. Значна частина учнів недостатньо розуміє, що магнітне поле має енергію.
- Магнітне поле постійних магнітів учні характеризують тільки на емпіричному рівні. Практично всі учні вважають, що магнітні властивості характерні лише для речовин, котрі легко намагнічуються. Пояснити природу магнітного поля постійних магнітів та порівняти її з магнітним полем рухомих електрично заряджених частинок учні не в змозі. Більшість учнів вважає провідники зі струмом та рухомі електрично заряджені частинки єдиним джерелом магнітного поля.
- Практично ніхто з учнів не може дати відповіді на питання, чи залежить наявність магнітного поля від вибору системи відліку (від вибору спостерігача).
- При вивченні сили Ампера більшість учнів уважає, що магнітне поле діє на провідник зі струмом за будь-якого його розташування відносно ліній магнітного поля (в тому числі й при їх паралельному розташуванні). Це пов'язано з тим, що традиційно обмежуються тільки випадком взаємно перпендикулярного розташування провідника зі струмом і ліній магнітного поля, а інші випадки не аналізують.
- Навіть після вивчення магнітних явищ значна частина учнів не в змозі пояснити чому між провідниками зі струмом існує магнітна взаємодія. Практично

ніхто не може обґрунтувати чому паралельні провідники з однаково напрямленими струмами притягуються, а з протилежно напрямленими – відштовхуються. Як наслідок, мало хто з учнів розуміє введення одиниці сили струму 1 А (однієї з основних фізичних величин). Це пов'язано з тим, що магнітна взаємодія провідників зі струмом залишилась поза межами традиційної програми.

- Значна частина учнів не може пояснити напрям обертання рамки зі струмом у магнітному полі; більшість учнів не розуміє, чому рамка зі струмом встановлюється своєю площиною перпендикулярно до ліній магнітного поля. Причина криється у вивченні цього матеріалу переважно на емпіричному рівні.
- Практично ніхто з учнів не може дати відповіді на питання, чи діє магнітне поле на електрично заряджені частинки.
- Мало хто з учнів може пояснити, чому магнітне поле діє на живі організми й людину.

Аналіз особливостей вивчення учнями ***явища електромагнітної індукції*** здійснювався тільки в класах, де фізика є профільним предметом, тому що в інших класах електромагнітна індукція не входить до програмного матеріалу.

При вивченні явища електромагнітної індукції основними для учнів є наступні проблеми:

- Переважно емпіричне вивчення явища електромагнітної індукції приводить до формування часткових уявлень про явище, без належного розуміння його фізичної суті.
- У значної частини учнів виникають неповні, а той хибні уявлення про умови виникнення індукційного електричного струму.
- Практично ніхто з учнів не може дати хоча б часткового пояснення взаємозв'язку електричного поля та магнітного поля, котре випливає з природи явища електромагнітної індукції. Мало хто з учнів хоча б частково розширив свої уявлення про джерела електричного поля та магнітного поля на основі явища електромагнітної індукції.
- Переважно емпіричне вивчення питань практичного використання явища

електромагнітної індукції на прикладі генератора змінного електричного струму та трансформатора приводить до того, що значна частина учнів недостатньо розуміє принцип їх дії. Більшість учнів не може пояснити чому індукційний генератор виробляє саме змінний електричний струм, чому трансформатор може змінювати електричну напругу тільки змінного струму.

- На завершення вивчення електромагнетизму учні не бачать об'єднуючої основи для всіх електромагнітних явищ, у них відсутні уявлення про електромагнітне поле та про те, що електричне поле й магнітне поле є двома проявами електромагнітного поля.

3. ***Дослідження готовності учнів основної школи до запровадження допрофільної диференціації навчання*** здійснювалось на основі: а) якісних та кількісних показників засвоєння учнями основних питань електромагнетизму у 8 класі; б) результатів досліджень психологів Саксаганського та Жовтневого ліцеїв у процесі допрофільного навчання; в) анкетування учнів та їх батьків.

За сприяння психологів і на основі анкетування вивчали наступні питання: 1) чи визначились учні з вибором пріоритетних освітніх галузей (так; в основному, але є певні сумніви; ще не остаточно (є значні сумніви); не визначились); 2) що є основним при виборі фізико-математичного профілю (математика легко (порівняно легко) дається у навчанні; фізика легко (порівняно легко) дається у навчанні; математика викликає пізнавальний інтерес (особливий пізнавальний інтерес); фізика викликає пізнавальний інтерес (особливий пізнавальний інтерес); особлива важливість для розумового розвитку та загальної освіченості; бажання отримати добротну середню освіту; вибір можливої майбутньої професії; поради батьків, друзів, учителів…; престижність в очах однолітків, друзів…; наявність саме такого профілю у престижному навчальному закладі; вибір прийнятного профілю у престижному навчальному закладі, що знаходиться недалеко від місця проживання; інші причини (вкажіть які); 3) бажання вивчати математику на поглибленому чи на звичайному рівні (є, нестійке, немає); 4) бажання вивчати фізику (електромагнетизм) на поглибленому чи звичайному рівні (є, нестійке, немає); 5) готовність учнів до поглибленого вивчення фізики в умовах допрофільного ди-

ференційованого навчання за творчим потенціалом (високий, середній, низький).

Серйозні утруднення при виконанні нашого дослідження виникли у зв'язку з проблемою діагностування розвитку творчих здібностей як підґрунтя для поглибленого вивчення фізики. Результати досліджень психологів Саксаганського та Жовтневого ліцеїв показали, що не існує задовільних методик комплексного діагностування саме творчих здібностей та творчого мислення. Досягнення учнів за однією групою тестів не завжди відповідають результатам тестування за іншим типом завдань і результатам аналізу творчого потенціалу безпосередньо при вивченні фізики. Оскільки тести дозволяють виявляти рівень лише окремих компонентів творчості, то було вирішено основну увагу звертати на традиційні засоби контролю.

Готовність учнів до поглибленого вивчення фізики в умовах допрофільної диференціації навчання на основі якісних та кількісних показників засвоєння учнями основних питань електромагнетизму аналізували наступним чином. До уваги брали, насамперед, підсумкові оцінки в рамках тематичного оцінювання знань за всі змістові модулі (теми) електромагнетизму. На основі аналізу навчальних результатів виокремили наступні п'ять груп учнів: 1) учні, які не засвоїли основні питання хоча б на задовільному рівні (1,0% – поодинокі випадки); 2) учні, котрі майже ніколи не отримували підсумкових оцінок, вищих ніж задовільні (7,3%); 3) учнів, котрі отримували як задовільні, так і добрі підсумкові оцінки (25,1%); 4) учні, які показали добру успішність (53,1%); 5) учні, які показали відмінну успішність (13,5%).

Учнів третьої групи можна розділити на три підгрупи. До першої підгрупи (3а) відносимо тих учнів, успішність яких з часом залишалась практично незмінною або падала, а вони не виявляли особливого бажання вивчати фізику на поглибленому рівні (6,3%). До другої підгрупи (3б) відносимо тих учнів, успішність яких з часом навіть дещо покращувалась, але вони не виявляли бажання вивчати фізику на поглибленому рівні (6,3%). До третьої підгрупи (3в) відносимо тих учнів, успішність яких поступово покращувалась чи хоча б залишалась незмінною, і вони виявляли бажання вивчати фізику на поглибленому рівні (12,5%).

Учнів четвертої групи, за результатами експерименту, можна розділити на дві підгрупи. До першої підгрупи (4а) відносимо тих учнів, успішність яких дещо знижувалась (в межах доброї оцінки), залишалась практично незмінною, чи навіть дещо покращувалась, але вони не виявляли бажання вивчати фізику на поглибленому рівні (2,1% – поодинокі випадки). До другої підгрупи (4б) відносимо тих учнів, успішність яких поступово покращувалась чи хоча б залишалась незмінною, і вони виявляли бажання вивчати фізику на поглибленому рівні (51,0%).

Надійну готовність до поглибленого вивчення фізики продемонстрували учні групи 5 та підгрупи 4б (разом 64,5%). Ураховуючи бажання учнів, допустимим можна вважати також поглиблене вивчення фізики учнями підгрупи 3в (ще 12,5%). Всього 77% учнів досліджених фізико-математичних класів виявили готовність до вивчення фізики на поглибленому рівні.

Учні груп 1 і 2 (разом 8,3%) не готові до поглибленого вивчення фізики.

Стосовно учнів підгруп 4а, 3а і 3б (разом 14,7%), які не виявили бажання вивчати фізику на поглибленому рівні, можна відмітити наступне. Цим учням рекомендували перейти в клас з непрофільним вивченням фізики. Правда, учні підгрупи 4а та частина учнів підгруп 3а і 3б (разом 7,3%) виявили бажання вивчати на поглибленому рівні математику. Для таких учнів бажаним є навчання у математичних класах. У фізико-математичних класах навчання таких учнів є допустимим тільки за умови, якщо вивчення фізики за поглибленою програмою не спричинює їх психологічного перевантаження. З урахуванням цих учнів, допустиму готовність до навчання в фізико-математичних класах виявили 84,3% від загального контингенту учнів.

Для інших 7,4% учнів підгруп 3а і 3б поглиблене вивчення фізики в фізико-математичних класах є передчасним, оскільки вони не виявили достатнього бажання до поглибленого вивчення ні фізики, ні математики. Всього, за результатами констатуючого експерименту, для 15,7% учнів досліджених фізико-математичних класів поглиблене вивчення фізики у 8 класі виявилось передчасним.

4. Констатуючий експеримент підтвердив підсумки теоретичного аналізу (розділ 1) і дозволив зробити такі ***висновки***:

1. Методика навчання електромагнетизму потребує такого подальшого вдосконалення, яке дозволило б вирішити зазначені вище проблеми та надати учням цілісні уявлення з електромагнетизму, в тому числі про явище електромагнітної індукції, відповідно до вимог «Державного стандарту базової і повної середньої освіти» [82], [83].

2. Більшість учнів з класів, де фізика є профільним предметом, в основному визначилась з вибором пріоритетних освітніх галузей та готові до поглибленого вивчення фізики, починаючи з 8 класу (11-річної середньої школи). Це свідчить про можливість запровадження допрофільної диференціації при вивченні електромагнетизму в основній школі. Водночас, для значної частини учнів поглиблене вивчення фізики у 8 класі виявилось передчасним. Отже, відбір учнів, готових до поглибленого вивчення фізики у підлітковому віці, необхідно проводити дуже виважено та ретельно.

3. На кінцевому етапі констатуючого експерименту, з врахуванням висновків теоретичного аналізу (розділ 1), конкретизовано основні аспекти проблеми дослідження, встановлено можливі варіанти вирішення виявлених проблем (розкритих у пошуковому експерименті) та сформульовано гіпотезу дисертаційного дослідження.

3.2. Пошуковий експеримент

1. Пошуковий експеримент у класах з поглибленим та у класах з непрофільним вивченням фізики мав на меті вирішення наступних взаємопов’язаних ***завдань***:

а) перевірка доступності для учнів основної школи понять електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії на якісному рівні;

б) перевірка, чи є доступним для учнів поєднання двох визначальних напрямів генералізації: 1) генералізація змісту й структури електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії; 2) явищний (феноменологічний) підхід;

в) пошук і апробація загальних методичних підходів, які відповідно до вибраних напрямів генералізації дозволяють формувати узагальнені якісні уявлення учнів з електромагнетизму, сприяють поєднанню індуктивного і дедуктивного методів навчання; стимулюють упровадження ідей та теорій провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів, поетапного формування розумових дій, розвиваючого, проблемного навчання;

г) онтодидактичне опрацювання навчального матеріалу, вдосконалення структури й змісту електромагнетизму відповідно до вибраних напрямів генералізації;

д) пошук і апробація методики навчання окремих тем електромагнетизму (насамперед тих, розуміння яких становить значну проблему для учнів згідно констатуючого експерименту, та тих, що були поза межами традиційної методики);

е) модифікація та вдосконалення демонстраційного експерименту відповідно до вибраної методики навчання електромагнетизму;

є) розробка навчальних посібників для учнів, навчальної програми і тематичного планування відповідно до вдосконаленої методики навчання електромагнетизму.

Пошуковий експеримент тривав два навчальні роки – 2002/2003 та 2003/2004. В ньому брали участь 241 (124/117) учнів.

Вирішення зазначених завдань здійснювалось у ***два етапи***.

2. *На* ***першому етапі*** пошукового експерименту (2002/2003 н.р.) перевірено два підходи до введення понять електромагнітного поля і електромагнітної взаємодії та до відповідної генералізації навчального матеріалу з електромагнетизму. У експерименті брали участь 119 (61/58) учнів.

Перший підхід найближчий до традиційної методики. Поняття електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії вводили тільки наприкінці вивчення електромагнетизму під час висвітлення явища електромагнітної індукції. Це індуктивний підхід до вивчення електромагнетизму та до його генералізації. Дедуктивність здійснювалась, як і традиційно, за рахунок використання елементів електронної теорії при поясненні електромагнітних явищ. Аналіз якісних і кількісних результатів навчання засвідчив про доступність якісних понять електромагнітного

поля та електромагнітної взаємодії для учнів основної школи [23]–[28]. Більше того, введення понять електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії дозволило більш глибоко узагальнити весь навчальний матеріал електромагнетизму і тим самим посилити розвиток теоретичного мислення, у порівнянні з традиційним співвідношення розвитку емпіричного й теоретичного мислення учнів.

Основний недолік такого підходу полягає в неможливості усунення значної частини виявлених у констатуючому експерименті проблем, котрі виникають у процесі вивчення електричних явищ і електричного поля та магнітних явищ і магнітного поля. Насамперед це пов'язано з тим, що учні спочатку розглядали електричне поле та магнітне поле як самостійні відокремлені сутності, а з поняттям електромагнітного поля ознайомились тільки наприкінці вивчення електромагнетизму; при цьому вони не тільки збагатили попередні уявлення, але й, значною мірою, переучувались.

За другого підходу, вже у вступі до електромагнетизму на конкретних простих прикладах ми зазначали: згідно сучасних уявлень існує електромагнітна взаємодія, котру в окремих випадках можна розділити на електричну взаємодію та магнітну взаємодію; існує «єдине» електромагнітне поле, котре в окремих випадках можна розділити на електричне поле та магнітне поле. Приводили приклади електричних і магнітних явищ. Наводили простий і переконливий приклад існування електромагнітного поля: радіохвилі, завдяки яким здійснюється радіозв'язок, телевізійний зв'язок, мобільний телефонний зв'язок, поширюються у вакуумі зі швидкістю, близькою до $3 \cdot 10^8$ м/с. Після такого вступу, при вивченні розділів «Електричні явища. Електричне поле» та «Магнітні явища. Магнітне поле» ми не просто говорили про існування електричного поля і магнітного поля, а вказували, що кожне з них є проявом «єдиного» електромагнітного поля. Тим самим дещо посилили використання дедуктивного методу навчання.

Послідовне обґрунтування понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля здійснювали тільки наприкінці вивчення електромагнетизму під час висвітлення явища електромагнітної індукції; паралельно збагачували попередні уявлення про електричну взаємодію та електричне поле і магнітну взаємодію та

магнітне поле практично без переучування. Послідовність і методика вивчення основних питань електромагнетизму за цього підходу, розкритого нами у наукових публікаціях [29] і [30], значно відрізнялась від традиційної, що сприяло вирішенню більшості проблем, виявлених у констатуючому експерименті.

Аналіз результатів навчання засвідчив, що другий підхід сприяє більш якісному засвоєнню учнями понять електричного поля, магнітного поля, електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії. Але, і за цього підходу невирішеними залишились наступні проблеми (характерні й для першого підходу): пояснення магнітної дії електричного струму, введення одиниці сили струму 1 А, розкриття принципу дії електровимірювальних приладів ще до вивчення поняття магнітного поля. Крім того, попереднє введення понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля у вступі до електромагнетизму не є достатньо переконливим і науково обґрунтованим. Це не дозволило посилити у достатній мірі розвиток теоретичного мислення учнів і дедуктивний підхід при вивченні електромагнетизму.

3. *На **другому етапі*** пошукового експерименту (2003/2004 н.р.) вивірено логічну послідовність, методичну несуперечливість і доступність для учнів *третього підходу* до введення понять електромагнітного поля та електромагнітної взаємодії [31]–[33], структурна схема вивчення електромагнетизму для якого приведена на рис.2.1. У експерименті брали участь 122 (63/59) учнів (чисельні дані навчальних здобутків учнів приведені при аналізі формуючого експерименту).

Перевірено ефективність поєднання двох визначальних напрямів генералізації: 1) генералізація змісту й структури електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії; 2) явищний (феноменологічний) підхід. Відпрацьовано формування узагальнених якісних уявлень учнів при вивченні електромагнетизму з поєднанням розвитку емпіричного та теоретичного мислення. Перевірено можливість поєднання дедуктивного та індуктивного підходів при підведенні підсумків змістового модуля 1 і, насамперед, при подальшому вивченні матеріалу розділів «Електричні явища. Електричне поле», «Магнітні явища. Магнітне поле», «Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле».

На основі онтодидактичного опрацювання навчального матеріалу вивірено можливість послідовного запровадження генералізації електромагнетизму саме на основі третього підходу. Завдяки вказаній генералізації вдалось вирішити проблеми, характерні для традиційної методики та двох попередніх підходів до генералізації електромагнетизму, і розробити нову методичну систему навчання електромагнетизму в основній школі.

Удосконалено структуру й зміст електромагнетизму відповідно до вибраних напрямів генералізації. Розроблено *навчальний посібник з електромагнетизму* для основної школи, орієнтований на формування узагальнених якісних уявлень учнів з електромагнетизму, на поєднання індуктивного і дедуктивного методів навчання; на впровадження ідей та теорій провідної ролі навчання у розумовому розвитку учнів, поетапного формування розумових дій, розвиваючого, проблемного навчання.

Перевірено ефективність виокремлення *змістового модуля 1* «***Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле***», котрий є своєрідним розширеним вступом до всього електромагнетизму і центральною ланкою його генералізації.

У процесі відбору й напрацювання методики навчання змістового модуля 1 перевірено наступні методично неоднозначні питання (підрозділ 2.2).

- Опрацьовано й перевірено на практиці можливість упровадження двох варіантів методики *введення поняття електричного заряду* [23]–[33]. Перший варіант є продовженням методики, відображеної у працях М. Ф. Вознюка [45], [46], [47, с. 99–100] та у підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 9]. У цьому випадку здійснюємо пропедевтичне введення електричного заряду на самому початку вивчення електричних явищ ще під час експериментів по електризації тіл контактом чи тертям. Але позначення та одиницю електричного заряду вводимо згодом, у змістовому модулі 2 «Електричне поле. Електричний заряд. Будова атома та електронна теорія». Отже, поняття електричного заряду формуємо поетапно.

У другому варіанті методики вводимо електричний заряд як фізичну величину вже на самому початку вивчення електричних явищ, так як це описано в під-

розділі 2.2 (§ 1.1). Такий підхід виявився більш ефективним, оскільки при цьому посилюється науковий рівень навчання і учні більш усвідомлено сприймають поняття та терміни «електричний заряд», «два види електричного заряду», «позитивний та негативний електричні заряди» вже на самому початку вивчення електричних явищ.

- При обґрунтуванні наявності *магнітного поля рухомої електрично зарядженої частинки* (§ 2.2) опрацьовано й перевірено три варіанти. Перший з них полягає в посиланні на дослід Йоффе як найбільш повноцінне експериментальне доведення наявності магнітного поля рухомої електрично зарядженої частинки: за допомогою двох спарених магнітних стрілок підтверджують наявність магнітного поля навколо електронів, що впорядковано рухаються від катоду до аноду у вакуумній трубці при її ввімкненні до джерела постійного струму [84, с. 227]. У другому варіанті посилаємось на дослід Роуланда-Ейхенвальда [84, с. 227], у якому за допомогою магнітної стрілки з дзеркальцем та світлового променя підтверджують наявність магнітного поля від рухомих електрично заряджених частинок, розміщених по периметру обруча (диску), при його обертанні з достатньо великою частотою від електричного двигуна. У третьому варіанті, розкритому в підрозділі 2.2 (§ 2.2), просто посилаємось на надійно встановлений експериментальний факт, що магнітна стрілка орієнтується певним чином навколо рухомих електрично заряджених частинок, не аналізуючи конкретні умови досліду.

Наші дослідження показали наступне У змістовому модулі 1 знань учнів недостатньо для повноцінного сприйняття досліду Йоффе за першим варіантом. Дослід Роуланда-Ейхенвальда (за другим варіантом) в шкільних умовах провести неможливо. Більше того, він є методично переобтяженим на цьому етапі навчання, оскільки магнітну стрілку насправді необхідно екранувати від індукування на ній заряду. Тому ми зупинились на третьому варіанті обґрунтування наявності магнітного поля рухомої електрично зарядженої частинки, який на цьому етапі виявився найбільш доступним для учнів. Стосовно досліду Йоффе, то його ми аналізуємо у змістовому модулі 3 при ознайомленні з електричним струмом у вакуумі, коли учні в змозі будуть зрозуміти як електричну схему досліду, так і причину

впорядкованого руху електронів у вакуумній трубці.

- Проведене дослідження показало, що *відносність електричного та магнітного полів* на якісному рівні учні сприймають легко. Складніше частині учнів даються питання з відносності механічного руху, коли треба вказати, як саме тіло рухається в тій чи іншій системі відліку, чи в якій системі відліку швидкість більша, тощо. Учні легше сприймають поняття відносності, ніж поняття системи відліку. У зв'язку з цим, учням, по-перше, на конкретних прикладах показуємо, що являє собою система відліку, і, по-друге, основну увагу звертаємо саме на поняття відносності, а поняття системи відліку розглядаємо на цьому етапі навчання як допоміжне.
- Установлено доступність для учнів початкових, достатньо загальних якісних уявлень про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле.

Перевірено можливість успішного вирішення виявлених у констатуючому експерименті проблем, котрі виникають в процесі вивчення електромагнетизму (підрозділ 3.1). Перевірено ефективність змісту й структури електромагнетизму, розкритих у розділі 2. Опрацьовано методику навчання всього навчального матеріалу, особливо методично складних та неоднозначних питань електромагнетизму. Установлено доступність і переваги пропонованої методики.

Перевірено можливість успішного вирішення виявлених у констатуючому експерименті проблем, котрі виникають у процесі вивчення *електричних явищ* (підрозділ 3.1). У процесі відбору і напрацювання методики навчання *розділу* «***Електричні явища***. ***Електричне поле***» (підрозділ 2.3) перевірено ефективність змісту, структури й методики навчання з виокремленням трьох змістових модулів (підрозділів) і опрацьовано наступні методично складні та неоднозначні питання.

У *змістовому модулі 2* «*Електричне поле*. *Електричний заряд*. *Будова атома та електронна теорія*» (пункт 2.3.1) дослідження підтвердили доступність для учнів індуктивного підходу при введенні *поняття ліній електричного поля*: учні добре розуміють *картину ліній електричного поля* для точкового електричного заряду (позитивного, негативного) та картину ліній електричного поля між двома різнойменно зарядженими металевими пластинами. Труднощі виникають при

аналізі картини ліній електричного поля системи двох різнойменно чи однойменно заряджених частинок. Тому, останнє ми віднесли в ранг додаткового навчального матеріалу (§ 5).

Установлено розуміння учнями поняття електричного поля, невіддільності електричного поля від електрично заряджених частинок чи тіл, наявність енергії в електричного поля, сприйняття електричного поля як виду матерії, що є одним з проявів електромагнітного поля.

- Дослідження показали, що для *пояснення електричних явищ* (передача електричного заряду електрометру, електризація металів через вплив …) одного запевняння учнів про наявність вільних електронів у металах недостатньо. Перевірено високу ефективність методики, котра розвиває ідею А. В. Усової [166, с. 265], за якої вже на цьому етапі використовуємо традиційний рисунок з моделлю кристалічної решітки металу та більш повно описуємо його будову (§ 8.1).
- Перевірено, що ознайомлення учнів з елементами *електронної теорії* за індуктивним підходом покращує наступне дедуктивне пояснення механізму електричних явищ. Так, початкового пояснення будови діелектриків з використанням електронної теорії достатньо для розкриття причини електризації діелектриків через вплив (§ 8.3). Водночас, розкриття механізму електризації діелектриків через вплив є вагомою проблемою для значної частини учнів, тому цей матеріал ми віднесли в ранг додаткового.
- Перевірено доступність для учнів та ефективність методики навчання *узагальнених уявлень про електричний заряд* (§ 9).

Установлено високу ефективність поєднання вивчення поняття електричного струму з темою «*Електричний струм у різних середовищах*» і виокремлення відповідного *змістового модуля 3* (пункт 2.3.2), у якому ми обґрунтовано надаємо учням узагальнене уявлення про електричний струм як впорядкований рух негативно та позитивно електрично заряджених частинок на прикладі металів, електролітів, газових розрядів, електричного струму у вакуумі та напівпровідниках; більш доказово демонструємо дії електричного струму; а також власне розглядаємо на якісному рівні природу електричного струму в різних середовищах. Перевірено

рено можливість удосконалення методики навчання таких тем, як електричний струм і його напрям, джерела електричного струму, природа електричного струму в металах, електролітах та іонних розплавах, газах, вакуумі, напівпровідниках – за рахунок широкого використання електронної теорії та понять електричного поля і ліній електричного поля.

- Установлено доцільність введення *поняття напряму електричного струму* ще до вивчення механізму електричного струму в металах, оскільки при цьому електричний струм у свідомості учнів зразу асоціюється зі спрямованим рухом як позитивно, так і негативно заряджених частинок. Покрокове графічне зображення ліній електричного поля, аналіз напряму сил, з якими електричне поле діє на вільні позитивно та негативно заряджені частинки, та напряму їх руху сприяє кращому розумінню того, що електричний струм є впорядкованим рухом як негативно, так і позитивно електрично заряджених частинок, а напрям руху негативно заряджених частинок протилежний до напряму електричного струму (§ 10.1).

- Перевірено суттєві переваги нашої методики при розкритті *магнітної дії електричного струму*: 1) учні усвідомлено сприймають магнітну дію електричного струму, оскільки зі змістового модуля 1 їм вже відомі початкові, достатньо узагальнені уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле; 2) магнітну дію струму вивчаємо дедуктивно, з використанням електронної теорії (§ 12.3).

- При вивченні *електричного струму в електролітах та іонних розплавах* установлено розуміння учнями процесу електролітичної дисоціації, термодисоціації, іонної природи електричного струму, електролізу та усвідомлене сприйняття *хімічної дії електричного струму* (§ 13).

- При вивченні *електричного струму в газах* установлено розуміння учнями процесу іонізації молекул і атомів, електронно-іонної природи електричного струму, початкових уявлень про газові розряди і про плазму як четвертий агрегатний стан речовини (§ 14).

- Перевірено доступність для учнів початкових уявлень про *електричний струм у вакуумі*: фізичної суті електронної емісії; природи електричного струму на прикладі двохелектродної лампи; початкових відомостей про будову та приз-

начення електронно-променевої трубки; *досліду Йоффе* як найбільш повноцінного експериментального доведення наявності магнітного поля рухомих електрично заряджених частинок (§ 15).

- Установлено, що вивчення *електричного струму в напівпровідниках* становить вагому проблему для значної частини учнів. Тому обмежуємось тільки найважливішим матеріалом (§ 16): будова напівпровідників; власна та домішкова провідність напівпровідників; початкові уявлення про напівпровідниковий діод і транзистор (оглядово, на емпіричному рівні).

У *змістовому модулі 4* «*Закони постійного електричного струму*» (пункт 2.3.3) на основі отриманих уже відомостей про магнітну взаємодію, магнітне поле (змістовий модуль 1) і магнітну дію електричного струму (змістовий модуль 3) перевірено можливість *обґрунтованого введення одиниці сили струму* 1 А (оскільки учням легко зрозуміти, що між паралельними провідниками зі струмом існує саме магнітна взаємодія) та доступність пропедевтичних уявлень про будову та принцип дії *амперметра* (§ 17).

Перевірено, що на основі розширеного уявлення про електричне поле та лінії електричного поля (змістовий модуль 2), стає можливим розкриття *фізичної суті електричної напруги* саме як енергетичної величини, котра характеризує електричне поле, та доступність пропедевтичних уявлень про будову та принцип дії *вольтметра* (§ 18).

Перевірено можливість успішного вирішення виявлених у констатуючому експерименті проблем, які виникають у процесі вивчення *магнітних явищ* (підрозділ 3.1). У процесі відбору і напрацювання методики навчання *розділу* «***Магнітні явища***. ***Магнітне поле***» (підрозділ 2.4) перевірено ефективність змісту, структури й методики навчання з виокремленням двох змістових модулів (двох підрозділів) та опрацьовано наступне.

У *змістовому модулі 5* «*Магнітне поле електричного струму. Магнітні властивості речовини та магнітне поле постійних магнітів*» встановлено високу ефективність і доступність для учнів розкриття наступного навчального матеріалу: 1) розвиток уявлень про магнітне поле як один з проявів електромагнітного

поля; 2) вивчення картини ліній магнітного поля прямого провідника, кільця та соленоїда зі струмом з відповідними мнемонічними правилами (прямі та зворотні правила свердлика та правої руки), що сприяє розвитку дивергентного мислення; 3) поєднання вивчення магнітних властивостей речовини на основі електронної теорії (магнітне поле атома, природа діа-, пара- і феромагнетиків та особливостей їх намагнічування) з розширенням уявлень про «джерела» магнітного поля завдяки висвітленню природи магнітного поля постійних магнітів; 4) дедуктивне вивчення електромагнітів зі застосуванням знань про феромагнетики (пункт 2.4.1).

У *змістовому модулі 6* «*Дія магнітного поля на провідники зі струмом та рухомі електрично заряджені частинки*» перевірено високу ефективність і доступність для учнів узагальнених уявлень про дію магнітного поля: 1) не тільки вивчення сили Ампера, але й використання її для аналізу *магнітної взаємодії паралельних провідників зі струмами* та обґрунтованого введення одиниці сили струму 1 А; 2) вивчення дії магнітного поля на рамку зі струмом і теоретичне обґрунтування принципу дії та будови двигуна постійного електричного струму й електровимірювальних приладів; 3) висвітлення сили Лоренца з відповідним правилом лівої руки для визначення її напряму (пункт 2.4.2).

Перевірено можливість успішного вирішення виявлених у констатуючому експерименті проблем, котрі виникають у процесі вивчення *явища електромагнітної індукції* (підрозділ 3.1). У процесі відбору і напрацювання методики навчання *розділу* «***Електромагнітна індукція***. ***Електромагнітне поле***» (підрозділ 2.5), перевірено ефективність змісту, структури і методики навчання з виокремленням двох змістових модулів (двох підрозділів) і опрацьовано наступні методично складні та неоднозначні питання.

У *змістовому модулі 7* «*Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле*» перевірено доступність для учнів узагальнених уявлень про два типи ефектів явища електромагнітної індукції, про взаємозв’язок електричного поля і магнітного поля та існування «єдиного» електромагнітного поля виключно на якісному рівні (пункт 2.5.1).

- Перевірено ефективність індуктивного шляху вивчення *першого типу*

явища електромагнітної індукції з висвітленням правила Ленца та розкриттям польового трактування явища електромагнітної індукції, завдяки введенню поняття *вихрового електричного поля* на пропедевтичному рівні (§ 32).

- Установлено доступність для учнів вивчення явища *самоіндукції* як на емпіричному, так і на доступному теоретичному рівнях, з поєднанням індуктивного підходу з дедуктивним (§ 33).

- Опрацьовано доступну для учнів методику розкриття фізичної суті *другого типу ефектів явища електромагнітної індукції*. Установлено, що пояснення причини розділення електричних зарядів на основі дії сили Лоренца є проблематичним для багатьох учнів. Тому цей матеріал перенесено в ранг додаткового (§ 34).

- Зроблено висновок про доцільність пояснення картини ліній електричного поля, індукованого магнітним полем, виключно на пропедевтичному рівні, котрий сприяє розумінню фізичної суті явища електромагнітної індукції на рівні його польового трактування.

- Опрацьовано доступну для учнів методику обґрунтування *узагальнення Максвелла* (не тільки змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле, але й, навпаки, змінне електричне поле породжує магнітне поле; електричне поле й магнітне поле не просто тісно пов’язані між собою, а утворюють спільне ціле – «єдине» електромагнітне поле), а також узагальнення уявлень про електромагнітне поле і «джерела» електричного поля та магнітного поля (§ 35).

У *змістовому модулі 8* «*Практичне використання явища електромагнітної індукції*» перевірено ефективність розкриття матеріалу (індукційний генератор змінного електричного струму, трансформатор та ін.) як на емпіричному, так і доступному теоретичному рівні, поєднуючи індуктивний та дедуктивний методи навчання (пункт 2.5.2).

4. Зважаючи на особливе значення ***фізичного експерименту*** в основній школі, модифіковано й удосконалено демонстраційний експеримент (особливості якого висвітлені у розділі 2) відповідно до вибраної методики навчання електромагнетизму.

- На початковому етапі вивчення електричної взаємодії (§ 1) проводимо досліди з використанням поліетиленової та паперової смуг, у яких добре видно *електризацію тіл контактом*, що посилюється внаслідок тертя. Окрім того, проводимо досліди по взаємодії виключно між електрично зарядженими тілами.

- Для візуалізації уявлень про *електричне поле та лінії електричного поля* проводимо досліди з використанням електрофорної машини та металевих тіл з прикріпленими паперовими смужками (§ 5): а) позитивно заряджений «султан»; б) негативно заряджений «султан»; в) позитивно заряджена металева пластина; г) негативно заряджена металева пластина; д) позитивно та негативно заряджені металеві пластини при невеликій відстані між ними; е) позитивно та негативно заряджені «султани» при невеликій відстані між ними (додатковий матеріал).

- Пояснення *механізму електризації* тіл контактом чи тертям здійснюємо на прикладах електризації тертям ебонітового стержня об хутро та скляного стержня об шовк чи сухий папір, оскільки ці досліди дуже широко використовуються під час демонстрацій. Механізм передачі заряду дотиком від зарядженого тіла до незарядженого пояснюємо з використанням демонстрації заряджання електроскопу чи електрометра дотиком від негативно зарядженого ебонітового та позитивно зарядженого скляного стержнів (§ 8.2).

- Пояснення *механізму електризації металів через наведення* здійснюємо з використанням досліду по електризації електрометра через наведення від негативно зарядженого ебонітового стержня (§ 8.3).

- Для демонстрації *електричного струму в газі* враховуємо, що учні на цьому етапі ще не ознайомились з електровимірювальними приладами, і запроваджуємо спрощений варіант досліду, у якому індикатором наявності електричного струму є розряджання електрометрів (§ 14).

- Посилаємось на дослід Йоффе як найбільш повноцінне експериментальне доведення наявності магнітного поля навколо рухомої електрично зарядженої частинки: за допомогою двох спарених магнітних стрілок підтверджують наявність магнітного поля навколо електронів, що впорядковано рухаються від катоду до аноду у вакуумній трубці при її ввімкненні до джерела постійного електричного

струму [84, с. 227] (§ 15.1).

- Для доведення наявності трьох основних типів магнетиків (§ 24.2) посилаємось на експериментальні дослідження, у яких використовують джерело достатньо сильного однорідного магнітного поля постійних магнітів чи електромагніту з осердям. Вносять у це поле тіла з різних речовин і встановлюють, що за магнітними властивостями їх можна розділити на три основні групи: *феромагнетики* – речовини, які, при внесенні їх у магнітне поле, у великій або дуже великій мірі посилюють магнітне поле (залізо, нікель, кобальт та інші); *парамагнетики* – речовини, які, при внесенні їх у магнітне поле, слабо або дуже слабо посилюють магнітне поле (солі заліза, нікелю, кобальту, алюміній та інші); *діамагнетики* – речовини, які, при внесенні їх у магнітне поле, дуже слабо послаблюють магнітне поле (мідь, дистильована вода, повітря та інші).

- *Дію магнітного поля на провідник зі струмом* на початковому етапі ми демонструємо з використанням вертикально підвішеного гнучкого провідника зі струмом, що є більш вдалим варіантом, ніж традиційне використання горизонтально підвішеного провідника (§ 12.3). Використовуємо вдосконалену демонстрацію також при вивченні сили Ампера (§ 27.1).

- Для підтвердження наявності *сили Лоренца* використовуємо електронно-променеву трубку: спостерігаємо за відхиленням світлої плями, а значить і пучка електронів під дією магнітного поля (постійних магнітів), чим і доводимо дію магнітного поля на рухомі електрично заряджені частинки (§ 29).

- При вивченні електромагнітної індукції використовуємо традиційні демонстрації, але їх пояснення здійснюємо на основі польового трактування (§ 32).

- При поясненні *явища самоіндукції* модифікуємо традиційний експеримент і обмежуємось тільки однією електричною схемою, що полегшує сприйняття матеріалу учнями; інші досліди використовуємо в процесі вдосконалення знань, набуття вмінь і навичок (§ 33).

5. У ході пошукового експерименту особливого значення надавали виявленню тих питань, які важко даються учням і становлять для них вагому проблему

при вивченні електромагнетизму за оновленою методикою. З'ясовували основні причини кожної з виявлених проблем, удосконалювали методику, складні для учнів питання переносили в ранг додаткового навчального матеріалу. Це стосувалось як класів з поглибленим вивченням фізики в умовах ***диференціації навчання***, так і класів, у яких фізику вивчали за звичайною програмою. Причому, для останніх, виявляли найбільш складний для учнів матеріал, який необхідно перенести в розряд додаткового матеріалу та в старші класи (підрозділ 2.7).

Всі виявлені особливості навчання врахували при розробці навчальних посібників з електромагнетизму для класів з поглибленим [38] та з непрофільним вивченням фізики в основній школі.

Розроблено ***навчальні програми*** (Додаток Д 1) та ***тематичне планування*** навчального процесу (Додаток Д 2) з електромагнетизму в класах з поглибленим та в класах з непрофільним вивченням фізики. Вивчення електромагнетизму згідно пропонованої методики потребує не менше 60 навчальних годин за програмою з поглибленим вивченням фізики і не менше 48 навчальних годин за програмою з непрофільним вивченням фізики.

Згідно навчальних програм з фізики для 12-річної школи [82], на вивчення електромагнітних явищ відводиться 50 навчальних годин (9 клас, дві години на тиждень). При цьому не вивчають поняття електромагнітного поля, відносності електричного та магнітного полів, поняття ліній електричного поля, не надають уявлень про плазму, магнітні властивості речовини, магнітну взаємодію провідників зі струмом, силу Лоренца; багато питань розглядають оглядово, серед них явище електромагнітної індукції. Отже, пропонована нами методика і навчальна програма з непрофільним вивченням фізики дозволяють засвоїти більший обсяг навчального матеріалу і на більш високому рівні узагальнення навіть за меншу кількість годин.

Що стосується поглибленого вивчення електромагнетизму, то необхідні додаткові години (0,5 год./тиждень) можна реалізувати за рахунок передбаченого у Державному стандарті базової і повної середньої освіти [82, с. 1–2] перерозподілу між освітніми галузями до п'ятнадцяти відсотків інваріантної частини навчально-

го часу, або ж на факультативних заняттях за рахунок варіативної частини плану.

Відпрацьовано навчальний матеріал *факультативних занять*. Паралельно з цим перевірено доступність для найбільш обдарованих учнів більш високого теоретичного рівня розкриття основних фізичних величин та основних законів електромагнетизму (підрозділ 2.6) при виконанні навчально-дослідних робіт.

Напрацьовано методичні рекомендації для учителів і перевірено їх ефективність на курсах підвищення кваліфікації учителів фізики при Криворізькому державному педагогічному університеті.

3.3. Формуючий експеримент

1. Формуючий експеримент полягав у вирішенні наступних ***завдань***:

а) перевірка ефективності пропонованої методики навчання електромагнетизму за навчальним посібником «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле», зміст, структура й методика навчання всіх тем якого побудовані на основі поєднання двох визначальних напрямів генералізації: 1) генералізація змісту й структури електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії; 2) явищний (феноменологічний) підхід; у тому числі перевірка ефективності методики навчання кожної з тем електромагнетизму (насамперед тих тем, розуміння яких становить значну проблему для учнів згідно констатуючого експерименту, та тих, що були поза межами традиційної методики);

б) перевірка ефективності формування узагальнених якісних уявлень з електромагнетизму, аналіз ефективності поєднання індуктивного і дедуктивного методів навчання та ефективності поєднання розвитку наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів при вивченні електромагнетизму згідно пропонованої методики;

в) перевірка готовності учнів до поглибленого вивчення електромагнетизму за умов допрофільної диференціації в основній школі;

г) підтвердження (чи спростування) гіпотези дисертаційного дослідження.

Формуючий експеримент тривав два навчальні роки – 2004/2005 і 2005/2006 н.р. Безпосередньо у формуючому експерименті брали участь 425 (216/209) учнів, з яких 244 (124/120) учнів входили до восьми (4/4) експериментальних класів, у яких електромагнетизм вивчали за вдосконаленою запропонованою методикою [38], та 181 (92/89) учнів відносились до шести (3/3) контрольних класів, у яких електромагнетизм вивчали за традиційними програмами [131], [132]. До результатів підсумкового формуючого експерименту ми включили результати констатуючого експерименту, у якому 189 (96/93) учнів навчались за традиційними програмами – шість (3/3) контрольних класів, а також результати другого етапу пошукового експерименту, у якому 122 (63/59) учнів вивчали електромагнетизм за вдосконаленою методикою – чотири (2/2) експериментальні класи. Остаточно аналіз та підсумки педагогічного експерименту здійснювались на основі участі в них 736 (375/361) учнів, з яких 366 (187/179) входили до дванадцяти (6/6) експериментальних класів, та 370 (188/182) учнів – до дванадцяти (6/6) контрольних класів.

При проведенні експерименту дотримувались вимоги щодо застосування статистичних методів опрацювання результатів педагогічних досліджень: вибірки були однорідні та незалежні, уроки в усіх контрольних та експериментальних класах проводили одні й ті самі учителі. Результати експерименту аналізували окремо в класах з поглибленим вивченням фізики та в класах з непрофільним вивченням фізики. Контрольні та експериментальні класи були підібрані таким чином, що сумарний розподіл їх підсумкових оцінок за чотирирівневою шкалою (початковий, середній, достатній, високий рівні) в рамках 12-бального оцінювання знань, за попередній розділ фізики «Теплові явища», практично не відрізнявся між собою. Тим самим забезпечено однаковий вихідний рівень навчальних успіхів у контрольних та експериментальних класах.

2. До уваги брали, насамперед, всі тематичні оцінки з електромагнетизму та здійснювали їх порівняльний аналіз в рамках кожного з тематичних оцінювань. Потім виводили підсумкові оцінки з трьох розділів «Електричні явища», «Магнітні явища», «Електромагнітна індукція», котрі аналізували статистичними методами. Оцінювання в контрольних класах здійснювалось згідно традиційної навчаль-

ної програми, у експериментальних класах – згідно пропонованої розширеної програми зі значним обсягом додаткового матеріалу з підвищеним рівнем теоретичного обґрунтування та узагальнення.

Результати підсумкових оцінок зі вказаних розділів приведено в табл. 4.1 для класів з поглибленим вивченням фізики та в табл. 4.2 для класів з непрофільним вивченням фізики. Діаграми за результатами навчання учнів приведені на рис.4.1.

Таблиця 4.1.

Навчальні результати для класів з поглибленим вивченням електромагнетизму.

Розділи електро-магнетизму	Класи та кількість учнів в них	Оцінки (рівень)				Критерій Пірсона
		початк.	середній	достатній	високий	
Електричні явища	ЕК, n_1=187	Q_{11}=0 (0 %)	Q_{12}=19 (10,2 %)	Q_{13}=133 (71,1 %)	Q_{14}=35 (18,7 %)	$\chi^2_{експ}$=8,76
	КК, n_2=188	Q_{21}=2 (1,1 %)	Q_{22}=35 (18,6 %)	Q_{23}=126 (67,0 %)	Q_{24}=25 (13,3 %)	$\chi^2_{кр}$=7,82
Магнітні явища	ЕК, n_1=187	Q_{11}=0 (0 %)	Q_{12}=9 (4,8 %)	Q_{13}=142 (75,9 %)	Q_{14}=36 (19,3 %)	$\chi^2_{експ}$=9,23
	КК, n_2=188	Q_{21}=1 (0,5 %)	Q_{22}=24 (12,8 %)	Q_{23}=136 (72,3 %)	Q_{24}=27 (14,4 %)	$\chi^2_{кр}$=7,82
Електро-магнітна індукція	ЕК, n_1=187	Q_{11}=0 (0 %)	Q_{12}=22 (11,8 %)	Q_{13}=133 (71,1 %)	Q_{14}=32 (17,1 %)	$\chi^2_{експ}$=8,52
	КК, n_2=188	Q_{21}=2 (1,1 %)	Q_{22}=39 (20,7 %)	Q_{23}=124 (66,0 %)	Q_{24}=23 (12,2 %)	$\chi^2_{кр}$=7,82

Примітка: n_1 – кількість учнів у експериментальних класах (ЕК);

n_2 – кількість учнів у контрольних класах (КК);

Q_{1i} та Q_{2i} (i = 1, 2, 3, 4) – кількість учнів відповідно у ЕК та КК, які отримали оцінки відповідно до рівнів «початковий», «середній», «достатній», «високий»;

у дужках указано відсоток учнів для кожного з рівнів оцінок.

Таблиця 4.2.

Навчальні результати для класів з непрофільним вивченням електромагнетизму.

Розділи електро-магнетизму	Класи та кількість учнів в них	Оцінки (рівень)				Критерій Пірсона
		початк.	середній	достатній	високий	
Електричні явища	ЕК, n_1=179	Q_{11}=0 (0 %)	Q_{12}=35 (19,5 %)	Q_{13}=129 (72,1 %)	Q_{14}=15 (8,4 %)	$\chi^2_{експ}$=8,28
	КК, n_2=182	Q_{21}=3 (1,7 %)	Q_{22}=52 (28,6 %)	Q_{23}=118 (64,8 %)	Q_{24}=9 (4,9 %)	$\chi^2_{кр}$=7,82
Магнітні явища	ЕК, n_1=179	Q_{11}=0 (0 %)	Q_{12}=18 (10,1 %)	Q_{13}=144 (80,4 %)	Q_{14}=17 (9,5 %)	$\chi^2_{експ}$=8,47
	КК, n_2=182	Q_{21}=1 (0,6 %)	Q_{22}=35 (19,2 %)	Q_{23}=136 (74,7 %)	Q_{24}=10 (5,5 %)	$\chi^2_{кр}$=7,82
Електро-магнітна індукція	ЕК, n_1=179	Q_{11}=0 (0 %)	Q_{12}=37 (20,7 %)	Q_{13}=130 (72,6 %)	Q_{14}=12 (6,7 %)	
	КК, n_2=182	електромагнітну індукцію у КК не вивчали				

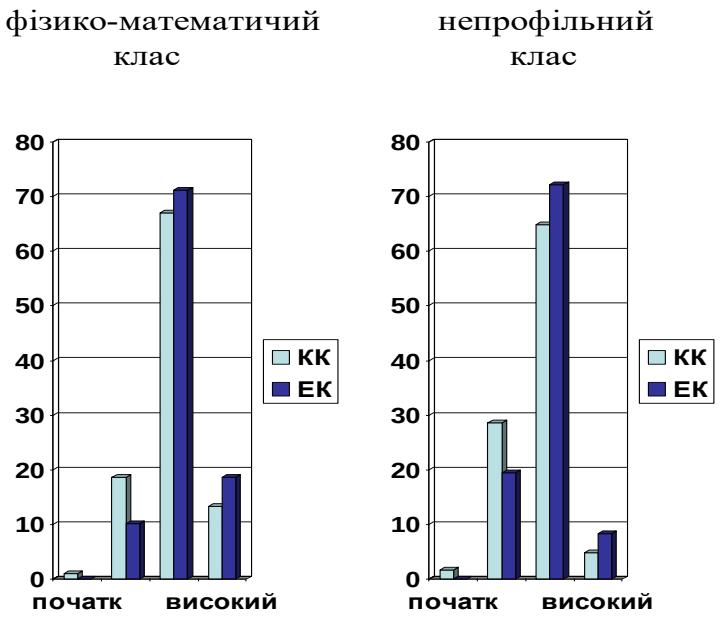


Рис.4.1. Діаграма успішності учнів при вивченні електричних явищ

Примітка: діаграми успішності при вивченні інших розділів електромагнетизму аналогічні.

Аналіз результатів формуючого експерименту свідчить, що завдяки впровадженню пропонованої методики вдалось суттєво підвищити якість знань (відсоток оцінок достатнього та високого рівня) в експериментальних класах на 8,5–10,8 % (з різних розділів електромагнетизму) за рахунок повного уникнення початкового рівня знань і зменшення частки середнього рівня знань учнів. Причому, у класах з поглибленим вивченням електромагнетизму якість знань підвищилась приблизно в однаковій мірі для достатнього та високого рівня знань; у класах з непрофільним вивченням електромагнетизму якість знань підвищилась у більшій мірі за рахунок оцінок достатнього рівня. Якість знань у класах з поглибленим вивченням електромагнетизму в цілому до 9,3 % вища, ніж у класах з непрофільним.

Найлегше учням дається розділ «Магнітні явища. Магнітне поле» (якість знань 94,2 % у класах з поглибленим та 89,9 % у класах з непрофільним вивченням електромагнетизму), оскільки він вивчається виключно на якісному рівні. Нижчими є показники якості навчання розділу «Електричні явища. Електричне поле» (якість знань відповідно 89,3 % та 80,5 %) за рахунок того, що значній частині учнів порівняно важко дається розрахунок електричних кіл зі змішаним з'єднанням провідників. Весь навчальний матеріал якісного характеру в цьому розділі дається учням значно легше. Це свідчить про недостатній рівень розвитку формального (математичного) мислення значної частки учнів та більш високий рівень їх образного (дивергентного) мислення. Явище електромагнітної індукції є об'єктивно складною темою електромагнетизму для учнів основної школи. Якість знань при її вивченні становить 88,2 % у експериментальних класах з поглибленим та 79,3 % у експериментальних класах з непрофільним вивченням електромагнетизму. Порівняно високі показники навчання зумовлені ретельним відбором доступного для учнів навчального матеріалу.

Учні експериментальних класів засвоїли значний обсяг навчального матеріалу, що не вивчався в контрольних класах: 1) якісні уявлення про електромагнітну взаємодію та про електромагнітне поле як вид матерії та як наслідок – більш повне уявлення про електричне та магнітні поля як прояви електромагнітного поля; 2) поняття про лінії електричного поля, що дозволяє поглибити уявлення учнів

про електричне поле, покращити розуміння напряму електричного струму, розкрити зміст електричної напруги як енергетичної характеристики електричного поля; 3) тема «Електричний струм у різних середовищах», що надає початкові уявлення про електричний струм в електролітах, газах, вакуумі, напівпровідниках та про плазму; 4) тема «Магнітні властивості речовини», що розкриває природу діа-, пара- та феромагнетиків і природу магнітного поля постійних магнітів; 5) якісні уявлення про силу Лоренца; 6) узагальнені уявлення про електричні та магнітні явища; 7) відомості про два типи ефектів явища електромагнітної індукції на рівні не тільки емпіричного, але й польового їх трактування; 8) відомості про відносність електричного поля та магнітного поля; 9) гіпотезу Максвелла про те, що змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле і, навпаки, що змінне електричне поле породжує магнітне поле, і як наслідок – узагальнені уявлення про «джерела» електричного поля і магнітного поля, та ін.

У ході формуючого експерименту підтверджено ефективність пропонованої методики навчання всіх відмічених у ході констатуючого та пошукового експерименту невирішених чи методично неоднозначних питань, ефективність формування узагальнених якісних уявлень з електромагнетизму, ефективність поєднання індуктивного і дедуктивного методів навчання, ефективність поєднання розвитку наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів при навчанні згідно пропонованої методики.

Нульова гіпотеза H_0: більш високі показники навчання електромагнетизму в експериментальних класах пояснюються випадковими факторами, тобто статистично контрольні та експериментальні класи однакові. Альтернативна гіпотеза H_a: ці більш високі показники є результатом використання пропонованої методики навчання. Вибірки незалежні, вимірювана властивість (рівень підсумкових оцінок) виміряна за 12-бальною шкалою, що має чотири категорії: початковий; середній; достатній; високий рівні.

Скориставшись *критерієм Пірсона* χ^2 [52], [72, с.96–106] і враховуючи, що експериментальні дані подані в формі таблиці $2\times C$, де $C = 4$ – кількість категорій, для перевірки гіпотези знаходимо значення $\chi^2_{експ}$ досліджуваної випадкової ве-

личини:

$$\chi^2_{експ} = \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \sum_{i=1}^{n} \frac{(n_1 \cdot Q_{2i} - n_2 \cdot Q_{1i})^2}{Q_{1i} + Q_{2i}} \qquad (4.1)$$

За таблицею [52, с.221], [72] для числа ступенів вільності $\nu = C - 1 = 3$ і рівня значущості α=0,05 знаходимо критичне значення величини: $\chi^2_{кр}$ = 7,82. За формулою (4.1) підраховуємо значення критерію $\chi^2_{експ}$: він лежить у межах від 8,59 до 9,23 для класів з поглибленим навчанням (табл.4.1) та від 8,28 до 8,47 (табл.4.2) для класів з непрофільним вивченням електромагнетизму (приклади розрахунку приведено у Додатку Д 3). Оскільки $\chi^2_{експ} > \chi^2_{кр}$, то відповідно до правила прийняття рішення [52], [72] отримані результати дають підставу для відхилення нульової гіпотези та прийняття альтернативної: тобто вищий рівень знань з електромагнетизму в експериментальних класах є результатом застосування пропонованої методики.

3. Стосовно готовності учнів основної школи до поглибленого вивчення електромагнетизму за умов ***допрофільної диференціації навчання*** можна відмітити наступне. Учні експериментальних класів з поглибленим вивченням електромагнетизму (шкіл нового типу) мали вищу якість знань (до 9,3 %), ніж учні експериментальних класів з непрофільним навчанням, хоча поглиблена програма значно складніша за рівнем теоретичного обґрунтування та узагальнення основних положень. За нашими дослідженнями, *переважна більшість учнів фізико-математичних класів продемонстрували готовність до поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації.*

На основі результатів формуючого експерименту (табл. 4.1) і додаткового аналізу за схемою, описаною в констатуючому експерименті, отримано наступні висновки (дані округлено): надійну готовність до поглибленого вивчення фізики продемонструвало 73% учнів, котрі показали відмінну та добру успішність і готовність вивчати фізику за поглибленою програмою; ще 11,0% учнів прагнули вивчати поглиблений курс фізики, але їх успішність знаходилась на межі задовільно – добре; усього 84% учнів досліджених фізико-математичних класів виявили готовність до вивчення фізики на поглибленому рівні; допустимим є навчання у фі-

зико-математичних класах (із врахуванням математики) 90% від загального контингенту учнів. Водночас, для 10% учнів поглиблене вивчення фізики у 8 класі виявилось передчасним. Причому, за результатами формуючого експерименту відсоток учнів фізико-математичних класів, не готових до поглибленого вивчення електромагнетизму, знизився (приблизно на 5 %) по відношенню до результатів констатуючого експерименту. Це пов'язано з тим, що пропонована методика навчання електромагнетизму стимулює мотивацію до поглибленого вивчення фізики.

Аналіз експертних оцінок засвідчує, що науковці та учителі-методисти у своїй більшості схвально характеризують пропоновану методику навчання та підтримують поглиблене вивчення електромагнетизму в основній школі.

Отже, педагогічний експеримент: а) підтверджує у класах з поглибленим та з непрофільним вивченням фізики високу ефективність запропонованої методики навчання електромагнетизму, основаної на логічному і методичному об'єднанні та підпорядкуванні всього навчального матеріалу навколо спільного теоретичного ядра – понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля разом з елементами електронної теорії, що приводить до формування узагальнених уявлень з електромагнетизму; б) підтверджує ефективність запропонованої методики навчання електромагнетизму в основній школі за навчальним посібником «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле», зміст, структура й методика навчання окремих тем якого побудовані на основі поєднання двох визначальних напрямів генералізації: 1) генералізація змісту й структури електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії; 2) явищний (феноменологічний) підхід.

Таким чином, можна зробити висновок про підтвердження гіпотези дисертаційного дослідження не тільки про доцільність формування у свідомості учнів на якісному рівні понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля саме в основній школі, але й про ефективність побудови змісту, структури й методики навчання електромагнетизму як у класах з поглибленим (за умов допрофільної диференціації), так і у класах з непрофільним вивченням фізики на зазначених засадах генералізації.

Висновки розділу 3

Педагогічний експеримент здійснювався в три етапи (констатуючий, пошуковий, формуючий експеримент) і тривав сім навчальних років – з 1999/2000 н.р. по 2005/2006 н.р. У експерименті брали участь учні Жовтневого й Саксаганського ліцеїв та учні гімназій № 91 і № 49 м. Кривого Рогу – всього 855 учнів, у тому числі 436 учнів із класів, у яких фізика є профільним предметом, та 419 – із класів, у яких фізика є непрофільним предметом. Уроки й експеримент у фізико-математичних класах Жовтневого ліцею проводив безпосередньо здобувач; у інших класах експериментом керував здобувач, а уроки проводили інші учителі – переважно учителі-методисти вищої категорії. Експеримент здійснювався в умовах реального процесу навчання.

1. ***Констатуючий експеримент*** підтвердив підсумки теоретичного аналізу й дав наступні основні результати: 1) переважна більшість учнів опановує основні питання електромагнетизму, а традиційна методика навчання електромагнетизму є доступною для переважної більшості учнів основної школи; 2) виявлено які проблеми виникають в учнів при вивченні електричних явищ, магнітних явищ, електромагнітної індукції та проаналізовано основні причини кожної з виявлених проблем; 3) визначено основні аспекти проблеми дослідження та встановлено можливі напрямки вирішення виявлених недоліків у дусі вимог «Державного стандарту базової і повної середньої освіти» [82], [83], який передбачає надання учням цілісних уявлень з електромагнетизму в основній школі.

2. ***Пошуковий експеримент*** дозволив здійснити наступне.

- Перевірено три підходи до вивчення понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля і виявлено, що найбільш логічно послідовним і методично несуперечливим є підхід, у якому побудова змісту, структури й методики навчання електромагнетизму здійснена завдяки *поєднанню двох визначальних напрямів генералізації*: 1) *генералізація змісту й структури електромагнетизму на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії*; 2) *явищний* (*феноменологічний*) *підхід*.

- Здійснено онтодидактичне опрацювання навчального матеріалу та *вдосконалено структуру й зміст* електромагнетизму відповідно до вибраних напрямів генералізації, завдяки чому вдалось вирішити проблеми, характерні для традиційної методики, і розробити принципово нову методику навчання електромагнетизму. Розроблено *навчальний посібник з електромагнетизму* для класів з поглибленим та підготовлено до друку навчальний посібник для класів з непрофільним вивченням фізики в основній школі. Розроблено методичні рекомендації для учителів, навчальні програми і тематичне планування до посібників.

- Удосконалено і покроково відпрацьовано методику навчання всіх тем електромагнетизму, насамперед тих, які відсутні в традиційній методиці чи становлять значну проблему для учнів. Виявлено основні проблеми, які виникають в учнів при вивченні електромагнетизму за вдосконаленою методикою. З'ясовано основні причини кожної із зазначених проблем, відкориговано методику, складні для учнів питання перенесено в ранг додаткового навчального матеріалу. Це стосувалось як класів з поглибленим вивченням фізики за умов *диференціації навчання*, так і класів, у яких фізику вивчали за непрофільною програмою.

- Зважаючи на особливе значення *фізичного експерименту* в основній школі, модифіковано й удосконалено демонстраційний експеримент відповідно до вибраної методики навчання електромагнетизму.

3. ***Формуючий експеримент*** проводився з дотриманням вимог щодо застосування статистичних методів опрацювання результатів педагогічних досліджень: вибірки були однорідні та незалежні, уроки в усіх контрольних і експериментальних класах проводили одні й ті самі учителі. Остаточно аналіз та підсумки педагогічного експерименту здійснювались на основі участі в них 736 (375/361) учнів, з яких 366 (187/179) входили до дванадцяти (6/6) експериментальних класів, та 370 (188/182) учнів – до дванадцяти (6/6) контрольних класів (у чисельнику приведено дані для класів з поглибленим, а у знаменнику – для класів з непрофільним вивченням фізики). До уваги брали, насамперед, підсумкові оцінки з трьох розділів «Електричні явища», «Магнітні явища», «Електромагнітна індукція», які аналізували статистичними методами з використанням двохстороннього критерію

χ^2 (критерій Пірсона). Оцінювання в контрольних класах здійснювалось згідно традиційної навчальної програми, у експериментальних класах – згідно пропонованої розширеної програми зі значним обсягом додаткового матеріалу з підвищеним рівнем теоретичного обґрунтування та узагальнення.

Аналіз результатів формуючого експерименту засвідчив наступне.

- Завдяки впровадженню пропонованої методики вдалось суттєво підвищити якість знань у експериментальних класах (біля 10 %) за рахунок повного уникнення початкового рівня та зменшення частки середнього рівня знань учнів. Експериментальне значення критерію Пірсона $\chi^2_{експ}$ лежить у межах від 8,59 до 9,23 для класів з поглибленим та від 8,28 до 8,47 для класів з непрофільним навчанням електромагнетизму; критичне його значення $\chi^2_{кр} = 7{,}82$ (рівень значущості α=0,05). Оскільки $\chi^2_{експ} > \chi^2_{кр}$, то статистично підтверджено, що вищий рівень знань у експериментальних класах є результатом застосування пропонованої методики.

- Учні експериментальних класів не тільки мали кращі показники навчання, але й засвоїли значний обсяг навчального матеріалу, що не вивчався в контрольних класах: 1) якісні уявлення про електромагнітну взаємодію та про електромагнітне поле як вид матерії та як наслідок – більш повне уявлення про електричне поле та магнітне поле як прояви електромагнітного поля; 2) поняття про лінії електричного поля; 3) тема «Електричний струм у різних середовищах»; 4) тема «Магнітні властивості речовини»; 5) якісні уявлення про силу Лоренца; 6) узагальнені уявлення про електричні та магнітні явища; 7) відомості про два типи ефектів явища електромагнітної індукції на рівні не тільки емпіричного, але й польового їх трактування; 8) відомості про відносність електричного й магнітного полів; 9) гіпотезу Максвелла про те, що змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле і, навпаки, що змінне електричне поле породжує магнітне поле, і як наслідок – узагальнені уявлення про «джерела» електричного поля і магнітного поля, та ін.

- Підтверджено ефективність пропонованої методики навчання всіх відмічених у ході констатуючого та пошукового експерименту невирішених чи мето-

дично неоднозначних питань, ефективність формування узагальнених якісних уявлень з електромагнетизму, ефективність поєднання індуктивного і дедуктивного методів навчання.

- Підтверджено високу ефективність навчання електромагнетизму в основній школі за розробленим навчальним посібником «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле» у класах як із поглибленим, так із непрофільним вивченням фізики.

- Стосовно готовності учнів основної школи до поглибленого вивчення електромагнетизму за умов ***допрофільної диференціації навчання*** можна відмітити наступне. Учні експериментальних класів з поглибленим вивченням електромагнетизму (шкіл нового типу) мали вищу якість знань (до 9,3 %), ніж учні експериментальних класів з непрофільним навчанням, хоча поглиблена програма значно складніша за рівнем теоретичного обґрунтування та узагальнення основних положень. За нашими дослідженнями, *переважна більшість учнів фізико-математичних класів продемонстрували готовність до поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації*. Водночас, для десяти відсотків учнів поглиблене вивчення фізики у 8 класі 11-річної школи виявилось передчасним. Останнє свідчить про необхідність виваженого відбору учнів для поглибленого вивчення фізики в підлітковому віці.

- Аналіз експертних оцінок засвідчує, що науковці та учителі-методисти у своїй більшості схвально характеризують пропоновану методику навчання електромагнетизму.

- Отже, *педагогічний експеримент підтверджує гіпотезу дисертаційного дослідження* стосовно ефективності й результативності запропонованої методики навчання електромагнетизму в основній школі, побудованої на засадах генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму за умов диференціації навчання, та свідчить про *досягнення мети дослідження*.

ВИСНОВКИ

1. На основі *аналізу сучасного стану методики навчання електромагнетизму в основній школі* розкрито здобутки традиційної методики, яка надає учням достатньо об'ємну і певним чином упорядковану систему знань з електромагнетизму, та виявлено основні невирішені проблеми: електричні й магнітні явища та електромагнітну індукцію вивчають відносно відокремлено, недостатньо розкриваючи їх фізичну суть; навчання електромагнетизму в основній школі не надає жодних уявлень про електромагнітне поле, не має об'єднуючої основи й потребує подальшого вдосконалення у зв'язку з переходом до 12-річної середньої освіти.

2. При вдосконаленні методики навчання електромагнетизму: ураховано, що основним когнітивним новоутворенням підліткового віку є *формальне мислення*, але рівень його сформованості має дуже широкі межі; поєднано розвиток наочно-образного й емпіричного та абстрактного й теоретичного мислення учнів; поєднано індуктивний і дедуктивний підходи у навчанні; упроваджено ідеї та теорії провідної ролі навчання в розумовому розвитку учнів, поетапного формування розумових дій, розвиваючого, проблемного навчання.

3. Проаналізовано суть і особливості *профільної диференціації*, яка стає головним видом диференціації в старших класах, та *допрофільної підготовки*, що запроваджується у 8–9 класах основної школи за 12-річного терміну навчання. Зроблено висновок, що поряд з безпрофільним навчанням основного загалу учнів основної школи як доповнення до цієї загальної тенденції ***існують підстави для запровадження поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації навчання в основній школі*** нового типу за рахунок передбаченого у Державному стандарті перерозподілу між освітніми галузями до п'ятнадцяти відсотків інваріантної частини навчального часу та у формі факультативних занять; це сприяє розвиткові талановитої та творчо обдарованої молоді.

4. Розкрито суть ***генералізації*** *навчального матеріалу* як одного з найефективніших засобів удосконалення шкільного курсу фізики та проаналізовано особливості генералізації навчального матеріалу курсу фізики основної школи.

Дістала подальший розвиток ідея поєднання в базовому курсі фізики основ-

ної школи явищного (феноменологічного) підходу та початкових відомостей відповідних фізичних теорій (О. І. Бугайов, О. І. Ляшенко, М. Т. Мартинюк).

5. Вибудовано засади генералізації електромагнетизму в основній школі.

Розширено зміст поняття «генералізація» за рахунок використання термінів «генералізація змісту й структури навчального предмету (фізики)», «генералізація змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму» (або його скорочений аналог «генералізація електромагнетизму»).

Дістали подальший розвиток ідеї, що об'єднуючою основою при вивченні всіх тем електромагнетизму можуть служити адаптовані до сприйняття учнями основної школи поняття електромагнітного поля (С. Є. Каменецький) та поняття електромагнітної взаємодії (В. В. Мултановський). Обґрунтовано ефективність сумісного використання цих двох об'єднуючих понять.

Уперше обґрунтовано, що *генералізація навчального матеріалу з електромагнетизму може здійснюватись на основі адаптованих до основної школи понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля*, які доцільно формувати у свідомості учнів на якісному рівні саме в основній школі.

Уперше концептуально обґрунтовано наступне: оскільки генералізація електромагнетизму передбачає повноцінне використання елементів електронної теорії, а для всього курсу фізики основної школи в цілому характерним є явищний підхід, то при генералізації змісту, структури й навчального матеріалу з електромагнетизму ми *поєднуємо два визначальні напрями генералізації*: 1) ***генералізація на основі понять електромагнітної взаємодії та електромагнітного поля, а також елементів електронної теорії***; 2) ***явищний*** (***феноменологічний***) ***підхід***. Це сприяє формуванню узагальнених уявлень з електромагнетизму.

6. Відповідно до вибраних напрямів генералізації розроблено зміст і структуру навчання електромагнетизму, що дозволило вирішити проблеми, характерні для традиційної методики, і привело до побудови принципово нової методики навчання електромагнетизму в основній школі.

Весь навчальний матеріал з електромагнетизму об'єднуємо в *розділ фізики* «***Електромагнітні явища***. ***Електромагнітне поле***». Виокремлюємо змістовий

модуль 1 «Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле», який є розширеним вступом до електромагнетизму й центральною ланкою його генералізації; у ньому індуктивним шляхом формуємо початкові, достатньо узагальнені якісні уявлення учнів про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле. Ці уявлення застосовуємо й поглиблюємо, конкретизуємо й збагачуємо при подальшому вивченні електромагнітних явищ шляхом поєднання дедукції та індукції у трьох розділах: «Електричні явища. Електричне поле» (змістові модулі 2, 3, 4); «Магнітні явища. Магнітне поле» (змістові модулі 5, 6); «Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле» (змістові модулі 7, 8).

7. Розроблено ***навчальний посібник*** з електромагнетизму для класів з поглибленим і підготовлено до друку навчальний посібник для класів з непрофільним вивченням фізики в основній школі. Розроблено методичні рекомендації для учителів, навчальні програми й тематичне планування до посібників.

Удосконалено методику навчання цілого ряду тем електромагнетизму (в кожному змістовому модулі). Модифіковано й удосконалено демонстраційний фізичний експеримент.

8. Ефективність і результативність запропонованої методики для класів з поглибленим і непрофільним вивченням фізики перевірено в ході *педагогічного експерименту* з дотриманням усіх вимог щодо застосування статистичних методів опрацювання результатів. ***Підтверджено готовність учнів основної школи до поглибленого вивчення електромагнетизму в умовах допрофільної диференціації навчання*** (на прикладі фізико-математичних класів шкіл нового типу).

Результати педагогічного експерименту свідчать про підтвердження гіпотези та досягнення мети дослідження.

9. Робота може бути продовжена в наступних напрямах: подальше вдосконалення дидактичного забезпечення; удосконалення системи фізичного експерименту; розробка електронного підручника з відповідною системою динамічних демонстрацій, активних завдань, вправ і тестів; побудова методики навчання електромагнітних коливань і хвиль, у якій вчення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле отримало б логічно завершений вид на рівні основної школи.

ДОДАТКИ

Додатки А

Аналіз сучасного стану методики навчання електромагнетизму в основній школі (до підрозділу 1.1)

Додаток А 1

Особливості змісту і структури електромагнетизму в основній школі

1. Зміст і структура електромагнетизму в основній школі у 1967–1991 роках.

До 1988 року включно всі теми електромагнетизму, як і наприкінці 1950 років, були об'єднані в розділ фізики «Електрика» [197], [225], [199]–[202], [226]. Правда, сам термін «розділ» використовували тільки у відповідних посібниках з методики [198], [9], [209], [164], [210], [43], [211]. До «Електрики» входили чотири змістові модулі: три перші з них «Будова атома», «Сила струму, напруга, опір», «Робота і потужність електричного струму» стосувались власне електричних явищ; у четвертому змістовому модулі «Електромагнітні явища» вивчали як магнітні явища, так і електромагнітну індукцію. Як бачимо, назва «Електрика» неадекватно відображала зміст навчального матеріалу, оскільки вивчали не тільки електричні явища, але й магнітні явища та явище електромагнітної індукції.

Протягом 1967–1990 років відбулись певні зміни як у побудові загальної структури, так і в методиці вивчення окремих тем електромагнетизму. Це відображено в навчальній програмі з фізики 1981 р., у програмі одинадцятирічної школи за 1985 р. [213], у програмі середньої загальноосвітньої школи за 1989 р. [214], [273]. Суттєві зміни відбулись при переході до 11-річного терміну навчання, починаючи з ***1989*** року [228], [229], [204]. Зникло об'єднання всіх тем електромагнетизму в єдину макроструктуру. Натомість виокремили два структурних об'єднання (на зразок розділів): «Електричні явища» і «Електромагнітні явища». У відповідному методичному посібнику [166] кожне зі структурних об'єднань іменували як «тема». Причому в «темі» (розділі) «Електромагнітні явища» вивчали, по суті, тільки власне магнітні явища, а явище електромагнітної індукції в основній школі виявилось поза межами програми [214], [273] та підручників.

1967–1991 роки характеризуються посиленою розробкою теорії та методики навчання тем електромагнетизму в основній школі радянської школи [198], [9], [209]–[211], [53], [164]–[166], [112], [13], [43], [186], [238], методичних посібників для вчителів [264], [248], [266], [71], [7], [173], [172], [70], посібників з методики й техніки шкільного фізичного експерименту [78], [287], [135], [170], [278], [55], збірників задач і методичних посібників по розв'язуванню задач [98], [92], [259], [4], [147], [111], дидактичних матеріалів [89], [6], [279], [12], [282], [178], [265], [119], [104], [208], [245], [233], додаткової літератури [10], [193], [117], [118], [60], [143], [246]. Посилено розробляються різні аспекти методики навчання електромагнетизму у дисертаційних дослідженнях [5], [237], [113]–[115], [232], [46], [47], [189].

2. Особливості змісту й структури електромагнетизму в основній школі наприкінці XX – на початку XXI ст. в Україні.

У 1990 роках в період побудови середньої освіти в Україні як суверенній незалежній державі посилюється розробка дидактичного забезпечення навчання електромагнетизму в основній школі, орієнтованого, перш за все, на впровадження диференціації навчання: збірники різнорівневих задач [59], [116], різнорівневі завдання для контрольних робіт [69], додаткова література [68].

У 1992–1999 роках українські методисти О. І. Бугайов, М. Т. Мартинюк розробляють новий пробний інтегрований курс фізики і астрономії та підручники для 7–9 класів [216], [15], [16]. Відмітимо ряд особливостей цієї методичної системи.

1. Основні теми електромагнетизму об'єднано в частину фізики «Електромагнітні явища», до складу якої у 8 класі входять три розділи [15]: «Електричний струм. Електричне коло»; «Електрична енергія. Робота і потужність струму»; «Магнітне поле». Ще один розділ «Електричні заряди. Будова атомів» відноситься структурно до попередньої частини фізики «Будова речовини. Теплові явища» і вивчається на початку 8 класу перед вивченням розділу «Будова речовини» (це дає ряд суттєвих переваг при вивченні будови речовини, але, на жаль, відриває вказаний розділ від всієї частини фізики «Електромагнітні явища»). У 9 класі їх продовжують розділи «Електромагнітна індукція», «Електричні властивості напі-

впровідників. Напівпровідникові прилади», а також розділи, котрі стосуються електромагнітних коливань і хвиль та елементів радіотехніки [16].

2. У кінці кожного розділу сформульовано загальні висновки.

3. Орієнтація на впровадження диференціації навчання: виділення навчального матеріалу, що підлягає обов'язковому вивченню всіма учнями, та додаткового – для учнів, котрі бажають вивчати фізику й астрономію на поглибленому рівні.

Наприкінці XX – на початку XXI ст. українські методисти Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко розробляють нові підручники з фізики, у тому числі й для основної школи [128]–[132]. Зазначимо, що нові підручники відрізняються: 1) більш чіткою структурою, дещо іншою методикою й послідовністю вивчення ряду тем електромагнетизму; 2) вивченням окремих тем, які відсутні в радянських підручниках; 3) наявністю загальних висновків у кінці кожного розділу та деяких параграфів. У підручниках структурно виокремлюють два розділи: «Електричні явища» та «Електромагнітні явища» без об'єднання всіх тем електромагнетизму в одну цілу макроструктуру. Зміст навчального матеріалу підручників відповідає програмам з фізики за 2000 р. та 2001 р. [218]. Явище електромагнітної індукції в нових підручниках [128]–[132], як і в останніх варіантах радянських підручників [228], [229], [204], не розглядають.

Критичний аналіз досягнень, проблем і перспектив розвитку шкільних підручників основної школи (починаючи з 1989 р.), здійснено О. В. Сергєєвим [241]. Продовжується робота по створенню нових підручників фізики для 12-річної школи. Так, О. І. Бугайов та М. Т. Мартинюк [19] обґрунтовують проект програми базового курсу фізики (без інтеграції з астрономією) для 7–9 класів 12-річної загальноосвітньої школи, який є вдосконаленим варіантом розроблених ними раніше курсів фізики для 7–9 класів [15], [16]. У цьому напрямі створюються й електронні підручники, точніше програмно-методичні комплекси [20].

3. Загальна характеристика методики навчання електромагнетизму в основній школі Росії наприкінці XX – початку XXI ст.

Продовжується вдосконалення методики навчання фізики на основі традицій радянської методики, узагальненої в посібниках за редакцією С. Є. Каменецького

[256], [257], і запровадження нового підручника А. В. Пьоришкіна [205]. У цьому випадку сукупність тем електромагнетизму вивчають у межах шести структурних об'єднань (на зразок розділів): три перші з них стосуються електричних явищ, четверте – магнітних явищ і магнітного поля, п'яте – електромагнітних явищ (явища електромагнітної індукції), шосте – напівпровідників і напівпровідникових приладів. Найсуттєвіші зміни по відношенню до останніх підручників радянських часів [228], [229], [204] полягають у наступному: 1) повернення в основну школу пропедевтичного вивчення явища електромагнітної індукції, подібно до того як це було до 1988 року [197], [225], [199]–[202], [226]; 2) виокремлення розділу, що стосується напівпровідників і напівпровідникових приладів; 3) більш чітке структурування навчального матеріалу, але без належного найменування структурних об'єднань (так, у методичному посібнику [257] «Електричні явища» та «Електромагнітні явища» іменуються як «теми»).

Розробляють інтегрований курс фізики і астрономії у 7–9 класах та методичний посібник за редакцією А. А. Пінського [167]. У цілому структура курсу електромагнетизму за цього підходу в російському [167] та українському [15], [16] варіантах подібна між собою, але є цілий ряд суттєвих відмінностей.

Методична система вивчення електромагнітних явищ, розроблена під керівництвом О. В. Пьоришкіна nf Н. О. Родіної наприкінці 1960 років, виявилась достатньо вдалою й не тільки діяла з незначними змінами до 1990 років у радянський період, але й була взята за основу для подальшого її вдосконалення в кінці XX ст. як у Росії, так і в Україні. Спільних рис між радянською та новими методичними системами залишилось більше, ніж запроваджених відмінностей.

Додаток А 2

Аналіз змісту, структури й послідовності вивчення тем змістового модуля 1 «Електризація тіл. Електричний заряд. Будова атомів»

У підручниках О. В. Пьоришкіна та Н. О. Родіної 1969–1988 років [197], [225], [199]–[202], [226] та у відповідних методичних посібниках [198], [9], [209]–[211], [164], [43] виділяли структурне об'єднання «Будова атомів» (змістовий мо-

дуль 1), до якого входили наступні параграфи (теми): 1. Електризація тіл при стиканні. Електричний заряд. 2. Два роди зарядів. Взаємодія заряджених тіл. 3. Електроскоп. Провідники і непровідники електрики. 4. Електричне поле. 5. Подільність електричного заряду. 6. Досліди Йоффе і Міллікена. Електрон. 7 Дослід Резерфорда. Ядерна модель атома. 8. Будова атомів. 9. Пояснення електричних явищ.

Починаючи з 1989 р., можна відмітити дві особливості змісту [228], [229], [204]. По-перше, зникло виокремлення вказаних вище параграфів (тем) в окремий навчальний модуль. На наш погляд, відмова від існуючої раніше системи структурування не сприяла покращенню побудови загальної структури електромагнетизму. По-друге, усередині самого змістового модуля 1, навпаки, відбулось позитивне укрупнення структурних одиниць змісту: об'єднання параграфів (тем) 5 і 6 в один «Подільність електричного заряду. Електрон»; об'єднання параграфів 7 і 8 в один «Будова атомів». Крім того, скоротили формулювання першого параграфу до назви «Електризація тіл».

Подібна побудова змісту характерна й для підручників українських методистів Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [128]–[132] і відповідного методичного посібника [263]. Продовжилось позитивне укрупнення структурних одиниць змісту: перші три параграфи об'єднано у два – 1. «Електризація тіл. Два роди зарядів» та 2. «Взаємодія заряджених тіл. Провідники і непровідники електрики». Крім того, для посилення уявлень учнів про електричне поле замість параграфу «Електричне поле» появився параграф «Електричне поле. Закон Кулона».

У цьому ж дусі побудовано зміст основного матеріалу в підручнику українських авторів О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15] та відповідному методичному посібнику [156]. Додатково (до радянського варіанту) об'єднано перші два параграфи у один «Електризація тіл. Електричний заряд» [15, с. 8–11]. У якості додаткового матеріалу (в рамках диференціації навчання) запропоновано параграф «Закон Кулона» [15, с. 16–19] і тему «Відкриття електрона» [15, с. 24–27].

У методичному посібнику [166, с. 259–266] розкриття методики вивчення матеріалу змістового модуля 1 здійснено в межах двох параграфів: «Електризація

тіл» і «Будова атомів». Це оправдано наступним. Вивчення електризації тіл, поняття про електричний заряд, двох родів заряду, взаємодії заряджених тіл, електроскопу, провідників і непровідників електрики, поняття про електричне поле, подільності електричного заряду здійснюється емпірично з використанням індукції як методу пізнання. Тоді як ознайомлення з існуванням електрона та будовою атома дає широку можливість для застосування дедукції при поясненні механізму електризації та використання елементів електронної теорії при подальшому вивченні електромагнетизму. У підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15] перераховані питання вивчають у межах розділу «Електричні заряди. Будова атомів». Саме ці міркування допомогли нам озаглавити змістовий модуль 1.

Додаток А 3

Електризація тіл. Два види зарядів. Взаємодія заряджених тіл

Автори підручників [197], [225], [199]–[202], [226], [228], [229], [204, с. 51], [128]–[132, с. 69–70], [15, с. 8–11] і методичних посібників висвітлюють зазначені теми близьким чином, тільки дещо по різному розставляють акценти.

У методичних системах О. В. Пьоришкіна і Н. О. Родіної та Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка проводять традиційні досліди з наелектризованими ебонітовими (об хутро чи вовну) та скляними (об шовк чи сухий папір) паличками, одна з яких підвішена: а) відштовхування між собою двох ебонітових паличок; б) відштовхування між собою двох скляних паличок; в) притягання між ебонітовою та скляною паличками; в) взаємодія підвішеної ебонітової палички з наелектризованими тілами з різних речовин – гуми, плексигласу, пластмаси, тощо. На основі цих дослідів обґрунтовують два важливі висновки: 1) «є два роди електричних зарядів – позитивні і негативні» (паралельно вказують, який заряд назвали позитивним, а який – негативним); 2) «тіла, що мають електричний заряд однакового знаку, взаємно відштовхуються, а тіла, що мають заряди протилежного знаку, взаємно притягуються» [228], [229], [204, с. 51].

У підручнику О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка в рамках параграфу «Електризація тіл. Електричний заряд» [15, с. 8–11] для обґрунтування подібних висновків

проводять досліди з гільзами зі станіолевої фольги, котрі заряджають від наелектризованих тертям скляної чи ебонітової паличок. Аналогічні досліди рекомендують використовувати в методичному посібнику [287, с. 120–123]. На наш погляд, на початковому етапі вивчення електричних явищ, коли учні ще не можуть уявити собі процес передачі електричного заряду від наелектризованих паличок до гільзи, краще використовувати досліди з якомога простішим процесом заряджання кожного з тіл. У всіх вітчизняних підручниках є одна термінологічна відмінність: замість терміну «два роди заряду» використовують термін «два види заряду» [15, с. 9,10] чи обидва ці терміни [129], [131], [132, с. 69–71]. До речі, у методичних посібниках за редакцією О. В. Пьоришкіна [210], [43], на відміну від підручників за його авторством, говорять про два види електричного заряду.

Використання яскравих демонстрацій, пов’язаних з електричною взаємодією, таких як «літаюча ватка, електричний танок клаптиків паперу, електрична мильна куля, грозова злива в кімнаті» описано у роботі [22].

Додаток А 4

Електричне поле

Згідно традиційної методики О. В. Пьоришкіна та Н. О. Родіної [201], [202], [226], [228], [229], [204] спочатку актуалізують знання учнів про електричну взаємодію наелектризованих тіл і задають питання проблемного характеру: «Як передається дія одного наелектризованого тіла на інше ?» [228], [229, с. 53, 54]. Висловлюють гіпотезу, чи не передається електрична взаємодія через повітря ? Перевіряють на досліді, що електрична взаємодія існує і у вакуумі (безповітряному просторі). Логічним шляхом і посилаючись на дослідження Фарадея та Максвела, підводять учнів до висновку, що електрична взаємодія передається через матеріальний посередник, що «У просторі навколо електричного заряду існує електричне поле». Пояснюють, що електричне поле є видом матерії, відмінним від речовини. Зазначають, що оскільки людина своїми органами чуття безпосередньо не сприймає електричного поля, то про його існування роблять висновок лише за його діями на «електричний заряд». Вводять поняття електричної сили, як сили, «з якою

електричне поле діє на внесений в нього електричний заряд». На завершення дослідним шляхом показують, що «поблизу заряджених тіл поле діє сильніше, а з віддаленням від них воно слабшає».

Подібною до радянської є методика введення поняття електричного поля у вітчизняних підручниках О. І. Бугайова, М. Т. Мартинюка [15, с. 20–23].

У всіх вітчизняних підручниках уявлення учнів про електричне поле посилюють вивченням закону Кулона [129], [131], [132, с. 75–76], [15, с. 16–19]. На нашу думку, пропедевтичне ознайомлення з законом Кулона в основній школі доцільно за умови, якщо в сьомому класі вивчати закон всесвітнього тяжіння. У такому разі можна здійснити порівняння гравітаційної та електричної взаємодій і підкреслити єдність фізичних законів у Природі. Традиційна ж методика висвітлює закон всесвітнього тяжіння у сьомому класі тільки частково без математичного його запису як у радянських [200]–[202], [226], [203], [227], так і у вітчизняних підручниках.

Додаток А 5

Аналіз змісту, структури й послідовності вивчення тем змістового модуля 2 «Електричний струм. Сила струму, електрична напруга, електричний опір, закон Ома. Робота і потужність електричного струму»

У 1969–1988 роках зазначені теми об’єднували у змістовому модулі 2, до якого входили наступні параграфи (теми) [200]–[202], [226]: 1.Електричний струм (ЕС). 2. Джерела електричного струму. 3. Електричне коло і його складові частини. 4. ЕС у металах. 5. ЕС у розчинах електролітів. 6. Дії електричного струму. 7. Напрям електричного струму. 8. Сила струму. Одиниці сили струму. 9. Амперметр. Вимірювання сили струму. 10. Електрична напруга. 11. Одиниці напруги. 12. Вольтметр. Вимірювання напруги. 13. Залежність сили струму від напруги. 14. Електричний опір провідників. Одиниці опору. 15. Закон Ома для ділянки кола. 16. Розрахунок опору провідника. Питомий опір. 17. Приклади на розрахунок опору провідника, сили струму і напруги. 18. Реостати. 19. Послідовне з’єднання провідників. 20. Паралельне з’єднання провідників.

Починаючи з 1989 р. [228], [229], [204] всередині змістового модуля 2 (який перестали виділяти в окреме структурне об'єднання) відбулось позитивне укрупнення параграфів: об'єднання § 1 і § 2 в один; § 5 і § 6 в один «Дії електричного струму» (точніше параграф 5 видалили, взявши із нього тільки найважливіше).

Укрупнення структурних одиниць змісту продовжилось і в підручниках українських методистів Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка [128]–[132]: об'єднання параграфів (тем) 4 і 7 в один – «Електричний струм у металах. Напрям струму» [129, с. 92–94] чи «Природа електричного струму. Напрям струму» [132, с. 92–94]; об'єднання параграфів (тем) 8 і 9 в один – «Сила струму та її вимірювання»; об'єднання трьох параграфів 10, 11 і 12 в один – «Електрична напруга та її вимірювання»; об'єднання параграфів 14 і 16 в один –«Електричний опір. Залежність опору провідників від їх геометричних розмірів та речовини. Питомий опір»; об'єднання параграфів 13 і 15 в один –«Закон Ома для ділянки кола»; відмовились від окремого параграфу 17 з прикладами розв'язування задач, оскільки конкретні приклади розв'язування задач перенесено в попередні параграфи. Щоправда, знову відокремили параграфи 1 і 2, що пов'язано з введенням поняття електричного струму з посиланням на дослід Ерстеда [129], [131], [132, с. 84–86].

Для підручників О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної та Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка, навчальний матеріал розкривають у послідовності: сила струму → електрична напруга → електричний опір → закон Ома.

У вітчизняних підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15] змістовий модуль 2 виокремлено у розділ «Електричний струм. Електричне коло», що складається з наступних параграфів: 1. Електричний струм у металевих провідниках. 2. Джерела електричного струму. 3. Початкові відомості про електричне коло. Напрям електричного струму. Дії струму. 4. Електрична напруга та її вимірювання. 5. Сила струму та її вимірювання. 6. Закон Ома. Провідність і опір. 7. Резистори. Реостати. Потенціометри. 8. Послідовне з'єднання провідників. 9. Паралельне з'єднання провідників. 10. Електричний струм у рідинах. 11. Електричний струм у газах.

Початок розділу (параграфи 1–3) в цілому традиційний з укрупненням навча-

льного матеріалу (особливо параграфу 3). Після цього навчальний матеріал розгортають у послідовності: електрична напруга → сила струму → закон Ома та електричний опір. Завершується змістовий модуль 2 у підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка вивченням електричного струму в електролітах (подібний параграф був у перших пореформених радянських підручника) та газах (цю тему в основній школі до цього не розглядали).

Додаток А 6

Електричний струм і його напрям. Природа електричного струму. Дії електричного струму

У радянській методиці О.В. Пьоришкіна та Н.О. Родіної [228], [229, с. 62–63] при висвітленні поняття електричного струму дотримуються наступної послідовності: 1) згадують про заряджені частинки, які можуть переміщатись у провідниках – електрони та іони; 2) дають означення електричного струму; 3) логічним міркуванням допомагають учням зрозуміти, щоб дістати електричний струм у провіднику, треба створити і весь час підтримувати в ньому електричне поле, тобто необхідно мати джерело електричного струму. При вивченні природи електричного струму спочатку вивчають будову металів та електронну природу електричного струму в них і тільки через параграф коротко зазначають про носії електричного струму в електролітах (про носії струму в газах не згадують взагалі) та вводять поняття напряму електричного струму [228], [229, с. 67–71]. Унаслідок цього в багатьох учнів виникають неповні, а то й хибні уявлення про природу електричного струму в різних середовищах.

У вітчизняній методиці О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 198–200] послідовність вивчення матеріалу наступна: 1) дають означення електричного струму; 2) на прикладі металів (будову яких вивчили раніше) розкривають, що провідність металів зумовлена наявністю вільних електронів; 3) коротко зазначають, що для існування електричного струму «треба, щоб заряджені частинки мали змогу рухатись (були «вільними», як це є у провіднику) і аби щось їх рухало (цим рушієм може бути електричне поле)». Перевагою такої послідовності є введення

поняття електричного струму на конкретному прикладі, виходячи з будови металів. Але відсутнє навіть коротке згадування про те, що електричний струм може також бути пов'язаний зі впорядкованим рухом іонів. Останні відомості учні отримують тільки в кінці змістового модуля 2 при вивченні електричного струму в електролітах та газах [15, с. 255–273]. Це створює певні методичні труднощі, наприклад, при висвітленні питання напряму електричного струму [15, с. 209–210], тому що до цього не згадувалось про позитивно заряджені носії електричного струму.

У вітчизняній методиці [129], [131], [132, с. 84–86] запроваджено іншу послідовність: 1) показують на основі досліду Ерстеда, що електричний струм легко виявити за його магнітною дією; 2) розглядають будову металу і на цій основі обґрунтовують, що являє собою струм провідності (у металах); 3) додатково надають короткі уявлення про інерційний та конвекційний електричний струм; 4) дають означення електричного струму. Аналіз ефективності такого підходу міститься в пункті 1.1.2 основного тексту дисертаційної роботи.

При вивченні природи електричного струму, в одному параграфі вдало поєднано три питання [129], [131], [132, с. 92–94]: 1) традиційний підхід до висвітлення природи електричного струму в металах; 2) коротке висвітлення природи носіїв електричного струму (без аналізу механізму їх утворення) в розчинах кислот, лугів, солей (термін електроліт не вживають) і в газах; 3) введення поняття напряму електричного струму. Вивчення вказаних питань єдиним блоком сприяє формуванню вірних уявлень про природу електричного струму в різних середовищах і його напрям.

Спільним для всіх методик є недостатнє розкриття механізму утворення іонів у електролітах та газах (у радянській методиці, починаючи з 1989 р., про носії електричного струму в газах не згадують взагалі – вивчення цього питання переносять в старшу школу). Відмітимо, що до 1988 р. включно, в радянських підручниках [197], [225], [200]–[202], [226], [198], [9], [209], [164], [210], [43], [211] питання природи електричного струму в електролітах було висвітлене в значній мірі. Недостатньо був розкритим тільки механізм розпаду молекул електроліту з

утворенням позитивно та негативно заряджених іонів (процесу електролітичної дисоціації), а також механізм нейтралізації іонів на поверхні електродів. У подальшому вивчення цієї теми в радянських підручниках було перенесено в старші класи, а в основній школі, на жаль, настільки «урізане», що для більшості учнів вона виявилась малозрозумілою.

У вітчизняному підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 255–261] наприкінці змістового модуля 2 відновлено вивчення питання електричного струму в електролітах. Більш детально висвітлено природу електричного струму в електролітах, процес електролітичної дисоціації, механізм нейтралізації іонів на поверхні електродів, проаналізовано процес електролізу і коротко охарактеризовано використання електролізу у техніці. Вивчають також природу електричного струму в газах: несамостійний газовий розряд, іонізація, коротка характеристика різних видів газового розряду (іскрового, тліючого, дугового) [15, с. 262–270]. У якості додаткового матеріалу розглядають природу несамостійного газового розряду, вольт-амперну характеристику газового розряду, ударну іонізацію, самостійний газовий розряд, природу іскрового розряду, природу тліючого розряду, лампи денного освітлення, коронний розряд. В цілому, у підручнику в достатній мірі й вдало розкрито вказані питання. Але, як на нашу думку, існує потреба більш чітко виділити механізм іонізації та електронно-іонну природу електричного струму в газах. Бажано також розширити уявлення учнів про плазму як четвертий агрегатний стан речовини (у підручнику про плазму тільки коротко згадано при висвітленні питання іонізації).

Можливість вивчення теми «Електричний струм у різних середовищах» у рамках факультативного курсу з політехнічним нахилом обговорюється в роботі [87].

Магнітна дія електричного струму розкрита в різних методичних системах дещо по різному. У радянських підручниках О.В. Пьоришкіна та Н.О. Родіної [228], [229, с. 69–70], [204], та у вітчизняних підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 210–213] використовують дуже простий і зрозумілий дослід із залізним цвяхом, на який намотано провід, покритий ізоляційним матеріалом: при вмиканні струму, цвях намагнічується й притягує до себе дрібні залізні предмети.

Демонструють повертання рамки зі струмом, розміщеної між полюсами магніту, і дуже коротко зазначають про будову й принцип дії гальванометра. При цьому у вітчизняних підручниках [15, с. 211] починають з досліду, у якому магнітну дію електричного струму демонструють по відхиленню магнітної стрілки поблизу провідника зі струмом. Тобто, демонструють дослід Ерстеда.

У вітчизняній методиці Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 84–86] на самому початку вивчення електричного струму, на основі досліду Ерстеда показують, що електричний струм легко виявити за його магнітною дією. Продовжують розкривати магнітну дію електричного струму в одному з наступних параграфів [129], [131], [132, с. 90–92]. Педагогічна практика свідчить, що на цьому етапі учням важко зрозуміти магнітну дію електричного струму, оскільки для її обґрунтування треба мати початкові уявлення як про електричний струм, так і про магнітне поле.

Додаток А 7

Послідовність вивчення сили струму, електричної напруги, електричного опору

Питання послідовності введення таких фізичних величин як сила струму I, електрична напруга U, електричний опір R висвітлено в методичному посібнику за редакцією А.В. Усової [166, с. 271]. Відмічено, що спочатку в основній школі використовували послідовність I → R → U. У фізиці науково виваженою є послідовність U → I → R (див., наприклад, посібники для вищих навчальних закладів [84], [160], [236], [242], [250], [252]). Такої ж послідовності дотримуються в старших класах [40], [176], [63], [133]. Пріоритетність такого підходу обґрунтовується тим, що спочатку треба охарактеризувати електричне поле, однією з енергетичних характеристик якого є електрична напруга (точніше, різниця потенціалів). Силу струму вводять тільки після цього, оскільки причиною впорядкованого руху зарядів у електричному колі є дія на них електричного поля. Електричний опір вводять при вивченні залежності сили струму від напруги.

У підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15] вже в основній школі за-

проваджено послідовність U → I → R. Як показує аналіз, запропонований підхід не розкриває, що електрична напруга є енергетичною характеристикою саме електричного поля. Це можна здійснити тільки в старшій школі паралельно з введенням поняття потенціалу електричного поля [40], [176], [63], [133]. Більше того, оскільки в основній школі в усіх методиках змістовий модуль починається з розкриття поняття електричного струму, то логічно одразу й охарактеризувати його кількісно, тобто ввести силу струму.

Отже, в основній школі найскладнішим для сприйняття (в змістовому модулі 2) є поняття електричної напруги і поки що не знайдено вдалих методичних підходів, які дозволили б упровадити послідовність U → I → R у навчальний процес. Найбільш доступною для учнів основної школи вважається відпрацьована в останні десятиліття послідовність I → U → R.

Логіка розкриття теми «***Сила струму та її вимірювання***» у радянських [228], [229], [204, с. 71–73] та вітчизняних [129], [131], [132, с. 94–98], [15, с. 219–223] підручниках подібна між собою. Спочатку обґрунтовують необхідність введення і вводять нову фізичну величину – силу струму, дають її означення і записують формулу I = q / t. Одиницю сили струму 1 А вводять на основі магнітної взаємодії двох дуже довгих паралельних провідників зі струмом, розташованих у вакуумі. Після введення одиниці сили струму обґрунтовують введення одиниці електричного заряду 1 Кл. Розкриття питань про амперметр та вимірювання за його допомогою сили струму здійснюється в радянських та вітчизняних підручниках у цілому подібним чином. Але оскільки учні, здебільше, вперше зустрічаються з електровимірювальними приладами, то вітчизняні автори Є.В. Коршак, О.І. Ляшенко, В.Ф. Савченко цілком виправдано більш детально описують раціональну послідовність дій стосовно правил приєднання амперметра в електричне коло та зняття показів приладу [129], [131], [132, с. 96–98].

Додаток А 8

Електрична напруга та її вимірювання

1. У підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної [228], [229, с. 76–80] для введення електричної напруги складають два електричних кола: одне з лампочкою для кишенькового ліхтарика, що живиться від акумулятора; друге з лампою для освітлення приміщень, що живиться від електричної мережі; параметри ламп підбирають таким чином, щоб сила струму, що її показують амперметри, в обох електричних колах була однаковою. У вітчизняних підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 100–103] натомість використовують послідовне з'єднання вказаних ламп і живлять їх від електричної мережі. Очевидно, що такий дослід легше провести учителю (не треба ретельно підбирати параметри ламп) і, що головне, він більш простий для сприйняття учнями. У вітчизняному підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 214–218] електричну напругу вводять перед силою струму без демонстраційного експерименту. Як показує практика, такий методичний підхід достатньо складний для більшості учнів.

2. У радянських підручниках і підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка (в останніх – у якості додаткового матеріалу) для полегшення сприйняття учнями поняття електричної напруги приведено гідродинамічну аналогію, чого немає в підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка. Практика навчання показує, що використання аналогій в цілому сприяє створенню у свідомості учнів певного образу, розвиває образне мислення і покращує засвоєння навчального матеріалу. Але, приведена в підручниках гідродинамічна аналогія є складною для багатьох учнів: зовсім не очевидною є аналогія між електричним зарядом і масою води та між електричною напругою і різницею рівнів води. Розуміння вказаної аналогії потребує від учнів додаткових зусиль, а її використання не дає бажаного результату. Але навряд чи варто зовсім відмовлятись від неї. Краще, на наш погляд, залишити в підручниках гідродинамічну аналогію, але тільки як додатковий матеріал, так як це здійснено в О.І. Бугайова, та М.Т. Мартинюка.

3. За радянською методикою в більшості учнів виникає хибне уявлення, що основною характеристикою джерела електричного струму (джерела електричної

напруги) є така фізична величина як електрична напруга. Насправді ж джерело характеризується електрорушійною силою (ЕРС), що вивчають у старшій школі. Хибні уявлення пов'язані, перш за все, з деякими методичними особливостями розкриття поняття електричної напруги: у підручниках [201], [202], [226], [228], [229, с. 76–80] вживають некоректні вирази на зразок «напруга, яку створює акумулятор» та приведено табличні дані «напруг» гальванічних елементів, акумуляторів, освітлювальної мережі, тощо. Ситуація методично неоднозначна. З однієї сторони, це спрощує сприйняття учнями поняття електричної напруги. З іншої – приводить до вказаних вище хибних уявлень, котрі не зникають навіть після вивчення поняття ЕРС у старших класах. Взаємно пов'язаною з цією проблемою є недостатнє розуміння учнями старшої школи особливості понять різниця потенціалів та електрична напруга. У підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 100–103] в основній школі говориться виключно про електричну напругу на однорідній ділянці електричного кола чи між двома точками кола, що дає надію на усунення вказаного недоліку (за умови дотримання учителем правильної методики). У підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 217–218] в якості додаткового матеріалу розкривають поняття ЕРС.

4. Недостатньо розкрито фізичну суть електричної напруги саме як енергетичної величини, котра характеризує електричне поле. Для вирішення цієї проблеми у методичному посібнику за редакцією А.В. Усової [166, с. 273–275] формування поняття напруги пропонують розбити на три етапи: 1) надати поняття про напругу джерела струму (на якісному рівні); 2) показати, що напруга характеризує електричне поле, створене джерелом; 3) ввести поняття про електричну напругу на ділянці кола, як фізичну величину. Не вдаючись до деталей відмітимо, що поряд з позитивними моментами цей підхід ще більше посилює хибне уявлення (характерне для радянської методики), що основною характеристикою джерела електричного струму (джерела електричної напруги) є така фізична величина як електрична напруга.

5. У підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка детальніше описують особливості вольтметра як вимірювального приладу і його ввімкнення в

електричне коло. У радянських підручниках вдало зазначено, що вольтметр має таку будову, щоб не змінювати напругу між тими точками, до яких його приєднують.

6. У 1981–1988 р. електричну напругу та її одиниці в основній школі вводили через потужність електричного струму [197], [225], [200]–[202], [226], тому що в ті роки не вивчали електричного заряду як фізичної величини [198], [9], [209]–[211], [164], [43], [165]. Такий підхід приходив у суперечність із науково обґрунтованим введенням електричної напруги (точніше різниці потенціалів) через роботу електричного поля в старшій школі, див. наприклад [40]. Учням приходилось переучуватись в старшій школі. І основне, що за такої здавалось би спрощеної методики введення електричної напруги в основній школі, сприйняття її учнями було не на належному рівні, не говорячи вже про її фізичний зміст. Тому ця науково не виважена методика відійшла в минуле, від неї відмовились.

7. У тій чи іншій мірі в підручниках та методичних посібниках часто замість повного терміну «електрична напруга» вживають скорочений термін «напруга».

Додаток А 9

Залежність сили струму від електричної напруги. Електричний опір. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола. Реостати

У приведеному заголовку послідовність тем відповідає методиці, розробленій під керівництвом О.В. Пьоришкіна та Н.О. Родіної [200]–[202], [226], [228], [229, с. 81–89], [204], [198], [9], [209]–[211], [164]–[166], [43].

У першому параграфі «Залежність сили струму від напруги» виконують прості досліди і експериментально підтверджують, що «сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника» і будують графік вказаної залежності [228], [229, с. 81–82]. Учні легко сприймають цей матеріал.

Другий параграф «Електричний опір провідників. Одиниці опору» починається з досліду: в електричне коло до джерела електричного струму по черзі вмикають залізну, нікелінову та мідну дротини однакових геометричних розмірів і спостерігають за показами амперметра та вольтметра. Оскільки сила струму для різних провідників різна, а напруга на них однакова, то роблять висновок, що

«сила струму в колі залежить не тільки від напруги, але й від властивостей провідників, увімкнених в коло» та обґрунтовують, що «різні провідники мають різні електричні опори» [228], [229, с. 82–83]. Вводять електричний опір як фізичну величиною, його позначення й одиницю 1 Ом. Пояснюють причину опору в металі.

Існує ускладнення експериментального характеру, описане в методичних посібниках. У досліді необхідно забезпечити однакову напругу на кінцях різних металевих дротин. Для цього необхідно мати джерело струму з дуже малим внутрішнім опором (наприклад, акумулятор), або ж регулювати силу струмом реостатом, не звертаючи на це увагу учнів.

У третьому параграфі «Закон Ома для ділянки кола» [228], [229, с. 84–86] експериментально (при сталій напрузі) підтверджують, що сила струму в провіднику обернено пропорційна опору провідника, будують графік відповідної залежності, формулюють закон Ома для ділянки кола і записують формулу для нього. Для підтримання постійної напруги на провідниках необхідно дотримуватись вказаних вище вимог. На завершення учнів переконують у тому, що електричний опір є сталою для даного провідника величиною, яка не залежить ні від напруги, ні від сили струму (при сталій температурі – в підручнику цього не вказано).

У четвертому параграфі радянських підручників «Розрахунок опору провідника. Питомий опір» [228], [229, с. 87–89] відпрацьована наступна методика: на основі дослідів та використання закону Ома доводять, що опір провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі поперечного перерізу і залежить від речовини провідника; записують відповідну формулу, на її основі вводять одиниці питомого опору (як у системі СІ, так і через мм ^{2}), приводять у таблиці значення питомого опору для цілого ряду провідників і двох діелектриків.

Методика вивчення п’ятого параграфу «Реостати» чітко відпрацьована і не викликає ускладнень в учнів.

Як бачимо, електричний опір вивчають у чотирьох параграфах, що приводить до неекономного використання навчального часу.

Цей методичний недолік усунено в підручниках вітчизняних авторів Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка. Всі необхідні учням відомості про

опір зосереджені в одному параграфі «Електричний опір. Залежність опору провідників від їх геометричних розмірів та речовини. Питомий опір» [129], [131], [132, с. 104–107], з якого починається вивчення тем, зазначених у заголовку. У наступному параграфі «Закон Ома для однорідної ділянки кола» (у радянському варіанті не вживають терміну «однорідна» вивчають як сам закон Ома, так і підкріплюють його графіками залежностей сили струму від електричної напруги та від електричного опору [129], [131], [132, с. 107–109]. При вивченні теми «Реостати» у вітчизняних підручниках [129], [131], [132, с. 111–113] порівняно з радянськими доречно приведено відомості про магазини резисторів та про правила, котрих слід дотримуватись при роботі з реостатами та магазинами резисторів.

Спільне ускладнення радянської та вказаної вітчизняної методик полягає в тому, що поняття електричного опору і, особливо, його одиниці вводять спочатку без відповідної формули. Учням незрозуміло, чому 1 Ом = 1 В / 1 А, оскільки формулу $U = I / R$ вивчають тільки в наступному параграфі.

Цей недолік усунуто в підручнику вітчизняних авторів О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 224–237] та у відповідному методичному посібнику [156], коли зазначені в заголовку теми вивчають єдиним блоком в одному параграфі. При цьому не тільки економиться навчальний час, але й зникають зазначені вище методичні ускладнення, пов’язані з введенням одиниці електричного опору. У якості додаткового матеріалу вводять поняття електропровідності, аналізують причини електричного струму, приводять спрощене виведення закону Ома для металів на основі уявлень електронної теорії та обґрунтовують закон Ома для повного кола. У наступному параграфі окрім вивчення реостатів узагальнюють знання учнів про резистори та дуже коротко повідомляють відомості про потенціометри, принцип дії яких вивчають у ході виконання лабораторної роботи.

Вивчення електричних явищ на основі 27 фронтальних дослідів розкрито в роботах [181], [182]. Окрім традиційних дослідів використано й оригінальні підходи. Так, наприклад, для вивчення залежності опору провідника від його геометричних розмірів (довжини, площі поперечного перерізу) використано електричний струм в електроліті.

Додаток А 10

Послідовне і паралельне з’єднання провідників

У цілому методика вивчення цих питань доступна для учнів і подібна між собою у радянських та вітчизняних підручниках. Але є і ряд відмінностей.

При вивченні послідовного з’єднання провідників у підручниках за авторством О.В. Пьоришкіна та Н.О. Родіної [228], [229, с. 94], [204] не тільки приводять співвідношення для сили струму, електричного опору й електричної напруги, але й доводять логічним міркуванням, що співвідношення для електричної напруги випливає з закону збереження енергії. У вітчизняних підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 239–240] не тільки доведено, що співвідношення для електричної напруги випливає з закону збереження енергії, але й на основі закону Ома виводять співвідношення для опору. Цим самим автори посилюють прогностичні (вивідні) можливості при вивченні даної теми.

При вивченні паралельного з’єднання провідників у підручниках О.В. Пьоришкіна та Н.О. Родіної [228], [229, с. 95–97], [204] аналізують співвідношення для сили струму й електричної напруги. У підручниках вітчизняних авторів Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 116–120] розглядають також співвідношення для електричного опору. Але, на жаль, зовсім не обґрунтовують цього співвідношення. Відмітимо, що в радянських підручниках, до 1988 р. включно [200]–[202], [226], теж розглядали це питання, причому з частковим його обґрунтуванням на основі доступної учням гідродинамічної моделі розгалуження течії води.

У підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 244–252] не тільки розглядають всі необхідні співвідношення для паралельного з’єднання, але й виводять їх для сили струму і для опору (посилення прогностичних можливостей), а в якості додаткового матеріалу виводять співвідношення для провідності.

Як засвідчує практика навчання, розуміння співвідношення для електричних опорів при паралельному з’єднанні провідників викликає у частини учнів значні труднощі. Але, за умови виваженого висвітлення цього питання, воно доступно для учнів. Для полегшення сприйняття цього питання, у вітчизняних підручниках

приведено приклади розрахунку не тільки паралельного, але й змішаного з'єднання провідників. У підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [129], [131], [132, с. 119] після цього приводять номограму, за допомогою якої можна швидко знайти наближене значення загального опору паралельно з'єднаних провідників. Як показує досвід, при розрахунку опору паралельного з'єднання значна частина учнів часто, навіть за правильних чисельних розрахунків, робить помилки в одиницях: розраховують спочатку величину, обернену до опору, а одиницю помилково записують Ом замість 1 / Ом. Тільки в процесі розв'язування задач учні поступово позбуваються цієї помилки. У зв'язку з цим замітимо, що користування номограмою не сприяє уникненню вказаної помилки. Тому її використання, на нашу думку, може бути корисним як додатковий матеріал, так як це здійснено в підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 251].

При вивченні послідовного і паралельного з'єднання провідників, у тексті як радянських, так і вітчизняних підручників посилаються на результати виконаних перед цим лабораторних робіт чи дослідів з попередніх тем і отримують всі співвідношення для сили струму, електричної напруги і електричного опору, перш за все, логічним шляхом. У методичних посібниках [198], [9], [209]–[211], [164]–[166], [43] рекомендують підкріплювати висновки демонстраційним експериментом, або навіть опиратись на нього.

Можливий варіант поглиблення розуміння учнями фізичної суті перерозподілу сили струму та електричної напруги при послідовному і паралельному з'єднанні провідників розглянуто в публікації [247].

Додаток А 11

Робота і потужність електричного струму

У підручниках 1981–1988 років [197], [225], [199] –[202], [226] виділяли структурне об'єднання «Потужність і робота електричного струму» (як окремий змістовий модуль 3). Спочатку вивчали потужність, а потім роботу електричного струму. Електричну напругу вводили через потужність електричного струму, тому що в основній школі не вивчали електричний заряд як фізичну величину.

Починаючи з 1989 р. електричну напругу вводять науково і методично виваженим шляхом на основі формули U = A / q. Тому спочатку вивчають роботу, а потім потужність електричного струму [228], [229], [204], [128], [129], [131], [132], що відображено у заголовку. Після 1989 р. та у підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка зазначену в заголовку тему не виділяють в окремий змістовий модуль. Такої ж думки дотримуємось і ми.

У радянських підручниках 1969–1980 років [197], [225], [199], [200] та 1989–1990 років [228], [229, с. 99–111], [204] вивчали наступні параграфи: 1. Робота електричного струму. 2. Потужність електричного струму. 3. Одиниці роботи електричного струму, які застосовуються на практиці. 4. Нагрівання провідників електричним струмом. Закон Джоуля-Ленца. 5. Лампа розжарювання. Електричні нагрівальні прилади. 6 Коротке замикання. Запобіжники.

Подібна побудова змісту характерна й для підручників українських авторів. Основна відмінність стосується подальшого вдалого укрупнення структурних одиниць змісту: параграфи 1, 2, 3 об’єднано в один «Робота і потужність електричного струму» [128]–[132, с. 121], [15, с. 278]; у підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128], [129], [131], [132, с. 127–130] параграфи 5 і 6 об’єднано у один – «Застосування теплової дії струму на практиці»; у підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 283–286] параграфи 4 і 5 об’єднано у один – «Теплова дія електричного струму та її практичне використання», а останній параграф 6 вдало доповнено темою «Заходи безпеки під час роботи з електричним струмом». Причому, в останньому підручнику [15, с. 278–300] весь перерахований навчальний матеріал виокремлено в розділ «Електрична енергія. Робота і потужність струму».

Додаток А 12

Аналіз змісту, структури і послідовності вивчення магнітних явищ

Для всіх радянських підручників за авторством О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної 1969–1990 років [197], [225], [199]–[202], [226], [228], [229], [204] загальна структура змісту вивчення магнітних явищ залишалась в цілому незмін-

ною. Відбувалось тільки поступове скорочення обсягу навчального матеріалу та укрупнення параграфів за рахунок їх об’єднання.

До 1980 р. включно вивчали наступні параграфи (теми) [197], [225], [199], [200]: 1. Магнітне поле. 2. Магнітне поле прямого струму. Силові лінії магнітного поля. 3. Напрям струму і напрям силових ліній його магнітного поля. 4. Магнітне поле кругового струму. 5. Магнітне поле котушки зі струмом. 6. Електромагніти. 7. Електричний телеграф. 8. Електромагнітне реле. 9. Постійні магніти. 10. Взаємодія магнітів. 11. Магнітне поле постійних магнітів. 12. Магнітне поле Землі. 13. Телефон. 14. Сила, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі. 15. Обертання рамки зі струмом у магнітному полі. 16. Електродвигун постійного струму. 17. Використання електричних двигунів.

У 1981–1988 роках поза межами програми виявились параграфи 3 і 4, без вивчення яких, особливо параграфу 3, значна частина наступного матеріалу розглядається тільки на емпіричному рівні. Об’єднали в один параграфи: 6, 7 і 8 (при цьому матеріал параграфу 7 залишився тільки у вигляді задачі з розширеною умовою); 9, 10 і 11; 14, 15, 16 і 17. Починаючи з 1989 р. вивчення параграфу 13 перенесли в старші класи. Укрупнення навчального матеріалу в цілому виявилось вдалим. Виключення становить об’єднання останніх чотирьох параграфів, оскільки при цьому настільки «урізали» обсяг навчального матеріалу, що значна його частина виявилась малозрозумілою для учнів.

У підручниках вітчизняних авторів Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128], [129], [131], [132] загальна структура організації змісту магнітних явищ відповідає такій у останніх підручниках радянських часів [228], [229], [204] з подальшим укрупненням навчального матеріалу: об’єднання в один параграфів 1, 2 і 3 (відновили вивчення параграфу 3); параграфу 5 з параграфами 6, 7 і 8 (параграф 7 залишився у вигляді розширеної задачі); параграфу 12 з параграфами 9, 10 і 11 (на нашу думку, невдале об’єднання, бо природа магнітного поля Землі та постійних магнітів різна). Більш зрозуміло й доступно для учнів розкрили теми параграфів 14–17, матеріал яких розмістили у двох параграфах. А також появився новий важливий параграф «Електровимірювальні прилади».

У підручниках вітчизняних авторів О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15] посилено структурування змісту і в рамках частини фізики «Електромагнітні явища» виокремлено розділ «Магнітне поле», для якого в цілому характерні позитивні зміни, аналогічні до запроваджених у підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка. Відновлено вивчення параграфу 4, а також в якості додаткового матеріалу коротко розглянуто силу Лоренца і магнітні властивості речовини.

У 1950 роках спочатку вивчали магнітні явища та магнітне поле, пов'язані з постійними магнітами, і тільки після цього – магнітне поле електричного струму та дію магнітного поля на провідники зі струмом [221], [267], [194].

Додаток А 13

Магнітне поле. Магнітне поле прямого струму. Лінії магнітного поля

У радянських підручниках [197], [225], [199]–[202], [226], [228], [229], [204] на основі фундаментального *досліду Ерстеда* спостерігають дію провідника зі струмом на магнітну стрілку і переконують учнів у тому, що «навколо будь-якого провідника зі струмом», а значить і «навколо рухомих електричних зарядів» існує *магнітне поле*. «Електричний струм і магнітне поле невіддільні одне від одного. ... навколо нерухомих електричних зарядів існує тільки одне електричне поле, а навколо рухомих зарядів, тобто електричного струму, існують і електричне поле і магнітне поле» [228], [229, с. 112–113]. Відмітимо, що коректніше говорити про рухомі електрично заряджені частинки, а не заряди.

У вітчизняних підручниках уперше про дослід Ерстеда згадують ще при вивченні електричного струму: в підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128], [129], [131], [132, с. 85] – паралельно із введенням поняття електричного струму; у підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 211] – у процесі вивчення магнітної дії електричного струму. Як зазначалось у пункті 1.1.3, такі нововведення не виглядають переконливими, оскільки в процесі вивчення електричних явищ коректно пояснити дію провідника зі струмом на магнітну стрілку ще до введення поняття магнітного поля неможливо. На самому початку вивчення власне магнітних явищ, обидва колективи вітчизняних авторів [128],

[129], [131], [132, с. 133], [15, с. 302] коротко згадують про дослід Ерстеда і обґрунтовують відповідні висновки про магнітне поле. Причому, в підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 211] указують (але не розкривають), що магнітне поле є особливим видом матерії.

Методика демонстрації досліду Ерстеда надійно відпрацьована в радянських та вітчизняних підручниках. Поради стосовно демонстрації досліду Ерстеда приведені у методичних посібниках [198], [9], [209]–[211], [164]–[166], [118], [43], [257], [156], [263] та у посібниках з демонстраційного фізичного експерименту [78, с.23], [287, с.157]. У доповнення до традиційного досліду Ерстеда з металевим провідником, ряд методистів, наприклад М.С. Білий [9, с. 233], радять проробити дослід з рідинним провідником (електролітом), щоб обґрунтувати існування магнітного поля навколо буд-якого провідника зі струмом.

У радянських [228], [229, с. 113–114] та у вітчизняних [128], [129], [131], [132, с. 133–134], [15, с. 303–305] підручниках вдало відпрацьована наступна методика: вивчаючи розташування маленьких магнітних стрілок та залізних ошурків навколо прямого провідника зі струмом, вводять поняття «ліній магнітного поля» (чи аналогічне), їх напряму, роблять висновок стосовно графічного зображення (спектру) магнітного поля навколо прямого провідника зі струмом та про замкнутість «ліній магнітного поля».

У вітчизняних підручниках вивчення картини *ліній магнітного поля прямого провідника зі струмом* посилюють *правилом правої руки* [15, с. 304–305] чи *правилом свердлика* [128], [129], [131], [132, с. 134]. У радянських підручниках, починаючи з 1981 р. [201], [202], [226], [228], [229], [204] не використовують ці правила. У перших підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної [197], [225], [199], [200] приводили правило свердлика. У відповідних методичних посібниках [210], [43, с. 203] зазначають: «У методичному відношенні правило свердлика цінне тим, що воно наочно показує нерозривний зв’язок між електричним струмом і його магнітним полем». У вітчизняних та перших радянських підручниках для успішного закріплення правила свердлика чи правила правої руки, в кінці параграфів приведено відповідні вправи.

Можливий варіант вивчення теми «Магнітне поле» охарактеризовано в публікації [150]. Комплект саморобних простих моделей з розділу «Магнітне поле» запропоновано в роботі [184], але вони, на жаль, тільки імітують експеримент замість його виконання. Можливості використання саморобних приладів для проведення домашнього експерименту описано в публікації [286]. У статті [8] описано спосіб виготовлення магнітних стрілочок (леза безпечних бритв) та їх використання для спостереження магнітних спектрів. Прості саморобні прилади для спостереження магнітних спектрів запропоновані в роботі [86].

Додаток А 14

Магнітне поле колового струму.

Магнітне поле котушки зі струмом. Електромагніти

У радянських підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної 1969–1980 років [197], [225], [199], [200] та у відповідних методичних посібниках [198], [9], [209], [164], [210] не тільки експериментально за допомогою маленьких магнітних стрілок та залізних ошурків отримують картину (спектр) ліній магнітного поля витка зі струмом, але й на основі правила свердлика обґрунтовують хід ліній магнітного поля та зображують відповідний рисунок. Ці знання використовують при подальшому вивченні картини ліній магнітного поля котушки зі струмом, оскільки її магнітне поле є результатом накладання магнітного поля від її окремих колових витків. Аналогічно поступають у вітчизняних підручниках О.І. Бугайова і М.Т. Мартинюка [15, с. 309–312]. Основна відмінність полягає в тому, що спочатку магнітне поле аналізують частково теоретично, а потім експериментально.

Починаючи з 1981 р., у радянських підручниках [201], [202], [226], [228], [229], [204] та методичних посібниках [43], [211], [166], [257] не розглядають виток зі струмом, а одразу переходять до експериментального вивчення магнітного поля котушки зі струмом. Аналогічної методики дотримуються і у підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128]–[132, с. 136–137]. Додатково приводять тільки правило правої руки для визначення полюсів магнітного поля котушки (без експериментальної та схематичної картини ліній магнітного поля).

Відмова від розгляду магнітного поля витка зі струмом веде до вивчення магнітного поля котушки виключно на емпіричному рівні, що не сприяє осягненню в достатній мірі фізичної суті вказаних питань.

Одразу після вивчення магнітного поля котушки зі струмом, у всіх підручниках доступно розглядають будову, призначення та найважливіші приклади використання електромагнітів. У радянських підручниках, починаючи з 1981 р., ряд не основних прикладів використання електромагнітів (електромагнітне реле, електричний дзвоник, електричний телеграф) вдало поміщають у вигляді задач з розширеною умовою. Ця тема має широкі можливості для розвитку політехнічного кругозору учнів. У методичних посібниках, наприклад, [43, с. 203], рекомендують, опираючись на здобуті знання, розгорнути роботу по виготовленню учнями нескладних пристроїв з використанням електромагнітів. Ознайомлення з електромагнітами у формі уроку-дослідження описано в публікації [88]. Відмітимо, що за традиційною методикою на цьому етапі учні не в змозі зрозуміти чому осердя легко намагнічується й розмагнічується та чому воно посилює магнітне поле.

Вивчення електромагнітів підкріплюється виконанням лабораторної роботи по складанню електромагніту і дослідженню його дії. Простий спосіб виготовлення саморобних електромагнітів, як експериментальне завдання до лабораторної роботи, описано в статті [255].

Додаток А 15

Постійні магніти. Взаємодія магнітів. Магнітне поле постійних магнітів. Магнітні властивості речовини

У радянських підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної [197], [225], [199]–[202], [226], [228], [229, с.118–220], [204] спочатку згадують про гіпотезу Ампера і на основі електронних уявлень про будову речовини переконують учнів, що електрони під час свого орбітального руху навколо ядра створюють магнітні поля, які й спричинюють намагніченість, наприклад, заліза. Після цього на основі дослідів надають поняття про магнітні полюси, розглядають постійні штабовий та підковоподібний і природний магніти, вивчають взаємодію магнітів (та магнітних стрі-

лок) і на завершення приводять картини ліній магнітного поля постійних магнітів.

У вітчизняних підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128]–[132, с. 139–140] починають із цікавих історичних відомостей, котрі закінчуються основними висновками досліджень Гільберта: поняття про магнітні полюси, про взаємодію магнітів, про те, що Земля є велетенським магнітом і про орієнтацію магніту відносно Землі. Після цього коротко розглядають підковоподібний та штабовий магніти. Поза межами аналізу залишилась природа магнітного поля постійних магнітів (гіпотеза Ампера та пов'язані з нею висновки). На нашу думку, подібні уявлення вкрай необхідні для обґрунтування єдиної природи магнітного поля електричного струму і постійних магнітів.

У підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка про магнітне поле постійних магнітів уперше згадують у процесі вивчення магнітного поля котушки зі струмом [15, с. 311–312]. При цьому, не надають чіткого поняття про магнітні полюси та зовсім не аналізують взаємодію магнітів. Зрозуміло, що на момент вивчення цієї теми учні вже мають певні уявлення про постійні магніти з курсу «Природознавство», з географії, з повсякденних спостережень. Але ці уявлення є, як правило неповними, не систематизованими, а то й хибними. Їм необхідно надати наукової чіткості, що відмічають, наприклад, у методичному посібнику [43, с. 213].

Для всіх методичних систем характерним є недостатнє розкриття природи магнітного поля постійних магнітів. Існує також одна термінологічна неточність: при аналізі взаємодії магнітів роблять висновок, що «різнойменні магнітні полюси притягуються, а однойменні – відштовхуються», тоді як коректно говорити про взаємодію магнітів, а не полюсів.

Магнітні властивості речовини в основній школі в певній мірі проаналізовані в якості додаткового матеріалу тільки у вітчизняному підручнику О.І. Бугайова і М.Т. Мартинюка [15, с. 326–331]. Вдало обґрунтовано наявність орбітальної складової магнітного поля, зумовленої орбітальним рухом електронів навколо ядра. Зазначено про існування власного магнітного поля (спінової складової магнітного поля – примітка автора) частинок, з яких складається атом. Це сприяє формуванню узагальнених уявлень про природу магнітних властивостей речовини. Коротко

пояснено фізичну суть діамагнетизму, парамагнетизму і феромагнетизму (в тому числі постійних магнітів). Щоправда, пояснення діамагнетизму, парамагнетизму і феромагнетизму видається занадто стислим і як результат – недостатньо зрозумілим для учнів. Теоретичні відомості недостатньо підкріплені експериментом.

Цікаві досліди та експериментальні завдання з використанням сильного магніту приведені в публікації [190]. Простий варіант демонстрації втягування парамагнетиків в область більш сильного магнітного поля та виштовхування діамагнетика в область більш слабкого магнітного поля запропоновано в публікації болгарських методистів [102]. Інший варіант демонстрації розташування протяжного парамагнетика вздовж ліній магнітного поля, а протяжного діамагнетика – поперек ліній магнітного поля описано в статті [291].

Додаток А 16

Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Електродвигун постійного струму. Електровимірювальні прилади

У всіх підручниках [197], [199]–[202], [226], [228], [229], [204], [15], [128]–[132] використовують традиційний дослід з підковоподібним магнітом і прямим провідником, підвішеним горизонтально між його полюсами на гнучких провідниках. Спостерігають за дією магнітного поля на провідник зі струмом за двох напрямів струму та при зміні полярності магнітів і роблять відповідні висновки.

М.С. Білий у методичному посібнику [9, с. 244–246] радить помістити підковоподібний магніт на дерев’яну підставку, а круглий мідний провідник не підвішувати, а помістити горизонтально на дві паралельні міцні товсті дротини, котрі закріплені на дерев’яній підставці, а в місцях кріплення до них приєднані провідники від джерела електричного струму.

У радянських підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної, [201], [202], [226], [228], [229, с. 122–123], [204] починаючи з 1989 р. обмежуються висновком, що напрям руху провідника зі струмом (напрям дії магнітного поля) залежить як від напряму електричного струму, так і від напряму ліній магнітного поля. У вітчизняному підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка в основній частині тексту пос-

тупають аналогічним чином. Зате, у якості додаткового матеріалу аналізують за допомогою картини ліній магнітного поля «як виникає сила Ампера», коротко описують силу Лоренца і формулюють правило лівої руки одразу для сили Ампера та сили Лоренца, підкріплюючи його відповідними рисунками [15, с. 317–320].

У більш ранніх радянських підручниках 1969–1988 років [197], [225], [199], с. 156–157], [200] та у вітчизняних підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128], [129], [131], [132, с. 141–142] для визначення напряму дії сили, формулюють *правило лівої руки*. При цьому у вітчизняних підручниках роблять посилання на Ампера і вводять термін «*сила Ампера*». Вважаємо доцільним використання правила лівої руки, оскільки без нього подальше вивчення обертання рамки зі струмом у магнітному полі, принцип дії електродвигуна постійного струму, принцип дії електровимірювальних приладів розглядають виключно на емпіричному рівні. Більш чітко формулюють правило лівої руки у радянських підручниках: «Ліву руку розташовують так, щоб силові лінії магнітного поля входили в долоню ...». Натомість у вітчизняних підручниках записано: «ліву руку розташовують так, щоб долоня була повернута до північного полюсу...». Таке формулювання є зрозумілим, ним легко користуються учні, але воно не є узагальненим, тому що не завжди можна вказати положення магнітних полюсів; наприклад, при взаємодії двох провідників зі струмом. Рекомендації щодо вдосконалення методики проведення демонстраційного експерименту зі взаємодії паралельних провідників зі струмом надано в публікації [2].

Слідом аналізують ***обертання рамки зі струмом у магнітному полі***. Більш переконливо пояснюють причину обертання рамки на основі напряму дії сили з боку магнітного поля (сили Ампера) у ранніх радянських підручниках [197], [225], [199, с. 158–159], [200] та у вітчизняних підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128]–[132, с. 142]. У підручниках О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [15, с. 320] посилаються на дослід з обертанням рамки зі струмом у магнітному полі та відповідний рисунок, котрі приведені раніше при вивченні магнітної дії електричного струму [15, с. 212]. При цьому не посилаються на аналіз обертання рамки, здійснений у процесі вивчення електромагнітів [15,

с. 310]. У радянських підручниках, починаючи із 1989 р. [201], [202], [226], [228], [229, с. 123], [204], взагалі практично не згадують у цій темі про обертання рамки зі струмом у магнітному полі, яке вже коротко розглядалось при вивченні магнітної дії електричного струму [201], [202], [226], [228], [229, с. 70], [204].

У всіх підручниках далі приводиться достатньо детальне пояснення будови і принципу дії ***електродвигуна постійного струму***. Вивчення цієї теми має важливе значення для розкриття ролі фізики, як основи науково-технічного прогресу. У цілому учні отримують правильні уявлення про будову і принцип дії електродвигуна постійного струму. Але, як показує аналіз текстів підручників, пояснення носить емпіричний характер, оскільки при цьому не аналізують напрям дії сили Ампера і, як наслідок, у недостатній мірі обґрунтовують причину одностороннього обертання рамки [201], [202], [226], [228], [229, с. 123–124], [204], [15, с. 320–322], [128], [129], [131], [132, с. 142–143]. Зате, у всіх підручниках у достатній мірі розкрито основні приклади використання та переваги електродвигунів [201], [202], [226], [228], [229, с. 124–125], [204], [15, с. 322], [128]–[132, с. 146–147].

Теоретичний матеріал підкріплюється виконанням лабораторної роботи по вивченню електродвигуна постійного електричного струму.

Важливе значення має вивчення будови й принципу дії ***електровимірювальних приладів***. У радянських підручниках принцип дії та будову електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи здійснюють надзвичайно коротко, в процесі виконання завдання в кінці параграфу [201], [202], [226], [228], [229, с. 125], [204]. О.І. Бугайов, М.Т. Мартинюк розкривають цю тему у рамках додаткового матеріалу [15, с. 322–323]. У повній мірі тема розкрита у підручниках Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, В.Ф. Савченка [128], [129], [131], [132, с. 143–146]. Більше того, автори пояснюють також принцип дії та будову приладів електромагнітної системи, а також теплових приладів. На нашу думку, електровимірювальні прилади магнітоелектричної системи необхідно розкрити як основний матеріал, тому що саме такими приладами користуються учні в навчальному процесі, а відомості про інші вимірювальні системи можна надати як додатковий матеріал.

Додаток А 17

Фізична суть явища електромагнітної індукції

Найбільш вдало, на нашу думку, суть явища електромагнітної індукції розкрито в останньому виданні фізичної енциклопедії [276, с. 537–538], в якій дають наступне означення: «***Електромагнітна індукція*** – це виникнення електричного поля, електричного струму, електричної поляризації при зміні в часі магнітного поля, або при русі матеріального середовища в магнітному полі. Вирізняють два типи ефектів електромагнітної індукції. Перший з них полягає у *наведенні вихрового електричного поля* $\boldsymbol{E}(\mathbf{r}, t)$ *змінним магнітним полем* $\boldsymbol{B}(\mathbf{r}, t)$:

$$\text{rot}\,\boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} \qquad \text{або} \qquad \varepsilon = \oint_l \boldsymbol{E}d\boldsymbol{l} = -\frac{\partial}{\partial t}\int_S \boldsymbol{B}d\boldsymbol{S} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}\,, \qquad (A1)$$

де: S – поверхня, обмежена фіксованим контуром l; Φ – магнітний потік через S (напрями нормалі до S і обходу по контуру зв'язані правилом правого гвинта). Співвідношення (*A1*) є строгими рівняннями класичної електродинаміки (рівняння Максвелла – 1864 р.), що універсально застосовуються як для вільного простору (електродинамічного вакууму), так і для довільних середовищ і систем (нерухомих і рухомих). У простих випадках замкнутих нерухомих квазістаціонарних електричних кіл, виконаних з достатньо тонких провідників, циркуляція електричного поля ε в (*A1*) може наближено трактуватись як електрорушійна сила електромагнітної індукції ...».

«Другий тип ефектів електромагнітної індукції пов'язаний з *рухом матеріального середовища* (провідників, діелектриків, твердих тіл, рідин, газів, плазми) *в стаціонарному магнітному полі* $\boldsymbol{B}(\mathbf{r})$. На заряджені частинки в рухомих тілах діє магнітна *сила Лоренца* ..., котра приводить до *розділення зарядів протилежних знаків*, до генерації електричних струмів у провідниках, до поляризації діелектриків. *Індуковані електричні поля при цьому потенціальні*. ... Для електричних кіл, що складаються із тонких провідників», електрорушійна сила електромагнітної індукції має вираз:

$$\varepsilon = \oint_l [\boldsymbol{uB}]d\boldsymbol{l} \qquad (A2),$$

де $\boldsymbol{u}$ – середня швидкість носіїв заряду.

«У твердих тілах з електронною чи дірковою провідністю поперечна (до $d\boldsymbol{l}$ і $\boldsymbol{B}$) складова швидкості $\boldsymbol{u}$ визначається локальним значенням швидкості контуру $\boldsymbol{u}_к$, що дозволяє об'єднати електрорушійні сили» за виразами (*A1*) і (*A2*):

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = \oint_l \left(\boldsymbol{E}+[\boldsymbol{uB}]\right)d\boldsymbol{l} \qquad (A3)$$

«На відміну від (*A1*), вираз (*A3*) справедливий тільки в квазістаціонарному наближенні. Повна похідна за часом від магнітного потоку враховує його зміни, пов'язані як зі зміною індукції магнітного поля з часом, так і з рухом (деформацією) провідного контуру.» Співвідношення (*A3*) здебільшого називають законом (основним законом) електромагнітної індукції [242, с. 266], [160, с. 316], [105, с. 182], [84, с. 277], [103, с 225–228]. Інколи його не зовсім вдало іменують законом Фарадея (законом електромагнітної індукції Фарадея) [191, с. 245], [160, с. 318], [142, с. 349], [276, с. 538]; хоча вперше математичний запис для електрорушійної сили електромагнітної індукції запропонував у 1845 р. Ф. Нейман: $\varepsilon(t) = -d\Phi/dt$. Р. Фейнман та співавтори [269, с. 51–56] цей закон іменують «правилом потоку».

У більшості літературних джерел [242, с. 264–296], [269, с. 51–76], [191, с. 228–272], [160, с. 312–320], [105, с. 178–206], [236, с. 200], [84, с. 290], [142, с. 344–360], [103, с. 228–231], [251, с. 47–57] підкреслено, що закон електромагнітної індукції у формулюванні Максвелла (*A1*) більш повний і глибокий за своїм фізичним змістом, оскільки змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле і за відсутності провідних контурів та матеріального середовища.

Відмітимо ще й ті основні особливості явища електромагнітної індукції, котрі недостатньо, або зовсім не відображені у фізичній енциклопедії.

Перш за все це стосується врахування принципу відносності при аналізі другого типу ефектів явища електромагнітної індукції. Найповніше це питання розк-

рито у Е. Парселла [191, с. 231–243]. Показано, що в інерціальній системі відліку, відносно якої провідник рухається з постійною швидкістю в однорідному магнітному полі, перерозподіл зарядів у провіднику відбувається під дією магнітної складової сили Лоренца. Внаслідок перерозподілу зарядів навколо провідника і в провіднику виникає електричне поле. М.М. Дідович і М.О. Акименко в публікації [1] справедливо відмічають, що це електричне поле нагадує стаціонарне електричне поле. У іншій інерціальній системі відліку, пов'язаній з провідником, сам провідник нерухомий, а магнітне поле рухається відносно нього. У цій системі відліку магнітна складова сили Лоренца відсутня, зате провідник внаслідок руху магнітного поля знаходиться в однорідному електричному полі з напруженістю $\boldsymbol{E} = [\boldsymbol{u}\,\boldsymbol{B}]$. Під дією цього електричного поля і відбувається перерозподіл електричних зарядів у провіднику. Внаслідок перерозподілу зарядів виникає електричне поле, котре за принципом суперпозиції накладається з вищезазначеним електричним полем. Результатом цього є наявність у цій системі відліку результуючого електричного поля навколо провідника та його відсутність всередині провідника (як у випадку провідника, розміщеного в однорідному електростатичному полі). Питання відносності при вивченні явища електромагнітної індукції, окрім вищезгаданих джерел [191, с. 231–243], [1], значною мірою розкрите також у навчальних посібниках Д.В. Сивухіна [242, с. 264–296], Р. Фейнмана та співавторів [269, с. 51–76], А.М. Матвєєва [160, с. 312–320] та, наприклад, у науковій публікації С. Вознюка і В. Кульчицького [50].

У навчальних посібниках І.В. Савельйєва [236, с.181–198] та І.Є. Іродова [103, с. 232–233] обґрунтовано, що робота сили Лоренца по розділенню електричних зарядів у провіднику, що рухається в магнітному полі, рівна нулю. М.М. Дідович і М.О. Акименко у публікації [1] доводять, що роботу по розділенню електричних зарядів виконує зовнішня сила, в результаті чого механічна енергія перетворюється в електричну.

Показано [242, с. 264–267], [268, с. 51–54], [191, с. 231–243], [236, с.182–184], [84, с. 277–279], [142, с. 347–349], [103, с. 227–228], [251, с. 50–52], що у певному розумінні, для другого типу ефектів явища електромагнітної індукції закон елект-

ромагнітної індукції можна вивести чи на основі сили Лоренца, чи (аналогічно до того, як це зробив Гельмгольц) на основі закону збереження енергії.

Важливим є те, що обидва типи ефектів явища електромагнітної індукції в цілому можна описати одним законом електромагнітної індукції через зміну потоку магнітної індукції в часі. При цьому треба мати на увазі, що для другого типу явища електромагнітної індукції цей потік у певних випадках не має реального фізичного змісту: наприклад, при русі відокремленого провідника в магнітному полі маємо справу з потоком через контур, окреслений провідником під час руху (а не через реальний провідний контур). Ряд характерних прикладів винятків з «правила потоку» приведено у фізичній енциклопедії [276, с. 538] та у навчальному посібнику І.Є. Іродова [103, с. 231–232]. Особливо чітко це підкреслено у навчальному посібнику Р. Фейнмана та співавторів [269, с. 51–76]. Автори не тільки розглядають декілька цікавих прикладів винятків з «правила потоку», але й зауважують: «Ми не знаємо в фізиці жодного іншого такого прикладу, коли б простий і точний загальний закон потребував для свого справжнього розуміння аналізу в термінах двох різних явищ. Зазвичай, настільки красиве узагальнення виявляється вихідним з єдиного глибокого основоположного принципу. Але в цьому випадку якого-небудь особливо глибокого принципу не видно. Ми повинні сприймати «правило» як спільний ефект двох цілком різних явищ» [269, с. 54].

Значну увагу цій проблемі приділено у роботах О.А. Коновала [120], [122]. На основі принципу відносності показано можливість об’єднання двох типів ефектів електромагнітної індукції та розкриття єдиної їх причини шляхом розширеного трактування рівнянь Максвелла.

Звичайно, у шкільному курсі фізики, тим більше в основній школі неможливо повністю розкрити зміст електромагнітної індукції. Але необхідно враховувати основні закономірності та фізичну суть двох типів ефектів електромагнітної індукції з метою науково виваженого і повноцінного розкриття явища електромагнітної індукції на доступному для учнів основної школи якісному рівні.

Додаток А 18

Явище електромагнітної індукції

У всіх підручниках [221], [267], [194], [197], [225], [199]–[202], [226], [16] спочатку згадують, що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле, тобто електричний струм «створює» магнітне поле та вдало ставлять проблемне питання, чи не існує зворотного явища, тобто чи можна за допомогою магнітного поля отримати електричний струм ? Приводять важливі історичні відомості про дослідження Фарадея над проблемою «Перетворити магнетизм в електрику».

Розкриття явища електромагнітної індукції в 1950 роках у підручниках О.В. Пьоришкіна, Г.І. Фалєєва, В.В Краукліса [221], [267], [194] здійснювали на основі дослідів по спостереженню за виникненням індукційного струму в чутливому гальванометрі, приєднаному до котушки, при введенні в неї та виведенні з неї постійного штабового магніту чи електромагніту, або при надіванні та знімані котушки з нерухомого постійного штабового магніту чи електромагніту. З дослідів роблять висновок, що індукційний «електричний струм виникає в провіднікові, якщо провідник і магніт рухаються один відносно одного» [267, с. 163–165]. Одразу на основі дослідів з рухом у магнітному полі прямого провідника, приєднаного до чутливого гальванометра, переконувались, що індукційний «електричний струм виникає в провіднікові тільки в тому випадку, коли провідник при своєму русі перетинає магнітні силові лінії; коли ж провідник рухається вздовж силових ліній, не пересікаючи їх, струм у ньому не виникає».

Зазначимо, що термін «індукційний струм» у всіх підручниках та відповідних методичних посібниках вводили пізніше, тільки на етапі формулювання висновків про явище електромагнітної індукції [221], [267], [194], [197], [225], [199]–[202], [226], [16], [198], [9], [209]–[211], [164], [43], [156], [159]. У ході ж проведення дослідів говорили просто про електричний струм. На нашу думку, уже в перших дослідах можна зазначити, що ми маємо справу із наведеним (індукційним) струмом. У такому разі ми одразу будемо говорити не про електричний струм взагалі, а саме про індукційний струм.

У підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної 1969–1980 років [197], [225],

[199], [200] розкриття явища електромагнітної індукції здійснюють на основі аналогічного демонстраційного експерименту, але в іншій послідовності. Спочатку проводять досліди з рухом прямого провідника в магнітному полі, а потім зі взаємним рухом магніту й котушки і формулюють відповідні висновки. Суттєво, що висновок другої серії дослідів суттєво розширений [197], [199, с. 163–166]: «струм у колі котушки виникає й існує тільки під час руху магніту відносно котушки, тобто при зміні магнітного поля». Як бачимо, після реформи 1967 р. говорять не тільки про відносність руху магніту й котушки, але й про зміну магнітного поля, як причину виникнення індукційного струму. Це суттєвий крок на шляху розкриття фізичної суті явища електромагнітної індукції. Для підтвердження цього висновку проводять ще один дослід. Вставляють одну котушку в іншу; одну із них приєднують через ключ до джерела електричного струму, а іншу – до чутливого гальванометра; при вмиканні та вимиканні електричного струму через першу котушку спостерігають короткочасний індукційний електричний струм у другій котушці. При поясненні звертають увагу на те, що індукційний струм існує тільки під час зміни «числа силових ліній, що перетинають витки котушки».

Висновок стосовно явища електромагнітної індукції у підручниках 1950 років та 1969–1980 років сформульовано подібним чином: «Явище виникнення в замкнутому провідникові електричного струму при перетинанні цим провідником силових ліній магнітного поля називають електромагнітною індукцією. Струм, який при цьому виникає, називають індукційним струмом».

Таке означення є некоректним і приводить до невірного трактування учнями явища електромагнітної індукції не тільки в основній, але й у старшій школі. Справа в тому, що не завжди при перетинанні замкнутим провідником ліній магнітного поля, у цьому провіднику виникає індукційний струм. Наприклад, якщо замкнутий провідний контур чи котушка рухаються поступально в однорідному магнітному полі перпендикулярно до ліній магнітного поля, то індукційного струму не буде, тому що не змінюється число ліній магнітного поля, що їх перетинає замкнутий провідник чи котушка. Це зовсім не враховано у вказаних підручниках та відповідних методичних посібниках. У пореформених підручниках хоча

й згадують про змінне магнітне поле та про зміну кількості ліній магнітного поля, що перетинають замкнутий контур при виникненні індукційного струму, але не акцентують увагу на важливості й загальності цього висновку і зовсім не враховують це у кінцевому висновку про явище електромагнітної індукції. Зовсім не розкритим залишилось питання про два типи ефектів електромагнітної індукції.

У всіх зазначених підручниках [221], [267, с. 165–166], [194], [197], [225], [199, с. 166–167] слідом за явищем електромагнітної індукції аналізують напрям індукційного струму на основі правила правої руки. Для подальшого обґрунтування виникнення змінного електричного струму в індукційному генераторі правила правої руки достатньо. Але, оскільки індукційний електричний струм виникає і в нерухомих замкнутих провідниках при наявності змінного магнітного поля (при зміні кількості ліній магнітного поля, що перетинають контур провідника), то доцільніше вивчати правило Ленца, котре має більш глибокий фізичний зміст.

Потребує детальнішого аналізу експериментальне підтвердження другого типу явища електромагнітної індукції. Дослід з рухом в магнітному полі прямого провідника, приєднаного до чутливого гальванометра, на який посилаються всі підручники та методичні посібники як основної, так і старшої школи [221], [267], [194], [197], [225], [199]–[202], [226], [16], [198], [9], [209]–[211], [164], [43], [156], [159], не може вважатись вдалим і переконливим. Ще М.С. Білий у методичному посібнику [9, с. 252] зазначає, що для вказаної вище демонстрації необхідно використовувати дуже чутливий (наприклад, дзеркальний) гальванометр, якого у школі може не бути. Але є й більш принципове ускладнення. Справа у тім, що у всіх подібних дослідах при русі провідника в магнітному полі змінюється магнітний потік, що пронизує замкнутий контур, утворений провідником, з’єднувальними провідниками та вимірювальною системою гальванометра. Отже, у подібних дослідах змінюється магнітне поле, що пронизує вказаний контур. А значить, ми маємо справу не тільки з другим, але й з першим типом явища електромагнітної індукції. Пряме підтвердження саме другого типу явища електромагнітної індукції з відокремленим провідником, який не входить у певний замкнутий провідний контур, становить вагому експериментальну проблему.

Додаток А 19

Генератор змінного електричного струму. Трансформатор

На використанні явища електромагнітної індукції засновані принцип дії та будова ***генератора електричного струму***. Кінцева мета в усіх підручниках та методичних посібниках [221], [267], [194], [225], [197]–[202], [226], [16], [9], [209]–[211], [164], [43], [156], [159] однакова – розкрити експериментально й теоретично принцип дії та будову індукційного генератора змінного струму і показати, що він виробляє змінний електричний струм. Але методика і глибина висвітлення цих питань у різних авторів суттєво відрізняється.

У підручниках 1950 років О.В. Пьоришкіна, Г.І. Фалєєва, В.В Краукліса [221], [267], [194] спочатку на основі правила правої руки та відповідних рисунків аналізують напрям індукційного струму в провіднику, що розташований перпендикулярно до ліній постійного магнітного поля і рухається по колу в цьому полі. Роблять висновок: «коли провідник зробить повний оберт в магнітному полі, напрям струму в ньому двічі зміниться; змінюється також і величина струму в провіднику»; вводять поняття змінного електричного струму [267, с. 166–168]. Розглядають обертання в магнітному полі замкнутої рамки, аналізують напрям індукційного струму та роблять висновок, що «при обертанні рамки в магнітному полі в ній виникає змінний струм». І тільки після цього розглядають рамку з'єднану з двома кільцями та щітками і переходять до пояснення будови генератора змінного струму. Таке пояснення є цілком доступним для учнів, але воно не є науково виваженим у зв'язку з тими зауваженнями, які ми зробили стосовно аналізу індукційного струму, що протікає у провіднику при його русі в магнітному полі.

У пореформених підручниках О.В. Пьоришкіна і Н.О. Родіної 1969–1980 років [197], [225], [199], [200] одразу розглядають модель генератора: обертання рамки, приєднаної через кільця та щітки до гальванометра. Тобто емпіричним шляхом доводять виникнення змінного індукційного струму й дають його означення. Теоретичне обґрунтування зведено до одного речення, в якому відмічають: «При обертанні рамки змінюється число силових ліній, котрі її пересікають» [197], [199, с. 167–169]. На завершення розглядають будову генератора, в тому числі дають

відомості про статор і ротор та підкреслюють, що генератор є основним джерелом електричного струму. Зазначена методика є більш науково виваженою за попередню, але в ній не приділено належної уваги теоретичному обґрунтуванню виникнення змінного електричного струму.

У вітчизняному підручнику О.І. Бугайова, М.Т. Мартинюка [16, с. 19–22] запроваджено наступну послідовність вивчення матеріалу. Спочатку на моделі генератора змінного струму пояснюють напрям індукційного струму при обертанні рамки в магнітному полі та доводять, що при цьому виникає змінний електричний струм. На жаль, це пояснення не підкріплене посиланням на правило Ленца і без додаткових роз'яснень учителя, є малозрозумілим для учнів. Крім того, зовсім не вказують, що при обертанні рамки в магнітному полі, змінюється кількість ліній магнітного поля, що її перетинають, тобто внаслідок явища електромагнітної індукції в рамці виникає індукційний струм. Хоча логіка висвітлення попередніх параграфів дає для цього всі підстави. При розгляді будови індукційного генератора змінного струму чітко підкреслюють про перетворення механічної енергії обертання рамки в магнітному полі в енергію електричного струму. Вдалим є винесення відомостей про статори і ротори, про особливості будови генераторів малої та великої потужності в додатковий матеріал.

Призначення, будову й принцип дії ***трансформатора*** розглядають у підручниках 1950 років О.В. Пьоришкіна, Г.І. Фалєєва, В.В Краукліса [221], [267], [194], та у вітчизняному підручнику за редакцією О.І. Бугайова [16]. У підручниках 1950 років учням надавали в готовому виді на емпіричному рівні без теоретичного обґрунтування певні відомості про призначення та будову трансформаторів, про залежність напруги на виходах первинної та вторинної котушок від кількості витків у них, про особливості підвищувальних та знижувальних трансформаторів [267, с. 170–174]. У вітчизняному підручнику принцип дії трансформатора розглядають попутно в ході вивчення питання «Взаємна індукція провідників» [16, с. 13–14]. Пояснення надає учням певні відомості про трансформатор, але є настільки стислим, що не дозволяє в достатній мірі розкрити призначення, будову та принцип дії трансформатора.

Додатки Б

Наукові основи методики навчання електромагнетизму в основній школі (до підрозділу 1.2)

Додаток Б 1

Вікові особливості розумового розвитку учнів в основній школі

1. Початок вивчення фізики як навчального предмету (12–13 років) та електромагнетизму зокрема (13–14 років) приходиться на підлітковий вік учнів (середній шкільний вік). Психологічні теорії висвітлюють різні аспекти підліткового віку. Предметом нашого аналізу є тільки ті особливості психічного розвитку, котрі безпосередньо характеризують ***розумовий розвиток підлітків*** у процесі навчання.

У традиційній класифікації на основі досліджень Ж. Піаже [206], Л.С. Виготського [44], О.М. Леонтьєва [144], Д.Б. Ельконіна [290], В.В. Давидова [51], Г.С. Костюка [137] та ін. підлітковим зазвичай вважають вік від 10–11 до 14–15 років [97, с. 223, с. 230], [42, с. 177], [174, с. 345], [207, с. 114]. Цей перехідний вік від дитинства до дорослості характеризується суттєвими якісними змінами психічного розвитку.

Так, Ж. Піаже на основі дослідження розвитку мислення робить висновок, що з 11–12 років і протягом всього підліткового періоду розвивається ***формальне мислення*** [206, с. 177]. Причому, на думку вченого, розвиток *мислення на стадії формальних операцій є не тільки основним когнітивним новоутворенням підліткового віку, але й основним чинником всієї еволюції психічного життя людини*. Якщо учні віком від 7–8 до 11–12 років оперують конкретними розумовими операціями, що відносяться до предметів чи об’єктів, якими можна маніпулювати або «схопити» в інтуїції, то починаючи з 11–12 років учні оперують також з *абстрактними поняттями*, що відносяться до формального мислення. Формальне мислення пов’язане з мисленням про думки. Підросток володіє здатністю до *дискурсивного* (розмірковуючого) *мислення*. Таке мислення дозволяє підліткові відійти від конкретного і проникнути в сферу абстрактного.

З конкретно-понятійного мислення поступово стає *абстрактно-понятійним*.

Учні в змозі вивчати нові, достатньо складні поняття, причому поняття стають не тільки поглибленими, але й диференційованими [137, с. 245–246].

Розвиток інтелектуального потенціалу підлітка вказує на здатність до оволодіння не тільки емпіричним, але й *теоретичним мисленням*, для якого є характерним *гіпотетико-дедуктивне мислення*, вміння формувати гіпотезу, оперувати символами, абстрагуватись від конкретного, проводити аналіз і синтез [137, с. 245–248], [42, с. 183–184], [174, с. 389–391]. Це свідчить про початок розвитку в підлітків *наукового мислення*. У молодшому шкільному віці домінує емпіричне узагальнення та *емпіричне мислення*, котре в основному направлено від окремого, конкретного, одиничного до загального, цілого, абстрактного, від випадку, факту до системи, від явища до його суті [93]. Емпіричне мислення здійснюється шляхом перебору варіантів конкретних ситуацій методом спроб та помилок і дозволяє усвідомлювати подібність, відмінність та проводити класифікацію предметів, процесів, явищ. Теоретичне мислення безпосередньо не виводиться з життєво-емпіричного досвіду, а будується на віднаходженні абстрактної сутності об'єкту пізнання. У підлітковому віці учням властивий *змішаний стиль мислення* з домінуванням раціональних компонентів [179].

Новоутворення когнітивного розвитку підлітка сприяє *інтелектуалізації* перцептивної (відчуття та сприйняття) і мнемонічної (пам'ять) психічних функцій.

Завдяки активній внутрішній перетворюючій діяльності, психічна *функція уяви* розвивається в такій мірі, що підліток в змозі довільно керувати нею. Завдяки цьому при оперуванні абстрактними поняттями, при побудові дедуктивних умовиводів підліток поєднує дві психічні функції – мислення та уяву [42, с. 189–190]. В.С. Мухіна відмічає про підсилення *довільної сторони* не тільки уяви, але й *уваги* і *пам'яті* – поступово зростає уміння підлітка організовувати, регулювати, контролювати та керувати цими психічними функціями [174, с. 392–396].

Особливістю *пам'яті* підлітка є встановлення більш складних асоціацій, зв'язок нового матеріалу зі старим, включення нового в систему знань. Пам'ять перебудовується в поступовому процесі переходу до змістовного запам'ятовування [174, с. 392–396]. Відбувається інтелектуалізація пам'яті [42, с. 189–190]. Спосте-

рігається підвищення темпу розвитку пам’яті: за одними даними [42, с. 187] посередині, за іншими [174, с. 393] – наприкінці підліткового віку. У підлітків помітно збільшується обсяг *уваги* [174], [140], [141].

З підлітковим віком пов'язаний розвиток інтелектуальної та особистісної *рефлексії*. Підсилюється свідоме відношення до навчання. Тенденція до саморозвитку відмічається в кінці підліткового віку, коли багато підлітків оволодівають прийомами самостійного планування і контролю своєї діяльності. Важливою особливістю цього віку є формування активного, самостійного, творчого мислення.

Але, як свідчать дослідження психологів і показує педагогічна практика, темпи й *рівень сформованості формального мислення в підлітків лежать у дуже широких межах*. Особливо велика різноманітність в рівнях розвитку учбової діяльності спостерігається на початку підліткового віку. Частина підлітків, унаслідок індивідуально-типологічних особливостей розвитку, впродовж довгого проміжку часу ще залишається на рівні конкретного мислення [42, с. 183–194]. Дискурсивне, абстрактне, теоретичне мислення підлітків ще далеко не завершує свого розвитку [137, с. 248]. Особливі труднощі пов’язані з розвитком рефлексії. І тільки за умови усунення причин, котрі затримують розвиток мислення учнів, можна досягти бажаного результату.

2. Автори ***дисертаційних досліджень*** виділяють наступні особливості розумового розвитку підлітків при вивченні фізики.

М.Т. Мартинюк на основі ґрунтовного аналізу психологічних особливостей розвитку учнів основної школи робить висновок, що початок вивчення фізики у дванадцятирічному віці відповідає психологічним особливостям їх розвитку і стимулює його. У цілому автор дотримується зазначених вище поглядів стосовно врахування особливостей та поетапності розумового розвитку учнів. Поряд з цим, М.Т. Мартинюк надає великого значення організації *цілеспрямованої навчальної діяльності*, для якої є характерним посилення ролі абстрактного, науково-теоретичного стилю мислення, і відмічає готовність більшості учнів до цього [157], [158, с. 22–31, с. 128–131].

О.І. Ляшенко всебічно розглядає взаємозв’язок теоретичного та емпіричного

в навчанні фізики і робить висновок про важливість *єдності емпіричного та теоретичного* в навчальному пізнанні [151]. Б.Є. Будний обґрунтовує теоретичні засади та розробляє методику формування *науково-теоретичного способу мислення* на основі засвоєння учнями системи фундаментальних фізичних понять у старшій школі, та пропедевтику їх формування в основній школі [21].

К.С. Макаренко вивчає умови успішного формування в учнів основної школи *дедуктивного методу міркування* в процесі пояснення явищ природи *на основі фізичних теорій* (молекулярно-кінетичної та електронної) [153]. І.В. Коробова обґрунтовує, що при вивченні фізики учнями 8 класу важливо розвивати в них *дивергентне мислення*, котре є вищим рівнем наочно-образного мислення [127]. В.В. Денисенко досліджує *психологічні умови формування теоретичного мислення в підлітків у процесі вивчення фізики* та виділяє три групи учнів 7 та 8 класів згідно рівня розвитку їх теоретичного мислення: 1) з емпіричним типом мислення (28,5 %); 2) з розвиненим теоретичним мисленням (22,6 %); 3) перехідна ланка між емпіричним та теоретичним мисленням (48,9 %) [79]. Низький відсоток «теоретиків» пояснюється тим, «що в школах формування мислення як спеціальне завдання не ставиться».

Таким чином, є всі підстави для розвитку в учнів основної школи при вивченні фізики не тільки наочно-образного мислення, але і його вищого рівня – дивергентного мислення; для посилення ролі формального, абстрактного мислення; для поєднання розвитку індуктивного та дедуктивного мислення; емпіричного та теоретичного мислення; для поступового розвитку наукового мислення.

Додаток Б 2

Провідна роль навчання в розумовому розвитку учнів

1. Важливим напрямом розвитку теорії та практики навчальної діяльності є ***розвиваюче навчання***, трьома основними напрямами якого є: 1) система розвиваючого навчання Л.В. Занкова; 2) система розвиваючого навчання В.В. Давидова; 3) проблемне навчання.

Л.В. ***Занков*** критерієм ефективності навчання вважає *загальний розвиток уч-*

ня (а не тільки розумовий) [96]. Для досягнення мети підвищення загального розвитку учнів, напрацьована і перевірена на практиці дидактична система розвиваючого навчання, основу якої складають наступні *дидактичні принципи* [96, с. 13–20, 112–120]: 1) навчання на високому рівні складності (з подоланням перепон, котрі стимулюють відповідні процеси психічної діяльності учня в процесі оволодіння навчальним матеріалом; міра трудності направлена не на її пониження, а відповідає можливості усвідомлення навчального матеріалу учнями); 2) провідна роль теоретичних знань (з відповідною якісно відмінною побудовою змісту освіти; з використанням й емпіричних знань; без приниження ролі умінь і навичок); 3) навчання швидкими темпами (без багаторазового однотипного повторення); 4) усвідомлення учнями процесу учіння; 5) цілеспрямована і систематична робота над загальним розвитком всіх учнів, у тому числі й найбільш сильних і слабких.

У контексті робіт Л.С. Виготського та Д.Б. Ельконіна, В.В. ***Давидов*** [75] проаналізував особливості емпіричного та теоретичного мислення і показав, що традиційне (на той час) навчання відповідає емпіричному узагальненню та розвиває передусім емпіричне мислення. Разом з тим, для осягнення сучасного наукового стану навчальних предметів, учням необхідно володіти теоретичним мисленням. В.В. Давидов обґрунтовує необхідність переорієнтації всієї системи навчання з формування в дітей розмірковуюче-емпіричного мислення на *розвиток* у них *сучасного науково-теоретичного мислення* [75, с. 5–7, 395–396].

Досягнення поставленої мети здійснюється на основні напрацювання і впровадження *принципів* побудови навчальних предметів і навчальної діяльності учнів [75, с. 5–7, 397–398]: 1) всі поняття, що конструюють даний навчальний предмет чи його основні розділи, повинні засвоюватись учнями шляхом розгляду предметно-матеріальних умов їх походження, завдяки чому вони стають необхідними (іншими словами, поняття не даються як «готові знання»); 2) засвоєння знань загального й абстрактного характеру передує знайомству з більш частковими й конкретними знаннями – останні виводять з перших як зі своєї єдиної основи – цей принцип відповідає сходженню від абстрактного до конкретного; 3) при вивченні предметно-матеріальних джерел тих чи інших понять, учні повинні вміти перш за

все віднаходити генетично вихідний, загальний зв'язок, котрий визначає зміст і структуру об’єкту цих понять як цілісності; 4) цей зв'язок необхідно відобразити в особливих предметних, графічних чи знакових моделях, котрі дозволяють вивчати його властивості «в чистому виді»; 5) учні повинні володіти такими предметними діями, завдяки яким вони можуть у навчальному матеріалі виявити і в моделях відобразити сутнісні зв'язки об’єкту, а потім вивчати його властивості; 6) учні повинні вміти поступово й своєчасно переходити від предметних дій до їх виконання у розумовому плані.

Особливості теоретичного і експериментального психологічного дослідження цього напряму розвиваючого навчання розкрито в літературі [293], [110], [76]. Дидактичну систему розвиваючого навчання В.В. Давидова скорочено іменують як «змістовне теоретичне узагальнення». Педагогічна практика підтвердила високу ефективність розвиваючого навчання для учнів молодшого шкільного віку: учні повноцінно оволодівають поняттями і уміннями, що зазвичай відносяться до більш старшого віку [75, с. 398]. Розвиток психіки учня за умов розвиваючого навчання дає значно вищі результати порівняно із традиційним навчанням. Це свідчить, що вікові особливості учнів необхідно вивчати в залежності від побудови навчального процесу [96, с. 125–127, 307–312].

Перспективним напрямом розвиваючого навчання є ***проблемне навчання***, основні закономірності якого у своїх наукових працях розкрили В. Оконь [183], О.М. Матюшкін [161], І.Я. Лернер [146], М.І. Махмутов [162] та ін. Особливості використання проблемного навчання при вивченні фізики найбільш повно проаналізували Р.І. Малафєєв [154], Л.А. Закота і О.І. Ляшенко [95].

Теорія та практика проблемного навчання в достатній мірі розкриває такі питання: послідовність етапів продуктивної пізнавальної діяльності учнів в умовах проблемного навчання; поняття *проблемної ситуації* (центральне в проблемному навчанні); дидактичні вимоги, способи, типи протиріч до створення проблемних ситуацій; *чотири рівні проблемного навчання* та ін.

Основна значимість проблемного навчання полягає в наступному: активізація учбової діяльності, розвиток пізнавальної самостійності та творчих здібностей

учнів; отримання знань не в готовому виді, а шляхом перевідкриття учнем для себе доступних наукових надбань певної наукової галузі; засвоєння учнями як системи знань, так і способів розумової діяльності; підвищення наукового рівня навчання і оволодіння методами наукового дослідження; підвищення рівня розвитку діалектичного мислення та наукового світогляду учнів. Водночас, проблемне навчання виявляється неоднаково ефективним для різних учнів як на рівні інтелектуальних утруднень, так і на рівні пізнавальної активності: вони можуть бути або дуже високими, або майже відсутніми [42, с. 335–337].

Додаток Б 3

Індивідуалізація та диференціація навчання

1. Терміни *індивідуалізація та диференціація навчання*, індивідуальне та диференційоване навчання, індивідуальний та диференційований підхід, дидактичні принципи індивідуалізації та диференціації навчання, технології індивідуалізації та диференціації навчання надійно посіли своє чільне місце в теорії і практиці сучасного навчання. Індивідуалізація та диференціація навчання взаємопов’язані між собою Нерідко ці поняття змішують чи використовують як синоніми. Аналіз літератури свідчить про відсутність єдиного підходу в тлумаченні вказаних термінів.

Різностороннє розкриття зазначеної теми здійснено І.Е. Унт [261]. Ґрунтовний аналіз індивідуалізації та диференціації навчання математики здійснено в дисертаційному дослідженні В.Я. Забранського [91, с. 14–24], а індивідуалізації та диференціації навчання фізики – в дисертаційних дослідженнях Т.О. Лукіної [148, с. 34–52], [149] і Т.І. Туркот [260]. Велике значення цим питанням надають у педагогічних посібниках, наприклад [171, с. 269–276], [270, с. 202–206].

Згідно І.Е. Унт, ***індивідуалізація навчання*** пов’язана з «урахуванням в процесі навчання індивідуальних особливостей учнів у всіх його формах і методах, незалежно від того, які особливості та в якій мірі враховуються» [261, с. 8]. Таким є трактування індивідуалізації у широкому розумінні, як загального напряму, стратегії, принципу навчання. Термін «диференціація» означає розділення цілого на частини. ***Диференціація навчання*** у трактуванні І.Е. Унт пов’язана з ураху-

ванням індивідуальних особливостей учнів, при якому їх об'єднують у групи на основі певних особливостей для окремого навчання [261, с. 8]. У такому трактуванні диференціація є більш вузьким поняттям від індивідуалізації. Подібну підпорядкованість термінів, згідно їх етимології, відстоює В.Я. Забранський, котрий розглядає диференціацію одним із засобів індивідуалізації [91, с. 20–24]. Н.Є. Мойсеюк вважає, що диференціація є однією з форм індивідуалізації: «Під диференціацією розуміють таку форму індивідуалізації, коли учнів, схожих за певними індивідуальними особливостями, об'єднують у групи для окремого навчання» [171, с. 270].

У вузькому трактуванні поняття індивідуалізації є синонімом до індивідуального підходу, пов'язаного з урахуванням індивідуальних особливостей учнів при індивідуальній чи груповій роботі. При сьогоднішньому стані середньої освіти повномасштабне запровадження індивідуалізації навчання (у вузькому трактуванні терміну) є нереальним. Але, з іншого боку, індивідуальне навчання, направлене на окремого учня, існує. Навіть за наявного стану середньої освіти, є всі можливості надавати окремим учням адресну допомогу, персональні навчальні завдання, творчі роботи, тощо. Це свідчить про доцільність використання поняття індивідуалізації навчання як у широкому, так і у вузькому трактуваннях. Такий підхід стає ще більш переконливим у підтексті особистісно орієнтованого навчання, котре є одним з провідних напрямів подальшого розвитку середньої освіти.

Існує підхід, при якому загальним (родовим) є поняття диференціації навчання, котре включає в себе поняття індивідуалізації як підпорядковане (видове). «У цьому випадку навчально-виховний процес, для якого характерним є врахування типових індивідуальних особливостей учнів, називають диференційованим, а навчання в умовах цього процесу – диференційованим навчанням» [256, с. 264–265]. З таким підходом важко погодитись, тому що вже в означенні диференційоване навчання вводять через врахування типових індивідуальних особливостей учнів. Отже вихідним поняттям є індивідуалізація, а диференціація – підпорядкованим. Ми дотримуємось думки, що диференціація є вужчим поняттям від індивідуалізації. Індивідуалізація (врахування індивідуальних особливостей учнів) є метою, а

диференціація – засобом її досягнення. Одночасно, вважаємо доцільним використовувати поняття диференціації й у широкому трактуванні, як один із основних принципів побудови системи середньої освіти, оскільки саме диференціація є на сьогодні оптимальною формою впровадження індивідуалізації навчання.

Висвітлення диференціації навчання в широкому її трактуванні здійснено в методичному посібнику [166, с. 47], у Концепції неперервної фізичної освіти в навчальних закладах України [3], Концепції розвитку загальної середньої освіти [124], Концепції 12-річної загальноосвітньої школи [125]. Диференціацію як технологію навчання розкрито у ґрунтовній науковій праці А. Фурмана [277].

Спочатку в теорії та практиці шкільного навчання користувались термінами внутрішня і зовнішня диференціація. *Внутрішня диференціація* відповідає такій організації навчання, при якій врахування індивідуальних особливостей учнів здійснюється в рамках їх навчання в звичайних класах, розділених, як правило, на тимчасові групи відповідно до рівня навчальних досягнень учнів та споріднених ознак їх певних індивідуальних особливостей. Всі учні працюють за однаковими навчальними програмами і підручниками, викладання матеріалу єдине для всіх учнів, а внутрішня диференціація сприяє оволодінню програмного матеріалу всіма учнями. *Зовнішня диференціація* відповідає такій організації навчання, при якій учнів об’єднують в спеціальні класи чи групи відповідно до їх інтересів, здібностей та нахилів для поглибленого вивчення певних предметів за спеціальними програмами і навчальними посібниками. Зовнішня диференціація може бути як *селективною* (жорсткою) – в школах чи класах з поглибленим чи профільним вивченням певних предметів (фізики), так і *елективною* (гнучкою) – на факультативних заняттях, спецкурсах, гуртках, при вивченні предметів за вибором зі збереженням інваріантної частини, в позакласній роботі [256, с. 265–267]. Отже першим критерієм, за яким здійснюється зовнішня диференціація є здібності, нахили та уподобання учнів до вивчення певних предметів. Другим критерієм є загальний розумовий розвиток і стан здоров’я учнів, згідно якого створюють непрофільні школи для здібних та обдарованих дітей (наприклад, класичні гімназії), школи (класи, класи вирівнювання) чи школи-інтернати інтенсивної педагогічної корек-

ції (для дітей із затримкою психічного розвитку), школи для дітей з відхиленням у здоров'ї [171, с. 271]. Ретельний аналіз зазначених видів диференціації при вивченні фізики здійснено у навчальному посібнику з методики навчання фізики під редакцією С.Є. Каменецького [256, с. 264–270] та у дисертаційному дослідженні Т.О. Лукіної [148, с. 34–52].

Цікавим є зарубіжний досвід диференційованого навчання. Наприклад, у США, як один з важливих напрямів, є поділ учнів на чотири категорії відповідно до їх розумових здібностей (коефіцієнту інтелекту – IQ): високий, середній, нижчий за середній рівні, розумово відсталі діти. Комплектують учнів в гомогенні класи, що відповідає зовнішній диференціації, або ж в гетерогенні класи, що відповідає внутрішній диференціації. Принциповою відмінністю є відсутність обов'язкових програм та єдиних вимог до знань учнів [270, с. 205–206].

Додаток Б 4

Рівнева і профільна диференціація навчання

Рівнева диференціація передбачає *планування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу*. Всім учням повідомляють *однаковий обов'язковий зміст* і обсяг навчального матеріалу, а учні за сприяння учителя вибирають відповідні рівні його засвоєння згідно своїх здібностей, нахилів та уподобань. Традиційним вважається виокремлення трьох рівнів: А – *рівень обов'язкових результатів навчання;* В і С – відповідно вищі рівні. У навчальних програмах висвітлено вимоги до знань, умінь, навичок учнів для кожного рівня, особливо для рівня обов'язкових результатів навчання. На основі аналізу цих вимог пропонуємо назвати рівень В рівнем достатніх результатів навчання, а рівень С – рівнем високих результатів навчання. Вимоги до знань, умінь і навичок у кожному з рівнів, особливо на рівні обов'язкових результатів навчання, заздалегідь повідомляють учням. Усвідомлення учнями рівня вимог є дійовим засобом мотивації навчання і планування навчального навантаження учнів. Навчання здійснюється в звичайних класах, розділених, як правило, на тимчасові гнучкі відносно однорідні (гомогенні) групи відповідно до вибраного рівня. Для контролю навчальних досягнень учням

пропонують завдання відповідного рівня складності. Ефективним при цьому є тематичний облік навчальних досягнень. Створюються всі умови для поступового переходу учнів на більш високі посильні рівні. Упровадженню рівневої диференціації в основній школі сприяє випуск збірників різнорівневих задач з фізики відповідно до чотирьох рівнів оцінювання за 12-бальною шкалою [59], [116].

Рівнева диференціація за своєю суттю подібна до внутрішньої диференціації. Але між ними є й принципова відмінність. Для внутрішньої диференціації характерним є пошук таких методів, прийомів і засобів навчання, котрі через врахування індивідуальних особливостей учнів привели б до повноцінного оволодіння навчального матеріалу на єдиних для всіх учнів вимогах. Рівнева ж диференціація дає учням, в залежності від їх здібностей, нахилів та уподобань, право вибору того чи іншого рівня оволодіння навчальним матеріалом, але не нижче рівня обов'язкових результатів навчання. Рівнева диференціація в більшій мірі відповідає гуманізації та особистісній спрямованості навчання.

Рівнева і внутрішня диференціація можуть здійснюватись за такими критеріями: наявний рівень навчальних досягнень (успішності); бажаний рівень навчальних досягнень (в тому числі за інтересом до предмету); за навчальними можливостями (здібність, нездібність, глибина та швидкість сприйняття навчального матеріалу); за вмінням працювати самостійно; (всюди, наприклад, високий, достатній, середній, низький рівні); тощо. Вибір чи пріоритет певного критерію має свої позитивні та негативні наслідки. Саме у виборі критеріїв, за якими здійснюється диференціація, полягає основна принципова складність реалізації рівневої та внутрішньої диференціації, тому що за будь-якого з них неможливо повністю досягти бажаного результату. Друга складність полягає у великій наповнюваності класів, оскільки, у цьому разі вчитель не в змозі одночасно надати достатню увагу кожному учню. Ця складність є не менш важливою, але не стільки принциповою, як організаційною, оскільки її можна значною мірою зняти за рахунок зменшення кількості учнів у класах.

В останньому десятилітті XX ст. та на самому початку XXI ст. у наукових публікаціях О.І. Бугайова [14], у навчальних програмах з фізики [215]–[218], у

Концепції неперервної фізичної освіти в навчальних закладах України [3], Концепції розвитку загальної середньої освіти [124], Концепції 12-річної загальноосвітньої школи [125], Концепції фізичної освіти у 12-річній загальноосвітній школі [17] відстоювалась думка про запровадження рівневої диференціації протягом всього терміну навчання фізики у середній школі (7–11 класи 11-річної школи чи 7–12 класи 12-річної школи). Згодом, у Державному стандарті базової і повної середньої освіти [81]–[83] та у навчальних програмах з фізики [219] спеціально про рівневу диференціацію не йдеться. Але, оскільки одним з основних напрямів побудови середньої освіти є індивідуалізація та диференціація навчання, то цілком закономірним буде використання рівневої диференціації на розсуд навчального закладу чи учителя.

За умов ***профільної диференціації навчання*** в старшій школі, зміст освіти і вимоги до його засвоєння диференціюються за трьома типами (рівнями) навчальних програм: 1) обов'язкові результати навчання, визначені Державним стандартом; 2) академічне спрямування; 3) профільне спрямування [82, с. 1]. Трьом типам (рівням) програм відповідають три типи курсу фізики.

Відмітимо основні особливості трьох типів (рівнів) програм [17], [81]–[83].

Курс обов'язкових результатів навчання, визначених Державним стандартом (курс загальнокультурної орієнтації) «пропонують учням, які схильні розглядати фізику як елемент загальної культури і не передбачають її використання у своїй майбутній діяльності» [17, с. 9]. Такий курс пропонують у старших класах суспільно-гуманітарного, філологічного, художньо-естетичного, спортивного напрямів. Головним тут є розкриття загальнонаукового та світоглядного значення фізики.

Курс академічного спрямування (прикладного і загальноосвітнього спрямування) «пропонують учням, для яких фізика відіграє роль апарату для вивчення закономірностей навколишнього світу і певної галузі природничих знань, техніки чи технології. Його рекомендують учням, які обирають фізико-технічні, технічні, технологічні, хіміко-технологічні, біолого-хімічні …або подібні до них профілі та мають намір продовжити навчання у вузах технічного і технологічного напрямів. … Крім того, цей курс використовують у школах і класах, профіль яких має зага-

льноосвітній характер (коли немає профілів)» [17, с. 9].

Курс профільного спрямування (поглибленого вивчення фізики) «орієнтований на учнів, які виявляють підвищений інтерес і здібності до вивчення фізики» та пов’язують з нею свою майбутню діяльність. Такий курс пропонується в старших класах фізичного, фізико-математичного, фізико-хімічного, біофізичного профілів [17, с. 9].

Окрім того, вивчення фізики в старших класах в умовах профільного навчання на гуманітарних профілях може здійснюватись також в рамках інтегрованого курсу «Природознавство» [81]–[83].

Профільна диференціація за своєю суттю близька до зовнішньої диференціації. У процесі розвитку теорії та практики диференціації навчання, профільна диференціація вважалась однією із форм селективної (жорсткої) зовнішньої диференціації [256, с. 264–270], [148, с. 34–52]. Але з повноцінним впровадженням профільного навчання ситуація суттєво змінюється – профільна диференціація стає основним видом диференціації в середніх школах України.

Додаток Б 5

Перспективи запровадження диференціації навчання в основній школі

Проаналізуємо за науковими публікаціями та дисертаційними дослідженнями *стан вивчення і впровадження диференціації навчання фізики* в основній школі.

Дуже важливим в умовах упровадження диференціації навчання стає зв'язок між основним і додатковим матеріалами, що висвітлено на прикладі аналізу ряду тем курсу фізики основної школи в публікації М.В. Каленика [107].

Широкі можливості рівневої диференціації навчання для посилення експериментальної підготовки учнів основної школи при виконанні ними лабораторних робіт з фізики розкрито у наукових публікаціях Ю.М. Галатюка і В.І. Тищука [56], В.В. Мендерецького [163] та Н.А. Іваницької і В.Ф. Савченка [99], [100].

Цікавий досвід профільної диференціації при вивченні фізики в інтеграції з математикою, починаючи з 8 класу, відображено в науковій публікації Ю.П. Мінаєва [169]. Значне підвищення наукового рівня шкільного курсу фізики

забезпечується паралельним вивченням відповідних розділів математики.

М.В. Остапчук у дисертаційній роботі на основі аналізу закономірності диференціації навчання обґрунтовує, розробляє і впроваджує у практику систему фізичних завдань трьох рівнів для середньої загальноосвітньої школи в умовах рівневої диференціації на прикладі вивчення світлових явищ (8 клас), механіки (9 клас), механічних коливань і хвиль (9 клас), електродинаміки (11 клас). Підтверджено ефективність методики використання трохрівневих диференційованих завдань для досягнення учнями базового і підвищеного рівня знань [187].

Т.О. Лукіна на основі ґрунтовного аналізу існуючого стану індивідуалізації та диференціації (внутрішньої, зовнішньої, рівневої, профільної) навчання, аналізу теорії та методики реалізації задачного підходу в умовах диференціації навчання, обґрунтовує, розробляє і впроваджує у практику систему фізичних завдань трьох рівнів для різних профілів. Зроблено висновок про ефективність використання задачного підходу в умовах диференціації навчання, що проявляється у зміні характеру і активізації навчально-пізнавальної діяльності учнів, у поглибленні, узагальненні та систематизації знань [148, с. 34–52], [149].

А.Л. Стеблецький аналізує, розробляє і запроваджує дидактичні засоби індивідуалізації навчання фізики (перш за все у формі тестування) на прикладі вивчення теплових явищ учнями 8 класу [249].

Л.В. Яїцька всесторонньо аналізує поняття індивідуалізації, обґрунтовує, розробляє і впроваджує у практику технологію індивідуалізації навчання з метою досягнення стандартів базової освіти з фізики. Показано, що вказаної мети можна досягти, якщо індивідуалізацію навчання поєднувати з теорією поетапного формування розумових дій, проблемним та розвиваючим навчанням [292].

Диференційований підхід використовують у дисертаційних дослідженнях Г.О. Котельніков при виконанні учнями лабораторних робіт з фізики дослідницького характеру в усіх класах (у тому числі й основної школи) з поглибленим вивченням фізики (профільна та рівнева диференціація) [139] та М.П. Руденко при виконанні учнями основної школи домашнього експерименту з фізики з використанням трирівневих завдань [235].

Додатки В

Удосконалення змісту, структури й методики навчання електромагнетизму в основній школі (до розділу 2)

Додаток В 1

Запитання для самоконтролю та вправа до § 1.1 [38]

?

1. Яке походження слова «електрика» ?
2. Як можна наелектризувати тіла ? Що виникає між наелектризованими тілами ? Чого набувають наелектризовані тіла ?
3. У чому полягає явище електризації ? Чому сила електричної взаємодії при електризації тертям більша, ніж при електризації контактом ?
4. Як показати, що під час контакту чи тертя електризуються обидва тіла ?
5. Що таке електричний заряд ? Що характеризує електричний заряд ?
6. Яке позначення і одиниця електричного заряду та її скорочений запис ?
7. Скільки існує в природі видів електричного заряду й видів електрично заряджених частинок, як їх називають і позначають ?
8. Які тіла при електризації набувають позитивного, а які негативного електричного заряду ?
9. Які електрично заряджені тіла притягуються, а які – відштовхуються ?
10. Чому кожен атом і молекула за звичайних умов є електронейтральними ?
11. *** Чим відрізняється електрична взаємодія від гравітаційної ?

Вправа 1.1

1. Як і чому взаємодіють між собою при електризації контактом чи тертям: а) поліетиленова і паперова смуги, натерті між собою ? б) дві поліетиленові смуги, натерті об сухий папір ? в) ебонітовий (пластмасовий, гумовий) предмет з ворсинками хутра при натиранні даного предмету об хутро (об сухе волосся на голові) ? г) два ебонітові стержні, натерті об хутро ? д) скляний предмет і вузенькі смужки шовку (сухого паперу) при їх натиранні ? е) ебонітовий стержень, натертий об хутро, зі скляним стержнем, натертим об шовк чи папір ?

2. Як перевірити, позитивно чи негативно зарядженими стають поліетиленова і паперова смуги при їх взаємному натиранні ?
3. Чому іноді одяг притягується до тіла людини, або один до одного ?
4. ***Дослідіть*** електризацію пінопласту, плексигласу (органічного скла), фторопласту чи інших матеріалів і запишіть висновки в зошит.
5. Запишіть електричний заряд, який рівний плюс два з половиною мілікулон та мінус п’ять мікрокулон і виразіть їх у Кулонах.

Додаток В 2

Висновки змістового модуля 1

«Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію і електромагнітне поле»

1. Згідно сучасних уявлень існує ***електромагнітна взаємодія***, котра в окремих випадках може проявлятись як електрична взаємодія чи магнітна взаємодія. Електромагнітна взаємодія поширюється у вакуумі зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с. Існує ***електромагнітне поле***, а *електричне поле та магнітне поле – це два види (прояви)* «*єдиного*» електромагнітного поля. Наявність електричного чи магнітного полів залежить від вибору системи відліку. Електромагнітне (електричне, магнітне) поле має енергію. Існує ***два види матерії – речовина й поле***.
2. При контакті тіл, що посилюється внаслідок тертя, тіла електризуються й стають електрично зарядженими чи набувають електричного заряду, між ними виникає *електрична взаємодія*. В електризації шляхом контакту чи тертя беруть участь два тіла. *Явище електризації контактом чи тертям* полягає у набутті тілами властивості електризуватись, набувати електричного заряду внаслідок контакту чи тертя.
3. ***Електричний заряд*** – це фізична величина, що характеризує електричну взаємодію. Електричний заряд має позначення $\boldsymbol{q}$. Одиницею електричного заряду в системі СІ *є 1 Кулон*: $[\boldsymbol{q}] = \boldsymbol{1\ Кл}$.
4. Існує тільки ***два види електричного заряду***: позитивний та негативний заряди; існує тільки *два види електрично заряджених частинок*: позитивно та негативно заряджені частини, які позначають знаками «+» та «–» відповідно.

5. ***Електрична взаємодія*** може проявлятись як електричне притягання чи електричне відштовхування. *Різнойменно електрично заряджені тіла (частинки) взаємно притягуються, а однойменно електрично заряджені тіла (частинки) взаємно відштовхуються між собою*.
6. ***Електрична взаємодія*** *здійснюється завдяки електричному полю*. *Існує* ***електричне поле*** *електрично зарядженої частинки* чи тіла і це *електричне поле невіддільне від електрично зарядженої частинки* чи тіла. (Існує й електричне поле іншої природи). *Електричне поле виявляють за його дією на електрично заряджену частинку*.
7. ***Магнітна взаємодія*** *здійснюється завдяки наявності магнітного поля*. *Наявність магнітного поля легко виявити за його орієнтаційною дією на магнітну стрілку*. *Існує* ***магнітне поле*** *навколо рухомої електрично зарядженої частинки*. (Існує й магнітне поле іншої природи). *Навколо нерухомої електрично зарядженої частинки* (в одній системі відліку) *існує електричне поле, а навколо рухомої* (в іншій системі відліку) – *як електричне поле, так і магнітне поле*.
8. *Магніти притягуються між собою різнойменними і відштовхуються однойменними полюсами*. *Окремих полюсів N або S в природі не спостерігається, всі магніти мають обидва полюси одночасно*.

Додаток В 3

Характерні особливості навчального посібника [38] «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле»

Текст посібника орієнтовано на використання проблемного навчання, уроку-бесіди, котрі є ефективними з точки зору розкриття фізичної суті навчального матеріалу, активізації пізнавальної діяльності, розвитку мислення учнів, раціонального використання навчального часу. Для цього в тексті окремим кольором виділено питання до учнів стосовно пояснення результатів досліду, висловлення гіпотез, формулювання висновків, тощо.

У зв’язку з тим, що при вивченні фізики в основній школі особливе значення має фізичний експеримент, у навчальному посібнику приведено багато кольоро-

вих ілюстрацій до демонстраційного експерименту. Основні поняття, терміни, висновки виділені жирним шрифтом чи курсивом. Наприкінці параграфу (підпараграфу) учню пропонується самостійно сформулювати висновки. У деяких найскладніших випадках, у якості прикладу, після цього власне приведені самі висновки. По закінченню параграфу чи підпараграфу під символом знаку питання учню для самоконтролю пропонується відповісти на поставлені питання та для вдосконалення знань виконати відповідні вправи. Питання і вправи в основному направлені на розуміння фізичної суті вивченого матеріалу, вміння виділяти головне та використовувати знання на практиці. У кінці кожного змістового модуля і розділу приведено підсумки з виділенням найважливішого.

Додаток В 4
Лінії електричного поля та їх напрям (до § 5)

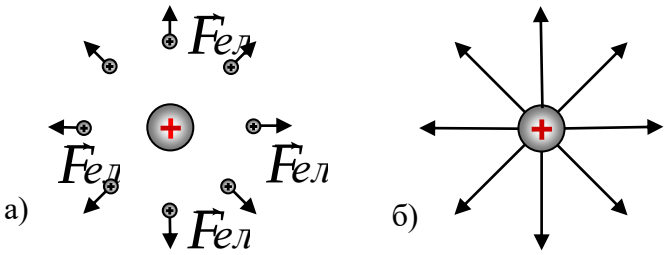


Рис. В.4.1. Лінії електричного поля сферичного позитивно зарядженого тіла

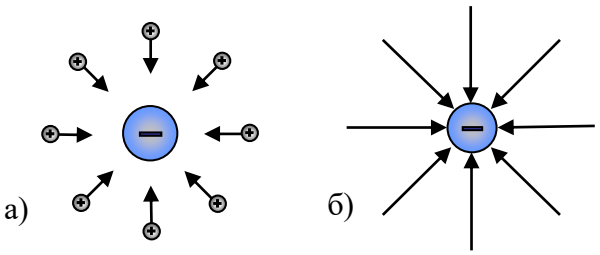


Рис. В.4.2. Лінії електричного поля сферичного негативно зарядженого тіла

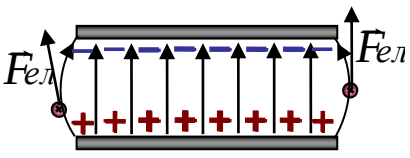


Рис. В.4.3. Лінії ЕП між двома різнойменно зарядженими пластинами

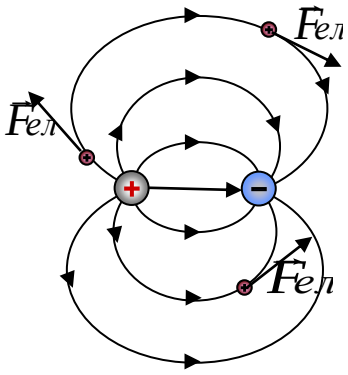


Рис. В.4.4. Лінії ЕП двох різнойменно заряджених частинок

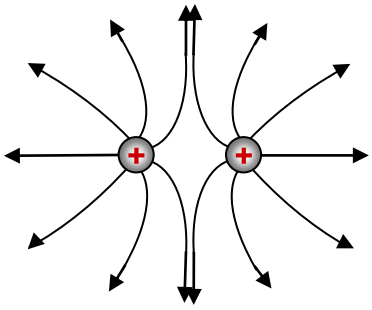


Рис. В.4.5. Лінії ЕП двох однойменно заряджених частинок

Додаток В 5
Магнітне поле провідників зі струмом (до § 23)

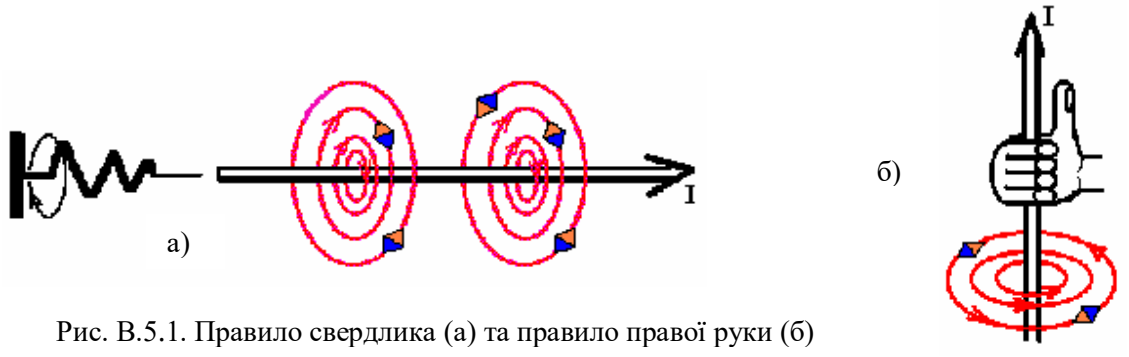


Рис. В.5.1. Правило свердлика (а) та правило правої руки (б)

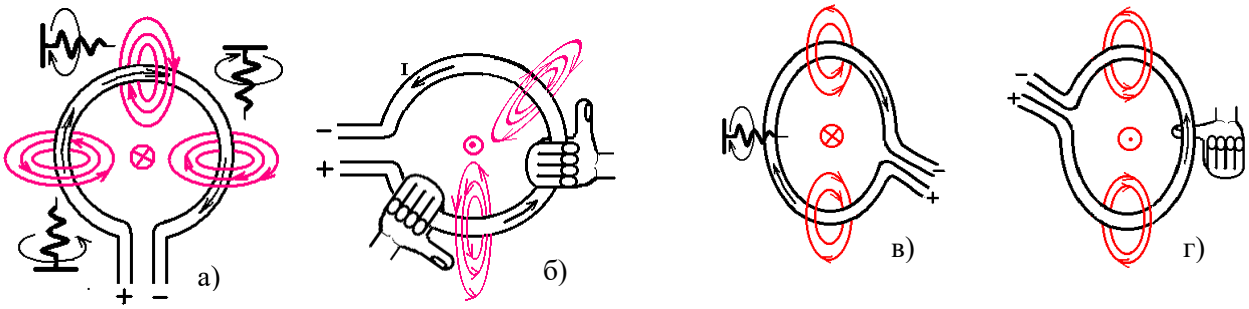


Рис. В.5.2. Магнітне поле кільця зі струмом

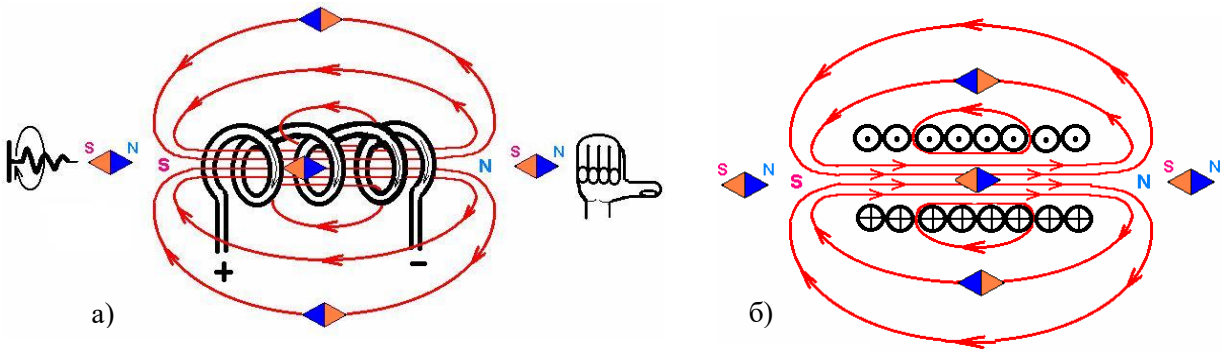


Рис. В.5.3. Магнітне поле соленоїда

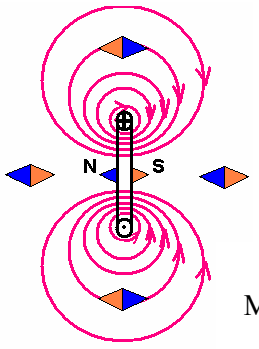


Рис. В.5.4.
МП кільця зі струмом:
вид збоку

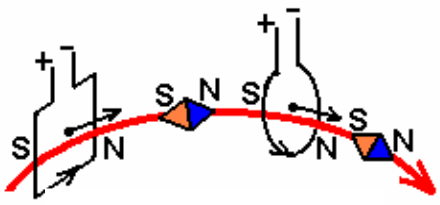


Рис. В.5.5.
Напрям ліній магніт-
ного поля

Додаток В 6

Дія магнітного поля на провідник зі струмом (до § 27.1)

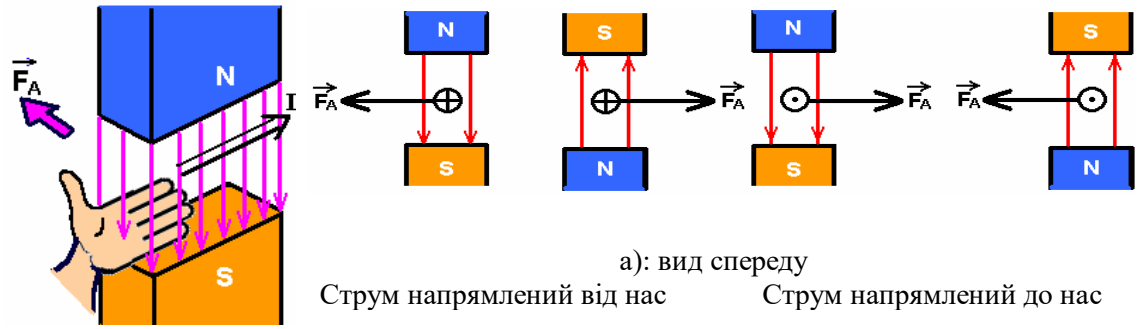


Рис. В.6.1. Сила Ампера і правило лівої руки

Додаток В 7

Взаємодія паралельних провідників зі струмом (до § 27.2)



Рис. В.7.1. Взаємодія паралельних провідників із однаково напрямленими струмами

Додаток В 8

Дія магнітного поля на рамку зі струмом і принцип дії двигуна постійного електричного струму (до § 28)

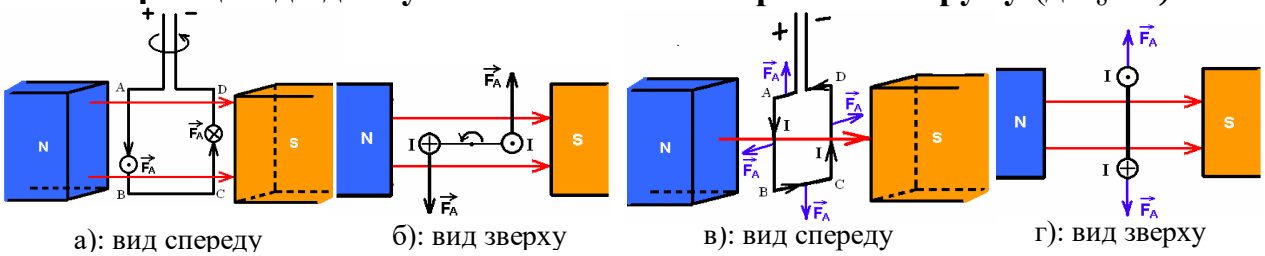


Рис. В.8.1. Дія магнітного поля на рамку зі струмом

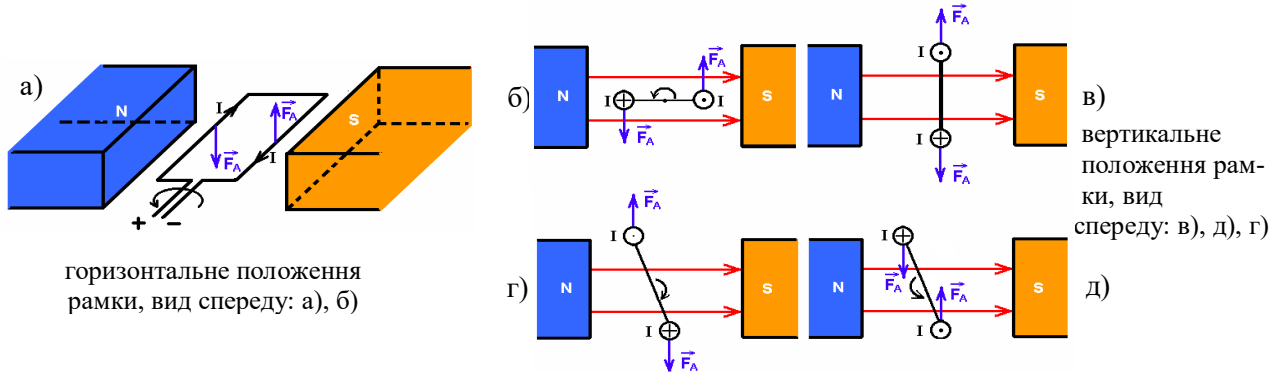
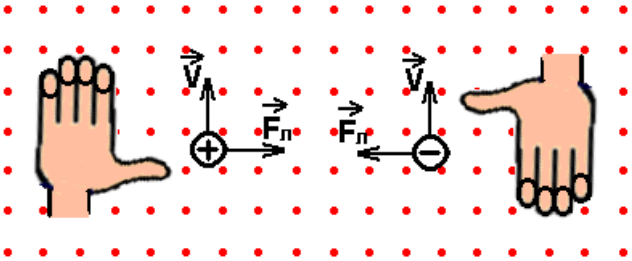


Рис. В.8.2. Принцип дії двигуна постійного електричного струму

Додаток В 9

Сила Лоренца і правило лівої руки (до § 29)



Лінії магнітного поля напрямлені до нас

Рис. В.9.1. Сила Лоренца і правило лівої руки

Додаток В 10

Явище самоіндукції (до § 33)

Проводимо традиційний демонстраційний експеримент згідно рис. В.10.1 (лампочки Л1 та Л2 однакові, опори резистора і котушки в колі постійного електричного струму однакові): при замиканні електричного кола спостерігаємо практично миттєве розжарення лампочки Л1 і плавне наростання розжарення лампочки Л2. Пояснюємо явище на основі знань учнів про електромагнітну індукцію з попереднього параграфу.

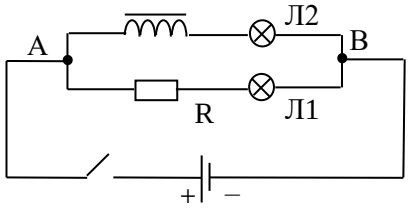


Рис.В.10.1. Явище самоїндукції

Розмикаємо електричне коло та спостерігаємо плавне зменшення розжарення лампочок Л1 та Л2. Пропонуємо учням пояснити явище.

Аналізуємо, що розглянуті випадки електромагнітної індукції суттєво відмінні від тих, котрі висвітлені в попередніх параграфах. У вивчених раніше випадках, індуковане електричне поле й відповідний індукований струм у замкнутому провіднику виникали внаслідок зміни зовнішнього (по відношенню до провідника) магнітного поля. У дослідах згідно рис. В.10.1 котушка сама в собі породжує змінне магнітне поле, оскільки при вмиканні та вимиканні електричного кола сила струму, що протікає в котушці, змінюється з часом. Це змінне магнітне поле породжує вихрове індуковане електричне поле й відповідний індукований струм у цій же котушці (у самій собі). Таке явище називається *явищем самоіндукції*.

Проводимо досліди згідно рис. В.10.1 з котушкою без осердя. Пояснюємо значне зменшення тривалості наростання та спадання розжарення лампочок знач-

ним послабленням магнітного поля в котушці внаслідок видалення осердя. Зауважуємо, що явище самоіндукції характерне для всіх провідників, по яких протікає електричний струм, що змінюється з плином часу. Узагальнюємо вивчене: виникнення індукованого вихрового електричного поля й відповідного індукованого електричного струму в провіднику внаслідок протікання по ньому електричного струму, що змінюється з плином часу, називається *явищем самоіндукції*.

Додаток В 11

Практичне використання явища електромагнітної індукції

§ 36.1. Принцип дії та будова генератора змінного струму

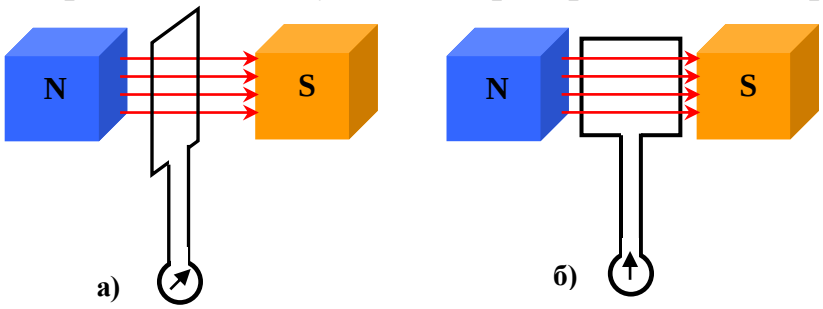


Рис. В.11.1. При обертанні рамки у магнітному полі змінюється кількість ліній магнітного поля, що пронизують рамку

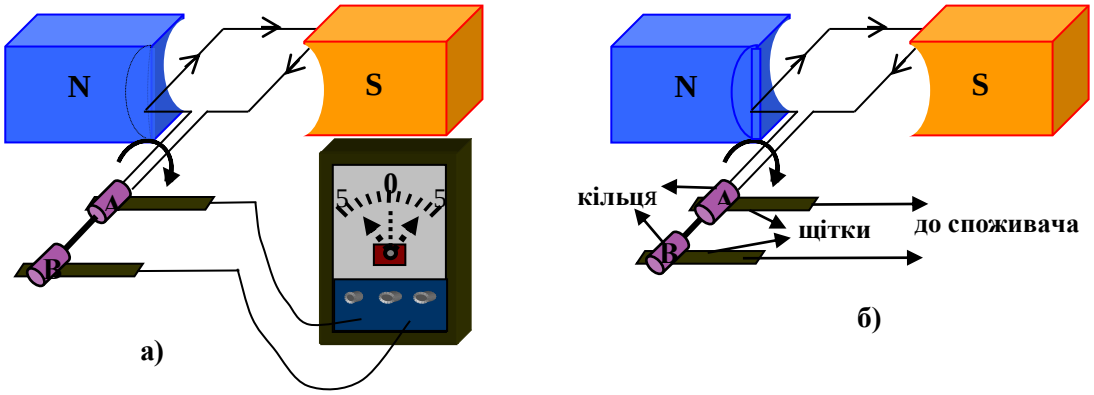


Рис. В.11.2. Принцип дії і будова індукційного генератора змінного струму

§ 39. Виробництво, передавання на відстань і споживання електроенергії

Здійснюємо мотивацію навчання: розвиток цивілізації супроводжується значним зростанням споживання електричної енергії – найбільш універсальної та зручної для використання; без розвитку електроенергетики неможливий науково-технічний прогрес; практично всі сфери життя сьогодні пов’язані з використанням електричної енергії; все більше процесів, пов’язаних з використанням енергоресурсів, переводять на електроенергію; якщо подвоєння споживання енергії в

світі відбувається приблизно за 25 років, то подвоєння споживання *електроенергії* – в середньому за 10 років, і її споживання в близькому майбутньому зростатиме.

§ 39.1. Виробництво електроенергії

Актуалізуємо знання учнів, що електрична енергія виробляється в основному *індукційними генераторами змінного струму* на електростанціях. Проводимо порівняльну характеристику (джерело енергії, схема перетворення енергії в електричну, коефіцієнт корисної дії, потужність, основні особливості конструкції, частка в енергосистемі України) теплових електростанцій, гідроелектростанцій, атомних електростанцій. Згадуємо менш традиційні види електростанцій, а також джерела електричної енергії, в яких не використовують генераторів змінного струму.

§ 39.2. Передавання електроенергії на відстань

Споживачі електроенергії є повсюди. Виробляється електроенергія як правило поблизу паливних і водних ресурсів. Накопичувати електроенергію у великих масштабах не вдається. Тому виникає потреба передачі електроенергії на відстань. Що вигідніше – передавати вироблену на потужній електростанції енергію на великі відстані (в сотні й тисячі кілометрів), чи будувати невеликі електростанції біля споживачів ? Однозначної відповіді на всі випадки немає.

Використовуємо закон Джоуля-Ленца та обґрунтовуємо, що для зменшення втрат електроенергії на нагрівання проводів лінії електропередач, необхідно зменшити силу струму, а це, при заданій потужності споживачів, веде до підвищення електричної напруги. Отже, *для зменшення втрат електроенергії в лініях електропередач ефективним є використання високої напруги*. Чим довша лінія електропередач, тим вигідніше використовувати більш високу напругу. Існують лінії електропередач, які працюють при напрузі 500 кВ, 750 кВ; проектуються лінії на напругу до 1500 кВ. Аналізуємо схему передавання електроенергії змінного електричного струму згідно рис. В.11.3 (ЛЕП – лінії електропередач).

§ 39.3. Споживання електроенергії

Аналізуємо споживання електроенергії в промисловості (біля 70 %), на транспорті, у сільському господарстві, у побуті, у науці, у військовому комплексі. Зазначаємо, що практично всі сфери життя сьогодні пов’язані з використанням

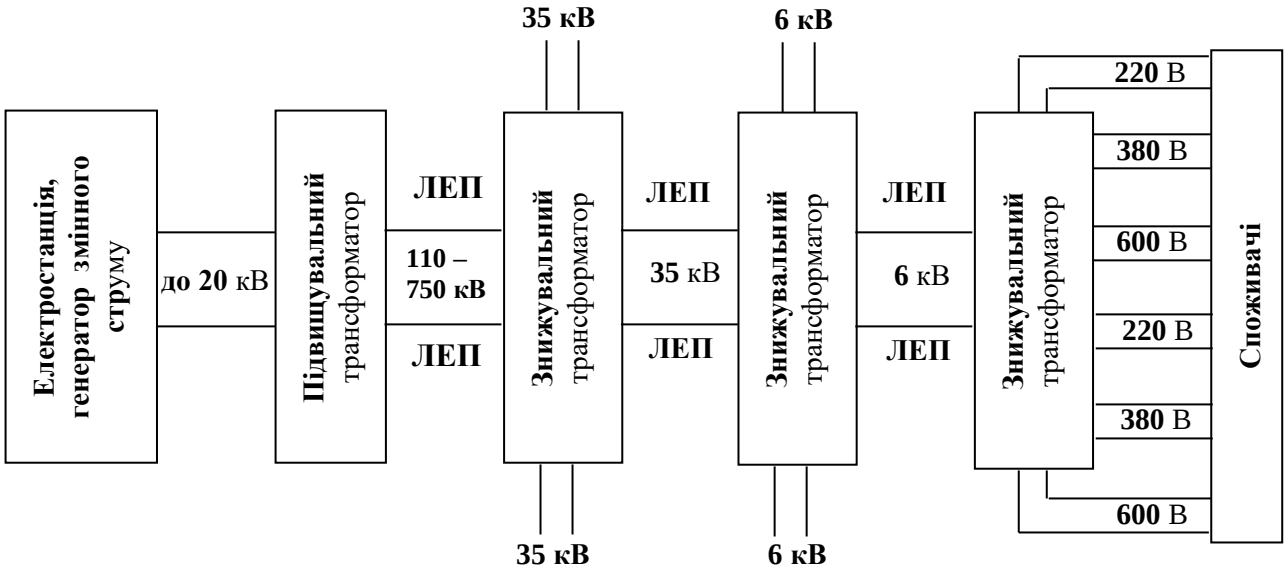


Рис. В.11.3. Схема передавання електроенергії змінного струму

комп'ютерної техніки, яка теж має електричну основу. Утворення локальних і глобальних комп'ютерних мереж дозволяє піднятись на новий щабель в механізації та автоматизації всіх сфер життя й підвищенні життєвого рівня людей. Продовжується розробка роботів, та інше. Все це свідчить, що *в близькому майбутньому споживання електроенергії і далі зростатиме*.

§ 40. Електрифікація та охорона природи

Безпосередньо сама електроенергія є екологічно достатньо чистою. Але її виробництво супроводжується забрудненням природи, масштаби якого в майбутньому можуть стати загрозливими. Аналізуємо екологічні проблеми, зумовлені виробництвом електроенергії на теплових електростанціях, гідроелектростанціях, атомних та інших електростанціях. Зазначаємо про використання значних матеріальних ресурсів на спорудження та обладнання електростанцій, трансформаторів, ліній електропередач, тощо. Крім того, лінії електропередач високої напруги внаслідок коронного розряду теж негативно впливають на живі організми.

Робимо *висновок*: використання електроенергії повинно розвиватись у напрямі підвищення коефіцієнту корисної дії електростанцій, зменшення матеріальних і паливних затрат, з урахуванням всіх вимог по охороні природи. Важливим є також пошук більш екологічно чистих джерел електроенергії та способів її накопичення.

Додатки Д

Результати педагогічного експерименту (до розділу 4)

Додаток Д 1

Зміст навчального матеріалу до розділу фізики «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле»

Вступ. ***Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле*** (*змістовий модуль 1*)

§ 1. Початкові уявлення про електричну взаємодію та електричне поле

§ 1.1. Електризація тіл. Електрична взаємодія. Електричний заряд. Два види електричного заряду

§ 1.2. Початкові уявлення про електричне поле

§ 2. Початкові уявлення про магнітну взаємодію та магнітне поле

§ 2.1. Початкові уявлення про магнітну взаємодію

§ 2.2. Початкові уявлення про магнітне поле

§ 3. Початкові уявлення про електромагнітне поле та електромагнітну взаємодію. Два види матерії

Розділ 1. **Електричні явища. Електричне поле**

1.1. Електричне поле. Електричний заряд. Будова атома та електронна теорія (*змістовий модуль 2*)

§ 4. Електроскоп і електрометр. Діелектрики, провідники, напівпровідники

§ 5. Лінії електричного поля та їх напрям

§ 6. Подільність і дискретність електричного заряду. Електрон, протон

§ 7. Будова атомів та іонів. Уточнення основних положень про будову речовини

§ 7.1. Дослід Резерфорда. Будова атомів. Будова іонів

§ 7.2. Уточнення основних положень про будову речовини

§ 8. Електронна теорія та пояснення електричних явищ на її основі

§ 8.1. Особливості будови металів, діелектриків і напівпровідників. Електронна теорія

§ 8.2. Механізм електризації тіл контактом чи тертям

§ 8.3. Механізм електризації тіл через наведення

§ 9. Закон збереження електричного заряду. Незалежність електричного заряду від швидкості

1.2. Електричний струм у різних середовищах (*змістовий модуль 3*)

§ 10. Електричний струм та його напрям. Джерела електричного струму

§ 10.1. Електричний струм та його напрям

§ 10.2. Джерела електричного струму

§ 11. Електричне коло та його складові частини

§ 12. Електричний струм у металах. Теплова та магнітна дія електричного струму

§ 12.1. Природа електричного струму в металах

§ 12.2. Теплова дія електричного струму

§ 12.3. Магнітна дія електричного струму

§ 13. Електричний струм в електролітах та іонних розплавах. Хімічна дія електричного струму. Електроліз

§ 13.1. Електролітична дисоціація

Природа електричного струму в електролітах

§ 13.2. Термодисоціація. Природа електричного струму в іонних розплавах

§ 13.3. Хімічна дія електричного струму. Електроліз та його використання

§ 14. Електричний струм у газах. Газові розряди. Світлова дія електричного струму. Поняття про плазму

§ 14.1. Іонізація молекул і атомів. Природа електричного струму в газах

§ 14.2. Газові розряди. Світлова дія електричного струму

§ 14.3. Плазма – четвертий агрегатний стан речовини

§ 15. Поняття про електричний струм у вакуумі

§ 15.1. Термоелектронна емісія. Двохелектродна вакуумна лампа – вакуумний діод. Дослід Йоффе

§ 15.2. Електронно-променева трубка

§ 16. Поняття про електричний струм у напівпровідниках

§ 16.1. Будова напівпровідників. Власна та домішкова провідність напівпровідників

§ 16.2. Початкові уявлення про напівпровідникові діод і транзистор

1.3. Закони постійного електричного струму (*змістовий модуль 4*)

§ 17. Сила струму та її вимірювання

§ 17.1. Сила струму та її одиниці

§ 17.2. Амперметр. Вимірювання сили струму

§ 18. Електрична напруга та її вимірювання

§ 18.1. Електрична напруга та її одиниці

§ 18.2. Вольтметр. Вимірювання електричної напруги

§ 19. Залежність сили струму від електричної напруги. Електричний опір. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола

§ 20. Залежність електричного опору провідників від їх геометричних розмірів, речовини і температури

§ 20.1. Залежність електричного опору провідників від їх геометричних розмірів і речовини. Питомий електричний опір

§ 20.2. Резистори. Реостати. Потенціометри

§ 20.3. Залежність електричного опору провідників від температури

§ 21. Послідовне, паралельне та змішане з’єднання провідників

§ 21.1. Послідовне з’єднання провідників

§ 21.2. Паралельне з’єднання провідників

§ 21.3. Змішане з’єднання провідників

§ 22. Робота і потужність електричного струму

§ 22.1. Робота і потужність електричного струму

§ 22.2. Кількість теплоти, що виділяється в провіднику зі струмом. Практичне використання теплової дії електричного струму

§ 22.3. Дія електричного струму організм людини. Заходи безпеки під час роботи з електричним струмом

Розділ 2. Магнітні явища. Магнітне поле

2.1. Магнітне поле електричного струму та постійних магнітів (*зм. модуль 5*)

§ 23. Магнітне поле провідників зі струмом

§ 23.1. Лінії магнітного поля та їх напрям

§ 23.2. Магнітне поле прямого провідника зі струмом
§ 23.3. Магнітне поле кільця зі струмом
§ 23.4. Магнітне поле соленоїда
§ 24. Магнітні властивості речовини. Магнітне поле постійних магнітів
§ 24.1. Магнітне поле атома. Природа магнітного поля речовини
§ 24.2. Три основні типи магнетиків
§ 24.3. Намагнічування магнетиків.
Магнітом'які та магнітотверді феромагнетики
§ 24.4. Магнітне поле постійних магнітів
§ 25. Електромагніти та їх використання
§ 26. Магнітне поле Землі та тіл Сонячної системи
2.2. Дія магнітного поля на провідники зі струмом
і на рухомі електрично заряджені частинки (*змістовий модуль 6*)
§ 27. Дія магнітного поля на провідники зі струмом
§ 27.1. Сила Ампера. Правило лівої руки
§ 27.2. Взаємодія паралельних провідників зі струмом
§ 28. Дія магнітного поля на рамку зі струмом. Двигун постійного електричного струму. Електровимірювальні прилади
§ 28.1. Дія магнітного поля на рамку зі струмом
§ 28.2. Принцип дії та будова двигуна постійного електричного струму
§ 28.3. Принцип дії та будова електровимірювальних приладів
§ 29. Дія магнітного поля на рухомі електрично заряджені частинки
§ 30. Дія магнітного поля на живі організми та людину
Розділ 3. Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле
3.1. Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле (*зм. модуль 7*)
§ 31. Відкриття явища електромагнітної індукції
§ 32. Перший тип ефектів явища електромагнітної індукції.
Вихрове електричне поле
§ 32.1. Перший тип ефектів явища електромагнітної індукції
§ 32.2. Правило Ленца

§ 32.3. Фізична суть першого типу ефектів явища електромагнітної індукції. Вихрове електричне поле

§ 33. Явище самоіндукції

§ 34. Індукування електричного поля при русі провідника в постійному магнітному полі – другий тип ефектів явища електромагнітної індукції

§ 35. Електромагнітне поле

3.2. Практичне використання явища електромагнітної індукції (*зм. модуль 8*)

§ 36. Генератор змінного електричного струму

§ 36.1. Принцип дії та будова генератора змінного струму

§ 36.2. Змінний електричний струм

§ 37. Індукований електричний струм у масивних провідниках

§ 38. Принцип дії та будова трансформатора

§ 39. Виробництво, передавання на відстань і споживання електроенергії

§ 39.1. Виробництво електроенергії

§ 39.2. Передавання електроенергії на відстань

§ 39.3. Споживання електроенергії

§ 40. Електрифікація та охорона природи

Наведена програма з електромагнетизму є єдиною для класів з поглибленим та з непрофільним вивченням фізики і повністю відповідає розробленим навчальним посібникам «Електромагнітні явища. Електромагнітне поле» для класів з поглибленим [38] та з непрофільним вивченням електромагнетизму за умов диференціації навчанням. Різним є тільки наповнення параграфів, рівень теоретичного обґрунтування виучуваного матеріалу, рівень складності завдань і вправ.

Навчальна програма з електромагнетизму затверджена у Дніпропетровському обласному інституті післядипломної педагогічної освіти й у повному обсязі містить пояснювальну записку, у якій коротко охарактеризовано методичні особливості навчання електромагнетизму на послідовних засадах генералізації навчального матеріалу, приведено перелік фронтальних лабораторних робіт, основних демонстрацій, а також основні вимоги стосовно знань, умінь і навичок учнів до кожного змістового модуля.

Лабораторні роботи з електромагнетизму

Змістовий модуль 3.

Л.р. № 1. Спостереження явища електролізу.

Змістовий модуль 4.

Л.р. № 2. Складання електричного кола та вимірювання сили струму на різних його ділянках амперметром.

Л.р. № 3. Вимірювання електричної напруги на різних ділянках однорідного електричного кола вольтметром.

Л.р. № 4. Регулювання сили струму реостатом.

Л.р. № 5. Вимірювання електричного опору провідника за допомогою амперметра та вольтметра.

Л.р. № 6. Дослідження однорідного електричного кола з послідовним з'єднанням провідників.

Л.р. № 7. Дослідження однорідного електричного кола з паралельним з'єднанням провідників.

Л.р. № 8. Вимірювання потужності та роботи електричного струму.

Л.р. № 9. Визначення коефіцієнта корисної дії установки з електричним нагрівником.

Змістовий модуль 5.

Л.р. № 10. Складання електромагніту й випробування його дії.

Змістовий модуль 6.

Л.р. № 11. Вивчення будови й принципу дії електродвигуна постійного електричного струму.

Наведений перелік лабораторних робіт повністю стосується класів з поглибленим вивчення електромагнетизму. У класах з непрофільним навчанням фізики не виконують лабораторну роботу № 9. Зміст інших лабораторних робіт у цілому однаковий для класів з поглибленим та з непрофільним вивченням фізики, відмінність полягає в рівні складності окремих експериментальних завдань і додаткових питань до лабораторних робіт.

Додаток Д 2
Тематичне планування навчального процесу з електромагнетизму

	Для класів з поглибленим вивченням фізики		**Для класів з непрофільним вивченням фізики**	
Змістові модулі (*Тематичні блоки*)	№ уроку	№ параграфу	№ уроку	№ параграфу
1. Початкові уявлення про електромагнітну взаємодію та електромагнітне поле (*змістовий модуль 1*)	1 2 3	§ 1 § 2 § 3	1 2 3	§ 1 § 2 § 3
Розділ 1. ***Електричні явища. Електричне поле***				
2. Електричне поле. Електричний заряд. Будова атома та електронна теорія (*змістовий модуль 2*)	4/1 5/2 6/3 7/4 8/5 9/6	§ 4, § 5 § 6, § 7 § 8 § 9 Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 1**	4/1 5/2 6/3 7/4 8/5	§ 4, § 5 § 6, § 7 § 8 § 9, Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 1**
3. Електричний струм у різних середовищах (*змістовий модуль 3*)	10/1 11/2 12/3 13/4 14/5 15/6 16/7 17/8 18/9	§ 10 § 11, § 12 § 13 Л.р.№1 § 14 § 15 § 16 Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 2**	9/1 10/2 11/3 12/4 13/5 14/6 15/7 16/8	§ 10 § 11, § 12 § 13 Л.р.№1 § 14 *§ 15 §16, Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 2**
4. Закони постійного електричного струму (*змістовий модуль 4*)	19/1 20/2 21/3 22/4 23/5 24/6 25/7 26/8 27/9 28/10 29/11 30/12 31/13 32/14 33/15	§ 17, § 18 Л.р.№2, .№3 § 19 § 20 Розв. задач Л.р.№4 Л.р.№5 § 21.1 § 21.2 § 21.3 Л.р.№6 Л.р.№7 Розв. задач Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 3**	17/1 18/2 19/3 20/4 21/5 22/6 23/7 24/8 25/9 26/10 27/11 28/12 29/13	§ 17, § 18 Л.р.№2, .№3 § 19 § 20, Розв. задач Л.р.№4 Л.р.№5 § 21.1 § 21.2 § 21.3 Л.р.№6 Л.р.№7 Розв. задач Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 3**
	34/16 35/17 36/18 37/19 38/20 39/21 40/22	§ 22.1 § 22.2 Л.р.№8, №9 § 22.3 Розв. задач Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 4**	30/14 31/15 32/16 33/17 34/18 35/19	§ 22.1 § 22.2 Л.р.№8, § 22.3 Розв. задач Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 4**

Розділ 2. ***Магнітні явища. Магнітне поле***				
5. Магнітне поле електричного струму. Магнітні властивості речовини та магнітне поле постійних магнітів (*змістовий модуль 5*)	41/1 42/2 43/3 44/4 45/5 46/6	§ 23.1, § 23.2 § 23.3, § 23.4 § 24 § 24.4, § 25 Л.р.№10 § 26, підсумки	36/1 37/2 38/3 39/4	§ 23 § 24, § 25 Л.р.№10 § 26, підсумки
6. Дія магнітного поля на провідники зі струмом та на рухомі електрично заряджені частинки (*змістовий модуль 6*)	47/1 48/2 49/3 50/4 51/5 52/6	§ 27 § 28.1, § 28.2 § 28.3 Л.р.№11, § 29 § 30, підсумки **Т.о**. **№ 5**	40/1 41/2 42/3	§ 27 § 28, § 29 Л.р.№11, § 30, підсумки
Розділ 3. ***Електромагнітна індукція. Електромагнітне поле***				
7. Явище електромагнітної індукції. Електромагнітне поле (*змістовий модуль 7*)	53/1 54/2 55/3	§ 31, § 32 § 33, § 34 § 35, підсумки	43/1 44/2	§ 31, § 32 *§ 33 § 34, § 35
8. Практичне використання явища електромагнітної індукції (*змістовий модуль 8*)	56/1 57/2 58/3 59/4 60/5	§ 36 § 37, § 38 § 39, § 40 Підсумки Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 6**	45/1 46/2 47/3 48/4	§ 36, § 38 § 39, § 40 Підсумки Підг. до т.о. **Т.о**. **№ 5**

Примітка: 1) зміст з переліком параграфів і лабораторних робіт приведено в Додатку Д 1;

2) у знаменнику дробів указані номери уроків даного змістового модуля;

3) скорочення «Т.о» означає тематичне оцінювання;

4) параграф, відмічений символом ***** відноситься до додаткового матеріалу.

Додаток Д 3

Приклади розрахунку критерію Пірсона χ^2

У якості прикладу розрахуємо критерій Пірсона χ^2 для електричних явищ у класах з поглибленим вивченням фізики. Дані беремо з табл.4.1.

$$\chi^2_{експ} = \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \sum_{i=1}^{4} \frac{(n_1 \cdot Q_{2i} - n_2 \cdot Q_{1i})^2}{Q_{1i} + Q_{2i}} =$$

$$= \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \left(\frac{(n_1 \cdot Q_{21} - n_2 \cdot Q_{11})^2}{Q_{11} + Q_{21}} + \frac{(n_1 \cdot Q_{22} - n_2 \cdot Q_{12})^2}{Q_{12} + Q_{22}} + \frac{(n_1 \cdot Q_{23} - n_2 \cdot Q_{13})^2}{Q_{13} + Q_{23}} + \frac{(n_1 \cdot Q_{24} - n_2 \cdot Q_{14})^2}{Q_{14} + Q_{24}} \right) =$$

$$= \frac{1}{187 \cdot 188} \left(\frac{(187 \cdot 2 - 188 \cdot 0)^2}{0 + 2} + \frac{(187 \cdot 35 - 188 \cdot 19)^2}{19 + 35} + \frac{(187 \cdot 126 - 188 \cdot 133)^2}{133 + 126} + \frac{(187 \cdot 25 - 188 \cdot 35)^2}{35 + 25} \right) =$$

$$= \frac{1}{187 \cdot 188} (69938 + 169680 + 80891 + 60484) = 8,76$$

Для електричних явищ у класах з непрофільним вивченням фізики критерій Пірсона χ^2 становить: $\chi^2_{експ} =$

$$= \frac{1}{179 \cdot 182} \left(\frac{(179 \cdot 3 - 182 \cdot 0)^2}{0 + 3} + \frac{(179 \cdot 52 - 182 \cdot 35)^2}{35 + 52} + \frac{(179 \cdot 118 - 182 \cdot 129)^2}{129 + 118} + \frac{(179 \cdot 9 - 182 \cdot 15)^2}{15 + 9} \right) =$$

$$= \frac{1}{179 \cdot 182} (96123 + 99217 + 22473 + 5217) = 8,28$$

У інших випадках критерій Пірсона розраховано аналогічно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акименко М. Методика вивчення явища електромагнітної індукції / М. Акименко, М. Дідович // Фізика та астрономія в школі. – 2001. – № 1. – С. 23–26.
2. Андріївський В. Удосконалення методики проведення фізичного демонстраційного експерименту / В. Андріївський, І. Корсун, В. Мацюк // Фізика та астрономія в школі. – 2005. – № 3. – С. 40–42.
3. Андронов В. М. Концепція неперервної фізичної освіти в навчальних закладах України / В. М Андронов, О. І. Бугайов, О. І. Ляшенко // Проблеми удосконалення фундаментальної та професійної підготовки вчителів фізики : Матеріали II Всеукраїнської конференції викладачів фізики педагог. ін-тів та університетів. – К., 1996. – С. 7–17.
4. Антипин И. Г. Экспериментальные задачи по физике в 6–7 классах: Пособие для учителей / И. Г. Антипин. – М. : Просвещение, 1974. – 127 с.
5. Антоненко Е. И. Пути совершенствования методики преподавания электричества на основе современных научных представлений в курсе физики средней школы : автореф. дисс. … канд. пед. наук : 732 – методика преподавания физики / Е. И. Антоненко ; Киевский гос. педагог. ин-т им. А. М. Горького. – К., 1968. – 20 с.
6. Бакай І. П. Контрольні роботи з фізики в 6 і 7 класах / І. П. Бакай. – К. : Радянська школа, 1971. – 123 с.
7. Балашов М. М. Методические рекомендации к преподаванию физики в 7–8 классах средней школы: Кн. для учителя: Из опыта работы / М. М. Балашов. – М. : Просвещение, 1991. – 44 с.
8. Беспалов Г. Н. Линии магнитной индукции / Г. Н. Беспалов // Физика в школе.– 1987. – № 6. – С. 96.
9. Білий М. С. Методика викладання фізики в VI і VII класах / М. С. Білий. – К. : Радянська школа, 1971. – 256 с.
10. Блудов М. И. Беседы по физике. Ч. II. Изд. 2-е, перераб. / М. И. Блудов. – М. : Просвещение, 1973. – 192 с.
11. Боровой А.А. Законы электромагнетизма: Библ. физико-математической школы /

А. А. Боровой, Э. Б. Финкельштейн, А. Н. Херувимов – М. : Наука, 1970. – 168 с.

12. Броневщук С. Г. Самостоятельные работы по физике в 6–7 классах: Дидакт. материалы. Изд. 2-е. / С. Г. Броневщук, Н. Д. Маслевский. – М. : Просвещение, 1978. – 159 с.
13. Бугайов А. И. Методика преподавания физики в средней школе: Теорет. основы: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ-мат. спец. / А. И. Бугайов. – М. : Просвещение, 1981. – 288 с.
14. Бугайов О. І. Диференціація навчання у середній школі / О. І. Бугайов // Рад. школа. – 1991. –№ 8. – С. 7–16.
15. Бугайов О. І. Фізика. Астрономія: Пробн. підручник для 8 кл. середн. шк. 2-ге вид. / О. І. Бугайов, М. Т. Мартинюк, В. В. Смолянець; За ред. проф. О. І. Бугайова. – К. : Освіта, 1996. – 367 с.
16. Бугайов О. І. Фізика. Астрономія: Пробн. підручник для 9 кл. середн. загальноосвіт. шк. 2-ге вид. / О. І. Бугайов, І. А. Климишин, Є. В. Коршак; За ред. проф. О. І. Бугайова. – К. : Освіта, 1999. – 367 с.
17. Бугайов О. Концепція фізичної освіти у 12-річній загальноосвітній школі / О. І Бугайов // Фізика та астрономія в школі. – 2001. – № 6. – С. 6–13.
18. Бугайов О. І. Концепція фізичної освіти у 12-річній загальноосвітній школі (проект) / О. І. Бугайов // Стратегічні проблеми формування змісту курсів фізики та астрономії в системі загальної середньої освіти: Наук.-метод. зб. – Л. : Львівський нац. ун-т. ім. І. Франка, 2002. – С. 5–9.
19. Бугайов О. І. Якою повинна бути фізика у 7–9 класах 12-річної середньої загальноосвітньої школи? / О. І. Бугайов, М. Т. Мартинюк // Зб. наукових праць Уманського держ. пед. ун-ту : Спец. випуск. – К. : Наук. світ, 2003. – С. 21–28.
20. Бугайов О. Програмно-методичний комплекс «Фізика – 8» / О. Бугайов, М. Головко, В. Коваль // Фізика та астрономія в школі. – 2005. – № 1. – С. 22–27.
21. Будний Б. Є. Теоретичні основи формування в учнів системи фундаментальних фізичних понять : автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / Б. Є. Будний ; Укр. держ. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 1997. – 50 с.

22. Буйницька О. Урок-дослідження «Світ електрики» / О. П. Буйницька // Фізика та астрономія в школі. – 2004. – № 6. – С. 2–4.
23. Бурак В. І. Методика вивчення магнітних явищ і магнітного поля у восьмому класі фізико-математичного профілю / В. І. Бурак // Зб. наук. тез Міжнародної наук.-практ. конф. «Активізація навчальної діяльності у вищій і загальноосвітній школі». – Кривий Ріг : КДПУ, 2000. – С. 109–112.
24. Бурак В. І. Методика вивчення магнітних явищ у восьмому класі фізико-математичного профілю / В. І. Бурак // Матеріали Міжнародної наук.-теорет. конф. «Психолого-педагогічні проблеми підготовки вчительських кадрів в умовах трансформації суспільства». – К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2000. – С. 131–137.
25. Бурак В. І. Методика вивчення явища електромагнітної індукції у восьмих класах фізико-математичного профілю / В. І. Бурак // Зб. наук. праць. – Вип. 1 : у 3-х т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг : Видавн. відділ КДПУ, 2001. – С. 42–47.
26. Бурак В. І. Порівняння різних варіантів вивчення магнітних явищ у восьмих класах фізико-математичного профілю / В. І. Бурак // Зб. наук. праць. – Вип. 2: у 3-х т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг : Видавн. відділ НМетАУ, 2002.– С. 46–51.
27. Бурак В. І. Зміст і методика вивчення електромагнітних явищ у восьмому класі в умовах диференціації навчання / В. І. Бурак // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 6. – С. 33–37.
28. Бурак В. І. Зміст і методика вивчення явища електромагнітної індукції у восьмому класі / В. І. Бурак // Фізика та астрономія в школі. – 2003. – № 6. – С. 8–10.
29. Бурак В. І. Формування поняття єдиного електромагнітного поля в основній школі / В. І. Бурак, О. С. Пономаренко // Зб. наук. праць. – Вип. 4 : у 3-х т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг : Видавн. відділ НМетАУ, 2004.– С. 67–71.
30. Бурак В. І. Генералізація електромагнетизму в загальноосвітніх закладах / В. І. Бурак // Наукові записки. Серія : Педагогічні науки. – Вип. 55. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2004. – С. 26–32.

31. Бурак В. І. Генералізація електромагнетизму в основній школі / В. І. Бурак // Зб. наук. праць Кам'янець-Подільського держ. ун-ту. Серія педагог. : Дидактики дисциплін фізико-математичної та технологічної освітніх галузей. – Кам'янець-Подільський : Інформ.-видавн. відділ К-ПДУ, 2004. – Вип. 10. – С. 140–143.
32. Бурак В. І. Методика формування початкових уявлень про електромагнітну взаємодію і електромагнітне поле в основній школі / В. І. Бурак, Є. Г. Купа // Зб. наук. праць. – Вип. 5 : у 3-х т. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг : Видавн. відділ НМетАУ, 2005. – С. 50–55.
33. Бурак В. І. Методика розвитку початкових уявлень учнів про електромагнітну взаємодію і електромагнітне поле в основній школі / В. І. Бурак // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г. Шевченка. Серія : педагогічні науки : зб. наук. пр. – Вип. 30. – Чернігів : ЧДПУ, 2005. – С. 40–45.
34. Бурак В.І. Методика навчання розділу «Електричні явища і електричне поле» в основній школі / В. І. Бурак, А. В. Степанюк // Зб. наук. праць: Вип. 6: В 3-х томах. – Кривий Ріг: Видавн. відділ НМетАУ, 2006. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 156–163.
35. Бурак В. І. Методика навчання розділу «Магнітні явища і магнітне поле» в основній школі / В. І. Бурак, І. С. Бобринська // Зб. наук. праць. – Вип. 6 : у 3-х т. Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – Кривий Ріг: Видавн. відділ НМетАУ, 2006. – С. 164–168.
36. Бурак В.І. Методика навчання розділу «Явище електромагнітної індукції і електромагнітне поле» в основній школі / В. І. Бурак, Ю. С. Мамедова // Зб. наук. праць: Вип. 6: В 3-х томах. – Кривий Ріг: Видавн. відділ НМетАУ, 2006. – Т. 2 : Теорія та методика навчання фізики. – С. 169–174.
37. Бурак В. І. Розвиток узагальнених уявлень про електричний заряд в основній школі / В. І. Бурак // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія : педагогічні науки : зб. наук. пр. : у 2-х т. – Вип. 46. – Т. 1. – Чернігів : ЧДПУ, 2007. – С. 19–21.
38. Бурак В. І. Електромагнітні явища і електромагнітне поле : Навч. посібн. для класів основної школи з поглибленим вивченням фізики / В. І. Бурак. – Кривий

Ріг : Видавничий дім, 2008. – 164 с.

39. Буряк В. К. Самостоятельная дифференцированная работа школьников / В. К. Буряк // Физика в школе. – 1982. – № 4. – С. 60 – 61.
40. Буховцев Б. Б. Фізика: Навчальний посібник для 9 класу серед. шк. 10-те вид. / Б. Б. Буховцев, Ю. Л. Климонтович, Г. Я. Мякішев – К. : Рад. шк., 1981. – 248 с.
41. Величко С. П. Розвиток системи фізичного експерименту в сучасній середній школі : автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / С. П. Величко; НПУ ім. М.П. Драгоманова. – К., 1998. – 34 с.
42. Вікова та педагогічна психологія: Навч. посіб. / О. В. Скрипченко, Л. В. Долинська, З. В. Огороднійчук та ін. – К. : Просвіта, 2001. – 416 с.
43. Викладання фізики в 6–7 класах середньої школи: Посібник для вчителів. Пер. з рос. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна, Х. Д. Рошовська та ін.; За ред. О.В. Пьоришкіна. – К. : Рад. школа, 1982 – 269 с.
44. Выготский Л. С. Педагогическая психология / Под ред. В. В. Давыдова. – М. : Педагогика, 1991. – 480 с.
45. Вознюк М. Ф. Із досвіду введення поняття електричного заряду в VII класі / М. Ф. Вознюк // В кн.: Викладання фізики в школі. – Київ : Рад. шк., 1980. – С. 77–84.
46. Вознюк Н. Ф. Повышение эффективности учебного эксперимента по электродинамике в курсе физики средней школы : автореф. дисс. … канд. пед. наук : 13.00.02 – методика преподавания физики / Н. Ф. Вознюк; НИИ педагогики УССР. – К., 1985. – 20 с.
47. Вознюк Н. Ф. Повышение эффективности учебного эксперимента по электродинамике в курсе физики средней школы : дисс. … канд. пед. наук : 13.00.02 – метод. препод. физики / Н. Ф. Вознюк; Киевский госуд. пед. ин-т им. А. М. Горького. – К., 1985. – 169 с.
48. Вознюк Н. Ф. К введению понятия об электрическом заряде в VIII классе / Н. Ф. Вознюк, Н. И Кириенко // Физика в школе. – 1991. – № 6. – С. 34–36.
49. Вознюк М. Ф. Про зміст поняття «фізична величина» та введення його на уроках в середній школі / М. Ф. Вознюк, М. І Кирієнко // Психолого педагогічні проблеми підготовки вчительських кадрів в умовах трансформації суспільства:

Матеріали міжнародної науково-теоретичної конференції НПУ імені М.П. Драгоманова. – К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2000. – Ч. 1 – С. 172–173.

50. Вознюк С. Формування поняття «електромагнітне поле» на основі фундаментальних фізичних понять / С. Вознюк, В. Кульчицький // Фізика та астрономія в школі. – 1999. – № 4. – С. 43–47.
51. Возрастная и педагогическая психология / В. В. Давыдов, Т. В. Драгунова и др. – М. : Просвещение, 1979. – 288 с.
52. Воловик П. М. Теорія імовірностей і математична статистика в педагогіці / П. М. Воловик. – К. : Рад. Школа, 1969 – 224 с.
53. Вольштейн С. Л. Изучение электричества и магнетизма в курсе физики 7 класса / С. Л. Вольштейн и др. – Минск : Нар. асвета, 1976. – 80 с.
54. Вольштейн С. Л. Элементы максвелловской электродинамики в школе / С. Л. Вольштейн. – Минск : Нар. асвета, 1973. – 166 с.
55. Гайдучок Г. М. Фронтальний експеримент з фізики в 7–11 класах середньої школи : Посібник для вчителя / Г. М. Гайдучок, В. Г. Нижник – К. : Рад. шк., 1989 –175 с.
56. Галатюк Ю. Організація лабораторних робіт з фізики в умовах диференційованого навчання / Ю. Галатюк, В. Тищук // Фізика та астрономія в школі. – 1999. – № 3. – С. 38–41.
57. Гальперин П. Я. Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий / П. Я. Гальперин // Исследование мышления в советской психологии. – М. : Наука, 1966. – С. 236–268.
58. Гальперин П. Я. Современное состояние теории поэтапного формирования умственных действий / П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина // Вестник МГУ им. М.В. Ломоносова : серия «Психология». – 1979. – Вып. 4. – С. 54–63.
59. Генденштейн Л. Е. Задачі з фізики 8 клас / Л. Е. Генденштейн, І. М. Гельфгат, Л. А. Кирик. – Х. : Гімназія, 1999. – 152 с.
60. Гончаренко С. У. Книга для читання з фізики: Електромагнітні явища: 8 клас / С. У. Гончаренко. – К. : Рад. шк., 1989. – 255 с.
61. Гончаренко С. Концептуальні основи державного стандарту загальної середньої освіти / С. У. Гончаренко, О. І. Ляшенко, Ю. І. Мальований // Фізика та

астрономія в школі. – 1996. – № 1. – С. 6–10.

62. Гончаренко С. Стандарт шкільної фізичної освіти / С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак, О. І. Бугайов // Фізика та астрономія в школі. – 1997. – № 2. – С. 2–8.
63. Гончаренко С. У. Фізика: Пробн. навч. посібник ліцеїв та класів природничо-наукового профілю. 10 кл. / С. У. Гончаренко. – К. : Освіта, 1995. – 430 с.
64. Гончаренко С. У. Фізика: Пробн. навч. посібник для 11-их кл. ліцеїв і гімназій природничо-наукового профілю. / С. У. Гончаренко. – К. : Освіта, 1995. – 448 с.
65. Гончаренко С. У. Фізика: Підруч. для 11-их кл. серед. загальноосв. шк. / С. У. Гончаренко. – К. : Освіта, 2002. – 319 с.
66. Гончаренко С. У. Фізика: Підруч. для 10-их кл. серед. загальноосв. шк. / С. У. Гончаренко. – К. : Освіта, 2002. – 319 с.
67. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник / С. У. Гончаренко. – К. : Либідь, 1997. – 376 с.
68. Гончаренко С. У. Фізика. Олімпіадні задачі. Випуск 1. 7–8 класи / С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак. – Тернопіль : «Навчальна книга – Богдан», 1998. – 72 с.
69. Гончаренко С. У. Контрольні роботи з фізики для 7–9 класів: Посібн. для вчителя / С. У. Гончаренко, Є. М. Мисечко. – К. : Освіта, 1999. – 191 с.
70. Гончаренко С. У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики: Посібник для вчителя / С. У. Гончаренко. – К. : Рад. шк., 1990. – 208 с.
71. Гороновська В. Т. Уроки фізики у 8 класі: Посібник для вчителя / В. Т. Гороновська, А. В. Самсонова. – К. : Рад. шк., 1989. – 144 с.
72. Грабар М. И Применение статистики в педагогических исследованиях. Непараметрические методы / М. И. Грабар, К. А. Краснянская. – М. : Педагогика, 1977. – 135 с.
73. Гук В. Є. Допрофільне навчання: сутність, зміст, технології. Концепція профільного навчання в старшій школі / В. Є. Гук // Управління школою. – 2005. – № 11. – С. 15–30.
74. Гуляєва Л. Модульно-проблемний підхід до викладання теми «Електромагнітна індукція» / Л. Гуляєва // Фізика та астрономія в школі. – 1997. – № 3. – С. 16–28.
75. Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении (логико-психологические проблемы построения учебных предметов) / В. В. Давыдов. – М. : Педагогика, 1972. – 424 с.

76. Давыдов В. В. Проблемы развивающего обучения: Опыт теоретического и экспериментального психологического исследования / В. В. Давыдов. – М. : Педагогика, 1986. – 240 с.
77. Данюшенков В. С. Демонстрационные опыты Йоффе по обнаружению магнитного поля катодных лучей / В. С. Данюшенков // Физика в школе. – 1991. – № 2. – С. 61.
78. Демонстрационные опыты по физике в 6–7 классах средней школы / Под ред. А.А. Покровского. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Просвещение, 1974. – 272 с.
79. Денисенко В. В. Психологічні умови формування теоретичного мислення у підлітків (на матеріалі дослідження процесу засвоєння учнями системи знань з фізики) : автореф. дис. ... канд. психол. наук : 19.00.07 – педагогіка та вікова психологія / В. В. Денисенко; Ін-т. психології ім. Г.С. Костюка АПН України. – К., 1998. – 17 с.
80. Державний стандарт загальної середньої освіти в Україні. Проект: Освітня галузь Природознавство. – К. : Генеза, 1997. – С. 21–30.
81. Державні стандарти базової і повної середньої освіти. Проект // Освіта України. – № 1–2 (400), 14 січня 2003. – С. 2–14.
82. Державний стандарт базової і повної середньої освіти // Освіта України. – № 1–2 (400), 20 січня 2004. – С. 1–13.
83. Державний стандарт базової і повної середньої освіти // Фізика та астрономія в школі. – 2004. – № 3. – С. 2–6.
84. Детлаф А. А. Курс физики: Учебное пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворський. – М. : Высшая школа, 1989. – 607 с.
85. Дідович М. Формування поняття вихрового електричного поля / М. М. Дідович // Фізика та астрономія в школі. – 2005. – № 4. – С. 30–32.
86. Долгий В. Про організацію роботи учнів з виготовлення найпростіших саморобних фізичних приладів / В. Долгий // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 2. – С. 38–40.
87. Дубаниевич Т. С. Примерное тематическое планирование факультативных занятий в VII классе по курсу «Тепловые и электрические явления» / Т. С. Дубаниевич // Физика в школе. – 1983. – № 5. – С. 62–64.

88. Дубенський І. В. Урок-дослідження «Електромагніти та їх використання» : 8 клас / І. В. Дубенський // Фізика в школах України. – 2005. – № 4 (32). – С. 7–8.
89. Енохович А. С. Контрольные работы по физике в VI–VII классах. Дидактический материал / А. С. Енохович, С. Я. Шамаш, Э. К Эвенчик. – М. : Просвещение, 1970. – 283 с.
90. Єчкало Ю. В. Модернізація формування поняття «електромагніттне поле» / Ю. В. Єчкало, О. А. Коновал // Збірник наукових праць. Випуск 4: В 3-х томах. – Кривий Ріг : Видавн. відділ НМетАУ, 2004. – Т.2 : Теорія та методика навчання. – С. 173–177.
91. Забранский В. Я. Дифференцированное обучение математике учащихся 5–6 классов основной школы : дисс. … докт. пед. наук : 13.00.02 – методика преподавания математики / В. Я. Забранский; Киевский гос. педагог. ин-т им. А. М. Горького. – К., 1990.– 174 с.
92. Завдання з фізики для учнів 7 класу / М. С. Білий, М. А. Адамович, Б. М. Білий та ін.; За ред. М. С. Білого. – К. : Рад. школа, 1974. – 166 с.
93. Зак А. З. Развитие теоретического мышления у младших школьников / А. З. Зак. – М. : Педагогіка, 1984. – 152 с.
94. Закон України «Про освіту». – К. : Генеза, 1996. – 35 с.
95. Закота Л. А. Проблемне навчання фізики: Посібник для вчителів / Л. А. Закота, О. І. Ляшенко. – К. : Рад. школа, 1985. – 96 с.
96. Занков Л. В. Избранные педагогические труды / Л. В. Занков. – М. : Педагогика, 1990. – 424 с.
97. Зимняя И. А. Педагогическая психология: Учеб. пособие / И. А. Зимняя. – Ростов на Дону : Феникс, 1997. – 480 с.
98. Золотов В. А. Вопросы и задачи по физике в 6–7 классах: Пособие для учителей. 3-е изд., доп. и переработ. / В. А. Золотов. – М. : Просвещение, 1970. –192 с.
99. Іваницька Н. Диференційовані лабораторні роботи з фізики на першому ступені навчання / Н. А. Іваницька // Фізика та астрономія в школі. – 2004. – № 2. – С. 38–42.
100. Іваницька Н. А. Організація особистісно-орієнтованого фізичного експерименту в основній школі / Н. А. Іваницька, В. Ф. Савченко // Вісник Чернігівсь-

кого держ. пед. ун-ту : Серія : педагогічні науки. – Чернігів : ЧДПУ, 2005. – Вип. 30. – С. 104–109.

101. Иванова Т. А. Изучение в VIII классе электризации тел, взаимодействия зарядов, проводников и диэлектриков / Т. А. Иванова // Физика в школе. – 2004.– № 7.– С. 43–47.
102. Иванов Д. Демонстрация свойств парамагнитных и диамагнитных тел / Д. Иванов, Г. Кръстёв // Физика в школе. – 1984. – № 1. – С. 39.
103. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы. 4-ое изд., испр. / И. Е. Иродов. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 320 с.
104. Кабардін О. Ф. Завдання для контролю знань учнів з фізики в середній школі. / О. Ф. Кабардін, С. І. Кабардіна, В. О. Орлов. – К. : Рад. шк., 1986 – 160 с.
105. Калашников Г. С. Электричество: Учебное пособие. 5-е узд., испр. и доп. / Г. С. Калашников. – М. : Наука, 1985. – 576 с.
106. Каленик В. І. Генералізація змісту навчального предмету / В. І. Каленик // Фізика та астрономія в школі. – 1997. – № 3. – С. 2–4.
107. Каленик М. В. Зв'язок між основним і додатковим матеріалами в курсі фізики основної школи / М. В. Каленик // Фізика та астрономія в школі. – 1997. – № 2. – С. 36–38.
108. Каленик М. В. Формування поняття фізичної величини в учнів основної школи : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / М. В. Каленик; НПУ ім. М. П. Драгоманова. – К., 2000. – 20 с.
109. Каленик М. В. Розвиток творчих здібностей учнів у циклах навчального процесу з фізики / М. В. Каленик // Наукові записки. – Вип.55. – Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ. – 2004. – С. 46–52.
110. Калмыкова З. И. Психологические принципы развивающего обучения / З. И. Калмыкова – М. : Просвещение, 1979 – 245 с.
111. Каменецкий С. Е. Методика решения задач по физике в средней школе: Кн. для учителя. – 3-е изд., перераб. / С. Е. Каменецкий , В. П. Орехов. – М. : Просвещение, 1987. – 336 с.
112. Каменецкий С. Е. Электродинамика в курсе физики средней школы: Пособие для

учителей / С. Е. Каменецкий , И. Г. Пустильник – М. : Просвещение, 1978. – 128 с.

113. Каменецкий С. Е. Проблемы изучения основ электродинамики в курсе физики средней школы : автореф. дисс. … докт. пед. наук: 13.00.02 – метод. препод. физики / С. Е. Каменецкий. – М., 1978 – 44 с.
114. Катюк В. С. Формування поняття поля при вивченні електродинаміки в середній школі : дис. … канд. пед. наук: 13.00.02 – методика навчання фізики / В. С. Катюк; Київський держ. пед. ін-т ім. О. М. Горкого. – К., 1971. – 199 с.
115. Катюк В.С. Формирование понятия поля при изучениии электродинамики в средней школе : автореф. дисс. … канд. пед. наук : 13.00.02 – методика преподавания физики / В. С. Катюк; Киевский гос. пед. ин-т им. А. М. Горького. – К., 1972. – 16 с.
116. Кирик Л. А. Фізика–8. Різнорівневі самостійні та контрольні роботи / Л. А. Кирик. – Х. : Гімназія, 2004. – 122 с.
117. Китайгородский А. И. Физика для всех: Электроны. – 2-е изд., перераб. / А. И. Китайгородский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 208 с.
118. Книга для чтения по физике. 6–7 классы / Сост. И. Г. Кириллова. – М. : Просвещение, 1978. – 160 с.
119. Кондратенко В. І. Дидактичний матеріал з фізики для 6 і 7 класів: Посібник для вчителів / В. І. Кондратенко, Н. І. Левшенюк, О. Г. Гончар. – К. : Рад. шк., 1984. – 157 с.
120. Коновал О. А. Непотенціальність електричного поля рухомої зарядженої частинки і закон електромагнітної індукції / О. А. Коновал // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. Серія: педагогічні науки: Збірник. У 2-х т. – Чернігів: ЧДПУ, 2002. – Вип. 13. – Т. 2. – С. 192–195.
121. Коновал О. Особливості методики формування поняття «магнітне поле» / О. А. Коновал // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 3 – С. 24–26.
122. Коновал О. А. Принцип відносності і закон електромагнітної індукції / О. А. Коновал // Вісник Чернігівського державного педагогічного університе-

ту імені Т.Г. Шевченка. Випуск 23. Серія : педагогічні науки. – Чернігів : ЧДПУ, 2004. – № 23. – С. 171–177.

123. Коновал О. Еволюція поглядів на методику формування уявлень учнів про електромагнітне поле / О. А. Коновал, Ю. В. Єчкало // Фізика та астрономія в школі. – 2004. – № 1 – С. 28–30.
124. Концепція розвитку загальної середньої освіти. Проект // Освіта України, 2000. – № 33. – С. 3–4.
125. Концепція 12-річної загальноосвітньої школи. Проект // Педагогічна газета, 2000. – № 9 (75). – С. 3–4.
126. Концепція профільного навчання в старшій школі // Інформаційний збірник міністерства освіти і науки України. – 2003. – № 24. – С. 3–15.
127. Коробова І. В. Розвиток дивергентного мислення учнів основної школи у навчанні фізики : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / І. В. Коробова; НПУ ім. М. П. Драгоманова. – К., 2000. – 20 с.
128. Коршак Є. В. та ін. Фізика, 8 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк. / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 1999. – 200 с.
129. Коршак Є. В. та ін. Фізика, 8 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк. / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2000. – 192 с.
130. Коршак Є. Планування уроків фізики у 8 класі / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко // Фізика та астрономія в школі. – 1999. – № 3. – С. 25–27.
131. Коршак Є. В. та ін. Фізика, 8 кл.: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2002. – 192 с.
132. Коршак Є. В. та ін. Фізика. 8 клас: Підручник для серед. загальноосвіт. навч. закладів. 2-е вид., перероб і доп. / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. ; Ірпінь : Перун, 2003. – 192 с.
133. Коршак Є. В. та ін. Фізика. 10 клас: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. ; Ірпінь : ВТФ «Пе-

рун», 2004. – 294 с.

134. Коршак Є. В. Фізика: Розв’язання всіх задач, відповіді на питання, підказки до лабораторних робіт / Є. В. Коршак, О. Г. Коваленко // До підручників Є. В. Коршака, О. І. Ляшенка, В. Ф. Савченка «Фізика. 7 клас» та «Фізика. 8 клас». – Х. : Веста, 2001. – 256 с.
135. Коршак Є. В. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту / Є. В. Коршак, Б. Ю. Миргородський. – К. : Вища школа, 1981. – 280 с.
136. Коршак Є. Проект концепції освіти з фізики та астрономії 12-річної школи / Є. В. Коршак, М. І. Шут, Г. О. Грищенко // Фізика та астрономія в школі. – 2001. – № 3. – С. 24–26.
137. Костюк Г. С. Навчально-виховний процес і психічний розвиток особистості / Під ред. Л. М. Проколієнко. – К. : Рад. шк., 1989. – 608 с.
138. Костюкевич Д. Я. Реалізація системно-діяльнісного підходу в навчанні фізики / Д. Я. Костюкевич, В. І. Баштовий // Психолого-педагогічні проблеми підготовки учительських кадрів в умовах трансформації суспільства : Матеріали міжнародної науково-теорет. конференції. – К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2000. – Ч. 1. – С. 101–104.
139. Котельніков Г. О. Лабораторні роботи з фізики дослідницького характеру у класах з поглибленим вивченням фізики : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / Г. О. Котельников; НПУ ім. М. П. Драгоманова. – К., 1998. – 16 с.
140. Крутецкий В. А. Основы педагогической психологии / В. А. Крутецкий. – М. : Просвещение, 1972. – 255 с.
141. Крутецкий В. А. Психология обучения и воспитания школьников / В. А. Крутецкий. – М..: Просвещение, 1976. – 303 с.
142. Кучерук І. М. Загальна фізика: Електрика і магнетизм: Підручник. 2-ге вид., перероб. і допов. / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К. : Вища шк., 1995. – 392 с.
143. Ланге В. Н. Экспериментальные физические задачи на смекалку: Учебное руководство / В. Н. Ланге – М. : Наука. Главная ред. физ.-мат. литературы, 1985. – 128 с.

144. Леонтьев А. Н. Проблемы развития психики. 4-е изд. / А. Н. Леонтьев. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – 584 с.
145. Леонтьев А. Н. Избранные психологические произведения: В 2-х т., Т. 1 / А. Н. Леонтьев. – М. : Педагогика, 1983. – 392 с.
146. Лернер И. Я. Проблемное обучение / И. Я. Лернер. – М. : Педагогика, 1974. – 64 с.
147. Лукашик В. І. Збірник запитань і задач з фізики для 6–7 класів / В. І. Лукашик. – К. : Рад. шк., 1985 – 184 с.
148. Лукіна Т. О. Фізична задача як засіб диференційованого навчання фізики в середній школі : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / Т. О. Лукіна; Укр. держ. пед. ун-т. – К., 1997.– 242 с.
149. Лукіна Т. О. Фізична задача як засіб диференційованого навчання фізики в середній школі : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / Т. О. Лукіна; Укр. держ. пед. ун-т. – К., 1997. – 18 с.
150. Луппов Г. Д. Как я организую изучение темы «Магнитное поле» / Г. Д. Луппов // Физика в школе. – 1987. – № 6. – С. 56–62.
151. Ляшенко О. І. Взаємозв’язок теоретичного та емпіричного в навчанні фізики : автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.04 – професійна педагогіка; 13.00.02 – методика навчання фізики / О. І. Ляшенко; Ін-т педагогіки і психології професійної освіти АПН України. – К., 1996. – 50 с.
152. Ляшенко О. І. Концептуальні засади реформування шкільної фізичної освіти / О. І. Ляшенко // Психолого педагогічні проблеми підготовки вчительських кадрів в умовах трансформації суспільства: Матеріали міжнародної науково-теоретичної конференції Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. – К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2000. – Ч. 1. – С. 38–43.
153. Макаренко К. С. Формування в учнів елементів дедуктивного методу міркування в процесі пояснення явищ природи на основі фізичних теорій : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / К. С. Макаренко; Укр. держ. пед. ун-т ім. М.П. Драгоманова. – К., 1994. – 24 с.
154. Малафеев Р. И. Проблемное обучение физике в средней школе / Р. И. Малафеев. – М. : Просвещение, 1980. – 127 с.

155. Манькусь І. Узагальнення знань учнів з електродинаміки / І. Манькусь // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 2. – С. 23–24.
156. Мартинюк М. Т. Вивчення фізики і астрономії в основній школі / М. Т. Мартинюк. – К. : тов. «Міжнар. фін. агенція», 1998. – 274 с.
157. Мартинюк М. Т. Науково-методичні засади навчання фізики в основній школі : автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / М. Т. Мартинюк; НПУ ім. М. П. Драгоманова. – К, 1999. – 34 с.
158. Мартинюк М. Т. Науково-методичні засади навчання фізики в основній школі : дис. ... докт. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / М. Т. Мартинюк; Ін-т педагогіки АПН України. – К, 1999. – 441 с.
159. Мартинюк М. Теоретичні засади першого ступеня навчання фізики в основній школі / М. Т. Мартинюк // Фізика та астрономія в школі. – 2001. – № 1. – С. 13–15.
160. Матвеев А. И. Электричество и магнетизм: Учебное пособие / А. И. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1983. – 463 с.
161. Матюшкин А. М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении / А. М. Матюшкин. – М. : Педагогика, 1972. – 208 с.
162. Махмутов М. И. Организация проблемного обучения в школе / М. И. Махмутов. – М. : Педагогика, 1977. – 240 с.
163. Мендерецький В. В. Удосконалення експериментальної підготовки школярів в умовах особистісно-орієнтованого навчання / В. В. Мендерецький // Зб. наук. пр. Кам'янець-Подільського держ. ун-ту : Серія педагог. Вип. 9 : Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх учителів фізики та астрономії. – Кам'янець-Подільський: К-ПДУ, 2003. – Вип. 9. – С. 148–150.
164. Методика преподавания физики в 6–7 классах средней школы. 3-е изд., перераб. / В.П. Орехов, А.В. Усова, К.В. Альбин и др.; Под ред. В.П. Орехова и А.В. Усовой. – М. : Просвещение, 1976. – 384 с.
165. Методика преподавания физики в средней школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. / С. В. Анофрикова, М. А. Бобкова, Л. А. Бордонская и др.; Под ред. С. Е. Каменецкого, Л.А. Ива-

новой. – М. : Просвещение, 1987. – 336 с.

166. Методика преподавания физики в 7–8 классах средней школы: Пособие для учителя. 4-е изд., перераб. / А.В. Усова, В.П. Орехов, С.Е. Каменецкий и др.; Под ред. А. В. Усовой. – М. : Просвещение, 1990. – 319 с.
167. Методика преподавания курса физики и астрономии в 7–9 классах общеобразовательных учреждений: Книга для учителя. 2-е изд. / А. А. Пинский, Н. К. Гладышева, Н. Г. Кирилова и др.; Под ред. А. А. Пинского, Н. Г. Кириловой. – М. : Просвещение, 2001. – 110 с.
168. Методичні рекомендації упровадження допрофільної підготовки учнів загальноосвітніх навчальних закладів // www. coolschool. at. ua. / news / 2008 – 08 – 18 – 93.
169. Мінаєв Ю. П. Досвід практичної реалізації дидактичного принципу інтеграції на засадах профільної диференціації / Ю. П. Мінаєв // Наукові записки. – Вип.55. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ. – 2004. – С. 77–81.
170. Миргородський Б. Ю. Демонстраційний експеримент з фізики. Електродинаміка: Посібник для вчителів / Б. Ю. Миргородський, В. К. Шабаль. – К. : Рад. школа, 1983. – 176 с.
171. Мойсеюк Н. Є. Педагогіка: Навчальний посібник. 3-є вид., доп. / Н. Є. Мойсеюк. – К. : Вид. ВАТ «КДНК», 2001. – 608 с.
172. Мощанский В. Н. Формирование мировоззрения учащихся при изучении физики: Библиотека учителя физики. 3-е изд., перераб. и доп. / В. Н. Мощанский. – М. : Просвещение, 1989. – 192 с.
173. Мултановский В. В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе: Пособие для учителей / В. В. Мултановский. – М. : Просвещение, 1977. – 168 с.
174. Мухина В. С. Возрастная психология: феноменология развития, детство, отрочество: Учебник для студ. вузов. – 7-е изд., стереотип. / В. С. Мухина. – М. : Изд. центр «Академия», 2002. – 456 с.
175. Мякишев Г. Я. Физика: Учеб. для 10 кл. сред. шк. / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев. – М. : Просвещение, 1975.– 368 с.
176. Мякишев Г. Я. Физика: Учеб. для 10 кл. сред. шк. / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Бу-

ховцев. – М. : Просвещение, 1990.– 223 с.

177. Мякишев Г. Я. Физика: Учеб. для 11 кл. сред. шк. / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев. – М. : Просвещение, 1991.– 254 с.
178. Назаренко А. Г. Картки з фізики для 7 класу: Дидактичний матеріал: Посібник для вчителів / А. Г. Назаренко, І. М. Якименко. – К. : Рад. шк., 1979. – 272 с.
179. Натадзе Р. Г. К онтогенезу формирования понятия. (Формирование понятия в школьном возрасте) / Р. Г. Натадзе. – Тбилиси : Мацниереба, 1976. – 267 с.
180. Недбаевская Л. С. Реализация прогностической функции теории в процессе обучения физике : автореф. дисс. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – метод. препод. физики / Л. С. Недбаевская; Киевский гос. пед. ин-т им. М. П. Драгоманова. – К., 1991. – 18 с.
181. Объедков Е. С. Изучение раздела «Электрические явления» в VIII классе на основании фронтальных опытов / Е. С. Объедков // Физика в школе. – 1995. – № 6. – С. 30–37.
182. Объедков Е. С. Изучение раздела «Электрические явления» в VIII классе на основании фронтальных опытов / Е. С. Объедков // Физика в школе. – 1996. – № 1. – С. 41–46.
183. Оконь В. Основы проблемного обучения / В. Оконь – М. : Просвещение, 1968. – 208 с.
184. Олійник В. Комплект саморобних моделей з розділу «Магнітне поле» / В. Олійник // Фізика та астрономія в школі. – 2000. – № 1. – С. 47–48.
185. Орієнтовне тематичне планування навчально-виховного процесу курсу «Фізика. Астрономія» для 8 класу основної школи / Навчально-методичний посібник. – К. : Освіта, 1996. – 40 с.
186. Основы методики преподавания физики в средней школе / В. Г. Разумовский, А. И. Бугаёв, Ю. И. Дик и др.; Под ред. А. В. Пёрышкина и др. – М. : Просвещение, 1984. – 398 с.
187. Остапчук М. В. Система фізичних завдань для середньої загальноосвітньої школи в умовах диференціації навчального процесу : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / М. В. Остапчук; Укр. держ.

пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 1995. – 24 с.

188. Остапчук М. В. Проблемне навчання як дидактична система фізики / М. В. Остапчук // Вісник Чернігівського держ. пед. ун-ту : Серія : педагогічні науки. – Чернігів : ЧДПУ, 2005. – Вип. 30. – С. 173–177.
189. Острицкий В. Г. Развитие понятия взаимодействие в школьном курсе физики : автореф. дисс. … канд. пед. наук : 13.00.02 – метод. препод. физики / В. Г. Острицкий; НИИ педагогики УССР. – К., 1990. – 25 с.
190. Павленко А.И. Сильный магнит в экспериментальных заданиях / А. И. Павленко, А. В. Сергеев, И. К. Круцило // Физика в школе. – 1989. – № 3. – С. 129–130.
191. Парселл Э. Электричество и магнетизм. Пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова и А. О. Вайсенберга. – М. : Наука, 1983. – 415 с.
192. Пастернак Н. В. Формування системи методологічних знань школярів при навчанні фізики : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / Н. В. Пастернак; Укр. держ. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 1995. – 24 с.
193. Перельман Я. И. Занимательная физика: Книги первая и вторая. – 23-е изд. / Я. И. Перельман. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 496 с.
194. Пёрышкин А. В. Физика. Учебник для 7 кл. семилетней и средней школы. Изд 11 / А. В. Пёрышкин, Г. И. Фалеев, В. В. Крауклис. – М. : Учпедгиз, 1959.– 184 с.
195. Пёрышкин А. В. Курс физики. Учебник для средней школы. Ч. 3. Электричество, оптика и строение атома. Изд. 14 / А. В. Перышкин. – М. : Просвещение, 1967.– 383 с.
196. Пёрышкин А.В. Физика. Учебн. пособие для шестого класса / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина; Под ред. И.К. Кикоина. – М. : Просвещение, 1968.– 207 с.
197. Пёрышкин А. В. Физика. Учебник для седьмого класса. Изд. 2-е. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина; Под ред. И.К. Кикоина. – М. : Просвещение, 1970.– 192 с.
198. Пёрышкин А. В. Преподавание физики в VII классе по новой программе: Пособие для учителей / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина, Х. Д. Рошовская. – М. : Просвещение, 1969.– 160 с.

199. Пёрышкин А. В. Физика. Учебник для седьмого класса. Под ред. И.К. Кикоина. Изд. 4-е. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина. – М. : Просвещение, 1972.– 192 с.
200. Пёрышкин А. В. Физика. Учебник для 6–7 классов средней школы. Изд. 8-е. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина. – М. : Просвещение, 1980.– 315 с.
201. Пёрышкин А. В. Физика. Учебник для 6–7 классов средней школы. Изд. 8-е. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина. – М. : Просвещение, 1986.– 320 с.
202. Пёрышкин А. В. Физика. Учебник для 6–7 классов средней школы. Изд. 9-е. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина. – М. : Просвещение, 1987.– 308 с.
203. Пёрышкин А. В. Физика: Учеб. для 7 кл. сред. шк. 10-е изд., перераб. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина. – М. : Просвещение, 1989.– 175 с.
204. Пёрышкин А.В. Физика: Учебник для 8 кл. сред. шк. 12-е изд., дораб. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина. – М. : Просвещение, 1993.– 191 с.
205. Пёрышкин А.В. Физика. 8 класс. 2-е изд., испр. и доп. / А. В. Перышкин. – М. : Дрофа, 2000.– 193 с.
206. Пиаже Ж. Избранные психологические труды. Психология интеллекта. Генезис числа у ребенка. Логика и психология / Ж. Пиаже. – М. : Просвещение, 1969. – 659 с.
207. Подласый И. П. Педагогика: Новый курс: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений: В 2 кн. / И. П. Подласый. – М. : Изд центр ВЛАДОС, 2001. – Кн. 1 : Общие основы. Процесс обучения. – 576 с.
208. Постников А. В. Проверка знаний учащихся по физике для 6–7 классов средней школы: Дидактический материал: Пособие для учителей. 2-е изд., перераб. / А. В. Постников. – М. : Просвещение, 1986. – 208 с.
209. Преподавание физики в 6–7 классах средней школы: Пособие для учителя. 2-е изд., перераб. / А. В. Пёрышкин, Н .А. Родина, Х. Д. Рошовская и др.; Под ред. А. В. Пёрышкина. – М. : Просвещение, 1974. – 238 с.
210. Преподавание физики в 6–7 классах средней школы: Пособие для учителя. 3-е изд., перераб. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина, Х. Д. Рошовская и др.; Под ред. А. В. Пёрышкина. – М. : Просвещение, 1979. – 304 с.

211. Преподавание физики в 6–7 классах средней школы: Пособие для учителя. 4-е изд., перераб. / А. В. Пёрышкин, Н. А. Родина, Х. Д. Рошовская и др.; Под ред. А. В. Пёрышкина. – М. : Просвещение, 1985. – 256 с.
212. Проект новых программ по физике и астрономии // Физика в школе. – 1967. – № 1. – С. 40–46.
213. Программы одиннадцатилетней школы // Физика в школе. – 1985. – № 6. – С. 21–30.
214. Програми середньої загальноосвітньої школи. Фізика. Астрономія. 7–11 класи. – К. : Рад. шк., 1989. –51 с.
215. Програми середньої загальноосвітньої школи: Фізика, астрономія. 7–11 класи / О. І. Бугайов, Л. А. Закота, В. С. Коваль, Г. В. Самсонова. – К. : Освіта, 1992. – 112 с.
216. Програма курсу «Фізика. Астрономія» для 7–9 класів школи ІІ ступеня. – К. : Освіта, 1994. – 15 с.
217. Програми для середніх загальноосвітніх шкіл: Фізика. Астрономія. 7–11 класи. – К. : Перун, 1996. – 140 с.
218. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика, 7–11 кл. – К. : Шк. світ, 2001. – 96 с.
219. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. Астрономія. 7–12 кл. – К. ; Ірпінь : Перун, 2007. – 80 с.
220. Профільне навчання: Спецвипуск // Завуч. – 2004. – № 16. – 95 с.
221. Пьоришкін О. В. Фізика. Підручник для семирічної і серед. школи. Пер. з рос. вид. Вид. 10-е. Ч. 2. Для 7-го класу / О. В. Пьоришкін, Г. І. Фалєєв, В. В. Крауклiс. – К. : Рад. шк., 1958. – 176 с.
222. Пьоришкін О. В. Фізика. Підручник для серед. школи. Пер. з 15-го рос. вид. / О. В. Пьоришкін. – К. : Рад. школа, 1969. – 448 с.
223. Пьоришкін О. В. Фізика. Навч. посібник для VI класу серед. Школи. Пер. з випр. рос вид. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна; За ред. І.К. Кікоїна. – К. ; Ужгород : Рад. школа, 1969. – 216 с.
224. Пьоришкін О. В. Викладання фізики в 7 класі за новою програмою: Посібник

для вчителів / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна, Х. Д. Рошовська. – К. : Рад. шк., 1970. – 168 с.

225. Пьоришкін О. В. Фізика. Підручник для 7-го класу. Вид. 2-е. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна; За ред. І.К. Кікоїна. – К. : Рад. школа, 1971. – 176 с.
226. Пьоришкін О. В. Фізика: Підручник для 6–7 кл. серед. шк. 10-те вид. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна. – К. : Рад. шк., 1988. – 335 с.
227. Пьоришкін О. В. Фізика: Підручник для 7 кл. серед. шк. 13-те вид., перероб. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна. – К. : Освіта, 1993. – 191 с.
228. Пьоришкін О. В. Фізика: Підручник для 8 кл. серед. шк. 11-те вид., перероб. і доп. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна. – К. : Рад. шк., 1990. – 192 с.
229. Пьоришкін О. В. Фізика: Підручник для 8 кл. серед. шк. 12-те вид. / О. В. Пьоришкін, Н. О. Родіна. – К. : Рад. шк., 1992. – 192 с.
230. Разумовский В. Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике: Пособие для учителей / В. Г. Разумовский. – М. : Просвещение, 1975. – 272 с.
231. Романенко Л. В. Методологічні засади допрофільної підготовки учнів в основній школі / Л. В. Романенко // Управління школою. – 2004. – № 25–26. – С.10–11.
232. Родина Н. А. Теоретические основы методики преподавания физики на первой ступени её курса в средней школе : автореф. дисс. … докт. пед. наук : 13.00.02 / Н. А. Родина; НИИ СиМО СССР. – М., 1979. – 41 с.
233. Родина Н. А. Самостоятельная работа учащихся по физике в 7–8 классах средней школы: Дидакт. матеріал / Н. А. Родина, Е. М. Гутник, И. Г. Кириллова; Под ред. Н. А. Родиной. – М. : Просвещение, 1991. – 128 с.
234. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии / С. Л. Рубинштейн. – СПб. : Питер, 2002. – 720 с.
235. Руденко М. П. Домашній експеримент в навчанні фізики учнів основної школи : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / М. П. Руденко; НПУ ім. М.П. Драгоманова. – К., 2000. – 17 с.
236. Савельев И. В. Курс общей физики: Учебн. пособие. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 3-е изд., испр. / И. В. Савельев – М. : Наука, 1988.– 496 с.

237. Савченко В. Ф. Изучение магнетизма в средней школе : автореф. дисс. … канд. пед. наук : 732 – методика преподавания физики / В. Ф. Савченко; Киевский госуд. педагог. ин-т им. А.М. Горького. – К., 1969. – 20 с.
238. Савченко В. Ф. Вивчення електромагнетизму в середній школі: Посібник для вчителів / В. Ф. Савченко. – К. : Рад. шк., 1985. – 127 с.
239. Садовий М. І. Теоретичні та методичні основи становлення та розвитку фундаментальних ідей дискретності та неперервності в курсі фізики загальноосвітньої школи : автореф. дис. … докт. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / М. І. Садовий; НПУ ім. М. П. Драгоманова. – К., 2001. – 37 с.
240. Сауров Ю. А. Проблема формирования понятия взаимодействия в школьном курсе физики : автореф. дисс. … канд. пед. наук : 13.00.02 – метод. препод. физики / Ю. А. Сауров – М., 1983. – 27 с.
241. Сергєєв О. Шкільні підручники з фізики для основної школи: досягнення, проблеми, перспективи розвитку / О. Сергєєв // Фізика та астрономія в школі. – 2003. – № 4. – С. 15–24.
242. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. Учебн. пособие для студентов физических спец. вузов / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1977. – 688 с.
243. Сиротюк В. Д. Фізика: Підручник для 8 кл. спеціалізованих загальноосвітніх шкіл-інтернатів (шкіл, класів) інтенсивної педагогічної корекції (для дітей із затримкою психічного розвитку) / В. Д. Сиротюк. – К. : Благовіст, 2001. – 144 с.
244. Сиротюк В. Д. Фізика: Підручник для 9 кл. спеціалізованих загальноосвітніх шкіл-інтернатів (шкіл, класів) інтенсивної педагогічної корекції (для дітей із затримкою психічного розвитку) / В. Д. Сиротюк. – К. : Благовіст, 2001. – 156 с.
245. Скрелин Л. И. Дидактический материал по физике: 7–8 кл.: Пособие для учителя / Л. И. Скрелин. – М. : Просвещение, 1989. – 143 с.
246. Слободецкий И. Ш. Всесоюзные олимпиады по физике: Пособ. для учащихся 8–10 кл. сред. шк. / И. Ш. Слободецкий, В. А. Орлов. – М. : Просвещение, 1982. – 256 с.
247. Смирнов В. Г. К рассмотрению последовательного и параллельного соединения проводников / В. Г. Смирнов // Физика в школе. – 2001. – № 8. – С. 32–38.

248. Современный урок физики в средней школе: Б-ка учителя физики / В. Г. Разумовский, Л. С. Хижнякова, А. И. Архипова и др.; Под ред. В. Г. Разумовского, Л. С. Хижняковой. – М. : Просвещение, 1983. – 224 с.
249. Стеблецький А. Л. Дидактичні засоби індивідуалізації вивчення фізики : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / А. Л. Стеблецький; Укр. держ. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 1997. – 18 с.
250. Сусь Б. А. Електрика: Курс лекцій для самостійної роботи студентів / Б. А. Сусь. – К. : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2007. – 73 с.
251. Сусь Б. А. Електромагнетизм: Курс лекцій. Навчальний посібник для самостійної роботи курсантів / Б. А. Сусь. – Л. : Видавництво «Світ», 1998. – 102 с.
252. Сусь Б. А. Проблеми дидактики фізики у вищій школі. Науково-методичне видання / Б. А. Сусь, М. І. Шут. – К. : ВЦ «Просвіта», 2001. – 153 с.
253. Талызина Н. Ф. Управление процессом усвоения знаний / Н. Ф. Талызина. – М. : Изд. МГУ им. М.В. Ломоносова, 1975. – 343 с.
254. Талызина Н. Ф. Педагогическая психология: Учебное пособие для студ. сред. пед. учебн. заведений / Н. Ф. Талызина. – М. : Изд. центр «Академия», 1998. – 228 с.
255. Таскарь М. П. Дополнение к лабораторной работе «Сборка электромагнита и испытание его действия» / М. П. Таскарь // Физика в школе. – 1987. – № 6. – С. 36.
256. Теория и методика обучения физике в средней школе: Общие вопросы: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурышева, Н. Е. Важеевская и др.; Под ред. С. Е. Каменецкого, Н. С. Пурышевой. – М. : Изд. центр Академия, 2000. – 368 с.
257. Теория и методика обучения физике в средней школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. Заведений / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурышева, Т. И. Носова и др.; Под ред. С. Е. Каменецкого. – М. : Изд. центр Академия, 2000. – 384 с.
258. Типові навчальні плани загальноосвітніх навчальних закладів для основної та старшої школи // Освіта України. – № 17 , 2 березня 2004. – С. 2–9.
259. Тульчинский М. Е. Качественные задачи по физике в 6–7 классах: Пособие для учителей / М. Е. Тульчинский. – М. : Просвещение, 1976. – 127 с.

260. Туркот Т.И. Индивидуально-дифференцированный подход к учащимся при систематическом повторении курса физики (X, XI кл.) : дисс. … канд. пед. наук : 13.00.02 – методика преподавания физики / Т. И. Туркот; НИИ педагогики Украины. – К., 1992. – 222 с.
261. Унт И. Э. Индивидуализация и дифференциация обучения / И. Э. Унт. – М. : Педагогика, 1990. – 192 с.
262. Упровадження допрофільної підготовки учнів загальноосвітніх навчальних закладів http://www.ippo.org.ua/files/інформація для методистів/профілізація /МОН.doc. – 2008. – 7 с.
263. Уроки фізики у 7–8 класах: Метод. посібник для вчителів / В. Ф. Савченко, Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко. – К. ; Ірпінь: ВТФ «Перун», 2002. – 320 с.
264. Усова А. В. Самостоятельная работа учащихся по физике в средней школе / А. В. Усова, З. А. Вологодская. – М. : Просвещение, 1981. – 158 с.
265. Усова А. В. Дидактический материал по физике для 6–7 классов / А. В. Усова, З. А. Вологодская. – М. : Просвещение, 1983. – 134 с.
266. Усова А. В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения / А. В. Усова. – М. : Педагогика, 1986. – 176 с.
267. Фалеев Г. И. Физика. Учебник для семилетней и средней школы. Ч. 2. Для 7 кл. Изд 11 / Г. И. Фалеев, В. В. Крауклис, А. В. Перышкин. – М. : Учпедгиз, 1958.– 184 с.
268. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М. : Мир, 1977. – 299 с.
269. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 6. Электродинамика / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М. : Мир, 1977. – 347 с.
270. Фіцула М. М. Педагогіка: Навч. посіб. для студ. вищих пед. закл. освіти / М. М. Фібула. – К. : Видавн. центр «Академія», 2002. – 528 с.
271. Физика. Учебник для 10 кл. с углубл. изучением физики. 9-е изд. / Под ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина. – М. : Просвещение, 2005. – 431 с.
272. Физика. Учебник для 11 кл. с углубл. изучением физики. 8-е изд. / Под ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина. – М. : Просвещение, 2005. – 448 с.

273. Физика в школе: Сб. нормат. документов / Сост. Н. А. Ермолаева, В. А. Орлов. – М. : Просвещение, 1987. – 224 с.
274. Физическая энциклопедия. Т. 2. / Под ред. А. М. Прохорова. – М. : Советская энциклопедия. – 1990. – 703 с.
275. Физическая энциклопедия. Т. 3. / Под ред. А. М. Прохорова. – М. : Советская энциклопедия. – 1992. – 672 с.
276. Физическая энциклопедия. Т. 5. / Под ред. А. М. Прохорова. – М. : Советская энциклопедия. – 1998. – 691 с.
277. Фурман А. Системна диференціація навчання: концепція, теорія, технологія / А. Фурман // Освіта і управління. – 1997. – № 2. – С. 37–66.
278. Хорошавин С. А. Физический эксперимент в средней школе: Б-ка учителя физики / С. А. Хорошавин. – М. : Просвещение, 1988. – 175 с.
279. Чеботарёва А. В. Самостоятельные работы учащихся по физике в 6–7 классах: Дидактический материал: Пособие для учителей. Изд. 2-е, перераб. / А. В. Чебота рева. – М. : Просвещение, 1977. – 255 с.
280. Шарко В. Вивчення теми «Електромагнітна індукція» за модульною технологією / В. Шарко., В. Чернявський // Фізика та астрономія в школі. – 1998. – № 4. – С. 19–25.
281. Шарко В. Вивчення теми «Електромагнітна індукція» за модульною технологією / В. Шарко., В. Чернявський // Фізика та астрономія в школі. – 1999. – № 1. – С. 22–37.
282. Шаталов В. Ф. Опорные сигналы по физике для 7 класса / В. Ф. Шаталов. – К. : Рад. школа, 1979. – 48 с.
283. Шахмаев Н. М. Демонстрационные опыты по электродинамике: Пособие для учителей. Изд. 2-е, перераб. / Н. М. Шахмаев, С. Е. Каменецкий. – М. : Просвещение, 1973. –352 с.
284. Шахмаев Н. М. и др. Физика: Учеб. для 10 кл. сред. шк. / Н. М. Шахмаев, С. Н. Шахмаев, Д. Ш. Шодиев. – М. : Просвещение, 1991. – 240 с.
285. Шахмаев Н. М. и др. Физика: Учеб. для 11 кл. сред. шк. / Н. М. Шахмаев, С. Н. Шахмаев, Д. Ш. Шодиев. – М. : Просвещение, 1991. – 239 с.
286. Шибаев А. Д. Домашний эксперимент по электромагнетизму на самодельных приборах в VII классе / А. Д. Шибаев // Физика в школе. – 1982. – № 3. – С. 56–61.

287. Шульга М. С. Методика і техніка демонстраційних дослідів з фізики у 6 і 7 класах: Посібник для вчителів. Вид третє, перероб. і доп. / М. С. Шульга. – К. : Рад. школа, 1977. – 192 с.
288. Шут М. І. Психолого-педагогічні основи розуміння фізики / М. І. Шут, В. П. Сергієнко // Зб. наук. пр. Кам'янець-Подільського держ. ун-ту : Серія педагог. Вип. 9 : Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх учителів фізики та астрономії. – Кам'янець-Подільський : К-ПДУ, 2003. – Вип.9. – С. 52–54.
289. Элементарный учебник физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. Учебное пособие. Изд. 10-е, перераб. / Под ред. Г. С. Ландсберга. – М. : Наука, 1985.– 480 с.
290. Эльконин Д. Б. Избранные психологические труды / Под ред. В. В. Давыдова, В. П. Зинченко. – М. : Педагогика, 1989. – 560 с.
291. Яворский А. А., Кожевникова Г. И. Показ диамагнитных и парамагнитных явлений / А. А. Яворский, Г. И. Кожевникова // Физика в школе. – 1984. – № 6. – С. 33.
292. Яїцька Л. В. Технологія індивідуалізації навчання як засіб досягнення стандартів базової освіти з фізики : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.02 – методика навчання фізики / Л. В. Яїцька; Укр. держ. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 1997. – 22 с.
293. Якиманская И. С. Развивающее обучение / И. С. Якиманская. – М. : Педагогика, 1979. – 144 с.
294. Nuffield new Advancing Physics Student Book. London: Institute of Physics, 1998. – 340 p.
295. The National Criteria for Physics / Secondary Examinations Council. – London: SEC, 1985. – 48 p.
296. Zollman D. Millikan Lecture 1995: Do they just sit there? Reflections on helping students learn physics / D. Zollman // Am. J. Phys., 1996. – P. 114–119.