

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова

На правах рукопису

**ОРИЩИН Юрій Михайлович**

УДК 53 (07)

**ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА УДОСКОНАЛЕННЯ КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ  
ФІЗИКИ ЗАСОБАМИ СУЧАСНОГО НАВЧАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО  
ЕКСПЕРИМЕНТУ**

13.00.02 – теорія і методика навчання фізики

**ДИСЕРТАЦІЯ**

на здобуття наукового ступеня

доктора педагогічних наук

Науковий консультант  
**ЛЯШЕНКО** Олександр Іванович  
дійсний член АПН України,  
доктор педагогічних наук,  
професор

Київ – 2006

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
<b>РОЗДІЛ 1. СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ ВИЩОЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ. ПРОБЛЕМИ ТА ДОСВІД ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ .....</b>	<b>32</b>
1.1. Пріоритет безперервної освіти.....	32
1.2. Дистанційне навчання як важлива складова безперервної освіти.....	40
1.3. Особливості особистісно-орієнтованого навчання.....	45
1.4. Педагогічні технології навчання.....	58
1.5. З досвіду розв'язання проблем оновлення знань.....	67
Висновки до розділу 1 .....	79
<b>РОЗДІЛ 2. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ЗНАНЬ З ФІЗИКИ У СТУДЕНТІВ.....</b>	<b>81</b>
2.1. Пошук нових шляхів навчання – важлива складова науки .....	82
2.2. Формування знань у студентів та школярів .....	87
2.3. Традиційний навчальний лабораторний експеримент у контексті сучасності.....	97
2.4. Розробка експерименту – плюси та мінуси .....	104
Висновки до розділу 2 .....	111
<b>РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ТА ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ ВИЩИХ У ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ.....</b>	<b>113</b>
3.1. Інновації в методиці навчання курсу загальної фізики як	

засадничий чинник її вдосконалення .....	114
3.2. Деякі особливості побудови технологій навчання інноваційних комплексних тем курсу загальної фізики .....	121
3.3. Нові навчальні експерименти та засоби і способи їх реалізації.....	139
Висновки до розділу 3 .....	156
<b>РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ ТЕМИ “ВИМІРЮВАННЯ ТА ЇХ ПОХИБКИ” .....</b>	<b>159</b>
4.1. Тема “Вимірювання та їх похибки”. Навчальні проблеми та шляхи їх розв’язку .....	159
4.2. Проектування технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”.....	165
4.3. Розробка засобів навчання .....	170
4.4. Методика побудови педагогічного програмного продукту теми “Вимірювання та їх похибки” .....	178
Висновки до розділу 4 .....	205
<b>РОЗДІЛ 5. ВІЛЬНІ МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ: НЕДОЛІКИ, ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ НАВЧАННЯ .....</b>	<b>207</b>
5.1. Аналіз деяких особливостей традиційної методики навчання та формування нової .....	207
5.2. Формування технології навчання комплексної теми: “Рівномірний рух точки по колу та гармонічні коливання” .....	213
5.3. Установка та приклади лабораторних досліджень .....	218
5.4. Методика побудови навчання кінематичних, динамічних та енергетичних закономірностей коливальних рухів маятника .....	224
Висновки до розділу 5 .....	237

<b>РОЗДІЛ 6. РОЗВИТОК ІНТЕГРАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ЗНАНЬ НА ПРИКЛАДІ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕМИ “ПРУЖИННИЙ МАЯТНИК ТА ЗАРЯД ЕЛЕКТРОНА” .....</b>	<b>239</b>
6.1. Постановка завдання та засоби навчання .....	239
6.2. Методологія знаходження заряду електрона .....	249
6.3. Методика навчання гармонічних механічних і електричних коливань з допомогою багатопрофільної установки “Пружинний маятник” .....	252
6.4. Дослідження механічних та електричних згасаючих коливань .....	270
6.5. Методика знаходження величини заряду електрона .....	276
Висновки до розділу 6 .....	281
<b>РОЗДІЛ 7. ДІЯЛЬНІСНИЙ ПІДХІД ДО НАВЧАННЯ ЯК ЧИННИК ТРАНСЛЯЦІЇ З НАУКОВОЇ СИСТЕМИ В НАВЧАЛЬНУ ЗНАНЬ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ .....</b>	<b>283</b>
7.1. Навчальні проблеми та шляхи їх розв’язку .....	283
7.2. Лекційне представлення змісту комплексної теми “Релятивізм магнетизму” .....	287
7.3. Нові засоби навчання з електромагнетизму .....	298
7.4. Приклади нових навчальних експериментів .....	306
7.5. Методичне опрацювання практичних занять .....	316
Висновки до розділу 7 .....	320

<b>РОЗДІЛ 8. НАУКОВІСТЬ, НАОЧНІСТЬ, НАСТУПНІСТЬ ТА ПРОБЛЕМНИЙ ПІДХІД – ЗАСАДИ ПЕРЕХОДУ ВІД КОНЦЕПЦІЙ КЛАСИЧНОЇ ФІЗИКИ ДО СУЧАСНОЇ .....</b>	<b>321</b>
8.1. Шлях удосконалення .....	321
8.2. Навчальна лабораторна установка та результати експерименту .....	323
8.3. Взаємодія електронів з нейтральними атомами. Ефект Рамзауера ....	325
8.4. Світлові та електронні хвилі .....	328
8.5. Проходження електронної хвилі через потенціальну яму.....	332
8.6. Педагогічний експеримент: оцінка розробленого напрямку вдосконалення методики навчання курсу загальної фізики.....	336
Висновки до розділу 8 .....	339
<b>ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ.....</b>	<b>341</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>346</b>

## ВСТУП

Консерватизм, який ще, на жаль, трапляється у навчальному процесі вищих навчальних закладів, веде до відставання освіти від вимог часу та науково-технічного прогресу. Водночас тенденції глобалізації та подальшої інформатизації усіх сфер суспільного життя, кардинальні зміни структури суспільного виробництва вимагають адекватної реакції освітньої системи на виклик часу. Завдання сучасної педагогіки – розв’язати цю проблему у тісному зв’язку з сучасними вимогами вищої школи – підвищити ефективність освіти, надати їй творчого, дослідницького характеру.

Вищий навчальний заклад має підготувати спеціаліста “...до діяльності у професійній сфері, в якій швидко змінюються не тільки завдання, а й методи та засоби їх розв’язку. Для діяльності спеціаліста характерні елементи евристичного характеру. А це тягне за собою підсилення світоглядної, методологічної підготовки і вимагає розвитку творчої активності, навичок самостійного мислення та самостійної роботи” [1]. Постає “...необхідність розробляти зміст навчання таким чином, щоб міг активно розвиватися розумовий потенціал у студента” [2].

Сучасний педагогічний процес ще не завжди спрямовано на формування адаптаційних моделей навчання і виховання. До недоліків, що спричинюють такий стан у навчальній практиці, належать: “...дидактика пам’яті, енциклопедизм у змісті навчання, розрив між сучасними досягненнями науки, рівнем розвитку цивілізації і програмами навчання, розвиток розумових здібностей через інші якості, які формують всесторонньо розвинуту особистість, низька ефективність процесу навчання при одночасній зavelикій завантаженості студентів, невикористання (у таких розмірах, що вже зараз

можливі) сучасних технічних винаходів, які могли б скерувати навчальний процес на нові шляхи...” [3].

Не сприяє поки що вирішенню цієї проблеми нецільове наповнення шкіл та вищих навчальних закладів комп'ютерами. До суттєвих педагогічних наслідків це не призвело, бо ще не реалізуються принципово нові можливості побудови навчального процесу на основі використання комп'ютерної техніки. Насправді продовжується емпіричний шлях впровадження комп'ютерної техніки у практику навчання. Це в багатьох випадках веде до створення малоефективних програмних продуктів. Цього треба позбутися, “...бо засоби комп'ютерної техніки є надзвичайно сильнодіючими і дорогими” [4]. Вироблення сучасної концепції підвищення ефективності навчального процесу, звичною, невід'ємною складовою котрого повинні стати сучасні інформаційні технології навчання, можливе тільки з допомогою проведення низки педагогічних досліджень як на державному, так і на регіональному рівнях, з урахуванням специфіки гуманітарних і природничих дисциплін.

*Як впливають порушені питання на навчальний процес курсу загальної фізики, його технологію навчання?*

Вже не одне століття фізика є однією із найважливіших дисциплін. Її світоглядні функції та роль у науково-технічному прогресі зумовлюють непересічну актуальність фізичних знань для навчального процесу та практичних потреб. “Вона забезпечує вивчення широкого кола дисциплін і ...саме на її засадах відбувається систематизація у сприйнятті та відображенні явищ навколишнього світу в процесі їх пізнання, формується наукове мислення, шліфується інтуїція майбутнього фахівця, необхідні для розуміння природи цих явищ” [5]. Без фізики важко зрозуміти; як сталося, що “Характерна особливість сучасного світогляду полягає у тому, що він є імовірнісним, стохастичним за своїм внутрішнім змістом, незалежно від того, стосується це буденного, релігійного чи філософського його аспектів” [5].

*Однак, як же зрозуміти причини зменшення ваги фізики в інженерній підготовці?*

*Як пов'язати з цим втрату у суспільства інтересу до фізики?*

*Чи забезпечує сучасний курс загальної фізики оволодіння новітніми науково-технічними та духовними здобутками цивілізації?*

Ще донедавна вважалось, що якщо в інженерній освіті збільшити вагу фундаментальних дисциплін, тобто дати майбутньому спеціалістові добру підготовку з фізики і математики, то це не тільки сприятиме засвоєнню інженерних дисциплін, а й створить міцний фундамент для подальшої самостійної роботи і підготує до майбутніх перекваліфікацій, які неминуче його чекатимуть. Співвідношення фундаментальної і спеціальної підготовки повинно враховувати не тільки те, що спеціальні знання старіють набагато швидше від фундаментальних, але й те, що випускник вищого навчального закладу освіти повинен відразу почати активну трудову діяльність, основа якої – спеціальна підготовка [1]. Отже, “...не зменшуючи важливості набуття прикладних знань на кожному рівні освіти, слід визнати, що фундаментальна підготовка становить найважчу, найціннішу і довготривалу систему освіти. Тут закладається здатність відповідати на найскладніші запитання із життєвої практики: чому це відбувається? Що треба зробити?” [1].

Виявляється, одна справа – вважати, а зовсім інша – представити фізику у сучасному навчальному процесі з його динамічними вимогами, яку доцільну частку цього процесу присвятити їй, якої технології навчання дотримуватися.

В Україні функціонує система навчання фізики, формування якої здебільшого завершилося наприкінці 80-х років ХХ століття. Упродовж останнього десятиріччя вона постійно вдосконалюється.

Фактично, концепція фізичної освіти існує як системний продукт, що є визначальником пріоритетів фізичної освіти та механізмів його запровадження. Провідні ідеї, погляди, установки, теорії тощо, на основі



синтезу яких вибудовується сучасна концепція фізичної освіти, зароджені, розроблені та впроваджені внаслідок науково-пошукової діяльності як вітчизняних (О.І. Бугайов, С.У. Гончаренко, А.М. Гуржій, В.Р. Ільченко, С.В. Коршак, О.І. Ляшенко, М.Т. Мартинюк, А.Г. Павленко, А.М. Сабо, О.В. Сергєєв, М.І. Шут та ін.), так і зарубіжних (Г.М. Голін, Ю.Ш. Дік, В.О. Ізвозчиков, С.Ю. Каменецький, В.В. Мултановський, Д.І. Пеннер, В.Г. Разумовський, А.В. Усова та ін.) дослідників. Але було б оманливо сподіватися, що створення сучасної концепції фізичної освіти відразу спричинить зародження освітнього середовища, адекватного потребі її ефективного використання.

Результати досліджень наукових шкіл у галузі методики фізики вказують на певні успіхи у розв'язанні проблем навчання фізики у середній та вищій школі. Зокрема:

1. Проблеми взаємозв'язку теоретичного й емпіричного в навчанні фізики піднімав у докторському дослідженні О.І. Ляшенко [6]. Встановлено, що ефективність засвоєння школярами навчального матеріалу з фізики залежить від логіки побудови пізнавального процесу учнів, яка повинна враховувати взаємозв'язок і взаємообумовленість теоретичного і емпіричного рівнів пізнання, відповідних їм видів знання, а також сформованості специфічних для них форм пізнавальної діяльності.

2. У своїй докторській дисертації Б.С. Будний [6] наголошує на одному з напрямів фізичної освіти в середній школі – посиленні її методологічної спрямованості – що спричинено корінними змінами в характері наукових знань та процесі пізнання і співвідношенні знання / пізнання. Тому виникає потреба, щоб наука була для учня не переліком відкриттів чи сумою формул, а способом мислення у процесі пізнання навколишнього світу. Автор подає теоретико-методологічне обґрунтування закономірностей формування науково-теоретичного мислення учнів на основі фундаментальних фізичних понять. Він доводить продуктивність історичної реконструкції сучасних

фізичних теорій у методологічних цілях як основи для структурування навчального матеріалу (в рамках як окремих тем і розділів, так фізики загалом) і основи для розробки різноманітної методики навчання, необхідної з позицій фізики як навчальної дисципліни.

3. Питання самостійної роботи студентів висвітлював у докторській дисертації Б.А.Сусь [8]. Проаналізувавши загальнонаукову проблему сприйняття інформації студентом як таку, що тісно пов'язана з якістю висвітлення тієї чи іншої дисципліни у посібниках, підручниках, на лекціях, уроках тощо, він розробив методику організації занять, яка забезпечує інтенсивну самостійну діяльність на лекціях шляхом самостійної роботи курсантів над готовим конспектом з подальшим викладанням цього матеріалу лектором, а також на практичних і лабораторних заняттях шляхом реалізації партнерського співробітництва викладача і студента.

4. Науково-методичні засади навчання фізики в основній школі розглянув у докторській дисертації М.Т.Мартинюк [9]. Він пропонує посилити функції першого ступеня навчання фізики щодо формування цілісних уявлень про природничу картину світу, місце і роль людини в ньому та цілеспрямованого формування узагальнених способів діяльності учнями природничо-наукових знань. Обґрунтовує зміст і структуру фізичної (й астрономічної) освіти в школі другого ступеня та створює методичну систему навчання і адекватну їй систему методичної підготовки вчителя.

5. Актуальній проблемі вдосконалення навчання фізичного експерименту присвячено докторське дисертаційне дослідження С.П.Величка [10]. Представлений аналіз науково-методичної спадщини свідчить, що запровадження результатів досліджень у практику викладання шкільного фізичного експерименту має серйозні труднощі, які зумовлені:

– недостатньою розробкою різних видів навчальних експериментів (демонстрації, фронтальних лабораторних спостережень і робіт, фізичного практикуму та самостійних дослідів учнів, що виконуються індивідуально в

домашніх умовах), їх співвідношенням для активізації пізнавальної діяльності учнів;

– неспроможністю пропорованих навчальних фізичних дослідів проілюструвати особливості та основні закономірності природних явищ і процесів, що розкривають основи квантової фізики та фізичних експериментальних методів їх дослідження, які відображають сучасні наукові дослідження;

– недостатньою розробкою засобів відтворення у шкільних та домашніх умовах необхідної ефективної системи навчальних фізичних дослідів.

6. Докторська дисертація П.С. Атаманчука [11] присвячена теоретико-методологічному обґрунтуванню та практичному втіленню дидактичної системи управління навчально-пізнавальною діяльністю у навчанні фізики. Підкреслено, що у світовій і вітчизняній практиці спостерігаються тенденції поступового переходу від інформаційно-виконавської до пошуково-креативної схем. За цих обставин проблема управління пізнавальною діяльністю учнів у навчанні фізики набуває особливої актуальності: недосконалі матриці управління у традиційному навчанні стають все менш придатними для використання в умовах інноваційних схем навчання, сучасні ж – ще потрібно створювати.

7. Автор докторського дисертаційного дослідження [12] А.В.Касперський наголошує, що радіоелектроніка – галузь науки, яка тісно поєднує технічні дисципліни з фізикою і є прикладом закономірного контакту техніки з усіма розділами фізики. Адже радіоелектроніка обов'язково опирається на закони і закономірності електродинаміки, електроніки і електронної оптики, квантової фізики тощо. Вагомість вивчення радіоелектроніки учнями і студентами педагогічних вузів полягає у тому, що це дає можливість глибше зрозуміти фундаментальні закономірності фізики через усвідомлене бачення природничих процесів, сприяє усвідомленню фізичних законів, забезпечує

політехнічну підготовку випускників шкіл і майбутніх вчителів фізики, а також виробничих технологій і основ виробництва.

8. Актуальними для навчання фізики, формування сучасного наукового світогляду як імовірнісного, стохастичного, є результати досліджень школи проф. М.І. Жалдака, які, зокрема, стосуються розробок нових інформаційних технологій навчання та запропонованого підходу до вивчення елементів стохастики в шкільному курсі математики, який дає змогу повною мірою з'ясувати і усвідомити сутність основних понять і фактів теорії ймовірності й математичної статистики (див., наприклад [13]). Важливо, що декілька десятиліть тому теорія ймовірності розглядалась як розділ фізики [14]. Тому наповнення цього, тепер розділу математики, результатами досліджень, отриманими в реальних, цікавих, наочних фізичних експериментах, сприятиме формуванню особистості.

Відзначимо, що подані наукові дослідження стосувалися здебільшого навчання фізики в середній школі, актуальним буде проведення таких досліджень у вищій школі. Але все ж таки чимало загальних положень дидактики і методики викладання фізики у середній школі, які розроблені в поданих дослідженнях після певних доопрацювань можна трансформувати у вищу школу.

Однак, незважаючи на певні досягнення методики навчання фізики і далі істотні недоліки у засвоєнні знань з фізики зменшують її роль у системі освіти. Віднедавна в науково-методичній літературі обговорюються питання, що стосуються технології навчання фізики, визнається низка її позитивних рис, все частіше наголошують на її недоліках, які ще часто призводять до:

- порушення принципу єдності фізичного знання;
- втрати міжпредметних зв'язків між фізикою та багатьма загальноінженерними дисциплінами;
- невміння використовувати здобуті знання.

Водночас, згідно з навчальними програмами [6], цілі навчання вимагають:

- вивчення основних фізичних явищ та ідей, оволодіння фундаментальними поняттями, законами і теоріями традиційної і сучасної фізики;

- усвідомлення перехресних логічних зв'язків між різними розділами фізики;

- ознайомлення із сучасною науковою апаратурою, формування навиків проведення фізичного експерименту, вміння оцінювати похибки вимірювань.

З такою суттєвою невідповідністю між вимогами програм з фізики і результатами засвоєння знань не можна погодитися.

*Що це – результат небажання студентів заглиблюватися у розуміння фізики, чи недоліки традиційної технології навчання, зокрема, наші недоліки у виборі навчального матеріалу та невміння його науково та наочно подати на заняттях?*

Прогрес в освіті не може відбуватися одночасно з втратою зацікавлення однією з її важливих ланок. І з розв'язанням цієї проблеми зволікати не можна. Постає необхідність з'ясування причин такого стану та відновлення зацікавлення фізикою, але вже, напевно, фізикою, що відповідала б рівню початку XXI ст. Це, очевидно, завдання не тільки фізиків, а й усієї нашої освіти, науково-технічного прогресу, яке вимагає від нас чіткого усвідомлення неминучості кардинальних змін у сьогоденному вивченні курсу фізики. Бо зміни, що відбуваються у суспільстві, технології та фізиці як науці, створюють адекватні цим процесам соціально-педагогічні умови і вимагають осмисленого реформування, проектування і впровадження нової моделі вивчення фізики.

Розробка змісту фізики як навчального предмета – справа методики навчання фізики. І ось тут у розкритті змісту ми повинні не тільки оперувати добре відомим і давно сформованим матеріалом, який кожний викладач найкращим, на його думку, способом, пропонує для засвоєння студентами. Але очевидно, без пошуку нових оригінальних підходів до представлення

взаємозв'язків між фізичними поняттями нам не обійтися. Розкриття змісту навчального матеріалу вимагає пошуку шляхів його представлення у навчальному процесі і постійної праці над розробкою дидактичних матеріалів та технічних засобів, бо навіть найкраща методика без цього не у змозі підвищити ефективність навчання [16].

Водночас, аналізуючи результати досліджень проблем технології навчання фізики, пошуку шляхів їх розв'язання, що часто піднімаються як у вітчизняній, так і у зарубіжній науково-методичній літературі, не можна не відзначити недостатність повноти і всебічності в охопленні цих навчальних проблем. Часто дослідженням бракує узагальненої цілеспрямованості, педагогічного осмислення нових технічних нововведень, свідомого бачення шляхів підвищення ефективності навчання. Одні з них стосуються окремих проблем, розв'язання яких не може істотно вплинути на якість навчального процесу. Під час інших забувають, що не тільки розв'язати всі навчальні проблеми, а й охопити їх – неможливо, і “знаходять” їх розв'язання. В окремих розробках теоретичні умовиводи надто домінують над конкретною методикою фізики, її прикладними аспектами. Спостерігається пошук авторами розробок додатного матеріалу для показу доцільності своїх теоретичних підходів. Це завершується демонструванням усім відомих і багаторазово використуваних прикладів, що, і без їх теоретичних умовиводів, добре зрозумілі студентам. Забувається, що визначальним у розробці повинна бути конкретна навчальна ціль, яка полягає у засвоєнні певного матеріалу. Деколи “...змістова характеристика результатів досліджень підміняється описовим переліком праць, виконаних в його ході”, зауважують у праці [17].

Такі дослідження і надалі створюватимуть умови для суб'єктивізму та призведуть до нерозуміння проблеми, до фіксації емпіричного ходу навчання, його зовнішніх характеристик, до наївно-емпіричного захоплення нововведеннями. Ми вважаємо, що тільки практична апробація запропонованого доробку, результатом якої стає ліквідація невідповідності між знаннями студентів

і вимогами програм, доведе справжню вартість теоретичних узагальнень і призведе до вагомих дидактичних висновків.

Очевидно, через це дослідники і надалі матимуть підстави на дещо гостріші зауваження, аналогічні поданим у праці [18]: "...Україна перебуває в стані перманентної революції. А реформування зводиться до імітації реформ,... до розриву між глобальними потребами суспільства і результатами освіти, між сучасними методологічними підходами до розвитку наук і архаїчними формами їхнього навчання”.

Водночас одним із основних пріоритетних напрямів розвитку вищої освіти в усьому світі є фундаменталізація професійної підготовки. Це пов'язано з тим, що "...зростання науковості усіх сфер людської життєдіяльності, перетворення інформації на основний товар висуває нові вимоги до рівня підготовки спеціалістів, які можна забезпечити тільки на базі фундаменталізації всієї системи вищої освіти” [19, с.161].

Але фундаменталізація освіти не вичерпується виконанням традиційної вимоги щодо збільшення в ній обсягів фізики та математики. Поняття “фундаменталізація” означає “...зведення великого обсягу інформації до певних стрижневих ідей, на яких базуються знання”, а “...фундаментальними слід називати ті види знання, у яких знаходять своє відображення загальні закономірності розвитку руху чи функціонування систем, явищ тієї чи іншої предметної сфери” [20, с. 38].

Отже “...освіта стає фундаментальною, якщо вона орієнтована на висвітлення глибоких сутнісних основ і зв'язків між різноманітними процесами навколишнього світу і функціональні знання про ці основні зв'язки” [18, с.6]. А в широкому значенні фундаментальність вищої освіти – це поєднання наукових знань і процесу освіти, яке дає можливість освіченій людині зрозуміти, що ми живемо за законами природи і суспільства, які ніхто не може порушувати [21].

Але в такому разі, чому “...проблемам і перспективам фундаменталізації

вітчизняної освіти не приділяється достатньої уваги”? [20, с.36]. Хоча “...під впливом глобальних освітніх процесів в Україні теж відбувається реформування вищої освіти, але, на жаль, через недостатню кількість неузгоджених наукових досліджень з проблем фундаменталізації професійної підготовки справа рухається повільно” [20, с. 37].

Чому недостатньо реалізовується Національна доктрина розвитку освіти, згідно з якою “...в Україні має забезпечуватися прискорений, випереджаючий інноваційний розвиток самоствердження та самоорганізації особистості протягом життя”? [22].

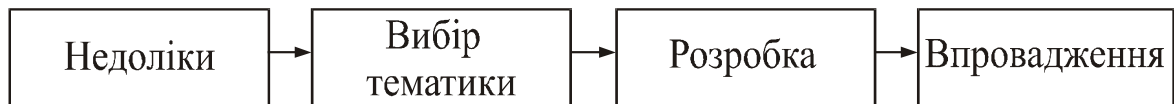
Через це проблеми вдосконалення курсу загальної фізики, що так нагально вимагають свого розв’язання методикою навчання фізики, не можуть розв’язуватися окремо від проблем фундаменталізації професійної підготовки фахівця.

Зважаючи на подане у праці [23], ми запропонували один із можливих підходів до розв’язання навчальних проблем, який показано на блок-схемі (рис. В.1).

Із сукупності недоліків курсу фізики треба, які стосуються висвітлення ключових фізичних понять, законів і теорій та взаємозв’язків між ними, вибрати ті, які необхідно виправляти насамперед. Вони визначатимуть вибір тематики досліджень і подальшу її розробку та впровадження. У цьому контексті провести прикладні і практичні науково-методичні дослідження, які стосувались формування змісту нових комплексних тем, розробки та створення ефективних методів і засобів їх реалізації в навчанні. Важливо, щоб поданий навчальний матеріал сприяв інтеграції знань та формуванню фундаментальної складової блоку знань фізики, як підкреслюють у праці [24], “...у вісьмох фундаментальних фізичних теоріях (класична і квантова механіка, теорія гравітації Ньютона, класична електродинаміка, спеціальна і загальна теорія відносності, квантова і єдина квантова теорія поля)”. Важливо, що “...розуміння сучасного стану розвитку саме фундаментального



фізичного знання (яке виступає методом розбудови всіх нефундаментальних фізичних теорій), що дає можливість обґрунтувати таку модель, яка може виступати наукознавчою основою розв’язання складної проблеми трансформації наукової системи фізичного знання в навчальну” [25].



**Рис. В.1.** Блок-схема організації досліджень

Але перш ніж приступити до досліджень, пов’язаних з проблемами вдосконалення курсу загальної фізики, необхідно розглянути тенденції світової освіти. Бо очевидно, що проблеми навчання фізики можна задовільно вирішувати тільки тоді, коли ми знатимемо, розумітимемо і враховуватимемо тенденції розвитку світової освіти та чітко усвідомимо нішу фізики в ньому.

У ширшому контексті ми повинні зрозуміти, що розв’язок проблем навчання в українській фізиці – це водночас розв’язок їх і в світовій освіті. Без урахування цього взаємозв’язку розв’язання проблем буде частковим і не принесе повної користі. Тому ми не прямуватимемо до якісного рівня у навчанні фізики і, тим паче, не визначатимемо окремі елементи його поступу. Але без цього навряд чи можна сподіватися на ефективну взаємодію з світовою освітньою системою.

Тому, з одного боку, насамперед необхідно визначити такі пріоритети, реалізація яких “...допоможе громадянам нашої країни брати участь у спільній діяльності міжнародного характеру” [26]. Отже те, що визначає тенденції освіти, може тільки на перший погляд здаватися далеким від конкретних навчальних проблем у фізиці.

З другого боку, – ми вважаємо важливим розглянути і врахувати психолого-педагогічні підходи до формування знань у студентів в аспекті тих

відомих науково-педагогічних досліджень, які містять удосталь раціонального, щоб бути використаним у навчанні. Відоме не означає, що воно впроваджене. Тому необхідне глибоке теоретичне узагальнення, врахування подальшого розвитку як фізики, так і технології.

Впровадження результатів досліджень має призводити до зростання ефективності навчання, при якій зростають активність і самостійність студентів, розширюються кордони інформаційного забезпечення, контроль і самоконтроль над здобутими знаннями. Вони мають враховуватися під час створення змістового наповнення відповідно сформованих модулів кредитно-модульної системи організації навчального процесу, яку потрібно впроваджувати в нашу систему освіти [27].

Амбіційна мета “...перше місце в освіті в галузі природознавства” [28], повинна бути пріоритетною не тільки для освіти Сполучених Штатів, а й стати засадничим чинником у наших перетвореннях. Як зазначено там же, “...навчальну систему необхідно перебудувати так, щоб досягти високих стандартів освіти. У своїй роботі вчитель і викладач має орієнтуватися не тільки на ту чи іншу процедуру, а й на кінцевий результат. Тому необхідно вітати пошук нового, будь-яка модернізація навчального процесу доречна, якщо новостворене спричинює високу ефективність освіти”.

Розуміти і враховувати, що “...перетворення навчального матеріалу в товар дасть змогу отримати освіту всім” і для цього “...освітнє співтовариство повинно прийняти модель відкритого вихідного руху програмного забезпечення: майбутнє, де викладачі і заклади створюють програмне забезпечення курсів і навчальні матеріали для вільного доступу до мережі” [29].

Отже треба намагатися, щоб розроблене програмне забезпечення курсу загальної фізики, сформоване у відповідні педагогічні програмні продукти, становило компонент віртуальної реальності, яка є “...породженням людського духу, людської діяльності – це світ який людина створила і

продовжує створювати. Світ, який є можливим, стає реальним і є таким, поки ми цього хочемо, поки ми в нього віримо ” [30], і він повинен працювати на навчальний процес курсу загальної фізики.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** З одного боку, дисертаційне дослідження входить до тематичного плану науково-дослідних робіт кафедри методики викладання фізики Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Тема роботи затверджена Вченою радою університету (протокол № 10 від 22 травня 2000 р.) та узгоджена в Раді з координації наукових досліджень в галузі педагогіки та психології в Україні (протокол № 4 від 22 вересня 2003 р.).

З другого – дослідження виконувалась у рамках державних та галузевих науково-технічної програм та проектів з 1993-2005 рр.:

1. Розробка комплексу лабораторного приладдя для забезпечення навчального процесу курсу фізики. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. лісотехніч. ун-т. № держреєстрації 0194v0320104. – Львів, 1994. – 43 с. (Керівники Ю.М. Орищин та В.І. Вайданич). Програма 06.08.00 “Оновлення та створення сучасної матеріально-технічної бази наукових закладів та провідних вузів України”.

2. Розробка сучасного навчального приладдя для навчального процесу курсу фізики і створення на його основі нових інформаційних технологій навчання. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. лісотехніч. ун-т. № держреєстрації 0194v0320104. – Львів, 1997. – 36 с. (Керівник Ю. М. Орищин).

3. Створення нових інформаційних технологій вивчення фізики і наочного представлення фізичних явищ у сучасних фізичних приладах. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. лісотехніч. ун-т. № держреєстрації 0198v002979. – Львів, 2000. – 38 с. (Керівник Ю. М. Орищин).

4. “Розробка соціальної технології підвищення рівня захищеності випускників навчальних закладів лісового комплексу на сучасному ринку

праці”. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. лісотехніч. ун-т. № держреєстрації 0100v001560. Львів, 2004. – 247 с. (Керівник М. Г. Адамовський; внесок дисертанта – 1 др. арк.).

5. “Сучасні технології підготовки фахівців для лісового комплексу”. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. лісотехніч. ун-т. № держреєстрації 0103v000079. Львів, 2006. – 250 с. (Керівник М. Г. Адамовський; внесок дисертанта – 1,1 др. арк.).

**Об’єкт дослідження** – процес навчання курсу загальної фізики у вищому технічному навчальному закладі.

**Предмет дослідження** становить лабораторний навчальний експеримент як невіддільна складова методики навчання курсу загальної фізики та основа проектування нових комплексних тем, зміст яких стосується ключових понять, законів і теорій фізики і реалізує вимоги фундаменталізації освіти.

**Метою дисертаційного дослідження** є розроблення методики навчання курсу загальної фізики на засадах вдосконалення навчального фізичного експерименту і запровадження технологій вивчення нових комплексних тем, які охоплюють ключові поняття, закони і теорії фізики.

В основу дослідження покладено **наукову гіпотезу**:

Розроблення і впровадження в курс загальної фізики вищої школи сучасних навчальних експериментів і необхідного для їх відтворення устаткування принципово вплине на якість освіти та інтелектуальний розвиток студентів за умови, якщо вони використовуватимуться не фрагментарно (лише у демонстраціях та лабораторному практикумі), а в статусі невіддільного компонента технологій навчання інноваційних комплексних тем, які:

– охоплюють ключові фізичні поняття, теорії, закони фізики і взаємозв’язки між ними та є фрагментами цілісного фізичного знання;

– сформовані відповідно до вимог нової парадигми освіти, сучасних психолого-педагогічних теорій, зокрема, принципу фундаменталізації та інтеграції знань та принципу суперечностей;

– стануть базовими елементами побудови сучасної методичної системи навчання фізики, інтегрованої у загальну освіту, в якій універсальним компонентом процесу буде не заучування тексту, а пізнання в процесі реалізації діяльнісного підходу, спрямованого на сприйняття і усвідомлення взаємозв'язків між складовими змісту теми.

Відповідно до мети і гіпотези дослідження, було поставлено три групи завдань дослідження.

Перша група завдань охоплювала аналіз тенденцій розвитку освіти, психолого-педагогічні основи формування знань студентів з фізики та ролі в цьому навчального експерименту і його тенденцій розвитку.

Друга група завдань охоплювала теоретичний та практичний аспект розробки: з одного боку, засад удосконалення курсу фізики засобами сучасного навчального експерименту – як невіддільного компонента технологій навчання спеціально сформованих комплексних тем, які охоплюють ключові поняття фізики та взаємозв'язки між ними. З другого боку – серії навчальних дослідів та необхідного навчального обладнання, яке забезпечує автоматизацію, комп'ютеризацію та візуалізацію експерименту.

Третя група охоплювала практичний аспект розробки системи комплексних тем, пов'язаних з деякими основними поняттями класичної і сучасної фізики (вимірювань і їх похибок, фізики коливань, електромагнетизму, спеціальної теорії відносності Ейнштейна та атомної фізики). Зокрема, – поданням їх змісту як об'єкту пізнання, у якому поняття постають у найрізноманітніших взаємозв'язках, розробленні відповідних технологій навчання з їх невіддільним компонентом – сучасним навчальним експериментом як реальним, так і віртуальним.

**Методологічною основою дослідження є:**

– концептуальні положення теорії пізнання, філософії та психології про предметний характер людської діяльності, теорія особистості та її розвитку в процесі навчання і виховання, діяльнісний підхід до розвитку особистості, системний підхід до організації навчально-виховного процесу, положення методики навчання фізики, теоретико-методичні основи підтримки навчального процесу, нова парадигма освіти в умовах глобалізації та інформатизації суспільства;

– рішення, рекомендації і положення АПН і НАН України та Міністерства освіти і науки України щодо інноваційної діяльності і розробки засобів навчання та фундаменталізації освіти;

– рішення і рекомендації міжнародних конференцій з питань освіти, які проводяться під егідою ЮНЕСКО і на яких висвітлювались освітні проблеми суспільства; аналізуються загальні напрями змін, що відбулися, і тенденції розвитку.

Для досягнення поставленої мети, виконання окреслених завдань, перевірки гіпотези використовувались різноманітні **методи дослідження** як складові комплексу філософсько-світоглядних та загальнонаукових методів і принципів аналізу. Зокрема, методи системного, історичного, структурно-функціонального та порівняльного аналізу.

Ми не обмежилися застосуванням методів наукового дослідження лише для аналізу освітнього процесу, виробленням засад удосконалення курсу фізики та рекомендаціями щодо доцільності їх використання у навчальному процесі.

У запропонованих для навчального процесу розробках тем курсу фізики методика навчання побудована так, що зобов'язує студентів застосовувати різні методи наукового дослідження як на емпіричному, так і на теоретичному рівнях. Починати треба з осмислення поставленої мети та

експерименту, далі – опрацювання отриманих експериментальних результатів тощо.

Як засіб, що сприяє засвоєнню складних фізичних явищ і процесів, ми використали метод моделювання. Це забезпечило проведення віртуальних навчальних експериментів на розроблених нами модельних комп'ютерних установках, аналогах реальних навчальних установок.

### **Наукова новизна результатів дослідження:**

1. Теоретично та експериментально обґрунтовано засади вдосконалення курсу загальної фізики засобами сучасного навчального експерименту як невіддільного компонента технологій навчання інноваційних комплексних тем, які охоплюють ключові поняття, закони, теорії фізики та взаємозв'язки між ними і є результатом системного врахування вимог дидактики і діалектики, науково-технічного прогресу, тенденцій розвитку освіти.

2. Уперше запропоновано (отримано авторське свідоцтво на винахід) новий метод дослідження руху тіл, який дає змогу демонструвати в навчальному лабораторному практикумі неінерціальність систем відліку, пов'язаних із Землею, та знаходити швидкість її обертання навколо своєї осі.

3. Доопрацьовано (отримано авторське свідоцтво на винахід) відомий класичний метод демонстрації хвильових властивостей світла – метод зон Френеля та розповсюджено його на корпускулярні властивості світла. Демонстрація квантово-механічних особливостей поведінки мікрочастинок-фотонів сприятиме усвідомленню, що причинність фізичних законів мікросвіту – не причинний зв'язок окремих подій, а потенціальна можливість їх спостереження.

4. Уперше встановлено співвідношення між величиною заряду  $e$  електрона та параметрами коливальної системи (вертикальний пружинний маятник, коливальним тілом якого є постійний магніт, що здійснює коливання у каналі електричної котушки, витки котрої закорочені):

$$e = \frac{2ml\beta}{\alpha n\gamma}. \quad (1)$$

де  $m$  – маса коливального тіла,  $l$  – довжина обмотки котушки,  $n$  – кількість електронів в обмотці,  $\gamma$  – коефіцієнт взаємозв'язку між електричними та механічними параметрами коливальної системи,  $\beta$  – коефіцієнт згасання,  $\alpha$  – коефіцієнт взаємозв'язку між силою гальмування і сторонньою силою.

5. Розроблено засади побудови технології навчання комплексної теми “Релятивізм магнетизму”, в якій пізнання змісту теми досягається у процесі організації діяльнісного підходу, спрямованого на сприйняття та усвідомлення взаємозв'язків між поняттями, теоріями і законами електромагнетизму та спеціальної теорії відносності Ейнштейна і фізики коливань.

Це дає змогу для розв'язання проблемної ситуації, яка виникає під час аналізу результатів дослідження руху електронів вздовж провідника зі струмом, застосовувати положення спеціальної теорії відносності Ейнштейна та переконуватись у тому, що рівняння магнетизму впливають із рівнянь електростатики і цієї теорії.

6. Розроблено теоретичні і методичні засади навчання теми “Вимірювання та їх похибки”. Вони стосуються:

- подання змісту теми у вигляді системи, структурні елементи якої несуть чітко визначені пізнавальні функції;
- висвітлення структурних елементів теми, що треба проводити під час аналізу отриманих у присутності студентів результатів вимірювань величини, “істинне” значення якої добре відоме студентам;
- експерименту, який повинен бути простим, наочним і виконуватись на засобах навчання, узгоджених з комп'ютером;
- цілеспрямованого програмного варіювання умов перебігу експерименту, яке забезпечує висвітлення структурних елементів змісту теми у відповідних, штучно створених, умовах;



– пізнання змісту теми у процесі реалізації діяльнісного підходу, побудованого на наочному порівнянні результатів дослідження елементів структури змісту теми з відомим значенням шуканої величини та між собою.

Аналіз причин відхилень дає змогу поетапно підводити студентів до розуміння процесу вимірювання і суті похибок, до усвідомлення доцільності переходу від гістограми, що наочно представляє результати, до обвідної гістограми, яку можна описати певною кривою, знання аналітичного вигляду якої дає усю необхідну інформацію про вимірювану величину, її випадкові похибки.

**Теоретичне значення дослідження** полягає у:

– концептуальному обґрунтуванні і реалізації інноваційного напрямку вдосконалення (розвитку) методики навчання курсу загальної фізики у вищій школі, в якому сучасний навчальний експеримент – засадничий чинник технологій навчання нових комплексних тем, що охоплюють ключові поняття, закони, теорії і є результатом системного врахування вимог дидактики і діалектики, науково-технічного прогресу, тенденцій освіти, зокрема методики навчання фізики;

– розробленні змісту ряду комплексних тем як об'єктів пізнання – фрагментів цілісного фізичного знання, в якому поняття постають у найрізноманітніших взаємозв'язках та розкриваються мовою різних завдань, а пізнання досягається в процесі реалізації діяльнісного підходу, спрямованого на сприйняття і усвідомлення зв'язків між поняттями, теоріями і законами комплексної теми;

– розробленні нових навчальних експериментів та засобів їх відтворення у навчальному процесі курсу загальної фізики, зокрема, розвитку методик дослідження, які дають змогу наочно та оригінально демонструвати в навчальному процесі неінерціальність систем відліку, пов'язаних із Землею, квантово-механічні властивості мікрочастинок та, досліджуючи коливання пружинного маятника, знаходити заряд електрона.

**Практичне значення отриманих результатів** визначають засади інноваційного напрямку розвитку методики навчання фізики. Вони сформовані на основі комплексного розв'язання проблеми вдосконалення курсу загальної фізики і впроваджені під час проектування і створення змісту та структури комплексних тем та технологій їх висвітлення, навчального експерименту й обладнання. Це в сукупності дає можливість поліпшити ефективність засвоєння ключових понять, теорій, законів фізики та взаємозв'язків між ними. Зокрема:

1. Вперше запропоновано спосіб дослідження коливань пружинного маятника та виготовлено узгоджену з комп'ютером установку “Пружинний маятник”, яка не має аналогів у навчальній практиці (отримано авторське свідоцтво на винахід) та розроблено методику проведення на ній низки навчальних експериментів.

2. Уперше розроблений спосіб та спроектований і виготовлений навчальний прилад (захищений двома авторськими свідоцтвами на винаходи) для дослідження руху електронів уздовж пластин зарядженого плоского конденсатора та прямого провідника зі струмом. Розроблено низку інноваційних експериментальних завдань, які можна виконувати на ньому, та створено їх віртуальний аналог:

“Рух електронів в електричному та магнітному полях”;

“Високочастотні коливання напруги та швидкість руху електрона”;

“Накладання взаємно перпендикулярних гармонічних коливань”.

3. Уперше запропоновано спосіб і виготовлено узгоджену з комп'ютером установку для дослідження випадкових похибок (отримано авторське свідоцтво на винахід) та створено її віртуальний аналог. Предмет дослідження – прискорення вільного падіння тіл. Це дає змогу реалізувати розроблені засади побудови технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”.

Застосовуючи програмне варіювання умов перебігу експерименту кожної структурної одиниці змісту теми, будують навчання на порівнянні отриманих значень прискорення з його “істинним” ( $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ) та між собою, акцентують на особливостях процесу вимірювання, його похибках, доцільності переходу від кількісного представлення результатів вимірювань у вигляді гістограми до опису їх розподілом Гауса.

4. Вперше розроблено (і реалізовано у технології навчання інноваційної комплексної теми “Електронна хвиля та атоми аргону та криптону”) засади переходу від положень класичної фізики до сучасної як двох взаємопов’язаних складових курсу загальної фізики.

Висвітленню змісту теми сприяють навчальні експерименти, які проводять на відповідно розробленій для цього навчальній установці. Це дало змогу наочно показати і науково довести, що на результатах досліджень руху електронів у лампі, наповненій сумішшю аргону з криптоном, проявляється особливість (різкий максимум на ділянці вольт-амперній характеристики в околі напруги 1,8 В), яку, виходячи з класичних міркувань, неможливо пояснити. Її можна пояснити тільки уявивши електрони як електронні хвилі, а атоми аргону та криптону у вигляді прямокутних потенціальних ям та враховуючи інтерференційні ефекти.

**Особистий внесок дисертанта** в здобуття наукових результатів дослідження полягає у розробленні і впровадженні авторського підходу до розв’язання проблем удосконалення курсу загальної фізики, в якому навчальний експеримент – засадничий чинник технологій навчання інноваційних комплексних тем.

Автор розробив і запропонував п’ять комплексних тем. До проектування і створення засобів відтворення експерименту автор залучав викладачів окремих вищих навчальних закладів та співробітників науково-дослідних установ. Доробок співавторів наукових праць полягав у допомозі під час

створення технічного, програмного і електронного забезпечення експерименту.

**Обґрунтованість та достовірність результатів та висновків** забезпечується впровадженням й апробацією у навчальній практиці інноваційних комплексних тем, технологій навчання, нових експериментів та засобів їх відтворення як реальних, так і віртуальних. Виконання розробок ґрунтується на реалізацією системного підходу, врахувань тенденцій розвитку освіти та науково-технічного прогресу, принципів дидактики і діалектики, узгодженні теоретичних міркувань з практичними потребами.

Винаходи способів та приладів для дослідження фізичних процесів і явищ (авторські свідоцтва СРСР на винаходи №№ 1472940, 1536431, 1559372 та 1770972) стали засадами створення нових засобів навчання:

- приладу для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях;
- установки для дослідження випадкових похибок;
- багатопрофільної установки “Пружинний маятник”.

Прилад для дослідження випадкових похибок та установку “Пружинний маятник” узгоджена з комп’ютером та автоматизовано. Це дало змогу візуалізувати процес дослідження.

Розроблені засоби стали складовою технологій навчання комплексних тем: “Пружинний маятник та заряд електрона”; “Вимірювання та їх похибки”; “Релятивізм магнетизму”, “Електронна хвиля та атоми аргону та криптону”.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися на:

республіканській науково-методичній конференції “Методичні основи технічних засобів навчання та обчислювальної техніки у вищій школі” (Івано-Франківськ, 1991);

республіканській методичній конференції “Проблеми українізації комп’ютерів” (Львів, 1993);

науково-практичному семінарі “Створення і використання електронних приладів в лабораторному практикумі з електрики і магнетизму” (Житомир, 1994);

міжнародних конференціях “Комп’ютерні програми учбового призначення” (Донецьк, 1994, 1995); міжнародній науковій конференції “Вища технічна освіта – проблеми магістратури” (Київ, 1995);

науково-методичній конференції “Комп’ютерні технології в організації та проведенні навчального процесу в технічному вузі” (Київ, 1995);

науково-практичній конференції “Актуальні проблеми викладання фізики” (Львів, 1996);

the 1th General Conference of the European Physical Society – Trend in Physics (Seville, 1996),

всеукраїнській конференції “Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі вищих та середніх навчальних закладів” (Львів, 1996);

всеукраїнській конференції “Проблеми удосконалення фундаментальної і професійної підготовки вчителів фізики” (Київ, 1996);

First European Conference on Physics Teaching in Engineering Education (Copenhagen, 1997);

всеукраїнській конференції “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики” (Київ, 1998); всеукраїнській науково-практичній конференції “Дидактичні проблеми фізичної освіти в Україні” (Чернігів, 1998);

International Seminar “Experiments and measurements in engineering physics education” (Brno, 1998);

всеукраїнській науково-методичній конференції “Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі” (Львів, 1998);

всеукраїнській науково-методичній конференції “Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих освітніх закладах” (Львів, 1999);

всеукраїнській конференції “Професіональна та професійна підготовка фахівців з фізики” (Чернігів, 1999);

International Seminar on “Engineering aspects in physics education” (Smolenice, 1999); всеукраїнській науково-практичній конференції “Діяльний підхід у навчально-пошуковому процесі з фізики” (Рівне, 2002);

всеукраїнській науково-практичній конференції “Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі” (Київ, 2002); 3rd European Conference on Physics Teaching in Engineering Education PTEE (Leuven-Belgium, 2002);

міжнародній науково-методичній конференції “Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх вчителів фізики і астрономії” (Кам’янець-Подільський, 2003); всеукраїнській науковій конференції “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців фізики” (Київ, 2004);

науковій конференції “Викладання фізики, наукові дослідження: 60 років досвіду та перспективи XXI століття ” (Львів, 2005).

У навчальному процесі Львівського національного університету імені Івана Франка та Національному лісотехнічному університеті України пройшли апробацію та впроваджені технології навчання інноваційних комплексних тем, зокрема:

- “Електронна хвиля та атоми аргону та криптону”;
- “Релятивізм магнетизму”;
- “Пружинний маятник та заряд електрона”.

**Основні результати дослідження** опубліковані в 62 наукових та науково-методичних працях. Серед них: 1 монографія, 19 статей у фахових журналах, 6 авторських свідоцтв на винаходи, які визнані ВАК фаховими працями (рішення ВАК України від 05.05.2003 р. № 02-81-06/1119), 13 матеріалів і 15 тез конференцій, 3 методичні рекомендації та 5 звітів про НДР.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел (214 найменувань). Загальний обсяг роботи 367 сторінок. Вона містить 83 рисунки й 2 таблиці.

Зважаючи на подане, дисертація побудована так. Вона містить вісім розділів:

- розділ 1 “Сучасна концепція вищої професійної освіти. Проблеми та досвід їх розв’язання”;
- розділ 2 “Психолого-педагогічні проблеми формування знань з фізики у студентів вищих технічних навчальних закладів”;
- розділ 3 “Шляхи та засади вдосконалення курсу фізики у вищих технічних навчальних закладах”;
- розділ 4 “Проектування та створення технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”;
- розділ 5 “Вільні механічні коливання: недоліки, засади вдосконалення та технологія навчання”;
- розділ 6 “Розвиток інтеграційної структури знань на прикладі розробки технології навчання комплексної теми “Пружинний маятник та заряд електрона”;
- розділ 7 “Діяльнісний підхід до навчання як чинник трансляції в навчальну наукової системи знань електромагнетизму та спеціальної теорії відносності”;
- розділ 8 “Науковість, наочність, наступність та системний підхід – засади переходу від концепцій класичної фізики до сучасної”.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ ВИЩОЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ. ПРОБЛЕМИ ТА ДОСВІД ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Загальні напрями змін в освіті, що вже відбулися, і тенденції її розвитку періодично висвітлюються у матеріалах міжнародних конференцій з питань освіти, що діють під егідою ЮНЕСКО. Ми вважаємо доцільним згадати деякі з них [34-36], що у поєднанні з аналізом інших літературних джерел [37-39] допоможе нам розкрити проблеми освіти в історичному проміжку останніх десятиріч XX ст., зрозуміти шляхи поступу освіти у третє тисячоліття. Ми вважаємо також, що у визначенні шляхів розвитку освіти насамперед повинні бути ті зародки нового, що домінують в освітніх системах розвинутих країн світу та яких вистачає для того, щоб аналізувати і сприймати іншими. Прогрес економіки таких країн є підтвердженням цього. На нашу думку, такий підхід полегшить вибір того конкретного, що необхідно взяти за основу для прогресу в галузі освіти. Бо обмежитися й надалі тільки нагадуванням, що світові освітні системи взяли дещо і від нашої української системи як складової радянської – цього замало.

#### **1.1. Пріоритет безперервної освіти**

*“Вчитися, щоб жити”*

Такий заголовок доповіді Е. Фора, що була підготовлена міжнародною комісією із питань розвитку освіти та опублікована ЮНЕСКО у 1972 р. Матеріали доповіді висвітлювали та аналізували різні видання. Ми посилатимемося на одне з них [34].



Положення, визначене авторами доповіді як головна ідея політики в освіті, звучить так: кожна людина повинна мати можливість учитися упродовж усього свого життя. Ця ідея безперервної освіти є головною і вимагає розширення до такого ступеня, щоб стати масовою.

У суспільстві, яке охопив потік різноманітної інформації, особливо зростає необхідність у систематизованих знаннях, у нових і практичних навиках. Наукові знання і потреба власної інтерпретації все складніших явищ вимагають відповідного організування та проведення навчання.

У вищій освіті вирізняється тенденція до диференціації, до багаторівневої підготовки. Змінюється програма навчання, спостерігаються зачатки міждисциплінарної підготовки. Також здійснюються принципові зміни в методах оцінки результатів навчання.

Навчання стає індивідуальнішим. Тому найвищою метою будь-якої модернізації у сфері освіти повинно стати повніше пристосування навчання до потреб кожного студента. Індивідуалізація – це не відмова груповим формам навчання, її мета – застосувати навчання до індивідуальних потреб і пізнавальних можливостей студентів, а також до специфіки вивчення предмета. Такої індивідуалізації неможливо досягти з допомогою застарілих методів, засобів та організаційних форм навчання.

Визначальним є остаточний результат. Досягнення його важливе не тим, який шлях навчання вибрала людина, а тим, чого вона навчилася і що вміє робити. Тому треба надавати перевагу здобуттю знань і вмінь перед формальною освітою, яку підтверджує документ про закінчення навчального закладу.

Експерти комісії підкреслювали, що структуру освіти, цілі та зміст навчання слід принципово перебудувати, щоб надати всім, хто бажає, можливість учитися й відмовитися від конкурсного набору на користь профорієнтування, мета якого – дати відповіді на запитання: “Де людина, що хоче вчитися, знайде для себе найбільш придатне місце? В якій галузі вона

швидше за все досягне те, чого прагне, і де зможе найбільш всесторонньо розвинути як особистість?”

Вершиною усього навчання є навчання дорослих. Чим вищий рівень освіти у дорослих, тим у них більша потреба у подальшій освіті. Продовження освіти для тих, хто вже здобув вищу, – це відкриття шляхів індивідуального розвитку, які сприяють розширенню кругозору і підвищенню кваліфікації, допомагають пристосуватися до нових вимог життя. Пройде переміщення акценту з процесу викладання на процес учення, який і визначає суть навчання.

Отже, на часі безперервна освіта, що за своєю сутністю є відкритою системою без відбору, конкурентності й обов’язковості. Необхідно прямувати до індивідуального навчання, в якому кожен учень зумів би вибрати та об’єднати різні форми діяльності, різні програми, засоби і способи навчання, виходячи з того, що йому найбільше підходить.

У матеріалах доповіді Міжнародної комісії у справах освіти для ХХІ ст., оголошеної Ж. Делором у 1996 р., зазначалося, що надалі людство вирішує проблему, як навчитися жити разом “у селищі планета” у той час, коли ми не здатні співіснувати в рідному середовищі, в межах нації, регіону, села, серед сусідів. І надалі основним питанням демократії є те, чи можемо і чи хочемо ми брати участь у житті общини [35, 36].

Засадничі концептуальні ідеї, спрямовані на покращення долі людства, ґрунтуються на дотриманні прав людини, взаєморозумінні та розвитку освіти як інструменту вдосконалення особистостей. Отже, освіта і надалі виступає як один з конкретних шляхів, котрий сприяє розвитку людства, його гармонізації та ідентифікації, вирішує суперечності духовного й матеріального, долає злидні, ізоляцію, непорозуміння і війни.

Освіта повинна підійти до розв’язання проблем, що виникають у людей від роздвоєння самопочуття, викликаного, з одного боку, глобалізацією процесів, які вони спостерігають і відчувають, з другого – тяжінням до

родинного коріння, належності до народу, походженням. Адже освіта сьогодні пов'язана з народженням світової спільноти, є осердям розвитку особистості у суспільстві.

Перед освітою стоїть завдання – надати можливість усім без винятку реалізувати особисті таланти і творчий потенціал і, таким чином, уможливити для кожного проектування та реалізацію індивідуального життєвого плану. Це – найголовніша мета. Її тривала і нелегка організація буде вагомим внеском у розбудову сприятливіших і справедливіших суспільних відносин.

Ось чому так необхідно з раннього дитинства прищеплювати потяг до оволодіння знаннями. При цьому слід використовувати такі методи, які з повагою до людини та зі збереженням індивідуальної цілісності дають змогу залучити її до прогресу. Це вимагає введення нових навчальних предметів, які стосуються як усвідомлення особистості та способів підтримання фізичного і психічного здоров'я, так і сприяють кращому пізнанню і збереженню природного середовища. Водночас треба стежити, щоб шкільні програми не ставали ще більше перевантаженими, бо інакше це додасться до існуючих суперечностей між небувалим розвитком знань і можливістю людини їх сприймати.

Тому надалі слід зорієнтувати стратегію реформ таким чином, щоб зберегти необхідне базове ядро знань і водночас щоб був простір для актуального життєвого досвіду, експериментаторства, культурного розвитку особистості. А також – перебудувувати систему освіти так, щоб надати їй більшої гнучкості. Потрібно урізноманітнювати навчальні програми, забезпечувати переходи від одних напрямів освіти до інших, зокрема, від професійно-освітніх до академічних, що дасть змогу адекватно прореагувати на вимогу часу: відповідність пропозицій освіти до попиту та ринку праці. Це зменшить кількість учнів, які передчасно залишають освіту, бо це – “розбазарювання” людських ресурсів.

Для розв'язання завдань освіти, що стоять перед суспільством, потрібно:

1. Передусім – вчити пізнавати.

2. Вчити працювати, щоб здійснювати в навколишньому середовищі необхідні зміни (тобто забезпечити учня потрібним інструментарієм для розуміння того, що відбувається у світі).

3. Навчитися жити разом, щоб брати участь в усіх видах суспільної діяльності та співпрацювати з іншими людьми.

4. І, понад усе, навчитися просто жити.

Ці чотири засадничі вимоги становлять одне ціле у пізнанні, оскільки між ними існують численні зв'язки, переходи та обміни.

Перша вказує на потребу врахування швидких змін, пов'язаних з науково-технічним прогресом та новими формами економічної та соціальної діяльності, заставляє поєднувати загальну масову культуру з глибокими спеціальними знаннями.

Загальна культура є своєрідною перепусткою до перманентної освіти, оскільки вона формує зацікавлення і здатність до навчання упродовж усього життя. Тому освіта повинна формувати новий світогляд. Без нього не можна обійтись у реалізації трьох інших виховних засад як складових елементів уміння існувати.

Друга вимога – навчитися працювати. Разом із професійними навиками слід прищеплювати вміння знайти вихід у непередбаченій ситуації, співпрацювати у колективі.

Третя – навчитися жити разом. Ми повинні краще розуміти навколишніх людей, спокійно обмінюватися думками, черпати знання з історії, культури, традицій, ментальності інших народів і на цьому ґрунті формувати новий світогляд.

Четверта – навчитися жити: вимагати від кожного самостійних суджень, а водночас і підвищення рівня особистої відповідальності за колективну справу.

Як відреагувати на ці вимоги часу і водночас виконати завдання: якість освіти плюс справедливість? Таке питання стосується методів, змісту та передумов, необхідних для ефективного проведення навчально-виховного процесу. І, зрозуміло, що тут освіта повинна постійно адаптуватися до суспільного розвитку, не забуваючи набутого суспільного досвіду, транслювати його здобутки, головні цінності і досягнення.

Для реалізації уже сказаного потрібно зосередити увагу суспільства на безперервній освіті – головній концепції ХХІ ст., бо “...вона долає розрив між стартовою і подальшою освітою, адекватно відповідає на виклик суспільства, яке нестримно змінюється. Тому потрібно повернути школу обличчям до всього нового, що з’являється у нашому повсякденному та професійному житті. Така потреба не тільки залишається актуальною, а й постійно зростає” [35, с. 5].

### *Освіта – сфера масової діяльності*

Всесвітня конференція ЮНЕСКО з питань вищої освіти, що відбулася у Парижі в жовтні 1998 р. [37], та низка праць, опублікованих упродовж останніх років, зокрема [38-40], висвітлили проблеми, що впливають на процес подальшого розвитку вищої школи. У них підкреслювалися питання відповідності вищої освіти до запитів суспільства і часу. Взаємозв’язок вищої школи з освітою загалом і наукою та культурою набуває особливого значення у період докорінних соціально-політичних і економічних перетворень у світовому суспільстві.

За останні півсторіччя вища освіта з привілею, що надавався соціальній і політичній еліті, перетворилася у сферу масової діяльності. Надалі цей процес прискорюватиметься, прямуючи, як вважають у праці [38], до заміни вищої освіти розлогою системою довготривалого навчання. Ключ до цієї трансформації, як показав досвід США, що є піонером масової доступності вищої освіти, в експансії середньої освіти. Ще у 1970-х роках США досягли високого рівня її розвитку.

Можливість продовження освіти після школи – це основна засада культури світу. Не має бути нікого, хто міг би сказати, що потяг освіти пішов без них. Кожний повинен мати можливість упродовж життя ускочити в цей потяг освіти, гідності навчання та демократії [19].

Зростає переконання, що національний поступ залежить від економічної конкурентоспроможності. У контексті економіки, що ґрунтується на знаннях, – це своєю чергою залежить від адекватного живлення людським капіталом [38].

Отже, знання тепер розглядається як головний економічний ресурс. З цього випливає, що у перспективі на наступне півстоліття доступ до вищої освіти треба внести до основних чинників, які мають громадяни демократичних суспільств.

Але не тільки доступ є важливим, а й можливість різнобічного вибору спеціалізації. А це, насамперед, вимагатиме більшої диференціації, як між закладами вищої освіти, так і всередині них. І, можливо, зростатимуть вимоги до того, щоб вища освіта стала практичнішою, оскільки меркантильні міркування беруть гору над ідеальними. Це сприятиме у знаходженні відповідних ринкових ніш і допоможе використати знання у роботі, аби створити добробут і поліпшити життя [39].

Університети та інші вищі навчальні заклади повинні пристосовуватися до вимог ринку праці суспільств, що змінюються. Приймаючи нові виклики життя, вища освіта має ще пройти довгий шлях, перш ніж зможе запропонувати студентам можливості, які вони шукають і які світова економіка здатна запропонувати їм [40]. Отже, вища освіта і далі повинна бути як сходинкою до вищого суспільного статусу, так і гарантією доброї роботи.

У час глибоких історичних змін, позначених революцією у сфері знань, суспільство змінюється набагато швидше, ніж структури, що його утворюють, і університети залишаються в ар'єргарді цих змін. Вони, університети, і освітня система загалом далі навчають використовувати

статичні процеси, передбачувати моделі, що ґрунтуються на історичному досвіді, а також запам'ятовувати рішення давно уже розв'язаних проблем. Часто недооцінюючи того, що "...великі зміни зайнятості, що настали, викличуть зростання міждисциплінарності та призведуть до широких змін у стосунках викладачів і студентів, і для професіонала навчання у майбутньому буде довготривалим процесом, а освіта і робота йтимуть пліч-о-пліч" [40, с. 16].

Отже, і надалі необхідно забезпечити стабільні відносини між освітою і суспільством. Для цього, очевидно, треба розробляти стратегічні альянси з виробничими системами, щоб розвивати участь економіки у прикладних дослідних дисциплінах базових університетів. І – життєво важливо, щоб з різних боків зміни курсу орієнтувалися на те, що студенти "повинні знати", а не те, що викладачі "знають" або думають, що "знають". Як зазначено у праці [40], вища освіта еволюціонує у бік моделі, де викладачі і студенти будуть постійними учнями і де розклад занять формуватиметься на основі новаторства, свіжих ідей, найновішого викладання та вивчення технологій, і університет насамперед має навчити людей думати, використовувати здоровий глузд і давати волю творчій уяві.

Сучасна освітня система повинна активніше працювати над розв'язанням глобальних проблем, які стоять перед людством. Бо, як вказували на Всесвітньому самміті зі стійкого розвитку, який відбувся з 2 по 4 вересня 2002 року в Йоганнесбурзі (Південна Африка) [41, с. 9]: "...сучасний освітній процес вступив у кардинальне протиріччя не тільки з сьогоденням, але й з майбуттям. Не забезпечуючи життєво важливі потреби в сьогоденні, нинішня освітня система фактично ігнорує майбуття, "комфортабельно" існуючи в "споминах про минуле" і приречуючи себе на "зникнення" разом зі всім світовим співтовариством. Практично всі освітні заклади і системи не мають чіткої орієнтації на майбуття, на створення такого образу, який міг би забезпечити як виживання людського роду, так і збереження біосфери". Тому,

“...В освітній системі світового співтовариства має відбутися кардинальний переворот до майбуття, який визначатиме цілі стійкого розвитку” [41, с. 10].

Дещо з інших мотивів серйозні зміни, зокрема, в науці передбачають у праці [42, с. 18]: “Легко припустити, що останній серйозний концептуальний переворот відбувся в перші десятиліття ХХ століття, а наступна наукова революція станеться колись у віддаленому майбутньому. Але ні. Головна новина полягає в тому, що нинішня наука наближається до зсуву парадигми небачених розмірів, який змінить наші уявлення про реальність і людську природу і який з’єднає нарешті концептуальним мостом древню мудрість і сучасну науку, примирить східну духовність із західним прагматизмом”.

## **1.2. Дистанційне навчання як важлива складова безперервної освіти**

*Від “освіти, яку мені дали” до “освіти, яку я здобув”*

В останні десятиріччя в освітніх системах світу відбуваються суттєві зміни, пов’язані з науково-технічним прогресом. Коротко окреслимо їх так:

1. Комп’ютеризація шкіл призвела до створення електронних варіантів підручників навчальних предметів, поки що енциклопедичного характеру.

2. Вихід шкіл та вищих навчальних закладів в Інтернет, переобладнання бібліотек в інформаційні центри призвело до швидкого збільшення кількості користувачів Інтернетом.

3. Наявність в Інтернеті відповідних Web-серверів призвело до того, що вчителі та учні можуть обмінюватися інформацією.

Це порушило питання про створення нових технологій навчання, які доповнять і замінять традиційні способи. І вже нині, наприклад, у Сполучених Штатах, проводяться експериментальні уроки, на яких відомі педагоги та вчителі-“зірки” вчать дітей, що перебувають за сотні кілометрів від них [43]. Країни Європи, акумулюючи найкраще, що створюється у галузі шкільної освіти, інтегрують свої напрацювання й ініціативи у



загальноєвропейський освітній сервер шкільної мережі, яка надає вчителям і учням європейських країн різні освітні послуги [26, 44].

Набуває все більшого розвитку так зване дистанційне навчання, яке ведеться з допомогою комп'ютера, електронної пошти та WWW [45].

Велике зацікавлення дистанційною освітою, що спостерігається нині у всьому світі, має об'єктивні основи. З одного боку, зростає потреба населення більшості країн у вищій безперервній освіті, яку при зростаючій мобільності життя забезпечували мобільні навчальні системи. З другого боку, розвиток Інтернету і телекомунікацій відкриває нові можливості дистанційної освіти.

Дистанційна освіта – це можливість учитися в індивідуальному режимі, незалежно від місця і часу, та можливість вчитися усе життя. Вона покликана задовольнити потребу як суспільства, так і особистості у гнучкій системі освіти, яка максимально використовувала сучасні досягнення педагогіки і техніки:

- була б доступною будь-якому індивіду, незалежно від віку, місця проживання, національності, віросповідання та рівня освіти;
- давала б змогу студентові починати, зупиняти і відновлювати навчальний процес у будь-який вигідний йому час та засвоювати навчальний матеріал у доступному йому темпі;
- могла б легко трансформуватися під впливом зовнішніх умов, замінюючи освітні модулі на сучасніші.

Водночас традиційна освітня технологія ці умови не задовольняє. Як зауважують у праці [46, с. 128], це пов'язано з кількома причинами. По-перше, її доступність дуже відносна вже за одним критерієм – місцем проживання. По-друге, система організації і планування навчального процесу в усіх, без винятку, навчальних закладах розрахована на єдину швидкість вивчення матеріалу і, у кращому разі дає можливість прослухати його ще. По-третє, існуюча система освіти дуже неповоротна. Стики між ступенями освіти не відпрацьовані.

У процесі нагромадження сучасних знань у кожній окремій прикладній галузі зростає цінність вузької спеціалізації і зменшується цінність загальної обізнаності. Освітня система зі стандартними освітніми схемами не може допомогти розв'язати індивідуальні проблеми. Бо, як вважають у праці [47], на практиці академічні заклади будь-якої країни – це закостенілі держструктури, “...храми, які не можна чіпати, від них не можна вимагати ефективної практичної віддачі, їх можна лише фінансувати. Однак, у сучасної освіти і науки є своя логіка і свої закони розвитку. Консерватизм не може пройти”.

Отже, на часі дистанційна освіта, побудована на Інтернет-технологіях. Це, вважають у праці [47], допоможе скласти освітній “пакет” з курсів різних університетів. Місце одного загального диплома обіймають свідоцтва про прослухані курси, які визначатимуть академічну кваліфікацію майбутнього працівника з погляду окремого наймача. Запитання: “яку освіту мені дали?” назавжди стане неактуальним. Його замінить питання “яку освіту я здобув?”

З огляду на вже сказане, в усьому світі зростає кількість вищих навчальних закладів, в яких використовують дистанційне навчання та кількість міжнародних структур, пов'язаних з ним.

Водночас розробка систем дистанційної освіти, які б використовували можливості сучасних технологій та Інтернет – справа дорога. Ще багато вищих навчальних закладів тільки заявляє про використання Інтернету у дистанційному навчанні, і якщо використовує, то загалом для функцій адміністрування й управління курсами, що не стосується змісту конкретного курсу. Тим паче, ще далеко до реалізації такої дистанційної освіти, в якій можна було б обмінюватися інформацією (завдання, картинки, телекоментарі) між тими, хто навчає, і тими, хто вчиться, в інтерактивному режимі, в якому отримувач інформації має над нею контроль і може в неї втручатися.

Як зазначають у праці [48], в окремих вищих навчальних закладах Великобританії тільки після декількох вступних лекцій студент отримує

можливість учитися дистанційно. Але це навчання переважно проводиться із використанням відеокaset і теле- та відеокурсів. І лише невелику частину курсів читають повністю дистанційно. Небагато з них наповнені значним навчальним матеріалом. Більшість викладачів не має ще достатньої кваліфікації для виготовлення якісних навчальних матеріалів у повному обсязі. Досить часто трапляється неякісне навчання, бо навчальні курси в Інтернеті пропонують не тільки великі навчальні заклади, а й невеликі маловідомі компанії. Отже, потрібно розробляти засоби редагування, які б допомагали викладачеві у створенні конкретних курсів на основі готових моделей структур курсу і тестів, передбачаючи розумне розміщення частини інформації на компакт-диску. Зразок одного з курсів можна знайти у праці [49].

Незважаючи на те, що нові технології, які б використовували Інтернет, ще тільки починають знаходити місце в освітньому процесі (зокрема, ще до 1997 року можливості нових технологій використовувало тільки десять відсотків учителів Сполучених Штатів), часто учні швидше від педагогів набувають навиків у роботі з тією чи іншою програмою, але не знають, що робити з отриманою інформацією.

І тут, як застерігають у праці [50], "...в цьому безсистемному процесі поглинання різноманітної інформації, деколи суперечливої, не формуватиметься особистісне начало учня (студента). Може формуватися тільки одне – придатак інформаційних систем”.

Філософи і педагоги пробують обґрунтувати нову роль учителя в умовах появи світової інформаційної системи [51]. Деякі зауважують, що нові технології тиранізують усі сфери людської діяльності і головну шкоду вони завдали свободі індивідуальності та бачать роль вчителя як організатора, здатного сортувати потоки інформації, бути гідом і одночасно методистом, що навчає навикам роботи з інформаційними технологіями.

Хоча вже тепер існують програми, які здійснюють відбір матеріалу, його класифікацію. В Японії можна отримати потрібну програму і тоді дитині взагалі не потрібно ходити до школи. Визначальні функції вчителя стають розпливчаті: тепер він не тільки не організує спілкування, але він тепер і недостатній з погляду інформації, якою володіє.

Але “...нове повинно бути урівноважене традиціями. А в людській традиції – спілкуватися. Потрібні навички спілкування, навички ведення діалогу двох “я”, двох суб’єктів, кожний з яких цікавий один одному. У ході такого спілкування завжди народжується нова істина” підкреслюють у праці [50].

Тому центральною фігурою процесу навчання і надалі має бути учитель (викладач), комп’ютер відіграватиме важливу, але допоміжну роль.

Бо зрозуміло, що коли засоби навчання можуть змінюватися, мета навчання – забезпечення пошуку, осмислення і застосування інформації – залишається такою, якою була, коли появились перші школи. Максимальний розвиток здібностей та виховання, які з’являються в реальній поведінці, – і надалі становитимуть найвищий сенс перебування людини в освітній системі. Головним завданням використання мультимедіа (і взагалі будь-якої нової технології) є надання вчителю та учневі максимальної свободи вибору форм і методів роботи і полегшення передавання знань від учителя до учня [43, 52].

Технології не є педагогічною ціллю, вони є лише інструментом для розв’язання існуючих проблем. І в XXI ст. нові технології будуть широко використовуватися як компонент дистанційної освіти, і навіть тоді ні викладач, ні навчальна книжка не будуть усунені з процесу навчання [45].

Головним у дистанційній освіті є організація самостійної когнітивної діяльності учнів у розвинутому навчальному середовищі, що ґрунтується на комп’ютерних і телекомунікаційних технологіях. Спроби ж використовувати традиційні методи навчання на новій технологічній основі є недоречними. Процес навчальної роботи відбувається при цьому в режимі вільного навчального дослідження [26].

Із поданого випливає, що дистанційне навчання може бути засобом реалізації безперервної освіти і формою навчання у стаціонарних формах навчання, але зрозуміло, що як одне, так і друге можливе тільки у випадку, коли студент і учень умітимуть набувати знання самостійно.

Отже, проблеми реалізації самостійного навчання стають визначальними в освітньому процесі. Їх розв'язати покликане особистісно-орієнтоване навчання, на особливостях якого ми зупинимось у наступному підрозділі.

### **1.3. Особливості особистісно-орієнтованого навчання**

#### *Особистісно-орієнтоване навчання як елемент системного підходу в навчанні*

Зважаючи, що кожна особистість неповторна, в ідеалі вона повинна мати право на відповідну їй систему освіти, яка б допомагала пересуватися власною “освітньою траєкторією” із притаманним їй індивідуальним підходом, постійною психологічною та інформаційною підтримкою [53-55].

Такий перехід на особистісно-орієнтоване навчання, який ставить в центр навчального процесу особистість, – це рішучий крок до гуманізації освіти. Перенесення центру ваги освітнього процесу на особистість, на виявлення та розвиток її здібностей та інтелектуального потенціалу, відображає як соціально-економічні потреби суспільства, так і сприяє особистості реалізувати власні цілі.

Але “...надати можливість кожному студенту вибрати власні способи, темпи навчання, і, отже, перенести центр тяжіння у навчанні на самостійне навчання не означає, що навчальний процес у вищому навчальному закладі потрібно будувати таким чином, що викладач повинен прислухатися до студента, який відстає. Якщо студент не виконує навчальної програми своєчасно, його не відраховують із навчального закладу, і після закінчення він одержує документ, який засвідчує, що він прослухав курс навчання за

навчальним планом, але не підтвердив певний рівень знань. Таким чином, уже на студентській лаві кожний студент повинен відчутти на собі дію принципу соціальної справедливості: від кожного за здібностями, кожному – за наслідками соціальної вагомості праці”, підкреслюють у праці [56, с. 34].

У дослідженні [46] вважають, традиційній системі навчання, коли, загалом, усі знання студент отримує від викладача, неможливо здійснити перехід на самостійне навчання і вказують на деякі причини, що заважають цьому. Зокрема, що у цій навчальній системі немає місця творчій ситуації, коли професор і студент у процесі навчання розв’язують задачу, відповідь якої не відома обом. Але без самостійного пізнання студент не навчиться мислити. Основним критерієм ефективності системи навчання має бути пробудження любові до пізнання, бо це значно важливіше за незнання розділу конкретного навчального предмета.

Але, ми вважаємо недоречними й передчасними для нашої освітньої системи заклики, що “...потрібно перестати вчити того, що людина може навчитися сама, відмовитися від орієнтації навчання “що? де? коли?”, а допомагати об’єднувати розрізнені знання у цілісне розуміння світу, ролі особистості в ньому” [46, с. 28].

Поки що необхідно прямувати до реалізації такого підходу в навчанні. Доцільно і доречно його впроваджувати під час нашого традиційного інформативного навчання (“що? де? коли?”) – тієї основи, без якої неможливе подальше самостійне навчання студентів.

Важливою складовою навчальної системи має стати структурно-функціональний метод пізнання, основою якого є системне мислення. Це буде тією суттєвою зміною, яка сприятиме переходу на особистісно-орієнтоване навчання.

“Розбудовуючи систему освіти, треба виходити з того, що неухильне й поступове засвоєння все ширших масивів інформації – шлях у нікуди”, наголошують у праці [57].

Тому, встановлення структурних зв'язків у процесі занять – важливіше від енциклопедичних знань. У цьому – завдання і зміст настановчих лекцій, в яких би комплексно викладалися структурні зв'язки між основними поняттями.

Отже, розвиток системного мислення стає одним із основних моментів у спілкуванні викладача і студента на лекціях.

Постійне підвищення системності своєї діяльності необхідне кожній освіченій людині, тому навчання із системним підходом має бути важливою складовою сучасної освіти. Як відзначають у праці [46, с. 29], системна діяльність це:

- діяльність, в якій використовується сукупність взаємопов'язаних логічних і алгоритмічних процедур з метою пізнання, пояснення і перетворення навколишньої дійсності;
- своєрідний спосіб перетворення знань в уміння жити;
- основа високого рівня інтелектуального життя людини.

Зрозуміло, що нездатність викладачів системно мислити веде до несистемного подання ними знань студентам. Так, здобуті знання є несистемними і тому неусвідомленими. Студенти звикають до цієї неусвідомленості. У них створюється враження, що тільки той є компетентним, хто більше запам'ятав відповідей на запитання, і невідомо – чому.

Отже, як вважають у праці [46], “...проблеми навчання – це проблеми діяльності вчителя (викладача), в якій методика повинна ґрунтуватися на дидактиці та педагогічній психології. Методична майстерність викладача, його фундаментальні знання з базового предмета, культура, обґрунтована дидактична компетентність повинні стати запорукою для підвищення якості й ефективності виховання учнів та студентів. Для цього необхідно формувати концептуальну культуру викладача – культуру бачення реальності, культуру розуміння знань, взаємозв'язків і субординації процесів та явищ”.

Із поданого випливає, що перехід до самостійного навчання у нашій системі освіти вищої школи – складний і довготривалий процес, який реалізується у взаємопов’язаній праці викладачів із студентами.

Зауважимо, що деколи виглядає так, ніби викладачі української вищої школи ще тільки є на початку шляху до усвідомлення доцільності розробок та впровадження елементів особистісно-орієнтованого навчання у свою навчальну практику.

А зазвичай студенти, зокрема першокурсники, ще не готові самостійно вчитися, бо вони не ознайомлені з особистісно-орієнтованим навчанням, його вимогами та суттю ще зі шкільної лави. Хоча, як зауважують у праці [57], “...мати уявлення про самостійний навчальний процес і вміти його контролювати не менш важливо, ніж знати зміст навчального матеріалу, який дає школа”. А перехід до цього типу навчання тільки у вищій школі, як показує наш досвід, реалізувати важко.

Отже, підходи та вимоги особистісно-орієнтованого навчання майбутній студент має відчувати на собі ще у школі. І це повинно стати його незаперечним надбанням.

Зважаючи на це, далі ми зупинимось на розв’язанні подібних проблем західною школою. Ми торкатимемося тільки того основного, яке, на нашу думку, варто враховувати, здійснюючи перехід на особистісно орієнтований тип навчання нашою системою освіти.

#### *Самостійність і дисциплінованість. Активні методи навчання*

Уже на початкових стадіях навчання необхідно закласти основи для вміння учитися самостійно впродовж усього життя. Тому створення оптимальних умов для формування у структурі особистості школяра самостійності та дисциплінованості – як визначальні ознаки особистості виступає як соціальне замовлення з боку суспільства. Воно детермінує шкільну політику західних країн. Без цього школяр не буде готовим до навчання у вищій школі і до безперервної освіти протягом подальшого життя.



Для того, щоб самостійність стала ознакою особистості, потрібне створення адекватних педагогічних умов. Завдання створення власного (самостійного) навчального середовища школяра, що пов'язано як із відповідним структуруванням навчального процесу, так і з пошуком способів його індивідуальної навчальної діяльності, які б сприяли і забезпечували самостійне оволодіння знаннями, вимагає враховувати досвід зарубіжних країн [58].

По-перше, таке навчання повинно передбачати систематичне формування індивідуальності шляхом активізації всієї гами індивідуально-психологічних якостей. І тому постає завдання – знайти такі системи індивідуалізації навчання, які застосовують весь хід навчання до індивідуальних особливостей учня, зумовлюють їх індивідуальне просування навчальною програмою.

По-друге, структура і зміст цих індивідуальних систем розраховані на самостійне оволодіння учнів знаннями, вміннями та навиками навчальної праці, способами організації навчально-пізнавальної діяльності. Вони повинні вміло поєднуватися із традиційним навчальним методом – методом повідомлення.

По-третє, головну роль у розвитку навчально-виховного процесу, яку ще часто визначає зміст навчання, треба надати меті навчання. Вона має стати початком відліку, який визначить всі компоненти і характеристики навчально-виховного процесу, його зміст, методи, форми, ефективність [54].

У праці [59] зазначають, що у педагогіці США домінують дві тенденції розвитку, які визначають два суттєво відмінні підходи до розв'язку освітніх проблем.

Основою першої тенденції є концепція самореалізації особи, яку запропонував американський психолог А. Маслоу. Самореалізація трактується як процес самовільного (спонтанного) вияву внутрішнього “я”, як актуалізація прихованих, генетично-детермінованих і практично незмінних

здібностей та потенційних можливостей індивіда. Суть процесу і методів навчання зводиться до необхідності створення умов для “самовираження у дітей”, найкращого – з різного роду діяльності, навіть коли вона не має важливого значення з погляду здобуття знань. Важливе місце тут відведено ігровому методу навчання, зокрема, найрізноманітнішим іграм, екскурсіям, дитячим імпровізаціям.

Ігровий метод навчання ґрунтується на одній із течій філософії – прагматизмі, за яким в основі освітньої діяльності є практична та ігрова діяльність дітей. Гра – це своєрідна практика оволодіння зовнішнім середовищем і, виходячи з розуміння її як природного засобу пізнання навколишньої дійсності, стає доцільним використання ігрового методу навчання у класі. Найбільша цінність гри як методу навчання полягає, на думку прихильників концепції А. Маслоу, в її мотиваційній здатності. Важливо, щоб ігровий метод навчання не завдав шкоди систематичному і послідовному засвоєнню знань з допомогою учителя, бо це може дуже знецінити роль викладача.

У другій тенденції розвитку педагогіки ролі викладача приділяється велика увага. Деякі дослідники зводять методи і прийоми навчання до систематизації поведінки вчителя, головним чином вербальної. У той час, коли говорити лише про викладача (діяльність вчителя) – означає оцінювати явище лише з його зовнішнього боку і не враховувати внутрішній зміст навчального процесу, суть явища – у пізнавальній діяльності учнів (учення), вважають у праці [57].

Цікава і прагматично-інструменталістська тенденція розвитку педагогіки Дюї, згідно з якою різні види людської діяльності – це інструменти, створені людиною для розв’язання індивідуальних і соціальних проблем [60]. Мета теорії виховання Дюї – формування особистостей, що вміють “приспосовуватися до різних ситуацій”. Він критикував пануючу у Сполучених Штатах школу за відрив від життя, абстрактний, схоластичний характер навчання і

запропонував реформу всієї шкільної програми. Шкільній системі, що ґрунтується на набутті і засвоєнні знань, Дюї протиставив навчання, в якому ці знання здобуваються із практичної діяльності. У ній немає послідовної програми з послідовним вивченням предметів. Вибиралися тільки ті знання, які могли знайти практичне використання у життєвому досвіді учня. Учитель керує самостійною діяльністю учнів і пробуджує її в учнів. У методиці Дюї разом з трудовими практиками важливе місце відведено іграм, імпровізаціям, екскурсіям, художній самодіяльності, домоведенню. Вагома роль у вихованні належить і сім'ї: батьки залучаються до розв'язання педагогічних завдань.

У праці [59] вважають, що на противагу попередньому, реалістичніше підійшов до процесу навчання Дж. Брунер [61, 62]. Він підкреслював, що треба оптимально поєднувати методи проблемного навчання (методи дискусій та навчання через розв'язання) та ігрового методу з його різновидом – методом драматизації із методами повідомлення готових знань учителю. Однак у праці [59] вважають, що він недооцінював методик, пов'язаних з повідомленням готових знань. Ми не згодні з таким висновком і вважаємо, що навчальні підходи Дж. Брунера не втратили актуальності і сьогодні. Вони актуальні для будь-якого методу навчання. Далі у нашій праці, формуючи засади створення нових технологій навчання (розділ 3), ми враховуватимемо деякі із них. З іншими тенденціями розвитку педагогіки зарубіжних країн можна ознайомитись, скориставшись, зокрема, працею [63, 64].

### *Відповідальність за власний вибір*

У праці [57], вважають, що "...можна навести багато аргументів на користь того, що в учнів треба розвивати відчуття відповідальності за те, як вони навчаються. Останнім часом саме ця тенденція стала переважати у системі освіти".

На нашу думку, у цьому контексті цікавим є досвід британської педагогіки щодо формування таких рис школяра як самостійності і дисциплінованості, так і щодо його підготовки до навчання у вищій школі

[65]. Він, зокрема, стосується чіткого структурування навчального процесу, його цілеспрямованості, особистої відповідальності школяра за вибір типу навчання та освіти.

Наприклад, у 16 років, склавши екзамен першого рівня, учень постає перед вибором: продовжити освіту, якщо хоче поступити в університет, чи отримати професійну підготовку.

Важливо, що бажаючим поступити в університет пропонують дворічний курс навчання, а школярі, які успішно склали іспит першого рівня, поступають у коледж для старшокласників. Тут їм, виходячи з вимог університету, де вони бажають навчатися, пропонують відповідний набір дисциплін.

#### *Деякі недоліки вітчизняного освітнього процесу*

До недоліків українського навчального процесу слід віднести його консерватизм. Як констатують у праці [53], українська традиційна система навчання у загальноосвітній школі з її соціоцентричним підходом продовжує розглядати учня як пасивний інженерно-технологічний механізм, яким можна керувати з допомогою зовнішніх впливів.

Водночас у системах освіти зарубіжних країн спостерігаються радикальні зміни. Наприклад, в європейській – “...виразно прослідкується тенденція відступу від енциклопедичного впорядкування шкільних дисциплін і переходу до інтегрування предметів, формування нових навчальних міжпредметних галузей, включення у зміст освіти актуальних глобальних тем сучасності” [66].

Процес учіння – це творення учнем уявлень про навколишню дійсність через формування особистісно значимого образу світу, побудови моделей індивідуального пізнання, що є провідною проблемою методики [55].

Ще під час шкільного навчання педагоги повинні привчати учнів до того, що якість засвоєння ними знань має визначатися не тільки тим, що вони запам’ятали, зробили і відтворили за зразком. Бо це не свідчить про наявність

у них як знань, так і сформованості бажаного способу мислення. Рівень знань дітей треба оцінювати за їх участю у видозмінених ситуаціях і під час розв'язування нестандартних задач. А рівень сформованості певного способу мислення – за характером та інтелектуальною діяльністю учня, за способом міркувань, умінням оперувати знаннями, за темпами та якісним формуванням знань, умінь та їх реалізації на практиці.

“По-перше, розвиток у молоді здібностей самостійно ставити творчі завдання. При цьому слід враховувати, що розв'язок проблеми не дасть учневі або студентові очікуваного результату, якщо сама проблема була поставлена без їхньої активної участі. По-друге, якщо розвинути у молодих людей допитливість і творчий підхід до проблеми, то запитання в них виникатимуть самі по собі, все піддаватиметься сумніву. У цій ситуації з'являються бажання і здатність діяти творчо і брати на себе відповідальність за логічне розв'язання проблеми. Саме це є найважливішим педагогічним чинником освіти” [57].

Постає завдання – реалізувати це як у середній, так і у вищій школі, розуміючи, що особисто-орієнтований метод навчання не буде єдиним у нашій школі. Право на існування мають різні типи методик. Їх вибір визначатиме кожна конкретна ситуація, навіть контингент школярів (студентів), їх рівень знань, потреби суспільства.

Зрозуміло, що розв'язок цього неможливий без критичного аналізу стану науково-методичних розробок нашої освіти.

У праці [53, с. 3] вважають, що “...в Україні освітня криза підкралася тихо і непомітно. З розвинутої донедавна країни ми поволі сповзаємо до колоніального рівня або все більше стаємо залежні від західних технологій. Із висот забезпеченої якісною освітою країни переходимо до культивування неякісного, погано скомпонованого просвітництва”.

І погодитись із цим не можна, хіба тільки у тому, що криза в освіті почалась недавно. Бо очевидно, що і раніше в нашій освітній системі не все було гаразд, і зокрема, в методиці, як раніше, так і тепер “...загрожує

небезпека набуті вузькоутилітарного суто прагматичного характеру, звестися до розробки рекомендацій, втратити здатність до наукового узагальнення, втратити зв'язок із практикою, зайнятися побудовою чи фантазуванням шляхів і прийомів “всеперемагаючих” методів навчання, моделей та модулів навчально-виховного процесу, які успішно працюють лише на папері” [54].

І це незважаючи на те, що наукові дослідження, пов'язані з тематикою як загальноосвітньої, так і вищої школи, проводилися й проводяться доволі інтенсивно, і звідси – повинні сприяти прогресу. Бо, як зазначають у праці [54, 55], дослідження, що стосуються тематик середньої школи у 1970-80-х рр., передбачали розгляд того чи іншого питання програми з погляду його змісту, структури, засвоєння. Вивчалися процеси, які стосуються розумової і моральної сфери учнів. З початку 1990-х років тематика у наукових дослідженнях почала висвітлювати специфіку конкретних методик, переорієнтацію на програми формування особистості засобами свого предмета. Це пов'язано з проблемами систематизації та інтеграції знань в учнів і формування на цій основі відповідної картини світу, вивчення характеру експериментальної діяльності учнів і вироблення відповідних знань, умінь і навиків.

З іншого боку, в цій же праці [54, 55], заявляють, що “...поки так триватиме, жодними дріб'язковими дослідженнями ми не досягнемо реального піднесення якості навчально-виховного процесу. Навпаки, такі дослідження нам все більше і більше шкодитимуть, бо, по-перше, розмивають цілісність системи, нівелюють комплексний підхід, по-друге, створюють ілюзію руху вперед, там де справді спостерігається застій, а може, і регрес”.

Критичний погляд на сьогоденні наукові педагогічні дослідження у царині педагогічної освіти висловлюють автори праці [53, 55]. Вони вважають, що “...дослідники спотворюють логіку педагогічного пошуку своїми незрілими, а часто зовсім безглуздими висновками, замулюють і захаращують і без того вже замулену науку. Порушується цілісний

комплексний підхід до функціонування і вивчення педагогічної системи. Дослідження все вузких і вузких питань неминуче призводить до того, що виникає велика кількість автономних, розпорошених, самодостатніх, мало пов'язаних між собою пошукових тем та підігнаних під них рекомендацій, що у сумарній взаємодії не дасть ніякого приросту ефективності в інтегровану систему, а навпаки, взаємознищують окремі вдосконалення”.

Отже, стає очевидним, що висновки та рекомендації таких досліджень не можуть бути реалізованими. Зважаючи на це, впливає, що методика відстає від вимог життя. Результати таких наукових досліджень не сприятимуть реалізації стратегічної мети освіти, що полягає у випереджувальній підготовці фахівців для виробництва майбутнього.

І ось тут, вважають автори праці [53, с. 4], “...нам знадобляться інноваційні підходи, напрацьовані ідеї та розробки, що зможуть дати поштовх новій освітній системі, реалізують організацію інтелектуального виробництва на рівні третього тисячоліття”.

Сутність педагогічної системи – її ефективність, прямо залежна від тієї педагогічної технології, яку використовують для реалізації педагогічного завдання і досягнення педагогічних цілей. Очевидно, що істотних перебудов у системі освіти не можна досягнути в межах традиційної педагогіки.

Зрозуміло, що результати освіти у вищій школі залежать не тільки від того, через який педагогічний процес проходить студент, але і від того, чи – він готовий і здатен це зробити. Тому найперспективнішою напрямною дидактичних досліджень в Україні повинно стати опрацювання технологій особистісно-орієнтованого навчання у середній школі, що вело б до постійного збагачення учнів творчим досвідом, формування механізму самореалізації й самоорганізації особистості кожного школяра. А конкретні знання, їх система повинні виступати не як кінцева мета, а як засіб навчання і перетворення дійсності, наголошують у праці [55]. І продовжують, що цьому напрямку необхідно значно поглибити і розширити дослідження методичних проблем

інтегрованого навчання, тобто методів і способів інтеграції знань у наукову картину світу. Розкрити зміст суб'єктивного досвіду учня, подумки спиратися на нього при організації навчання – таким має бути основне знання вчителя нової школи.

Розбудовуючи систему освіти треба враховувати європейський вибір України. В європейській спільноті освітня галузь – це одна з найширших сфер людської діяльності. Вона розглядається як умова підготовки молоді до життя. У зв'язку з цим актуальним є питання про можливість впровадження європейських стандартів у зміст нашої системи освіти.

Вважають, що головними напрямками освітньої політики повинні передусім стати:

- подальше підвищення важливості загальноосвітньої школи, якості загальної підготовки, продовження термінів навчання;

- підготовка молодих людей до входження у суспільство, формування здатності до самостійного, критичного мислення, створення умов для саморозвитку і самореалізації в умовах ринкових відносин;

- створення широкої основи для практичного застосування здобутих знань, поєднання освіти і сфери працевлаштування, умобільнення, передусім професійної освіти.

Очевидно, що наукові дослідження повинні сприяти реалізації двох шляхів розвитку вищої та середньої шкіл: інтенсивного та екстенсивного. Перший шлях здійснюється через краще використання їх внутрішніх резервів. Другий – ґрунтується на залученні додаткових потужностей (інвестицій ззовні) – нових засобів, оснащення.

У кожному конкретному випадку – в міру доцільності і реальних можливостей – їх треба поєднувати, розуміючи, що в реалізації екстенсивного шляху розвитку освітньо-виховного комплексу фінансові можливості нашої країни обмежені. Та це не повинно бути незаперечним гальмом, що зупиняє такий розвиток.



Бо не тільки брак коштів у нашій країні може гальмувати прогрес в освітній системі. Тут важливо враховувати те, що країна, яка розвивається, може натрапити на різні труднощі, якщо вона буде лише сліпо наслідувати форми та традиції освіти промислово розвинутої країни. Для успіху реформ у вищій школі важливе значення має врахування соціо-психологічної інфраструктури освіти, котра характеризує традиції та спосіб життя, закріплені культурними та виробничими навиками, які проявляються у дисципліні та інтенсивності праці, сприйнятті досягнень прогресу, в рівні продуктивності праці [56].

У праці [53] вважають, що в інтенсивному розвитку освіти інтегровані інновації повинні відкривати шляхи піднесення якості наукових досліджень та реальних удосконалень. Інтегровані інноваційні моделі мають бути системними і комплексними. Це означає, що місце і роль кожного окремого чинника розглядають у складі базової моделі та обов'язково з усіма іншими компонентами цієї системи. Базова педагогічна модель відображає концептуальні уявлення про склад, розвиток, функціонування і результативність процесу. Дослідникові конкретної проблеми залишається окреслити свій аспект пошуків. Базова модель системи містить сім головних компонентів: мету, результати, педагогів, учнів, зміст, засоби управління. Кожний елемент – дуже складне утворення з підструктурами нижчого рівня. У межах базової моделі, не порушуючи її, слід шукати інноваційні вдосконалень заданої системи.

А наукова методика, орієнтуючись на формування особистості засобами навчального предмета, повинна розглядати проблеми з погляду вдосконалень навчально-виховного процесу загалом, із врахуванням внутрішніх і зовнішніх зв'язків педагогічної системи, єдності самої людської особистості, – підкреслюють у праці [54].

Все сказане дає змогу зробити висновок, що насамперед необхідно, розробляючи і використовуючи нові підходи, як у підготовці школярів і

студентів, так і у підготовці майбутніх вчителів та викладачів, прямувати до того, щоб навчання як виробничо-технологічний процес, володіло відповідною технологією, яка б приводила до гарантованого результату.

Отже, потрібні нові технології навчання. В їх пошуку треба враховувати характерну особливість педагогічного процесу, те, що поза власною навчальною діяльністю учня (студента) і пов'язаною з нею навчальною діяльністю викладача не існує якогось іншого процесу навчання.

#### **1.4. Педагогічні технології навчання**

##### *Загальні відомості*

Терміни “педагогічна технологія”, “технологія навчання” не можна віднести до усталених, загальноприйнятих. Деякі не визнають правомірність його використання досі. Триваючи протягом 50 років дискусія щодо суті цих понять теж не закінчилась загальноприйнятими висновками. Вона, як вважають у праці [67], зводиться до зіткнення двох крайніх поглядів: одні вважають педагогічну технологію комплексом сучасних технічних засобів навчання, інші – процесом комунікації. Окрему групу становлять автори, що об'єднують у понятті “педагогічна технологія” засоби і процеси навчання.

Трактування поняття “технологія навчання” і погляди на формування педагогічних технологій навчання та, зокрема, основ нових інформаційних технологій навчання, можна знайти у працях вітчизняних дослідників [68, 42].

Ми не будемо зупинятись на деталях обговорення смислу цих понять, а тільки зосередимо увагу на тому, що, на нашу думку, потрібно враховувати, створюючи технологію конкретного навчального предмета.

За визначенням, запропонованим ЮНЕСКО, під поняттям “педагогічна технологія” треба розуміти “...системний метод планування, використання та оцінювання всього процесу навчання і засвоєння знань шляхом врахування

людських і духовних ресурсів і взаємодії між ними для досягнення більш ефективних форм навчання” [67, с. 128].

Вся різноманітність технологічних процесів у педагогіці має загальні риси і зближує навчально-виховний процес з виробничим. Їх у праці [70] називають критеріями, які притаманні сучасним технологіям навчання, а у праці [71, с. 98] критеріями технологічності. За своєю сутністю вони не відрізняються. Наведемо їх, покликаючись на працю [70]:

1) гарантована результативність педагогічного процесу, яка характеризується позитивними змінами в розвитку учнів через використання даної освітньої технології;

2) цілеспрямованість педагогічної системи, яка вказує на те, що отриманий педагогічний результат не випадковий, бо наперед проектувався;

3) системність, яка вказує на те, що дана технологія – це не виробничий набір окремих засобів, а система дій, з’єднаних певною логікою, їх використання у конкретних умовах;

4) новизна, що розкриває можливості технології як основи передового педагогічного досвіду;

5) актуальність, що виявляється у розв’язанні конкретних дидактичних проблем і труднощів, які вдається подолати в навчальній практиці, використовуючи педагогічну технологію.

Крім цих критеріїв, у праці [71, с. 98] констатують ще один:

б) алгоритмізація, стандартизація і структурування навчального матеріалу.

Крім того, педагогічні технології мають низку особливостей, які досить повно відображають існуючі відмінності педагогічних технологій від технологій у виробництві [70]:

– окремі технологічні процеси мають певний виховний потенціал: одні розвивають увагу, інші – пам’ять тощо;

- не весь навчальний зміст піддається алгоритмізації і кодуванню, тобто може бути технологізованим;
- кожний елемент педагогічних технологій повинен мати своє місце в цілісному педагогічному процесі;
- педагогічні технології ефективні тільки за умови психологічного обмотивування і певності практичного виходу;
- педагогічні технології, їх розробка і використання вимагають творчої активності педагога та учнів;
- на педагогічний результат технологічного процесу великий вплив має рівень майстерності педагога та психологічний клімат колективу.

Для розробки технологій навчання необхідні знання основних положень методики, вміння використовувати їх на практиці. Технологія не існує у педагогічному процесі без його загальної методології, цілей і змісту. Вона є організаційно-методичним інструментом навчального процесу [72, с. 125]. При цьому методика є теоретичною основою складання і розробки технології навчання. Педагогічні технології навчання є складовою (процесуальною) частиною дидактичної і методичної систем. Вони повинні розв'язувати завдання – як вчити результативно.

Згідно з працею [71], основні етапи розробки технологій такі:

1. Аналіз змісту навчання, що передбачають навчальні програми.
2. Визначення пріоритетних цілей і завдань навчання, на реалізацію яких спрямована ця технологія.
3. Розробка конкретної технології навчання.

3.1. Організація навчального матеріалу, відображення найбільш значимого навчального змісту, структурування навчального матеріалу, відображення прикладів і доказів, а також завдань, спрямованих на формування знань.

3.2. Вибір форми організації навчального процесу: урок, екскурсія, позаурочна робота, домашня робота.

3.3. Вибір методів навчання: словесні, наочні, практичні.

3.4. Вибір засобів навчання: наочні посібники; технічні засоби навчання; навчальне обладнання; навчальні посібники.

Отже, критерії, що визначають суть навчального процесу, його технологію – це чітке визначення цілей навчання (“чому?” і “для чого?”), повинно сприяти відбору і побудові змісту (“що?”), організації навчального процесу (“як?”), методів і засобів навчання (“з допомогою чого?”), а також врахувати необхідний рівень кваліфікації викладачів (“хто?”), методи оцінювання досягнутих результатів навчання (“так?”, “чи це?”), підкреслюють у праці [72, с. 125].

#### *Гнучка технологія проблемно-модульного навчання*

Підсумовуючи результати досліджень низки авторів та підкреслюючи, що одна із основних цілей підготовки кадрів – це формування компетентного спеціаліста, у праці [73] запропонували гнучку технологію проблемно-модульного навчання, яка сприятиме цьому досягненню. Деякі міркування автора ми наведемо, бо вони будуть враховані в окреслених нами технологіях навчання.

Пропонована технологія навчання охоплює цільовий компонент, провідні принципи, спеціальні способи проектування змісту навчання, систему задач і вправ, конструювання дидактичних матеріалів, рейтингову систему контролю й оцінювання навчальних досягнень. Провідною стрижневою характеристикою проблемно-модульного навчання є гнучкість – здатність оперативно реагувати і мобільно адаптуватися до змінних науково-технічних і спеціальних економічних умов. Для цього технологію навчання слід реалізовувати зусиллями трьох органічно поєднаних чинників: “стискування”, модульність і проблемність.

Важливо, що традиційне, суто технічне, уявлення про модуль як про фіксований функціональний елемент – недосконале. Система може бути представлена як сукупність модулів або розглядатися як окремий модуль у

структурі загальнішої системи. Вона може мати як базові, так і варіантні модулі, а модуль, своєю чергою, може мати базовий і варіантний компоненти.

Таке уявлення про модуль надає йому мобільності і гнучкості, а використання принципу модульності у процесі навчання сприяє формуванню мобільності знань і гнучкості методу, що є невід'ємною частиною компетентності.

Як компонент технології навчання, проблемне навчання покликане активізувати розумову діяльність студентів, впливати на формування нестандартних підходів та розв'язання проблем і на розвиток творчого мислення. Цей результат забезпечує створення у процесі навчання спеціальних ситуацій інтелектуальних труднощів – проблемних ситуацій та їх розвитку.

Деякі дослідники до недоліків технології проблемного навчання відносять, зокрема:

- трудомісткість виділення проблемних модулів;
- ігнорування цілісності логіки навчального предмета;
- звуження підготовки учнів (студентів), скорочення курсу до серії дискретних і незв'язаних проблем і задач, формування лише часткових, конкретних умінь не на користь узагальненим.

Вони забувають і не враховують того, що реалізувати ту чи іншу технологію навчання цілком практично неможливо. Так чи інакше, треба спиратися на вже усталені дидактичні структури і традиційні підходи до організації навчального процесу. Ідея нової технології, звичайно, проявляється в одному або кількох “провідних” соло-моментах. Водночас більшість “фонових” характеристик процесу навчання може бути традиційною. Таким чином, один із тривіальних шляхів взаємозв'язку технології проблемно-модульного навчання з іншими технологіями полягає у пошуку таких дидактичних елементів, які б, не порушуючи головної ідеї технології, допомагали нівелювати недоліки.

*Довільність у трактуваннях*

Водночас у педагогічній літературі ще часто трапляються як відмінності, так і довільності у трактуванні понять “технологія навчання” та “педагогічна технологія”. Це стосується не тільки дещо незвичного бачення сутності цих понять авторами деяких праць, але й того, що автори однієї і тієї праці трактують їх по-різному. Покажемо це на деяких уривках з праць [72, 54-56].

1. Автори праці [72, с. 123], з одного боку, доречно зауважують, що “...педагогічне товариство сприймало сучасну йому ситуацію у педагогіці як незадовільну і предметом суперечок завжди були і залишаються неточності визначень і формулювань основних педагогічних понять, відсутність деяких категорій, що описують організаційний процес, взаємозв’язки цілей, форм, методів і засобів навчання і використовуване для цього поняття “методика” характеризується високим ступенем суб’єктивності”. З другого – як зрозуміти та узгодити між собою три наступні фрагменти з цієї ж праці? Зокрема, таке:

– “...педагогічні об’єкти, позначувані категоріями (ціль, метод, засіб і організаційна форма навчання, виховання і розвитку студентів) знаходяться у постійному взаємозв’язку, утворюють цілісну структурну єдність – навчально-виховну систему, або як її недавно почали називати, педагогічну технологію” [72, с. 28];

– “...проектування технології (методики) ми будемо розглядати як постановку педагогічної задачі і розробку дидактичного процесу, який забезпечує її розв’язок” [72, с. 125];

– “...ефективність дидактичного процесу... значною мірою визначається адекватним вибором і професійною реалізацією конкретних педагогічних технологій, які частіше традиційно називають організаційними формами і методами навчання” [72, с. 127].

По-перше, із поданого бачимо, що дидактичний процес забезпечує розв’язання поставленого педагогічного завдання, але тоді, для чого нам потрібна технологія навчання? І, можливо, автор засумнівався у своєму

твердженні, що “...прикладні (конкретні) педагогічні технології – це такі, які на методичному рівні вирішують проблему конструювання процесу професійної підготовки, спрямовану на досягнення наперед запланованих цілей”.

По-друге, технологія навчання – це не методика і не метод. Значення слів “методика” та “технологія” не є однаковими.

Методика – це наука про методи викладання, яка озброює студентів знаннями про закономірності, що лежать в основі навчання даного предмета. На їх основі здійснюють моделювання оптимального процесу навчання, оптимальний вибір форм і засобів навчання, що забезпечують його інтенсифікацію [71].

Тоді як поняття “технологія”, на думку автора тієї ж праці [71], має більш вузьке значення: “... це нормативний проект навчання і виховання (програма по реалізації певних цілей і задач). Для розробки технології навчання необхідно знання основних положень методики, уміння використовувати їх на практиці. Технологія навчання не існує у педагогічному процесі у відриві від його загальної методології, цілей, цілей і змісту. Вона є організаційно-методичним інструментарієм навчального процесу. При цьому методика є теоретичною основою складання і розробки технології навчання”.

2. У праці [74] вважають, що “...зміст наукового терміна “педагогічна технологія” включає проект (модель) обґрунтованої у логічній послідовності педагогічної системи, яка реалізується у практичній діяльності викладачів вищого навчального закладу”.

Водночас під поняттям “педагогічна система” розуміють “...взаємозв’язок нових засобів, методів і процесів, необхідних для створення організованого, цілеспрямованого наперед заданого впливу на навчальну аудиторію для формування майбутніх фахівців із високими професійними та загальнолюдськими якостями”.



Підкреслюють, що “...серед завдань, які вирішує сучасна педагогічна технологія, одним із основних є пошук правильних і надійних шляхів методологічної побудови педагогічної системи вивчення та вдосконалення реального педагогічного процесу у сучасному навчально-виховному закладі”.

По-перше, чому під поняттям “педагогічна система” ми повинні розуміти взаємозв’язок саме “...нових засобів, методів і процесів, необхідних для створення організованого...”

По-друге, чому це основним завданням педагогічної технології є “...пошук правильних і надійних шляхів методологічної побудови педагогічної системи...”

3. У праці [75] досліджують технології “проблемного, концентрованого, модульного, розвивального, диференційованого та ігрового навчання”, а у праці [76] технології активного навчання: розвивальну, проблемну, диференційовану, модульну.

Незрозуміло, у чому полягає відмінність між ними?

4. На думку автора праці [75], “...сьогодні проблема класифікації педагогічних технологій навчання нагадує кризу, пов’язану з класифікацією методів навчання 70-х років ХХ ст.”

Запропонована у цій праці схема класифікації технологій навчання фізики має розв’язати дану проблему. Вона містить 9 класифікаційних груп, у кожному з яких входить від 3 до 9 найменувань технологій навчання. Для прикладу наведемо назви технологій групи “За способом формування інваріантів навчальної діяльності”:

- формування фізичних понять;
- формування узагальнених умінь;
- формування експериментальних умінь;
- формування вміння розв’язувати задачі;
- формування способів вивчення фізичних законів.

На нашу думку, такий підхід до класифікації технологій навчання фізики не буде мати кількісної межі і навряд чи принесе користь. Тим паче, що процесу класифікації технологій навчання, зокрема і фізики, має передувати чіткіше визначення педагогічним співтовариством змісту понять “технологія навчання”, “педагогічна технологія”.

Із наведеного випливає, що своїм бажанням створити щось нове, оригінальне, ми ще часто не тільки недоречно ускладнюємо, але й заплутуємо те, що вже є зрозумілим. І, очевидно, створюємо підстави, щоб і надалі предметом нападок були методичні неточності, але вже допущені нами.

Цікаво і повчально пропонують розв’язувати проблеми побудови технологій навчання у праці [77]. Автори вважають, що технологія навчання – це технологія, яка сприяє формуванню у студентів значущих для їхньої професійної діяльності рис особистості, а також знань, навиків і умінь, що забезпечують виконання важливих функціональних обов’язків за вибраною спеціальністю. На їхню думку проектування і конструювання технології навчання має певну ціль – створення викладачем спеціального навчального середовища, яке дає можливість організувати педагогічну взаємодію зі студентами, гарантує досягнення поставленого завдання. Цю технологію можна розглядати як цілісну дидактичну систему, яка дає змогу найефективніше розв’язувати педагогічну задачу і як процес, що представляє собою взаємопов’язані педагогічні дії, спрямовані на розв’язок цих задач або як планомірне втілення спроектованого педагогічного процесу.

Отже технологія навчання – це і є науковий проект (опис, модель) дидактичного процесу, реалізація якого гарантує відтворення педагогічних дій.

Таким чином, технологія навчання не може зводитися до проблемного, концентрованого, модульного, розвивального, диференційованого та ігрового навчання, бо – це тільки методи, притаманні тій чи іншій технології навчання.

Тому відпадає потреба у таких складних схемах класифікації технологій навчання фізики, що запропоновані у праці [75].

Отже, технологія навчання лише складова конкретного навчального предмета, результат творчого пошуку як окремих викладачів, так і цілих колективів, що пов'язані з навчальною діяльністю, хоча б в аспекті організації й матеріального забезпечення.

Зважаючи на подане, технологією навчання ми вважатимемо один з компонентів педагогічної системи. У ній реалізація певної цілі навчання досягається використанням певних форм, методів, способів, прийомів і засобів навчання, що призводить до ефективного досягнення навчальних цілей.

### **1.5. З досвіду розв'язання проблем оновлення знань**

Проблема оновлення знань, вирішити яку покликана безперервна освіта, пов'язана насамперед з виробленням у студентів здатності оновлювати знання протягом усього життя. Це ставить завдання – навчити їх методики самостійного набуття знань. Відповідно до цього, головна тенденція у розвитку дидактичного процесу вищої школі розвинутих зарубіжних країн – це розширення керованої академічної самостійності, яка ґрунтується не так на засвоєнні підготовленої викладачем інформації, як на самостійному засвоєнні знань. Завдання її – в індивідуалізації ходу засвоєння, з одного боку, та інтеграції різних форм знань, – з другого.

Зважаючи на те, що актуальним завданням системи освіти України є розробка особистісно-орієнтованих технологій навчання, наведемо деякі важливі загальні підходи розв'язку цього завдання зарубіжними дослідниками, покликаючись на праці [56, 78-80].

### *Групове та індивідуальне навчання*

Американські вчені вважають, що навчання, яке концентрує увагу на запам'ятовуванні фактів, мимоволі гальмує розвиток творчих здібностей і навіть призводить до втрати талантів. На першому плані постає засвоєння методологічних аспектів формування знань і отримання наукової інформації, тобто вихованням методологічної культури.

У вищій школі намітилась міцна тенденція на зменшення лекційного часу у загальному обсязі аудиторного навчального часу студента, і залежно від рівня індивідуалізації навчального процесу окреслились два напрями [61]: групове навчання з елементами самонавчання та індивідуальне.

1. На лекціях вивчаються лише основні розділи курсів, висвітлюються найновіші досягнення у даній сфері знань, які ще не дістали відображення у навчальних посібниках, тобто послідовно проводиться принцип випереджуючого навчання.

2. Групове навчання здійснюється під керівництвом досвідченого викладача. Основний час і увагу надають активним формам навчання у малих групах.

Для старших курсів практикується групове навчання у групах, що становлять п'ять-сім осіб, і менших – одну-дві особи. Широко розповсюджені різного роду дискусії, головною метою яких є розв'язання проблем, а побічною – тренування у студентів відповідних умінь і навиків. Наприклад, у так званій вільній груповій дискусії викладач свої функції передає студентам, а сам лише слідкує за ходом дискусії і направляє її у потрібне русло, не нав'язуючи їм своєї думки. Метою навчання є не знаходження спільного розв'язку проблеми (хоча це теж бажано), а вироблення уміння мислити науково, відхиляючись від стереотипних суджень, використовувати в ході пошуку правильні і неправильні думки інших. Таким чином навчання наближається до процесу наукового обговорення і дослідження.

3. Індивідуальне навчання, яке найчастіше ґрунтується на методі модулів, студент та викладач планують разом. Його завданням є стимулювати розвиток пізнавальних здібностей студента. Під час самостійних занять він має можливість використати різноманітні засоби навчання.

Зауважимо, що саме комп'ютеризація усуває багато труднощів індивідуальної системи навчання, починаючи від складання модулів. Бо у цьому типі навчання враховують як нахили та зацікавлення студентів, так і їх інтелектуальні та фізичні можливості. Регулюється не лише темп роботи, а й зміст навчального матеріалу.

З огляду на це розвиток методу індивідуального самонавчання відбувається двома основними шляхами:

- один дає змогу регулювати темп засвоєння при однаковому для всіх обсязі навчального матеріалу;
- інший стосується індивідуалізації змісту навчальних курсів, – і допомагає студентові вибрати для себе повний або скорочений набір модулів (але певна його частина є обов'язковою).

Після кількох вступних (організаційних) занять студенти, отримавши весь необхідний для навчання матеріал, починають самостійно вивчати курс. Важливо, що приступити до вивчення наступного розділу можна тільки після засвоєння попереднього.

#### *Роль тьютора в навчанні студентів*

Організувати навчальний процес студентові допомагає тьютор [56, с. 141]. Його роль у різних вищих закладах освіти трактується по-різному.

Іноді так називають представника допоміжного персоналу, що веде все листування зі студентом-заочником, стежить за виконанням навчального графіка, організовує консультації студентів на їхні прохання. Він проводить соціологічне анкетування серед своїх студентів, дізнається про їхні думки щодо форми і змісту конкретних курсів і передає ці думки розробникам. А також допомагає студентам у складанні персонального навчального плану та

наповненні його за вибором взаємопов'язаними дисциплінами. Ефективне тьюторство може здійснюватися при невеликій кількості студентів – до 50-ти на одного тьютора. Важливо, що крім керування студентами, інших обов'язків він не має. Вимоги до нього йдуть щодо кожного студента, залишити якого без нагляду навіть на тиждень – недопустимо.

Друге трактування слова тьютор – викладач з основного предмета (або одного з основних) у даному навчальному році, з яким студент повинен контактувати більше всього під час навчального процесу. Тьюторами ніколи не працюють педагоги, що зайняті написанням курсів.

Третє тлумачення слова тьютор – це педагог для студента на весь час навчання. Він особисто веде не менше 80 % усіх навчальних предметів. Це аспрофесіонал у широкому значенні цього слова. Основна мета такого тьюторства така: “якщо я, твій педагог, повністю орієнтуюсь у тому, що пропонують тобі для вивчення, ти теж повинен досягти мого рівня”. У таких закладах освіти тьютори – високооплачувані працівники, хоча кожен з них керує всього вісьмома – десятьма студентами. Але важливо, що ці студенти активно працюють над проектами інституту або займаються власною науковою чи конструкторською діяльністю. Тому, у кінцевому підсумку, вкладення грошей у цю навчальну систему виправдовується.

У будь-якому разі тьютор допомагає студентові максимально індивідуалізувати навчальний процес. Для нього фігура тьютора персоніфікується з вибраним вищим закладом освіти.

Подане дає підставу підкреслити такі особливості навчання у вищій школі США [63]:

- 1) брак жорстких часових меж, що дає змогу студентові просуватися у вивченні навчального матеріалу зі швидкістю, що відповідає його здібностям;
- 2) строга вимога повного засвоєння матеріалу й переходу до нового тільки після засвоєння попереднього;

3) складання програми навчання самим студентом із допомогою тьютора й комп'ютера (таким чином, набір навчальних, окрім загальноосвітніх, дисциплін і залікових одиниць характеризує рівень підготовки і коло науково-професійних зацікавлень студента);

4) використання лекцій як напрямної форми, а не основного джерела інформації;

5) підвищення ролі письмових робіт;

6) використання системи прокторів й інспекторів, яка допомагає проводити багаторазові перевірки знань, одразу підводити підсумки роботи студентів, керувати знаннями.

Така система індивідуального навчання прищеплює навички самостійної праці, навчає студентів учитися. Вона ґрунтується: по-перше, на продуманому поділі навчального матеріалу на модулі; по-друге, на тому, що студенти завжди можуть отримати консультацію та індивідуальну допомогу; по-третє, це те, що стосується кардинального розв'язання проблем стресів і відсівів – на складанні студентом заліку за весь матеріал тільки тоді, коли він готовий до цього.

#### *Міждисциплінарний принцип підготовки спеціалістів у безперервній освіті*

Проблему оновлення знань, що пов'язана з перепідготовкою кадрів та підвищенням кваліфікації, повинна вирішувати система безперервної підготовки. Її принциповий розв'язок діячі вищої школи США знайшли у тому, що навчання у вищій школі там поділено на три цикли [63].

Перший цикл навчання призначений для загальнотеоретичної базової підготовки. Тут відбувається ознайомлення студентів зі своєю майбутньою професією. Після закінчення цього циклу студент може змінити профіль своєї спеціальності або може продовжити своє навчання у будь-якому вищому закладі освіти.

Другий цикл охоплює спеціалізацію та завершення підготовки спеціалістів у навчальному закладі, тобто основної маси спеціалістів,

особливо прикладників. Навчання під час цих двох циклів триває, як правило, чотири роки.

Під час третього циклу дається відповідна спеціалізація і готуються науково-педагогічні кадри.

Принцип індивідуального навчання спеціалістів дає змогу впроваджувати комбіновані програми навчання, котрі передбачають поєднання технічних, природничих і суспільних дисциплін і котрі можна засвоювати, відвідуючи заняття різних факультетів як одного, так і кількох закладів вищої освіти.

Як зазначають у праці [78], необхідною умовою модернізації вищої школи є інформаційна насиченість фундаментальних дисциплін, динамічність програм спеціальних предметів, обов'язкове читання лекцій, проведення практикумів і семінарів з профільюючих дисциплін спеціалістами промислових підприємств.

Надається велика увага процесу гуманітаризації навчання. У вищих технічних закладах освіти на гуманітарні предмети відводиться 25 % часу. (Відзначимо, що в Україні у додатку до наказу Міністра освіти № 285 від 31.07.1998 року, у комплект нормативних документів для розробки стандартів вищої освіти, блок гуманітарних дисциплін збільшено з 8 % до 20 %) [79].

Таким чином, індивідуалізація навчання на основі розробки модулів і принципу керованої факультативності надає змогу вищим закладам освіти перейти на сучасний, найбільш адекватний духові науково-технічного прогресу принцип підготовки спеціалістів – міждисциплінарний.

Ця система передбачає неповторний характер кожної особистості, сприяє максимальному розвитку розумового потенціалу кожної людини. При цьому програми кожного студента охоплюють, здавалось би, несумісні предмети, є унікальним, своєрідним змістом освіти. Випуск таких різнобічно підготовлених спеціалістів, здатних працювати на стику наук, – об'єктивна потреба та умова науково-технічного прогресу.



Важливим елементом системи освіти США є так зване кооперативне навчання – чергування занять і трудової діяльності впродовж усього навчання у закладі освіти. Головне досягнення такого виду навчання – тісний зв'язок з виробничою практикою та з майбутньою професією студента. Відбувається природне поєднання знань і вмінь.

Такий зв'язок знань і вмінь, навчальних закладів і виробництва особливо важливий у проведенні спільних науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, в яких беруть участь викладачі та студенти. Єдність системи “вища школа – виробництво” має значні переваги. З одного боку, викладач, він же вчений-дослідник, справді ознайомлює студентів з найновішими досягненнями у своїй галузі. З іншого – спілкування зі студентами стимулює викладача в його дослідницькій діяльності.

Отже, зміна змісту навчання, наближення його до найновіших науково-технічних досягнень, орієнтація вищої освіти на перспективу їх розвитку – жорстка вимога часу.

Таким чином, трициклова структура вищої школи забезпечує гнучкість у підготовці спеціалістів, дає можливість ширшого вибору програм навчання згідно з потребами економіки, справді ефективно керувати всім процесом навчання, переривати навчання на будь-якому етапі у разі необхідності і відповідно поновлювати його після кількох років перерви.

Функціонування курсів перепідготовки і підвищення кваліфікації керівного апарату всіх рангів і рівнів у межах вищої школи Сполучених Штатів дає змогу ефективно використовувати величезний науковий потенціал американських вищих навчальних закладів.

Отже, в рамках трициклічної структурної побудови вищої школи реалізоване найоптимальніше розв'язання проблеми тезаріуса – передання студентам сукупності наукових і практичних знань, які забезпечує передумови для подальшої безперервної освіти.

### *Вибір шляхів розвитку*

Необхідне врахування тенденції впливу світових процесів глобалізації. Ці фактори визначають низку важливих вимог до національної системи освіти. Вона, як зауважують у праці [80], має бути гнучкою, відкритою, адаптованою до специфіки розвитку країни; враховувати міжнародні стандарти і вимоги; орієнтуватися на перспективи і тенденції розвитку науково-технічного прогресу; адаптуватися до специфіки нових промислових технологій і до умов їх використання, звідки йде головна вимога до системи дистанційної освіти – своєчасно забезпечувати переорієнтацію цілей і завдань освіти у динаміці розвитку цивілізації.

У контексті розв’язання завдань вітчизняної освіти потрібно:

#### 1. Усвідомити:

– з одного боку, що “...перехід до інформаційного суспільства є ендогенним процесом, який уможливорює нагромадження знань, примноження винаходів та їх використання у найрізноманітніших сферах людської діяльності” [35, с. 4];

– з другого – “...обмежений характер цього процесу, адже саме через ендогенність механізмів накопичення знань безуспішною є спроба транслювати технологічні досягнення у слаборозвинуті країни” [35, с. 4].

2. Розуміючи, що формування нової країни – це й формування її системи освіти, з’ясувати:

– з одного боку, як ще довго так звана радянська модель, яка зі своїми похідними від командно-адміністративної системи у свій час вигідно вирізнялась у системі світових освітніх систем, визначатиме наше буття;

– з другого – вплив яких освітніх систем стане основним для української системи освіти?

Попри все розмаїття, системи вищої освіти розвивались, орієнтуючись на такі відомі моделі університетів [81]:

– наполеонівську (Франція). Це один із прикладів того, як держава налаштувала університети на модернізацію суспільства. Вона контролювала фінансування, академічне призначення і застосування правових важелів для гарантування того, що національний підхід забезпечується адекватно на всьому національному терені;

– гумбольдтівську (Німеччина). Це модель університетів часто розглядають як джерело сучасного дослідницького університету, орієнтованого на просування вперед кордонів знань. Власті не втручаються і гарантують свободу навчання і виховання. Університет зобов'язаний поєднувати навчання з дослідженням;

– “ринково настановлену” (Сполучені Штати). Ця модель університету, яку репрезентують різні системи освіти США, має три риси, що відрізняють її від європейських: по-перше, вона наголошує на “корисному знанні”, по-друге, міцно пов'язана з місцевими громадами; по-третє, і можливо, це нині є джерелом її найбільшої потуги, вона цільно пов'язана з економікою. Важливо для нас також, що Сполучені Штати перші розвинули масову вищу освіту півстоліття тому;

– британську модель. Університет Великобританії часто фігурує як взірець університетської автономії. Влада передала університетам відповідальність за використання громадських коштів. Ці університети, відомі увагою до розвитку персоналізації кожного студента, набули масовості лише у 80-ті роки ХХ ст.

У праці [81] зауважують, що самі архетипи змінювалися, чимало з них орієнтувалось на розвиток найбільшої у світі системи Сполучених Штатів, але чи буде система змінюватися як сучасна версія глобалізації та які системи будуть авторитетними впродовж наступних двох десятиліть – покаже час.

Водночас, на нашу думку, зміни в освіті, що відбуваються протягом останніх років, наблизять нас до освітньої системи Сполучених Штатів. Це, зокрема, пов'язано з офіційно проголошеним створенням “європейського

простору вищої освіти” в червні 1999 р. в місті Болоньї на представницькій нараді 29 міністрів освіти європейських країн. Міністри прийняли так звану Болонську декларацію, до якої дещо пізніше приєдналася Україна. Декларація започатковує приблизно десятирічний процес скоординованих реформ і змін в європейській вищій школі. Цей процес має багато завдань, які в першому наближенні редукуються до трьох [82]:

1) значне підвищення конкурентоспроможності європейської освіти й освітніх послуг вищих навчальних закладів;

2) поглиблення науково-навчальної співпраці та координації, подальше підвищення мобільності студентів, викладачів, дослідників, адміністративного персоналу європейських вищих навчальних закладів;

3) зростання рівня європейської вищої освіти й здатності випускників європейських вищих навчальних закладів освіти до працевлаштування в умовах відкритого європейського та квазівідкритого глобального ринків праці.

Подане, як зауважують у праці [82], вимагає від нас введення двоступеневої вищої освіти, що є надзвичайно складним завданням, виконання якого потребуватиме багато часу. Та й не просте завдання перебудуватися зі звичної для нас семестрової структури обліку в аудиторних годинах на нову – модульно-кредитну систему. Його, за браком належних умов для інтенсивної самостійної роботи студентів, буде нелегко виконати. Це завдання пов'язане з побудовою стандартних модулів, обсяги яких вимірюються в залікових одиницях (кредитах), а зміст відзначається певним узгодженням у масштабах країн Європи.

3. Враховувати те, що традиційна парадигма освіти переживає глибоку кризу, а характерною особливістю сучасної “гуманістичної” парадигми є те, що вона побудована на принципі нерозривності пізнання й ситуації пізнання [83]. Ось деякі її положення [84]:

– головне завдання освіти – “...озброїти методологією творчої діяльності, методологією проектування та передбачення можливих наслідків майбутньої діяльності”;

– тенденції освіти – це “...навчання жити тут і тепер, не завдаючи незручності іншим, навчання жити в умовах постійних змін”;

– головна мета освіти – це ...“Саморозвиток і самодисципліна”;

– підґрунтя знання – це “...критичне і логічне осмислення конкретних ситуацій”;

– орієнтація навчання – це ...“Орієнтація на розв’язання конкретних проблем, що стоять перед суспільством, людиною”.

4. Необхідно зважати на думку авторів праці [49], що найглибші зміни у суспільстві, які пов’язані з Інтернетом, відбуваються у сфері освіти, а не у технології та промисловості. Наприклад, хоч сьогоднішній ринок високо цінує університетські дипломи, але він робить все можливе, щоб залишити у комп’ютерно обдарованих підлітків шанс і мотивації їх одержання. Парадокс у тому, що знання, які сьогодні вимагає від працівників комп’ютерний ринок, який бурхливо розвивається, має малий стосунок до формальної освіти, підтвердженої дипломом.

Можливо, подібне чекає й інші галузі системи освіти.

Потрібно розробляти засоби редагування, які б допомагали викладачеві у створенні конкретних курсів на основі готових моделей структур курсу і тестів, передбачаючи розумне розміщення частини інформації на компакт-диску.

Зразок одного з курсів можна знайти у праці [85]. Це – “Відкрита фізика 2.0”. Тут запропоновано учням кілька лабораторних комп’ютерних експериментів. Відмінною особливістю, ядром курсу, є численні інтерактивні фізичні моделі – унікальні та оригінальні розробки компанії “Фізикон”. Курс легко входить у концепцію нової школи-дванадцятилітки.

У цій версії курсу зроблено перший крок на шляху інтегрування навчальних комп'ютерних курсів, що випускаються на компакт-дисках з індивідуальним навчанням через Інтернет. “Відкрита фізика 2.0” органічно вписується в новий проект дистанційного навчання через Інтернет – “Відкритий коледж”.

5. Враховувати, що навіть у разі приєднання України до європейського співтовариства “...незважаючи на загальноєвропейську потребу “формування в учнів менш етноцентричного образу світу”, не відкидає необхідності зосередити увагу на національному вихованні молоді, щоб “витворити з величезної етнічної маси українського народу українську націю, суспільний культурний організм, здатний до самостійного культурного й політичного життя, відпорний на асиміляційну роботу інших країн. Звідки вона б не йшла, та при тім придатний на засвоєння, в якнайширшій мірі та якнайшвидшим темпі, загальнолюдських здобутків, без яких жодна нація і жодна, хоч і як сильна держава, не може створитися.

Цінним у цій інтеграції є не втрата власної відрубності для бездумного копіювання західних взірців, але навпаки, досягнення цінностей, які б творили національне мистецтво, культуру і науку. Школа повинна утверджувати засади раціоналізму і пошанування прав людини. Це засади повинні бути основою едукативних систем усіх країн Європи” [86].

6. Розуміти (до наведеного додамо тільки це), що чітка національна політика у сфері використання Інтернет-технологій і створення національного Інтернет-середовища – сегмента глобального освітнього середовища – стане для нас реальною опорою у проведенні перетворень у нашій освітній системі у разі, коли ми створюватимемо програмні продукти, які мали б достатній рівень, щоб функціонувати в цій системі.

Нині в Україні створено національну інформаційну мережу URAN, яка об'єднує інформаційні науково-технічні ресурси понад 50 університетів і наукових закладів, розміщених на серверах цих закладів в усіх регіонах

України [80]. Ці ресурси включають бази даних і знань з різних напрямів науки та освіти, є електронні бібліотеки, системи пошуку інформації. Мережа URAN забезпечує надання власних інформаційних ресурсів і ресурсів Інтернет-користувачів мережі, дає можливість загального використання віддалених потужних обчислювальних систем і виконання робіт у режимі віртуальних наукових і освітніх лабораторій, а також здійснювати мультисервісну обробку графічної, відео- і аудіоінформації. В Україні для розв'язку завдань системи дистанційного навчання і його методичного забезпечення, ресурси регіональних вузлів URAN об'єднуються з мережею і ресурсами регіональних центрів дистанційного навчання. Таким чином, для розв'язання завдання інтеграції поодиноких систем дистанційного навчання в єдину національну систему дистанційної освіти можна використовувати транспортну мережу, створену в рамках проекту URAN.

## **Висновки до розділу 1**

1. Перехід до безперервної масової освіти – пріоритету освіти кінця XX ст. та початку XXI ст. неможливий без переходу освіти на особистісно орієнтований метод навчання.

Дистанційне навчання як засіб, метод, форма і зміст навчання дає змогу переходити від освіти, яку університети “дають студентам” до освіти, яку студенти “візьмуть у них”, забезпечуючи особистісно орієнтований метод навчання.

Безперервна освіта неможлива без стабільних відносин освіта-суспільство, яку забезпечують стратегічні альянси університетів з виробничими структурами економіки, що беруть участь у прикладних дослідних дисциплінах цих університетів.

2. Наукові дослідження повинні сприяти реалізації стратегічної мети освіти, що полягає у випереджувальній підготовці фахівців для виробництва

майбутнього. Тому необхідні інноваційні підходи, напрацьовані ідеї та розробки, що зможуть дати поштовх новій освітній системі, реалізують організацію інтелектуального виробництва на рівні третього тисячоліття”.

3. Необхідно, розробляючи і використовуючи нові підходи, як у підготовці школярів і студентів, так і у підготовці майбутніх вчителів та викладачів, прямувати до того, щоб навчання як виробничо-технологічний процес, володіло відповідною технологією, яка б приводила до гарантованого результату.

Створюючи нові технології навчання треба враховувати характерну особливість педагогічного процесу, те, що поза власною навчальною діяльністю студента (учня) і пов'язаною з нею навчальною діяльністю викладача не існує якогось іншого процесу навчання.

4. Перехід в Україні на особистісно-орієнтоване навчання вимагає повніше використовувати досвід зарубіжних країн – апробованих способів особистісно-орієнтованого навчання, що:

- пов'язано як із відповідним структуруванням навчального процесу, його чіткішою цілеспрямованістю, особистою відповідальністю студента чи школяра за вибір типу навчання та освіти;

- забезпечуючи самостійне оволодіння знаннями на основі розроблених модулів і принципу керованої факультативності, дасть змогу перейти на найбільш адекватний духові та науково-технічному прогресу принцип підготовки спеціалістів – міждисциплінарний.



РОЗДІЛ 2

**ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ  
ЗНАНЬ З ФІЗИКИ У СТУДЕНТІВ ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ  
НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ**

Технологія навчання фізики у вищих закладах освіти – це складна комплексна, багатофункціональна система, змістові та процесуальні аспекти якої спрямовані на набуття знань і професійних умінь. Як система вона охоплює системоутворювальні чинники [87]:

- цілі навчального пізнання;
- результати навчання;
- засоби і методи досягнення цих результатів.

Зміст фізики як навчального предмета окреслює програма, що охоплює детальний перелік основних розділів і тем. Виходячи з цілей і завдань навчання, викладачам і студентам пропонують методичні й організаційні вказівки, як вивчати предмет і якими засобами та методами користуватися при його вивченні. Зрозуміло, що реалізація цього має приводити до позитивних результатів. Водночас результати навчання констатують незасвоєння фізичних знань у студентів у бажаному обсязі. Отже, не все гаразд у цій системі і причини треба шукати як у засобах, так і в методах досягнення навчальних цілей.

## 2.1. Пошук нових шляхів навчання – важлива складова науки

Навчальний процес – це взаємопов’язана діяльність студентів і викладачів. У ній від кожного вимагають певних знань, умінь, навичок, майстерності і системного виконання своїх завдань. Така система, тобто методика навчання фізики, потрібна як студентові, так і викладачеві.

Методика навчання у вищих навчальних закладах поєднує два начала: наукове і навчальне [87]. Методика навчання фізики виходить зі змісту і методів фізики, з їх визначальних аналітичних і синтезувальних властивостей, і тому тісно пов’язана з конкретними та загальними науковими методами.

Науковий метод щодо методики навчання конкретного навчального предмета у вищій школі, як зазначено у праці [87], вимагає певної сходиноквої послідовності його вивчення і водночас розвитку мисленнєвої діяльності студентів, зокрема:

- пропедевтичного (попереднього) вивчення;
- формування закономірностей системи знань фізики, її основних понять, визначень, принципів і законів в основних зв’язках і відношеннях;
- логічно організованого алгоритмічного вивчення предмета на основі правил, уявлень, використання спеціальних засобів і методів;
- евристичного пошукового вивчення певних розділів предмета через самостійну роботу;
- проблемного розв’язування завдань і навчальних задач з елементами наукового пошуку, з використанням моделювання й гіпотетичних побудов.

### *Вимоги до діяльності студентів*

Студенти не тільки мають знати предмет, а й повинні уміти думати, знайти своє ставлення до творчого підходу до знання. Найціннішою змістовою особливістю навчання є орієнтування у складних ситуаціях, уміння

у прийнятті рішень, засвоєнні стилю мислення, перенесення знань у нові сфери.

Особливість методики має полягати у навчанні студентів методам самостійного пізнання і науково обґрунтованої дії. У навчанні основне не запам'ятовування знань, а їх глибоке розуміння. І не те ефективне, де подають вичерпні відомості про предмет, а те, коли навчають, як їх самостійно знаходити.

Для цього необхідно навчити студентів методів науки і пошуків шляхів їх використання, прищепити вміння самостійно знаходити потрібну інформацію і доповнювати свої знання, творчо здійснювати науковий пошук, навчити науково організовувати працю і систематизувати факти та явища.

#### *Вимоги до діяльності викладачів*

Водночас часто виникає уявлення про недостатнє розуміння діяльнісного підходу у навчанні з боку викладачів. Вони ніби забувають, що у непростому завданні розробки та реалізації сучасного навчального процесу вищу освіту треба сприймати не як стабільну, а як таку, що розвивається.

Діяльнісний підхід викладачів у навчанні не може обмежитися тільки встановленням деякого обсягу достатньо стабільних фундаментальних та інструментальних знань, необхідних для засвоєння відповідних навичок та вмінь. Завдання у тому, щоб якісно подати навчальний матеріал для засвоєння студентами. Важливо, щоб обсяг, рівень і глибина змісту фізики не вели до перевантаження. Нове має бути прогресивним. У той же час часто трапляється, що будь-яке нововведення вважають за прогресивне і “добре”, коли воно не призводить до перенасичення навчального процесу.

Отже, треба зосередити діяльність викладачів на розв'язання проблем, пов'язаних із удосконаленням навчання. Це насамперед охоплює оптимальне формування змісту навчання фізики, встановлюючи таким чином міцні зв'язки і взаємозв'язки між матеріалом різних розділів курсу фізики та різних форм занять.

Відповідно до цього треба враховувати, що методи науки тільки тоді стануть надбанням студентів, коли в організації експериментального курсу фізики в його методах і засобах ми продемонструємо своє уміння проводити науковий аналіз, використовуючи апарат і закони наукового пошуку. Тобто, коли ми покажемо наявність творчих винахідницьких навичок, уміння знаходити шляхи вдосконалення у своїй навчальній діяльності, пропонуватимемо цінні й корисні ідеї у навчальному процесі.

Очевидно, що завдання, яке стояло та стоїть перед викладачами вищої школи – удосконалення й модернізація елементів традиційної технології навчання фізики – залишається і надалі. Бо навчання, йдучи за розвитком науки, повинно постійно змінювати свої форми, ламати застарілі традиції, шукати нові методи.

У той же час зауважимо, що актуальність та важливість цього завдання не завжди просто усвідомлюється. Проте деякі видатні фізики спробували розв'язати його. Наприклад, для навчального процесу курсу фізики період, який започаткований ще у середині 1960-х років і тривав майже 20 років, можна вважати періодом важливих педагогічних експериментів – за навчальний процес “взялись” фізики, очолювані Нобелівським лауреатом Р. Фейнманом. Їх метою була розробка найефективнішої технології навчання фізики, котра б передавала молодому поколінню необхідну частку фізичних знань від накопиченого наукою за всю її історію. А для загалу фізиків важливо було усвідомити те, що пошуки нових шляхів у навчанні також є вагомою часткою науки.

У навчальному процесі вищих закладів освіти результати цих експериментів з'явилися у нових навчальних планах та програмах (кінець 1980-х років), які так і не були реалізовані в навчальній практиці. Для широкого загалу, крім виходу кількох якісних підручників із сучасної фізики (наприклад [88-92]), написаних видатними вченими, в навчальному процесі

мало що змінилося. До науково-методичного опрацювання цього доробку з метою впровадження у навчальний процес не дійшло.

### *Деякі проблеми у навчанні*

Надалі залишаються нерозв'язаними складні актуальні проблеми технології навчання, пов'язані зі змістом навчання фізики, методологією викладу і засвоєння результатів теоретичних і експериментальних надбань у фізиці.

Часто навчання фізики обмежується простим переосмисленням формул у процесі зіставлення їх з фактами із практики. Водночас зрозуміло, що навчання повинно проводитись як з погляду світоглядних завдань фізики, так і з погляду тих завдань, до розв'язання яких у підсумку і готується студент, тобто з погляду спеціаліста.

Надзвичайно актуальним у навчальному процесі фізики залишається зміст навчання і пов'язане з ним питання, за яким порядком його викладати. Не слід забувати, що "...викладати потрібно саме фізичну науку (або вступ до неї), а не комплекс фактів і знань" [93] та "...не можна викладати матеріал без урахування порядку питань, розміщуючи їх випадково, так, як спаде на думку, не переосмислюючи і методично не розкладаючи ту купу всього, що є в голові" [94].

Розміщення розділів у курсі фізики, послідовність викладу – питання завжди складне. Всі розділи фізики настільки пов'язані один з одним, що часто важко вирішити, що викладати спочатку, а що далі. Крім того важливо, яким чином ці фізичні взаємозв'язки представити в навчальному процесі?

Для фізики як системи наукових знань характерна досить логічна строгість і взаємне упорядкування компонентів, але при трансформації цієї наукової системи знань у навчальну багато зв'язків між елементами знань обриваються і сформувані їх у свідомості учнів при вивченні цього предмета дуже важко.

### *Принцип генералізації*

Щоб зрозуміти фізику, необхідно усвідомити зв'язки, які діють у ній і поза нею. Однак, не тільки надто важко охопити свідомістю усю мережу фізичних зв'язків та явищ і пізнати фізику водночас у всіх її зв'язках – часто нелегко зрозуміти одне фізичне явище. Бо для цього треба з'ясувати його місце та роль усередині тієї конкретної системи взаємодіючих явищ, у котрій воно відбувається, визначити ті особливості, завдяки яким це явище може відігравати певну роль у цілому [95].

Які взаємозв'язки треба усвідомити насамперед, щоб знання школярів (студентів) відображали характер сучасного фізичного знання?

Очевидно, що перевагу потрібно віддати тим зв'язкам, що становлять основу фізики. Тоді слід проводити навчальний процес так, щоб спочатку розглядалась тільки частина таких зв'язків. Подальше поетапне розширення та їх нарощування формуватиме фундамент знань та вестиме до конкретного знання. Це означає, що навчання треба будувати насамперед на основі принципу генералізації, який вимагає фіксувати в мінімальному обсязі знань такий зміст, який має велику пізнавальну ємність. У методиці навчання фізики генералізація пов'язується з відбором збільшених стрижнів знань, навколо яких концентрується весь навчальний матеріал [96]. Це сприяє удосконаленню логічної структури курсу фізики, активізації пізнавальної діяльності студентів, скороченню навчального матеріалу.

Відповідно до цього, важливим є те, як втілюється метод науки у процес підготовки студентів. Чи достатньо він відображений в експериментальному курсі фізики? Чи про нього тільки згадують у процесі вербального викладу матеріалу, а не демонструють наочно у практичному курсі?

Спрощений підхід до цього має істотні негативні наслідки, що спричиняють такий стан, коли ще часто студенти не усвідомлюють органічного взаємозв'язку між різними розділами самої фізики. Отже, не

відбувається формування знань у студентів, і це свідчить про нерозуміння ними сутності предмета пізнання.

Щоб вирішити поставлене завдання треба з'ясувати, як організувати формування цих знань у студентів. Зрозуміло, що це пов'язано з розв'язанням аналогічних завдань у середній школі. Тому ми використовуватимемо результати як вітчизняних, так і зарубіжних досліджень, що стосуються вищої і середньої школи [97-104].

## **2.2. Формування знань у студентів та школярів**

У праці [97] розглядають психолого-педагогічні та методичні основи формування фізичних знань в учнів середньої школи, розкривають закономірності пізнавального процесу у фізичній науці та навчанні фізики в школі. В основу викладу матеріалу покладена методична модель навчального пізнання, побудована на концепції особистісно-орієнтованого змісту фізичної освіти. Автор підкреслює, що методичні особливості формування фізичних знань учнів викликані специфічними рисами теоретичного й емпіричного мислення учнів під час вивчення шкільного курсу фізики.

Дидактичні та методичні основи активізації самостійної діяльності студентів як основи для формування знань студентів з фізики розглядались у праці [98].

Незадовільний рівень засвоєння учнями та студентами знань із фізики констатують у багатьох працях. У дослідженні [99, с. 17], що присвячене логічним і психолого-педагогічним основам формування понять у школярів, автори вважають, що "...найчастіше вчитель дотримується тієї послідовності, яка реалізована у підручнику або в навчальному посібнику", "...витрачається дуже багато часу на формування понять, але рівень їх засвоєння учнями не задовольняє вимог програми". Важливо, як зазначають у цій праці, що

аналогічні випадки з формуванням понять та їх засвоєнням спостерігали у студентів вищих навчальних закладів.

### *Формування знань через засвоєння окремих понять*

У той же час відомо, що "...будь-яка форма, вид навчання зводяться до вміння оперувати поняттями, уточнювати їх, і вміння знаходити між ними зв'язки і співвідношення. Окреме поняття – це тільки змістовий елемент, багато понять у системі зв'язків – сам зміст. Формування знань у систему починається з об'єднання понять. Закони, правила і принципи – виконують функції об'єднання понять у певну систему, що набуває пізнавального і практичного змісту. Виклад змісту навчальної дисципліни, її сприйняття і засвоєння, формування знань, контроль знань у студентів і вміння використовувати їх на практиці – все вимагає вміння оперувати відповідними поняттями. За тим, як студент оперує поняттями, визначає у них суттєві і несуттєві ознаки; як співвідносить їх між собою – окреслюється результат побудови і засвоєння знань" [99].

Якщо не усвідомлювати сутність фізичних понять, то виникає неузгодженість між реальним змістом понять і тими уявленнями, які створюються у студентів, що перешкоджає формуванню знань у системі.

Отже, для формування знань студентів необхідно вдосконалювати механізми засвоєння і дидактичні умови формування окремого поняття (системи понять) як об'єкта, що підпорядковується цілісному засвоєнню. Це завдання дидактико-психологічних і методичних досліджень [99].

### *Формування знань через цілісне засвоєння наукового об'єкта*

Дещо інше бачення навчальних проблем і підходів до їх розв'язання наведено у праці [100]. Автори пов'язують їх із браком розуміння зв'язків між елементами теоретичного знання та необхідністю цілісного засвоєння наукових об'єктів. Цікаво, що ще у 1948 р. академік Г. Ландсберг констатував в учнів брак розуміння між елементами теоретичних знань: "У викладачів складається сумне переконання, що знання з фізики, з якими приходять учні із середньої школи, є



на повністю незадовільному рівні. Нас турбує не стільки недостатність фактів і теоретичних уявлень, що є у розпорядженні учнів, скільки брак ясного і правильного судження про їх співвідношення...”

Через 30 років на вступних іспитах у престижних вищих закладах освіти (Московському та Ленінградському університетах) екзаменатори зауважували ті самі зафіксовані раніше помилки: із відповідей школярів випливає, що багато з них вважає фізику простою сукупністю чи набором дослідних фактів і погано собі уявляють, що покладено в основу визначення, яке випливає з дослідних фактів і які отримують шляхом індукції чи дедукції [100]. Подальше навчання мало змінює ситуацію. У студентів при наявності фактичних знань і вмінь, потрібних для розв’язку завдань, немає розуміння співвідношень між елементами теоретичного знання (наукове поняття, закон, науковий факт, теорія). А причина в тому, що в учнів не формуються системні знання, тому що у зміст освіти з фізики не внесені явні знання про природу, способи фіксації і будова знань, тобто знання про знання. Тому ознайомлення учнів із знаннями про знання є необхідною умовою формування системності знань. Крім цього, представляючи цю систему як систему понять, не можна забувати про такі важливі чинники.

По-перше, система наукових знань ніколи не зводиться до понять. Крім наукових понять, які становлять фундамент будь-якої наукової системи, вона охоплює також закони, наукові факти.

По-друге, будь-яке наукове поняття конкретно визначене тільки всередині теоретичної системи, тому адекватне засвоєння окремого поняття передбачає одночасне засвоєння всіх суміжних з ним понять та інших елементів.

По-третє, зв’язки між поняттями, що входять у комплекс, не розкриваються самі собою: перехід від “множини” до “системи” зумовлює спеціальну роботу для з’ясування цих зв’язків і відношень.

Отже, як вважають у праці [100], тільки цілісне засвоєння деякого наукового об'єкта, здатне сприяти студентам (учням) як в усвідомленні функцій усіх його частин з їх зв'язками, так і в їх дальшій самостійній праці, та призведе до формування знань у студентів. Як цілісний об'єкт, що підлягає засвоєнню, треба вибрати не окреме наукове поняття і навіть не систему наукових понять, що штучно взята зі сфери живого функціонування, а саме те мінімальне ціле, в якому ці поняття (та інші елементи знань) живуть і діють. Таким елементом є наукова теорія.

Крім цього, важливою умовою формування системності знань є навчання учнів вміння конструювати системне оповідання, тобто таке, що передає цілісність теорії як об'єкта загалом.

#### *Методологічні аспекти фізичних знань*

Фізика у середній і вищій школах загалом подана як система предметних знань. Однак, фізика охоплює і процес здобування знань. Тому автор праці [96] вважає, що методологічні аспекти фізичних знань повинні розкриватись так само, як фактологічні (предметні).

Методологічні знання у курсі фізики – це узагальнені знання про методи і структуру фізичної науки, основні закономірності її функціонування і розвитку. Ці знання повинні бути всередині сучасного курсу фізики.

У праці [96] акцентують увагу на виховних та освітніх функціях методології науки, що найбільше відповідають основним завданням навчання фізики у середній школі. Це світоглядна, гуманітарна і виховна функції. Зміст навчального матеріалу методологічного характеру об'єднано в низку компонентів:

- 1) науковий експеримент і методи наукового пізнання;
- 2) фізична теорія і методи теоретичного пізнання;
- 3) стрижневі методологічні ідеї фізичної науки;
- 4) основні закономірності розвитку фізики.

Вважають, що методологічні аспекти фізичних знань учні можуть засвоїти лише шляхом ознайомлення з історією розвитку основних фізичних понять і теорій. Отже, історичні відомості – це засіб для формування в учнів методологічних знань.

З цим не можна не погодитись, але обмежуватись і надалі тільки словесним викладом наукового експерименту також не можна. Треба шукати інші шляхи.

Один з них запропонували в Массачусетському технологічному інституті, де створено лабораторний курс-практикум із відтворення важливих для історії фізики дослідів [101]. Прилади та обладнання створювали згідно з оригінальними описами. Перед лабораторією ставились завдання – показати студентам шляхи, що привели до відкриття основних фізичних законів і продемонструвати їм майстерність в експериментуванні на різних етапах розвитку фізики.

Очевидно, і нам потрібно наслідувати дещо з цього.

*Навчальні проблеми – невід’ємний компонент будь-якої технології навчання*

Подібні навчальні проблеми виникають і у США. Традиційним і повчальним є те, що, здавалось, чергові зусилля у зміні курсу фізики як середньої, так і вищої школи, має ліквідувати всі негаразди. Але навчальні проблеми залишаються і досі. Для прикладу зупинимося на декількох працях [102, 103, 105, 106], які допоможуть нам розглянути навчальні проблеми як у деякому часовому проміжку, так і в аспекті взаємозв’язку проблем середньої та вищої шкіл.

Як зазначено у праці [102, 103], у середній школі Сполучених Штатів навчальний матеріал викладали догматично. Його неможливо було зрозуміти, а лише запам’ятати. Це вело до завантаження пам’яті учнів погано пов’язаними один з одним термінами і фактами. Тому зміни у змісті і методиці навчання фізики у США були спрямовані на підвищення рівня освіти і розвитку творчих здібностей учнів. Для забезпечення цього потрібна

розробка відповідних навчальних підходів. На їх формування вплинули зрушення у розвитку психології творчості, які досягнули завдяки факторному аналізу. З його погляду здібності розглядаються як інтелектуальні навички, а відповідні вправи повинні сприяти розвитку цих здібностей.

Першочерговим завданням курсу був чіткий відбір обмеженої кількості важливих фактів та об'єднання їх стрижневою ідеєю, що є основою у розумінні основ сучасної фізики [102, 104].

Цікавою є форма подання нового матеріалу, пов'язана з розширенням і зміною теоретичних концепцій. Цей матеріал дається не просто як доповнення, а як результат зіткнення нових явищ, нових фактів зі старою теорією.

Методичні вказівки до цього курсу покликані об'єднати окремі теми і розділи курсу в єдине ціле; представити деякі ідеї учителю на більш високому науковому рівні; узгодити використання усіх частин курсу; забезпечити докладною інформацією про проведення лабораторних робіт, використання обладнання. Учитель повинен не тільки дати уявлення про сучасну науку, а й показати розвиток науки та її використання на практиці.

Чим, здавалось б, не “ідеальний” курс фізики?

Однак, і через 20 років автори багатьох досліджень, з аналізу навчального процесу курсу загальної фізики у закладах освіти США, наприклад [95, 96], констатують, що і у даний час методика навчання не спроможна досягти мети, до якої ведуть студентів. Очевидно, що такою ж непридатною виявилася методика, про яку зазначено у праці [105]. Студенти після вступних курсів не у змозі якісно міркувати про фізичні процеси. Вони користуються примітивними методами розв'язування задач, що ґрунтуються на формулах. Їхня пам'ять містить невелику кількість довільно введених фактів і рівнянь. В їхній уяві проблеми з фізики мають вигляд пружин, нахилених площин, канатів, тоді як досвідчені фізики розглядають ці проблеми як основні фізичні поняття.

І знову виникає запитання: які зміни у методиці навчання треба зробити, щоб виправити ці недоліки?

У працях [105, 106] вважають, що до формування системи фізичних знань студент повинен підходити так, як це робить учений-фізик, тобто думати так, як думає фізик. Тому:

1. Студенти повинні конструювати систему фізичних знань. На перше місце треба ставити розвиток якісних їхніх уявлень про фізичні процеси. Спочатку задачі необхідно розв'язувати на якісному рівні (на основі їх якісного осмислення), потім конструювати математичне подання.

2. Студентові потрібно надати багато вигідних можливостей для самостійної праці. Він не повинен бути пасивним глядачем демонстрації вмінь викладача.

3. Лекційний курс слід створити так, щоб студент міг проаналізувати свої розуміння, порівняти їх з науковими.

4. Студент повинен активно брати участь у побудові концепцій і всієї системи знань та використовувати ці знання для розв'язку завдань.

Однак це не все. До цього треба додати, що активну роль у процесі формування понять у студентів та учнів треба відводити фізичному навчальному експерименту.

Перейдемо до висвітлення ролі фізичного експерименту у процесі формування знань фізики. Почнемо з демонстраційного експерименту.

#### *Роль фізичного експерименту у процесі формування знань*

У навчанні фізики традиційно цілі досягають здебільшого під час лекційних, практичних та лабораторних занять.

У лекційному курсі та у процесі розв'язування задач з фізики кожний викладач вищої школи проводить заняття зі студентами на основі наукових і навчальних завдань, виходячи зі своїх суб'єктивних особливостей, зокрема знань, індивідуальної майстерності, створюючи певну систему навчання, одне слово, свою технологію навчання. Він завжди може вносити в цю технологію

доречні і повсякчасні корективи. На вибір змісту і методики навчання впливає ерудиція та педагогічний хист викладача. (Хоча виникає враження, що цим правом рідко хто бажає скористатися, бо традиційна методика проведення практичних занять (розв'язування певної кількості задач із кількох типових підручників, котрі донедавна перевидавались майже кожного року) – застаріла і вимагає значних доповнень.)

Ми не будемо акцентувати на всіх позитивних якостях лекційної форми навчання у процесі формування знань, а зупинимось на декількох застереженнях щодо неї, висловлених студентом [106] та видатним педагогом [107], і побажаннях науковця [108]. Вони стосуються набуття знань під час пояснювальних лекцій:

– Студент: “...лекції з фізики можуть бути дуже неефективними для студентів, особливо небезпечними для тих, хто вірить, що якщо вони можуть стежити за думкою викладача, то вони оволоділи матеріалом” [106];

“Якщо навіть припустити, що учень зрозуміє думку, пояснену йому вчителем, то і в такому разі думка ця ніколи не вляжеться в голові його так міцно і свідомо, ніколи не стане такою повною власністю учня, як тоді, коли він сам її виробить” [107];

Водночас, “...у методичному змісті демонстрації роблять будь-яке явище зрозумілішим для слухачів, ніж це дав би словесний опис, і сприяють легшому засвоєнню і запам'ятовуванню фактів”, зауважують у праці [108].

Тому лекції з курсу фізики не повинні обмежуватися словесним викладом. Важливим їх компонентом є експеримент. Вивчення явищ призводить до пізнання дійсного змісту об'єкта. Бо як зазначено у праці [109], всі фізичні знання про світ людина отримує через спостереження та аналіз фізичних явищ. Студент повинен спостерігати та аналізувати фізичне явище, таким чином отримуючи фізичне знання.

У мисленні, в людській свідомості, явище представлено поняттям. Завдання лекційного експерименту – подати фізичне явище, процес так, щоб виділити їх суть, послабити вплив побічних чинників.

“Потрібно намагатися показати фізичне явище так, щоб воно не було відірване від життя. Це допоможе учневі зробити очевидним зв’язок між теорією і практикою ще на шкільній лаві і буде сприяти знищенню найбільшої хвороби нашого навчання – її абстрактності, коли знання існує само собою, а життя йде само по собі” [108].

Лекційний експеримент виступає як засіб, який допомагає привести студента найкоротшим шляхом до розуміння сутності фізичних явищ, виявлення закономірностей їх плинності. При цьому відзначимо важливу обставину, що добре підібрані демонстрації посилюють зацікавлення слухачів, діючи не тільки на їх розумовий, а й також на їх емоційний бік, на їх уяву.

Створюючи наочні образи і пізнавальні зацікавлення, експеримент активізуватиме стійкі форми уваги, сприятиме формуванню понять.

“...у курсі загальної фізики демонстрація не є доповненням до словесного викладу курсу, а представляє його невід’ємну органічну складову частину. Ці демонстрації не можна вважати тільки формою, а і значною частиною змісту експериментального курсу” [93].

У педагогічному вузі лекційний експеримент повинен виступати як зразок проведення демонстрацій у школі.

Демонстраційний експеримент є однією із складових навчального експерименту. Його іншу складову становить лабораторний навчальний експеримент.

Навчальний експеримент не тотожний науковому, але має багато спільних із ним рис. Широке його використання у шкільному викладанні сприяє формуванню в учнів правильного розуміння наукового експерименту.

Важливо, що “...чітке розуміння експериментального характеру фізичних законів має дуже важливе значення: робить з фізики науку про природу, а не систему світоглядних побудов” [93]. “Звуження” шкільного фізичного експерименту може призвести до зниження ідейного рівня курсу, до неправильного розуміння школярами механізму розвитку науки і ролі експерименту в науковому пізнанні [96].

Отже, одним із важливих методів навчання фізики, що сприяє формуванню наукових понять у студентів (учнів), є фізичний експеримент. Це джерело фактів, знань студентів про явища світу. Його методика навчання повинна забезпечувати студентам усвідомлення як важливості фізичних знань, так і їх активне засвоєння.

Тому зрозуміло, що відповідне поєднання у викладанні наочних і абстрактних компонентів навчання повинно сприяти повнішому формуванню наукових понять. Але, виявилось, що реалізувати це – непросто. Розв’язання насамперед залежить від того, чи ми маємо достатньо засобів наочності для реалізації як лекційного курсу фізики, так і лабораторного практикуму, в якому форми викладання визначаються загалом змістом та засобами практикуму.

Таким чином, розв’язувати навчальні проблеми з курсу фізики – означає розв’язувати проблеми, пов’язані з наочністю викладу навчального матеріалу.

Відповідно до сказаного важливо дослідити, чи традиційний лабораторний практикум з курсу загальної фізики відповідає вимогам сучасності та сприяє аналізуванню активної діяльності студентів і започатковує розвиток творчих, дослідницьких здібностей у майбутніх спеціалістів.



### 2.3. Традиційний навчальний лабораторний експеримент у контексті сучасності

#### *Лабораторний практикум та деякі його недоліки*

Фізичний лабораторний практикум у вищих навчальних закладах є логічним продовженням шкільного фізичного практикуму. Очевидно, що без врахування цього взаємозв'язку навчальні проблеми з фізики вищій школі вирішити неможливо. Щодо практикуму в цій школі актуальним теж залишається завдання "...зміцнення навчально-матеріальної бази шкіл, оснащення їх сучасним обладнанням і технічними засобами навчання" [108]. Тому потрібно "...створювати нове і модернізувати обладнання, що випускається промисловістю, розробляти методикау його використання у педагогічному процесі шкіл з метою подальшого підвищення рівня навчання і виховання учнів" [110].

Функції практикуму багатопланові: він – і пов'язаний з теоретичним курсом, і має самостійні завдання. Найбільш розповсюдженим його завданням є формування лабораторного дослідження для поглиблення і закріплення теоретичних знань, здобутих на лекціях, перевірка експериментальним шляхом науково-теоретичних положень, ознайомлення з обладнанням, приладами і матеріалами, вивчення на практиці методів наукових досліджень.

Тут впадає в очі певна архаїчність лабораторного курсу фізики, зокрема, засобів лабораторного практикуму та методик виконання робіт. Згадувані педагогічні дослідження 1960-х років його обминули та й сьогодні мало зачіпають. Хоч в останні роки у цій сфері відбуваються деякі позитивні зміни, все ж типовий, базовий демонстраційний експеримент та лабораторний практикум ще дотепер залишаються незмінними.

Очевидно, через це зростає роль вербального методу вивчення фізики, що часто сприяє надмірній теоретизації курсу фізики і призводить до того, щоб експериментові відводити лише ілюстративну роль.

Основу навчального лабораторного практикуму з курсу загальної фізики становить постійний набір дослідів, значна частина яких пов'язана з фізикою XIX століття. Їх сутність загалом охоплює дослідження конкретного фізичного явища чи вимірювання конкретної фізичної величини. Така вузька тематика нагадує лабораторні дослідження загальноінженерних дисциплін і, хоч є доволі інформативна, проте не розкриває специфіку фізики, її фундаментальність та єдність понять і принципів.

Із наведеного нами випливає, що модернізація установок таких навчальних досліджень, навіть із врахуванням сучасних ергономічних вимог, не може поліпшити дещо застарілу їх суть та призвести до зростання наочності та науковості.

Багато важливих тем, зокрема, основа розуміння фізики, ще зовсім не відображені в навчальному практикумі. Серед них – неінерційність систем відліку, що пов'язані з Землею, квантово-механічні властивості світла, зв'язок законів магнетизму з рівняннями електростатики і спеціальної теорії відносності та інші.

Здавалося б, що запитання про те, чи ми все зробили для формування у студентів опорних знань фізичної картини світу не може бути доречним, бо очевидно, що без опорних знань, котрі стосуються електромагнетизму, спеціальної теорії відносності, елементів квантової механіки та атомної фізики усвідомити та засвоїти фізику неможливо. Вони є опорними знаннями для відповідної фізичної картини світу. Отже, ціль засвоїти їх повинна бути визначальною як у шкільному, так і у курсі загальної фізики вищої школи.

У той же час виявляється, що їх експериментальному висвітленню в навчальному процесі курсу фізики приділяється недостатньо уваги. Часто складається враження, що всю фізику хочуть засвоїти, не заглиблюючись та не

усвідомлюючи результатів та висновків, що витікають з фундаментальних фізичних принципів та законів.

Що ж тоді залишиться від світоглядної ролі фізики?

Набір певних формул, законів, без усвідомлення належного взаємозв'язку між ними не може замінити повноцінні знання. І як результат – маємо нерозуміння студентом фізики та її ролі у сучасній освіті.

Тому вважаємо, що такі важливі компоненти знань фізики, як опорні знання, вимагають ширшого представлення у навчальному процесі.

Немає навчальних лабораторних досліджень, в яких акцентувалося би на єдності фізики.

Ще часто при побудові предмета навчального лабораторного дослідження припускаються серйозної методологічної помилки, яка призводить до того, що в розумінні студентів сутність досліджень обмежується тільки спробою визначити якусь величину.

У той же час, як зазначено у праці [109], у методичній літературі експериментальними роботами вважають ті, змістом яких є безпосереднє вимірювання величини, складання приладів із готових деталей. Це є помилкою, бо насправді експерименту або досліду як такого у наведених працях немає.

Ціль таких робіт – формування у студентів та учнів навиків практичного характеру. Виконання робіт цього типу сприяє підготовці їх до виконання експериментальних робіт, що вимагає не тільки практичних умінь, а й активної розумової діяльності, вищого рівня мислення порівняно з практичними роботами.

Основна ознака експериментальних робіт – наявність у них елемента дослідження, їх зміст – відтворення явищ у штучно створених умовах, вивчення його залежності від інших явищ, спостереження і вимірювання величин, що характеризують дане явище.

Очевидно, тому “...потрібна переорієнтація методики і техніки фізичного експерименту від, в основному, пояснювально-ілюстративного до експериментально-пошукового і проблемно-пошукового напрямів”, – вважають у праці [111].

Крім того, треба навчити студента розв’язувати дослідне завдання у вигляді опису фізичного процесу. Вивчення дрібних, несуттєвих деталей не повинно здійснюватися тоді, коли студентові важко зрозуміти основні фізичні поняття [95, 96]. Очевидно, що реалізувати таке неможливо без упровадження особистісно-орієнтованого підходу до навчання.

### *Технічний прогрес, дидактика фізики та комп’ютер*

Технічний прогрес ще не зовсім ефективно відображається у дидактиці фізики. Хоч, без сумніву, він має серйозні дидактичні наслідки, котрі повинні виявитися у цій науці, бо не тільки продукти навчання – кваліфіковані спеціалісти – повинні впливати на науково-технічний прогрес, а й він повинен впливати на навчальний процес.

Останнє досягнення науково-технічного прогресу – комп’ютер, програмне забезпечення якого передбачає кардинальні зміни як у засобах навчального експерименту, так і у процесі його проведення. Це не лише комп’ютеризація лабораторного практикуму, яку ще часто розуміють як використання комп’ютера переважно для підрахункових функцій, а й можливість автоматизувати процес вимірювання (комп’ютери керуватимуть експериментами) та створити педагогічні програмні продукти навчання, що призведе до активізації навчання.

Для реалізації певних завдань сучасний навчальний процес у загальній фізиці вимагає складних технічних засобів. Інколи розробка та постановка фізичних досліджень з допомогою таких засобів навчання не має логічної завершеності у поєднанні з педагогічним осмисленням проведення експерименту на заняттях. Часто за складністю і браком простоти та наочності експерименту губиться фізична суть досліджуваного явища.

У наукових дослідженнях останніх років часто проблема вдосконалення навчального процесу пов'язувалась із удосконаленням експериментального курсу з фізики.

### *Організація навчального процесу та діяльність студентів*

У традиційно організованому навчальному процесі курсу загальної фізики лекція, лабораторне та практичне заняття виступають як окремі самостійні компоненти навчального процесу, тематично не пов'язані або роз'єднані часом. Не розглядається процес навчання в єдності його змістових і процесуальних сторін, тобто не виконується сама логіка процесу навчання, його важливих дидактичних закономірностей.

Брак органічного взаємозв'язку між ними може призвести до абстрагування фізичних знань, що значно ускладнить розуміння єдності фізики та її взаємозв'язків. Це особливо актуально при вивченні складних світоглядних тем – основ формування фізичного стилю у мисленні студентів.

Часто вважають, що організація діяльності студентів на лабораторному занятті не забезпечує самостійного аналізу і вибору ними оптимального шляху досліджень, бо проведення практикуму наперед забезпечується всіма складовими. Але, чи можна буде вважати доцільною методику проведення лабораторних робіт студентом-першокурсником без їх описів, що містять усю необхідну для їх виконання інформацію (мету роботи, схему приладу або установки, методичні вказівки з проведення конкретного експерименту, оформлення звіту)? Зрозуміло, що ні. Було б дуже добре, щоб у традиційній організації навчання студенти могли сприйняти і відтворити хоча б зовнішній, практичний бік лабораторної роботи.

У той же час у навчальному процесі ще мало лабораторних досліджень, важливість та актуальність яких дала змогу б представляти їх науковими дослідженнями, в методичному описі яких ненав'язливо виділявся би дослідницький творчий бік роботи, необхідні предметно-специфічні знання. Студент міг би вибирати потрібні для його виконання методи дослідження.

Йому б підказувалось, як визначається об'єкт і предмет дослідження, акцентувалось на можливих проблемах і пізнавальних завданнях та відповідно підводилось до складання плану проведення наукового досліду [112].

Зважаючи на сказане, вдосконалення курсу загальної фізики вимагає насамперед нової структуризації навчального матеріалу, нових форм і засобів його подання та нових форм організації занять. Відповідно до цього слід розробляти та створювати нові технології навчання.

Зазначимо, що це довготривалий процес і, безумовно, є багато шляхів його реалізації. Але, у будь-якому разі це процес, який не може бути достатнім без удосконалення експериментального курсу фізики. Тут доцільна розробка нових навчальних підходів, в яких ці компоненти були б подані по-новому, у нових взаємозв'язку відповідною технологією навчання.

Отже, потрібна розробка, постановка та реалізація у навчальному процесі нових експериментальних світоглядних навчальних досліджень, які б стали переходом від словесної констатації єдності фізики як незаперечного факту до практичних дій з реалізації цієї єдності в навчальному процесі курсу фізики. Тому зміст досліджень може торкатися матеріалу тільки однієї вузької теми, а бажано низки тем різних розділів фізики. Наочне висвітлення матеріалу та самостійне виконання студентом таких навчальних досліджень, сприятиме йому в розумінні і засвоєнню базових основ фізики.

Але, на нашу думку, насамперед вимагає вдосконалення вступне заняття до лабораторного практикуму. Зупинимось на цьому детальніше.

Навчальний курс загальної фізики у вищих навчальних закладах починається вступною лекцією. На ній яскраво та емоційно прагнуть показати всю велич фізики, її значущість як для навчального процесу, так і для науково-технічного прогресу. А далі починається навчання – складне, буденне, часто сіре, з його споконвічними проблемами. І зразу ж впадає у вічі дисонанс між вступною лекцією та першим лабораторним заняттям.

Перше лабораторне заняття зазвичай присвячують темі “Похибки. Елементарні оцінки похибок вимірювання”. Важлива та актуальна вона не тільки для курсу експериментальної фізики, але і для всього навчального процесу технічного вищого навчального закладу освіти. До цієї тематики у подальшому ще не раз повертаються у курсах спеціальних дисциплін. Але перше заняття з фізики, його вигляд на фоні інших дисциплін та враження від нього може багато дати у вивченні фізики загалом.

Вступна лекція та вступне лабораторне заняття повинні відповідати одне одному. І на лабораторному занятті велич, сучасність, оригінальність фізики має проявитися як у засобах, так і у методиці реалізації завдань теми. Іншого шляху для переконання студентів у значущості фізики немає.

Але розробку і постановку таких завдань ускладнює брак сучасних, узгоджених з комп'ютером експериментальних установок багатoproфільного плану, котрі б сприяли як при висвітленні навчального матеріалу у проблемному викладі, так і у створенні відповідних педагогічних програмних продуктів.

З наведеного короткого аналізу основних рис стану вузівського навчального практикуму можна констатувати, що проблема формування у студентів фізичного стилю мислення – у недоліках його технології навчання. Як результат її реалізації часто трапляється, що студент починає розглядати фізику як велику кількість розділів з багатьма складними деталями, що мають малу пізнавальну вартість. А це веде до порушення методологічного принципу єдності фізичних знань, що надалі унеможлиблює міжпредметні зв'язки як із загальноосвітніми, так і зі спеціальними дисциплінами. Така технологія не започаткуватиме формування у студентів таких професійних знань і вмінь, які надалі забезпечать самостійність у виборі методів і засобів дослідження – якостей, які необхідні сучасному спеціалістові.

Отже, труднощі у професійній діяльності молодих спеціалістів, що виникають при проведенні наукових дослідів чи розв'язанні конкретних

виробничих завдань, треба пов'язувати з прогалинами у побудові навчальних лабораторних досліджень.

## 2.4. Розробка експерименту – плюси та мінуси

### *Загальні відомості*

Питання, пов'язані з оновленням та розробкою лабораторного та демонстраційного експерименту, піднімалися у низці праць, наприклад [113-121].

У праці [113] підкреслюють його специфіку як дидактичного методу, який є не тільки відображенням науково-дослідного фізичного експерименту, а й активним засобом передавання інформації, розвитку пізнавальних зацікавлень, формуванням політехнічних знань і вмінь.

Та стверджують, що питання, пов'язані з науковою розробкою теорії основ використання фізичного експерименту в навчальному процесі, актуальні для вищих навчальних закладів, особливо педагогічних, де постановка фізичного експерименту повинна мати яскраво виражену політехнічну спрямованість. Завжди залишаються непересічними його загальноосвітня, виховна і розвивальна функції.

Автори праць [111, 114-117] працюють над удосконаленням та створенням нових засобів навчання фізичного експерименту, створенням нових інформаційних технологій навчання. Це повинно поліпшити як вузівський, так і шкільний курс фізики. Деякі розробки вже знайшли місце в навчальному процесі, підкреслюють вони.

У праці [118] зроблено цікаву спробу створити оригінальний лабораторний практикум, що відповідав би духові сучасних фізичних досліджень (на основі сучасних експериментальних методів спостереження та вимірювання). У ній свідомо обмежено тематику навчальних досліджень, бо "...спроба охопити більше коло явищ і експериментальних методів призвела



би до того, що лабораторний курс став би надто поверхневим”. Для дослідника не достатньо працювати в лабораторії три години на тиждень. Тому студент-першокурсник може зрозуміти матеріал під час експерименту тільки в разі, коли тема не надто широка та охоплює тільки один клас фізичних явищ. Причина, що спонукала автора вибрати електронні методи дослідження, полягала в їх зростаючій ролі не тільки у фізиці, а в хімії та біології. У цій же праці зазначено, що осцилограф – це серце лабораторії. Автор вважає, що значну частину теоретичних питань можна пояснити з допомогою аналогій і що такий метод навчання краще всього підходить для лабораторного курсу. Тому даний лабораторний практикум відрізняється від інших, створених під впливом історично складених традиційних методів проведення досліджень.

У праці [119] вказують, що використання нових наочних засобів навчання (приладу на повітряній подушці та фото- та кінодокументів) дасть змогу змінити сформовані в учнів життєві уявлення про рух і розширить можливості експерименту, роблячи наочними процеси, недоступні безпосередньому спостереженню та допомагаючи здійснити тісніший зв’язок між теорією та експериментом у процесі вивчення фізики.

У праці [120] підкреслюють доцільність тісного взаємозв’язку виконання учнями натурних лабораторних навчальних дослідів з модельними комп’ютерними експериментами. Бо робота тільки з віртуальною лабораторною установкою є неефективною. Такий підхід до виконання віртуальних лабораторних експериментів є методологічно помилковим і через це недопустимим. Ніяких експериментів у віртуальному середовищі бути не може. У такому середовищі немає головного – реального (матеріального) об’єкта дослідження.

До кінця 80-х років ХХ ст. обладнання для лабораторних робіт й лекційних демонстрацій та інші засоби навчання поновлювалось централізовано. Його розробляли та створювали підприємства “Союзвузприладу” у СРСР та відповідні фірми країн соціалістичної

співдружності, зокрема, у Польській Республіці та Німецькій Демократичній Республіці. В Україні, в м. Рівному було гігантське підприємство “Союзвузприлад” цього профілю. Яке на початку 1990-х років почало випускати деякі зразки обладнання для лабораторного практикуму з фізики. На жаль, економічна криза торкнулась і його. Воно припинило працювати.

Тепер відкриваються нові підприємства цього профілю, що виготовляють традиційні засоби для шкільного курсу фізики. За кордоном, зокрема в Росії, в останні роки пошавилась робота в цьому напрямі. Проводяться навчально-методичні конференції країн Співдружності, присвячені проблемам практикуму (“Современный физический практикум”) та багато уваги цьому питанню приділяє журнал “Физическое образование у вузах” Виробляє продукцію наукове-виробниче об’єднання “Росучприбор” [119]. Науково-технічний центр “Владис” запропонував базовий природничий практикум, складовою якого є традиційний набір досліджень з фізики у сучасному технічному виконанні [121]. Ведуться роботи з удосконалення методики виконання лабораторних робіт на заняттях [122-124]. Але нових ідей, підходів для покращення тематики лабораторних досліджень вони не пропонують. У такому ж традиційному руслі здійснюється експериментальний курс фізики та вдосконалюється його технічне оснащення у навчальних закладах Європи.

В контексті поданого, зауважимо, що в останні роки в Україні почала функціонувати Міжвідомча рада з наукового приладобудування при Президії НАН України, яка теж опікується навчальним приладобудуванням. Вона розробила та ініціювала Державну наукову-технічну програму “Науково-навчальне приладобудування”, започаткувала створення відповідних приладів нового покоління. Але низький рівень держзамовлення та недостатній обсяг оборотніх коштів підприємств, що виробляють прилади, призводять фактично до згорання вітчизняного виробництва [125].

І далі викликає особливе занепокоєння ситуація з модернізацією і оновленням матеріально-технічної бази загальноосвітніх, професійних та інших навчальних закладів.

### *Деякі зауваження*

Тимчасом, аналізуючи деякі з досліджень, що опубліковані в науково-методичній літературі, часто виникає враження, що автори не опираються на конкретні цілі і завдання навчання. За загальними фразами не видно чітко окресленого їхнього доробку. Ще часто відбувається перефразування важливості та актуальності шкільного фізичного експерименту, забуваючи, що у розробці засобів навчання треба відштовхуватись від мети навчання. Хоча зрозуміло, що використання засобів навчання не повинно обмежуватися лише реалізацією цих наперед визначених цілей і завдань. Справа методистів та педагогів – дослідити, чи мають ці засоби навчання цінність для досягнення інших навчальних цілей.

Автор праці [126] зазначає, що в освіті “...є ще велика кількість невирішених проблем, пов’язаних з розробкою методики застосування нових інформаційних технологій навчання щодо вивчення статистичних закономірностей фізичних процесів...” та “...що найбільш перспективним шляхом застосування комп’ютерів для вивчення фізики є створення проблемних ситуацій, коли студент чи учень не лише змінює параметри готової модельної програми, а бере участь в її створенні та модифікації”. “Як засіб інтенсифікації ми вбачаємо у створенні комп’ютерного практикуму”. Для прикладу наводяться принципи створення та реалізації таких моделей: моделі імпульсного лазера, проходження частинок (нейтронів) і, чомусь забувають назвати цю “...низку комп’ютерних лабораторних робіт”.

У праці [127] запропоновано аж “...вісім лабораторних робіт” і чомусь без назв. Не названо так само запропонований ними новий фізичний експеримент “...з використанням обчислювальної техніки та її програмного забезпечення”.

Аналогічне зауваження щодо назви робіт стосується і праці [128], в якій ідеться про розв'язування дослідних задач фізики з застосуванням нових інформаційних технологій. Видається сумнівним, "...що тільки у зв'язку з обмеженістю матеріальної бази і браком шкільних взірців низки фундаментальних експериментів, вивчення яких передбачено навчальною програмою, неможливо поставити в умовах школи деякі демонстрації з фізики".

У праці [129] автор вважає, що вивчення фундаментальних дослідів (наприклад, дослід Е. Резерфорда, ефект А. Комптона) пропонується без урахування специфіки пізнання фізичних процесів і явищ, відомої тепер як принцип циклічності. Також не можна погодитись із висновками автора щодо трактування мисленого експерименту.

#### *Відомі рекомендації*

Автори наведених праць, очевидно, не враховують застережень, про які наголошували в низці праць [109, 130, 131]. Зупинимось на них.

*Перше.* При вивченні фізики все більшого значення набувають дослідження імітувальних моделей різних процесів і явищ, що здійснюються з допомогою найсучаснішої електронної техніки. Але залишається сумнівним ефективність використання таких доробок як для підвищення кваліфікації, так і для скорочення терміну навчання, підкреслюють у праці [109]. Поки що оцінювання таких робіт ґрунтується загалом на думці авторів, а тут є значні можливості суб'єктивізму. Так що в багатьох випадках результат використання такої навчальної технології є сумнівним. Їх використання може призвести до негативних результатів.

Як зазначено у праці [109], основна ознака експериментальних робіт, – це наявність елемента дослідження, їх зміст – відтворення явищ у штучно створених умовах, вивчення їх залежності від інших явищ, спостереження і вимірювання величин, котрі характеризують дане явище. Бо, зрозуміло, що вивчення властивостей тіл, предметів, явищ здійснюється через вивчення

явищ (змін, які відбуваються з тілами при певних умовах). Так, коли ми ставимо завдання вивчити властивості тіл, ми його за суттю зводимо до вивчення явищ, в яких ці властивості відображаються.

*Друге.* Подібні до попереднього висловлювання наведені у праці [131]. Автор стверджує, що часто в методичній літературі пропонують різноманітні “нові” експерименти, які стають можливими внаслідок підвищення чутливості вже наявного і нового навчального обладнання, проникнення у навчальний процес уже нових вимірювальних приладів, елементів сучасної електроніки і створення на їх основі приладів високої чутливості, нових матеріалів тощо. Але, якщо йти цим шляхом, то навчальний процес із фізики буде захарачений різноплановими експериментами, неважливими, штучно вплетеними в навчальний процес, а тому рідко використовуваними, логічно непов’язаними один з одним. Тому з маси пропонованих навчальних експериментів слід ретельно відбирати ті, що після певного дидактичного розроблення нададуть змогу ґрунтовно пояснювати їх учням, постановці важливих для навчального процесу питань, відповідь на які має бути пронизана теоретичними міркуваннями на основі раніше засвоєного учнями матеріалу, які є носіями важливих для вивчення фізичних закономірностей і створюють підстави для нових фізичних експериментів.

*Третє.* Питання з теорії створення засобів навчання і використання їх у загальноосвітній школі піднімалося у праці [110]. Ми вважаємо, що вони не втратили актуальності досі та актуальні і для вищої школи. Дидактичні принципи, які вони рекомендують повинен враховувати кожен, хто модернізує, чи розробляє нові навчальні дослідження та засоби для їх функціонування.

Автори акцентують на необхідності зміцнення навчально-матеріальної бази шкіл, оснащення їх сучасним обладнанням і технічними засобами навчання. Перед педагогічною наукою стоїть завдання – створити нове і модернізувати старе обладнання, що випускається промисловістю, та

розробити методику використання його у педагогічному процесі шкіл з метою подальшого підвищення рівня навчання і виховання учнів. Унаслідок теоретичних спостережень автор виробив дидактичні принципи проектування, конструювання, створення і використання навчального обладнання. Це, зокрема:

1. Розробка обладнання, формування його властивостей у тісній відповідності з цілями, завданнями і результатами, які треба досягнути у процесі вивчення кожної проблеми у навчальній програмі, проведення кожного позакласного або позашкільного заходу.

Розробник засобів навчання повинен глибоко осмислити його ціль, завдання і результати. Створювані засоби повинні володіти властивостями, які б оптимально сприяли реалізації цих цілей і завдань.

Розробку засобів навчання проводити так, щоб вони слугували реалізації таких завдань:

– переданню і засвоєнню учнями основ наукових знань, котрі розкривають з допомогою навчальних програм і підручників;

– формуванню у школярів основних ідей, понять, законів і теорій, що розкривають наукову картину природи, взаємний зв'язок предметів і явищ, їх виникнення, зміну і розвиток, принципи використання їх людиною;

– ознайомленню учнів із методами і засобами пізнання світу, формуванню умінь самостійно використовувати свої знання.

Створення засобів навчання починається із визначення конкретних його завдань.

2. Пошук методики навчання, що ефективно реалізовує прогресивні шляхи спрямування студентів від незнання до знання, від невміння до вміння і формування рис особистості людини, розробка складу, комплексів і властивостей засобів навчання відповідно до своєрідності цієї методики і для ефективного використання її у педагогічному процесі.

3. Розуміння наочності як принципу навчання і виховання полягає у використанні різних матеріалів для оптимального навчання і виховання.

Наприкінці зауважимо, що методи науки тільки тоді стануть надбанням студентів, коли в організації експериментального курсу фізики в його методах і засобах викладачі демонструватимуть своє вміння проводити науковий аналіз, використовуючи апарат і закони наукового пошуку. Тобто, коли вони показуватимуть наявність творчих винахідницьких навиків, вміння знаходити шляхи вдосконалення у своїй навчальній діяльності, пропонуватимуть цінні й корисні ідеї у навчальному процесі. Це буде тим доцільним виховним та цілеспрямованим взірцем творчого діяльнісного підходу викладачів до праці, результатом якого стане формування якісних знань у студентів.

## **Висновки до розділу 2**

Результати наших досліджень навчального процесу курсу загальної фізики вказують на істотні недоліки як у побудові, так і змісті та засобах навчання лабораторного практикуму. Зокрема:

1. Діяльнісний підхід у навчанні недостатньо проявляється у роботі викладачів з удосконалення і модернізації елементів традиційної методики навчання, зокрема, реалізації експериментального методу навчання фізики як основи формування у студентів знань з фізики, так і навчання якісних уявлень про фізичні процеси (спочатку задачі необхідно розв'язувати на якісному рівні, тобто на основі їх якісного осмислення, потім конструювати математичне подання).

2. Незважаючи на часті підкреслення науковцями експериментального характеру фізики, у навчальному лабораторному практикумі курсу фізики ще недостатньо навчальних досліджень, в яких би:

– висвітлювалась специфіка фізики – її фундаментальність та єдність її понять і принципів;

- використовувались сучасні технічні засоби вимірювання, автоматизація та візуалізація експерименту;

- дослідна навчальна установка не знецінювалась поруч з комп'ютером як його зовнішнім виглядом, так і його програмними можливостями;

- пошук розв'язку поставленого в роботі завдання був у взаємозв'язку з різними розділами фізики.

3. Потрібно вдосконалювати експериментальний курс фізики вищої школи:

- ретельно підбираючи та оцінюючи реальну вартість нових експериментів, котрі пропонують для навчального процесу;

- створювати демонстраційний експеримент, який би відтворював важливі в історії фізики досліді;

- розробляти та впроваджувати нові навчальні світоглядні лабораторні дослідження.



### РОЗДІЛ 3

## ШЛЯХИ ТА ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ У ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Подані у попередніх розділах дослідження підкреслюють певні тенденції розвитку сучасної освіти та вказують на деякі істотні недоліки навчального процесу курсу фізики. Тому зрозуміло, що вдосконалення курсу загальної фізики вимагає розробки та впровадження нового в традиційний курс загальної фізики.

Це не є простим завданням. Його розв'язання вимагає:

- врахування тенденції розвитку освіти та прогресу фізики;
- чіткого усвідомлення, до чого прямувати в навчальному процесі курсу фізики;
- осмислення, що дасть молодому спеціалістові оволодіння фізикою і що з фізики для цього йому треба засвоїти;
- розуміння, як із сукупності фізичних знань вибрати найнеобхідніше і найактуальніше та якого принципу дотримуватися, щоб не зашкодити системності та цілісності знань;
- розроблення відповідних засобів і методів навчання, які б сприяли ефективному поданню студентам змісту курсу фізики.

Отже, враховуючи нові вимоги та можливості, необхідно переосмислити суть навчального процесу. Визначити основні засади його удосконалення – засади створення методик навчання, які б відповідали науково-технічному прогресу та враховували психолого-педагогічні аспекти засвоєння знань.

Зважаючи на це, у третьому розділі пропонуємо один із можливих шляхів удосконалення курсу загальної фізики – шлях розробки та впровадження

сучасних навчальних експериментів як невіддільного компонента технологій навчання інноваційних комплексних тем курсу фізики [132-146].

Також подаємо засоби та способи реалізації нових навчальних світоглядних експериментів, впровадження яких у процес навчання допоможе позбутись певних недоліків [147-155].

У подальших 4-8 розділах п'ять експериментів із семи запропонованих у третьому розділі стали основою для реалізації експериментального методу навчання у розроблених нами нових технологіях навчання певних тем курсу загальної фізики.

### **3.1. Інновації в методиці навчання курсу загальної фізики як засадничий чинник її вдосконалення**

*Навчальний експеримент з аспекту розвитку методики навчання фізики*

Лабораторний практикум курсу загальної фізики потребує кардинального оновлення, бо надалі не можна обмежуватись тільки експлуатацією старих навчальних лабораторних надбань як обладнання, так і методичного забезпечення.

Але виявилось, що не лише непросто усвідомлювати недоліки навчального процесу курсу загальної фізики, а ще важче пробувати зламати традиційні його підходи, зокрема, до його лабораторного практикуму.

Недостатньо сприяють розв'язку цієї проблеми наукові дослідження. У них гуманітарна традиція з методики навчання фізики переважає природничо-наукову. Це призводить до певного абстрагування досліджень, що не сприяє покращенню висвітлення конкретного змісту курсу фізики, розробці і впровадженню нових сучасних засобів навчання. В результаті, процес формування наукового мислення у студентів з фізики залишається важким і малоефективним. Такий розвиток методики навчання відбувається не за рахунок ендогенних механізмів, а шляхом інформаційного нарощування. Він

стоїть дещо з боку від світової освітньої системи і не може активно впливати на її розбудову.

Такі дослідження не сприяють трансформації наукової системи знань у навчальну. Залишається усталена роками побудова змісту підручників, посібників до лабораторних і практичних занять та форм, методів і засобів навчання. Зміст навчання представляється у вигляді готового знання, яке необхідно зрозуміти, засвоїти. Основним засобом трансляції служить текст. Процес засвоєння і запам'ятовування є динамічною основою процесу навчання.

Водночас бракує достатнього висвітлення ключових понять фізики та взаємозв'язків між ними засобами навчального експерименту. Це стосується як класичної, так сучасної фізики, зокрема:

- елементарних оцінок похибок вимірювань;
- неінерціальності систем відліку пов'язаних із Землею;
- теорії електромагнетизму Фарадея-Максвелла, спеціальної теорії відносності Ейнштейна;
- фізики коливань;
- деяких основних квантово-механічних понять атомної фізики.

Стає зрозуміло, що такий стан методики навчання фізики – недостатнє поєднання нею принципу науковості з принципом наочності і недостатній акцент на принципи фундаменталізації і інтеграції знань та системно-діяльнісний підхід до навчання вказує на те, що сприйняття студентом цілісної фізичної картини світу практично неможливе.

Отже, зміни у парадигмі освіти, що спостерігаються в останні роки, не цілком достатньо втілюються у змісті навчання фізики.

Очевидно, треба формувати інноваційний напрям розвитку навчання фізики.

З одного боку, зрозуміло, що потрібно:

- поруч із традиційно побудованими навчальними експериментами, розробляти та впроваджувати нові, виконання яких полегшує усвідомлення навчального матеріалу;
- узгоджувати з комп'ютером лабораторне обладнання тільки там, де це доцільно;
- зробити важливою і необхідною складовою процесу навчання віртуальний експеримент, аналог реального.

З іншого – чи достатньо обмежити процес удосконалення курсу фізики традиційним підходом – тільки шляхом оновлення змісту та засобів лабораторного практикуму для реалізації експериментального методу навчання, який часто виступає як форма навчання, дещо незалежна від решти форм?

На нашу думку, висвітлення традиційними формами експериментального методу навчання (лабораторне дослідження, демонстраційний експеримент) важливих світоглядних понять фізики недостатньо – треба створювати спеціальне навчальне середовище, що дасть змогу організувати педагогічну взаємодію викладача зі студентом, яка гарантує досягнення поставлених дидактичних цілей.

Отже, крім засобів навчання, інновації мають стосуватися відбору змісту навчання, його структурування у відповідній дидактичній формі та способів реалізації в процесі навчання.

#### *Інноваційна комплексна тема та діяльнісний підхід у навчанні*

Насамперед, зважаючи на принцип фундаменталізації освіти, потрібно проводити відбір і формування навчального матеріалу, зміст якого насамперед спрямовано на охоплення основних світоглядних понять фізики.

З ключових тем курсу загальної фізики вибрати матеріал, який об'єднує різноманітні поняття, теорії і закономірності і формувати його як об'єкт пізнання комплексних тем – фрагменти фізичної картини світу, висвітленню яких мають сприяти інноваційні навчальні експерименти.

Це дасть можливість будувати навчання таким чином, щоб спочатку у студентів формувалася фундамент і каркас фізичних знань. Тому, поруч з фактичними відомостями, поняттями, теоріями і законами предметом пізнання мають стати фрагменти цілісного фізичного знання як комплексне системне узагальнення.

Важливо, щоб універсальним компонентом процесу навчання стало не заучування тексту, а пізнання в процесі реалізації діяльнісного підходу спрямованого на сприйняття і усвідомлення взаємозв'язків між поняттями, теоріями і законами комплексної теми.

У цьому аспекті, важливою функція курсу фізики має стати навчання способам розв'язку різних завдань з орієнтацією не тільки на систему знань для формування цілісної картини світу, але й систему професійних і навчальних умінь.

Конкретизовані цілі навчання теми розкривати мовою різних завдань, а цілі завдання визначати зв'язками закономірного характеру руху змісту фізики. Знання цих зв'язків дає можливість науково обґрунтувати і вибрати оптимальну структуру змісту навчання фізики на етапі формування змісту теми.

Для цього треба вивчати і висвітлювати співвідношення між закономірностями руху змісту фізики взагалі і зокрема конкретної комплексної теми, формами організації та проведення навчального процесу. Вони мають проявлятися в найефективніших засобах донесення змісту.

Результати цих досліджень мають лягти в основу побудови технологій навчання відповідних комплексних тем курсу фізики, що як складові дидактичної системи фізики мають призводити до ефективного досягнення навчальних цілей. У них для реалізації цього розробляють і використовують як нові, так і добре відомі форми, методи, способи, прийоми і засоби навчання.

*Технологія навчання комплексної теми як інваріант навчального процесу*

Отже, треба створювати нові технології навчання певних тем курсу фізики, у плануванні, організації і розробці яких будуть враховані зв'язки між основними компонентами навчального процесу: ціль, задачі, зміст, методи, прийоми, засоби, форми організації навчання, методи стимулювання навчальної діяльності та впливаючі з них принципи навчання.

Таку технологію навчання фізики ми вважатимемо одним із видів педагогічної технології навчання, яка приводить до ефективного досягнення навчальних цілей. У ній для реалізації цього використовують як старі добре відомі, так і розробляють нові відповідні форми, методи, способи, прийоми і засоби навчання.

Це дасть змогу розглядати технологію навчання відповідної комплексної теми “...як науково обґрунтований спосіб відтворення зразків організації навчальної діяльності, які ще називають інваріантами навчального процесу” [75].

Комплексна тема та технологія навчання як нерозривна єдність повинні бути прикладом удосконалення курсу загальної фізики, що істотно відрізняється від традиційних шляхів розв'язання навчальних проблем, які зазвичай пов'язують із розв'язком двох, ніби не пов'язаних між собою груп проблем. Одна – стосується вербального методу викладання навчального матеріалу, друга – лабораторного практикуму, його змісту і засобів та методів реалізації навчальних досліджень.

Такий підхід, на нашу думку, є дещо недостатнім. Проблеми потрібно розв'язувати у комплексі, не розмежовуючи їх різними формами навчання, створювати нові технології навчання, в яких би методика подання матеріалу сприяла б активізації навчальної діяльності студентів.

Водночас, розв'язання проблем удосконалення курсу загальної фізики, в тому числі і створення нових комплексних тем курсу фізики та відповідних їм

технологій навчання фізики, вимагає враховувати вимоги та засади побудови традиційного навчального процесу, які можна сформулювати так:

- послідовність і взаємозв'язок у змісті навчання, від розділу до розділу класичної фізики та від класичної до квантової фізики, повинні спрямовуватись на формування фізичного мислення у студентів;
- ґрунтовність навчання та зв'язок з життям;
- зорганізована викладачем індивідуальна, самостійна робота повинна сприяти процесу ефективного навчання. З допомогою тестування студенти повинні побачити досягнення і недоліки своєї роботи;
- головним у навчанні має бути ясність вимог навчального процесу до студента та викладача.

До того ж, треба розуміти, що формування знань у студентів з фізики у вищій школі і надалі залишатиметься важким і малоефективним процесом, якщо у середній школі у них не будуть набуті як певні, відповідні до вимог вищого навчального закладу освіти, знання з фізики, так і відповідно сформовані вміння і навички самостійного навчання.

Тому ми вважаємо за доречне запропонувати кілька рекомендацій, враховувати які потрібно підчас навчання майбутніх студентів у середній школі.

#### *Наступність у навчанні фізики від середньої до вищої школи*

В основу рекомендацій покладено результати досліджень, які подані у праці [61], зокрема те, що:

- ще на шкільній лаві у процесі засвоєння дитиною основних понять найважливішою є допомога їй у поступовому переході від конкретного до абстрактно-понятійного способу мислення. Тому перші роки навчання повинні присвячуватися основним логічним операціям, що є в основі математики і природознавства. Людина не тільки засвоює природні фактори, а й вчиться вчитися. Якщо у дитини не закладено подібного фундаменту, то надалі вона навчиться називати певні поняття, не вміючи ефективно їх використати;

– кожний предмет, у тому числі інтегровану як у природознавстві, так і в математиці фізику, потрібно представити ефективно і у достатньо адекватній формі будь-якій дитині на будь-якому етапі розвитку. На кожній стадії розвитку дитина вирізняється новим баченням світу і поясненням його для себе. Завдання саме як подати структуру даного предмета в термінах бачення світу дитиною. Це завдання перекладу, яке полягає в тому, що кожна ідея може бути адекватна і з користю представлена у формах мислення дітей шкільного віку і що ці перші представлення можна зробити пізніше повнішими і доступнішими, якщо навчання розпочалося досить рано;

– вчителі повинні прагнути перетворити безпосередні знання у систему понять, необхідних для того, щоб запитання, які діти задають, мали внутрішнє значення для дитини. Створювати у процесі навчання таку особливу атмосферу, в якій події розглядалися б як приклади того, що могло би відбутися, а не просто відбулося.

Якщо ми враховуватимемо спосіб мислення дитини, що розвивається, і перекладемо навчальний матеріал мовою зрозумілих їй логічних формулювань і у доступній формі, то тільки так ми набуваємо можливості вже в ранньому дитинстві залучити дитину до тих знань, які надалі допоможуть їй стати освіченою людиною.

Але якщо ми не представлятимемо таким чином навчальний матеріал, то діти звикнуть до довільних, на їх погляд, безглузвих вимог з боку дорослих. А у подальшому, залишиться велика ймовірність того, що аналогічна ситуація повториться у вищій школі у взаємовідносинах студент – викладач.

### *Роль викладачів у вдосконаленні експериментального курсу фізики*

Залишається відкритим запитання: “Хто повинен займатися впровадженням запропонованого підходу в навчанні і як організувати відповідні роботи?”

Склалося так, що більшість викладачів-педагогів пасивно чекає на щось нове, отримавши і впровадивши яке можна буде або схвалювати його, або



критикувати. А це нове, як часто трапляється, у своїй основі має модернізований, добре відомий старий технічний засіб навчання, створений раніше як без урахування взаємозв'язку навчального процесу, конструювання та виготовлення, так і без достатньої апробації у навчальному процесі.

Це призводить до загострення суперечки між викладачами-новаторами, котрі розуміють неминучість нововведень і те, що їх ентузіазму для проведення таких робіт є замало, та викладачами, які є прихильниками “старих добрих традицій” у навчанні тому так необхідна цілеспрямована навчальна політика.

Треба розуміти і врахувати те, що якісні навчальні засоби та методики використання їх у навчальному процесі можуть бути створені тільки тоді, коли розробками будуть займатися ті викладачі, котрі добре розуміють не тільки досягнення та недоліки навчального процесу, а й усвідомлюють “що” і “як” технічно реалізувати та як впроваджувати у навчальний процес. вищої і середньої школи.

### **3.2. Деякі особливості побудови технологій навчання інноваційних комплексних тем курсу загальної фізики**

*Від особистісно-орієнтованого до самостійного навчання та освіти*

Технології навчання інноваційних комплексних тем курсу фізики повинні сприяти переходу освіти на особистісно-орієнтований метод навчання. Вони повинні стати тими складовими принципових змін орієнтирів освіти, які дають змогу зробити студента і викладача колегами і започаткувати продуктивний діалог між ними.

Для цього, насамперед, треба зробити все, щоб інформаційно-репродуктивний підхід у навчанні не процвітав, щоб інформаційний бум перестав посилювати шкідливу тенденцію, коли “...в обмежений час викладачі стараються втиснути все більше і більше відомостей” [46, с. 28] і

те, що відповіді студентів часто є кальками того, що їм подали, і навіть зі збереженням тих самих тематичних конструкцій. Бо це не свідчить про наявність у них знань, і тим паче про сформованість бажаного способу мислення. Необхідно забезпечити студента та учня “...путівником у сфері пізнання і правилами користування ним, а пошук дорогих конкретних відомостей повинен здійснюватися як студентом, так і учнем самостійно у процесі самостійної роботи” [46, с. 29].

Принципово протиставити традиційному підходові до навчання можна лише перенесення акцентів навчання на структурно-функціональний метод пізнання – як шлях переходу від абстрактного до конкретного, що сприяє поступовому і логічному збагаченню студентів фундаментальними знаннями, які фіксують і закріплюють предметні й особливо міжпредметні зв’язки. У наслідку це дасть змогу осмислити і засвоїти той достатньо непорушний і необхідний для дальшого самостійного навчання каркас знань – основу для безперервної освіти.

Відповідно до цього: головним завданням є відбір і формування для висвітлення навчального матеріалу, зміст якого насамперед спрямовано на охоплення основних світоглядних понять фізики.

Це дасть можливість будувати навчання таким чином, щоб спочатку у студентів формувалася фундамент і каркас фізичних знань. Студент повинен зрозуміти та засвоїти основи фізики, не відволікаючись на подробиці. І тільки після цього у структуру знань можна вводити деякі деталі.

Такий підхід враховуватиме і те, що актуальність, важливість певних розділів та тем фізики для навчального процесу з часом змінюється. Очевидно, що незабаром тематика програм з курсу загальної фізики кардинально зміниться [156]. Хоча б через доцільність “...введення нового розділу, присвяченого фізичним основам аналізу структури та еволюції складних систем і відповідним міждисциплінарним результатам”, бо зараз

“...відбувається процес концептуального об’єднання різних наук на засадах досягнень новітньої фізики” [5].

Це необхідно враховувати. Тому при створенні нових комплексних тем курсу фізики треба акцентувати на поняттях, які відіграють важливу світоглядну роль і є основою розуміння класичної і квантової фізики, формують фізичне мислення у студентів і, головне, не піддаються впливові часу чи науково-технічному прогресу.

У межах вибраного змісту навчального матеріалу потрібно структурувати знання так, щоб стали очевидними взаємовідношення і тотожності між різними його частинами. Це сприятиме можливості пояснювати різні фізичні явища кількома базовими принципами та виділяти сукупність методологічних принципів, що діють упродовж розвитку фізики.

Визначивши таким чином вузлові пункти у навчальному змісті, потрібно перейти до створення дидактичних засобів і матеріалів, щоб уможливили багатосторонню візуалізацію вивчення проблем, і, як наслідок, ефект наочності в навчальному процесі ставатиме вагомим і міцнішим.

У структурі змісту створених таким способом інноваційних тем втілюватиметься принцип єдності аналізу і синтезу, конкретно проявлятиметься принцип простоти, що вимагає врахування мінімальної кількості вихідних постулатів та принципу конструктивності.

### *Реальний експеримент*

Безперечно, розробляючи технологію навчання інноваційних комплексних тем курсу фізики, необхідно акцентувати на його експериментальному характері. Тому засоби експерименту як лекційного, так і навчального лабораторного практикуму не тільки залишаються актуальними, а й зростає їх роль. Без них не легко засвоювати складні поняття і класичної, і сучасної фізики. Вони важливі для переходу від словесної констатації єдності фізики до її демонстрації як у лекційному курсі фізики, так і лабораторному практикумі.

Демонстрування фізичного явища не відірваним від життя, показуючи таким чином його корисність, – буде найкращим способом, що викликатиме інтерес до предмета. Це полегшуватиме студентам набувати вміння використовувати знання поза тими умовами, в яких вони були отримані.

Для того навчальні програми повинні передбачати засвоєння зв'язків фізики з прикладними науками через ознайомлення з сучасними технічними пристроями – як об'єктами, в яких ці зв'язки певним чином проявилися.

Відповідно до цього, найкраще було б, якби в нових технологіях навчання ці пристрої застосовувалися для реалізації експерименту. Такий підхід – це крок, що вестиме до розуміння принципів роботи технічних пристроїв, якими дане суспільство користується. І це може стимулювати бажання студентів учитися і засвоїти як фізику, так і певні прикладні науки, щоб, у подальшому, вдосконалювати подібні пристрої чи створювати кращі. Поки що в експериментальному курсі загальної фізики ще не ставлять подібні завдання.

Отже, технологія навчання розроблених комплексних тем не повинна обмежитися вербальним висвітленням її змісту. А враховуючи експериментальний характер фізики – вимагає наочного висвітлення. А це, у свою чергу – відповідної розробки та реалізації у навчальному процесі нових експериментальних світоглядних навчальних досліджень.

Зміст навчальних досліджень може стосуватися матеріалу однієї чи декількох тем, розділів і т. д., засвоєння яких сприятиме розумінню основ фізики.

Зрозуміло, що розробка та реалізація у навчальному процесі нових світоглядних навчальних досліджень пов'язана з питанням створення засобів навчання.

Це в ніякому разі не заперечує доцільності модернізації старих засобів навчання та вдосконалення їх методичного забезпечення, бо будь-які підходи, що ведуть до зростання ефективності навчання – доцільні. Потенціал

традиційної технології навчання є достатньо потужним і ще довго буде базовим у навчанні фізики. Його кращі надбання, безперечно, згодом стануть складовою нових комп'ютерних технологій навчання. З огляду на це, шлях удосконалення та модернізація окремого доробку традиційної технології навчання теж є актуальними.

Поруч із звичайними, традиційно побудованими навчальними дослідженнями, слід розробляти та впроваджувати нові: усвідомлення матеріалу студентом повинно відбуватися у процесі виконання навчальних досліджень, цільово продуманих і відповідно представлених, що приведе до засвоєння основ фізики, до розвитку міжпредметних зв'язків.

#### *Комп'ютер – невіддільна компонента технології навчання*

Формуючи концепцію створення технологій навчання нових комплексних тем курсу фізики треба зрозуміти, що реалії науково-технічного прогресу та фізики будуть враховані лише тоді, коли звичним компонентом сучасних технологій навчання стануть комп'ютери.

Це не простий механічний процес. Перш ніж запровадити у будь-яку ланку навчального процесу, комп'ютер, треба, враховуючи специфіку фізики, її експериментальний характер, скрупульозно педагогічно осмислювати доцільність такого впровадження.

Потрібно зважати на те, що дослідна навчальна лабораторна установка, важливість фізичного навчального експерименту, не повинна занадто “губитись” чи “затмарюватись” поруч із комп'ютером, як його зовнішнім виглядом, так і програмними можливостями.

У навчальному процесі курсу фізики комп'ютер повинен поставати як звичний сучасний засіб навчання фізики, який сприяє інтенсифікації навчання. Для цього необхідно природно, еволюційно впроваджувати його в навчальний процес.

Розробляючи технології навчання, треба враховувати такі фактори:

– потрібно узгоджувати з комп'ютером лабораторне обладнання тільки там, де це доцільно. Таке органічне поєднання комп'ютера з експериментальними навчальними установками дасть змогу керувати експериментом з клавіатури комп'ютера. Результати експериментальних досліджень повинні відображатися на моніторі і залишатися у пам'яті комп'ютера, щоб згодом використовуватись у відповідно побудованих комп'ютерних навчальних програмах;

– необхідною складовою створюваних технологій має стати комп'ютерне моделювання експериментального дослідження, що охоплює комп'ютерне моделювання навчальної лабораторної установки та процесу, що відбувається у ній.

### *Модельний експеримент як аналог реального*

На комп'ютері можна моделювати різноманітні фізичні процеси. Побудова математичної комп'ютерної моделі надасть змогу проникнути у суть фізичних явищ як при поясненні відомих фактів, так і при дослідженні нових.

Керування “модельною установкою” з клавіатури комп'ютера створить відчуття реальності під час проведення модельного комп'ютерного експерименту.

Хоча, як зауважують у праці [157], “...дослід на екрані дисплея “чистий”, легко керований, не вимагає великих затрат часу і сил на підготовку, успішно концентрує увагу учнів на найбільш значимих для розуміння суті явища деталях, відслідковує і візуалізує найважливіші експериментальні ефекти”, але треба розуміти, що це не замінює реальний фізичний експеримент, який відкриває нові факти. Ніяких експериментів у віртуальному середовищі бути не може. В ньому немає головного – реального (матеріального) об'єкта дослідження. Віртуальність об'єктів і експериментальних засобів, що діють на ці об'єкти, говорить нам з певністю про “віртуальність” висновків на

основі подібних досліджень. Отже, головний недолік експерименту цього типу також полягає в його віртуальному характері.

Необхідність комп'ютерного експериментування не треба відкидати. Не треба також відмовлятися від відповідного програмного забезпечення, яке в низці випадків з техніки модельного описання реальних ефектів є дуже якісним.

Важливо визначити роль і місце віртуального експерименту в навчальній практиці в цілому (дидактичний аспект) і в лабораторному дослідженні (методологічний аспект) і використовувати дані експерименту у відповідності з призначенням. Враховувати, що віртуальний експеримент може бути як імітаційним, так і числовим. Імітаційний забезпечує лише зовнішню подібність ефектів, які спостерігають на екрані дисплея і на реальній лабораторній установці. Його програмне забезпечення побудоване на законах, які можуть не мати ніякого стосунку до законів природи. Числовий експеримент виконується на основі відомих в науці законів протікання явищ. Він організується з допомогою математичних моделей цих явищ і тому дає змогу прогнозувати характер їх протікання в тих або інших умовах [157].

Зазначимо, що в Європейському центрі ядерних досліджень для обґрунтування необхідності фінансування будь-якого експерименту автори повинні представити комп'ютерну модель, що демонструє реалізацію і перспективність планованого експерименту [158].

Моделювання сприятиме засвоєнню навичок розуміння суті досліджуваних фізичних процесів, допомагатиме у розв'язанні типових задач та при формуванні проміжних і кінцевих контролів. Це стає надзвичайно актуальним, коли немає лабораторного навчального обладнання і його неможливо швидко створити, а також коли в навчальному процесі вивчення якогось явища можливе тільки на основі мислених експериментів.

Таким чином пропонований підхід вестиме до того, що компонентами нових технологій навчання ставатимуть модельні комп'ютерні аналоги

реальних досліджень. Розміщення навчального забезпечення такої технології навчання на вузівських серверах Інтернету – важливий крок у розвитку дистанційного навчання.

Це вимагає інтенсифікувати роботи зі створення комп'ютерних технологій навчання. Акценти в їх використанні все більше зміщуються від аудиторної навчальної роботи у комп'ютерних класах до самостійної роботи студентів в електронних залах бібліотек і на домашніх комп'ютерах. І, очевидно, серйозні розробки у сфері дистанційного навчання сприятимуть підвищенню якості традиційних очних форм навчального процесу через повнішу реалізацію потенціалу комп'ютерних і телекомунікаційних технологій.

Насамперед, там, де це доцільно, зокрема в лабораторіях, експерименти повинні керуватись через комп'ютери. Це змусить студента підготуватись до використання комп'ютера як засіб власної праці, що істотно вплине на всю його роботу і навчальну діяльність, отже й на весь навчальний процес.

Студент завчасно ознайомиться із засобами, без яких не можна уявити сучасну науку і техніку. Економія часу, що досягається з допомогою комп'ютера, дасть змогу глибше осягнути фізичний зміст явищ, що вивчаються. Шляхом виведення на екран значень, одержаних внаслідок кожної серії вимірювань, зросте наочність експериментів. Це допоможе легко, через комп'ютер, аналізувати та оперувати ними. А це автоматизація як фізичного експерименту, так і обробки його результатів.

*Об'єкт пізнання – елемент, що охоплює широку структуру знань фізики*

Навчальний процес не повинен зводитись тільки до пасивного передання нагромаджених знань, хоч ця його складова є важливою. Це процес пізнання, і будувати його треба у згоді з об'єктивними законами пізнання.

Нові завдання та нові можливості їх розв'язку повинні, змінюючи характер діяльності студента, по-новому формувати його особистість.



Отже, перед викладачами постає завдання так організувати навчальний процес та керувати ним, щоб формування студента як особистості ставало результатом його власної навчальної діяльності, та з'ясувати, якими засобами навчання необхідно користуватися для засвоєння фізики і розвитку критичного мислення у студентів.

Бо знання, вміння і спосіб мислення не можна передати в готовому вигляді. Можна передати лише певний обсяг наукової інформації і прийняті в науці способи діяльності та способи міркування, проілюстровані конкретними прикладами.

Знання, вміння і спосіб мислення створюються лише у процесі мислячої і практичної діяльності студента. Навчальний процес не можна трактувати лише як трансляцію наукових знань, їх засвоєння й відтворення, але потрібно трактувати і як розвиток пізнавальних здібностей, основних психологічних новоутворень. Процес навчання має вести студентів до учіння. Під час навчання, яке немислиме без важкої примусової праці, студенти повинні відчувати задоволення, яке б сприяло їм у науковому пізнанні дійсності, учінню та психічному розвитку.

Тому завдання стимуляції мислення в умовах навчання курсу загальної фізики у вищій школі пов'язане з розв'язанням великої проблеми: як зробити навчання ефективним та цікавим.

Ці проблеми пов'язані з психологією навчального предмета. Дисципліну, яку вивчають, можна розглядати як певний спосіб мислення про навколишні явища. Будь-який курс тільки на перший погляд (у найтривіальнішому змісті) призначений для повідомлення певної інформації. Істотним змістом конкретного курсу є людина, її природа як представника певного біологічного виду і фактори, що формують і продовжують формувати її людські якості.

Засвоєння кожного предмета охоплює три процеси, що відбуваються майже одночасно. Перший – це отримання нової інформації, яка часто замінює той обсяг знань, яким суб'єкт володів. Другий – трансформація

знань. Це перебудова наявного знання, пристосування його до розв'язку нових завдань. Третій процес – це перевірка рівня адекватності способів використання інформації, що міститься у завданні.

Важким і неекономним для засвоєння студентами знань буде навчання, якщо викладання спеціальних розділів або набуття тих чи інших навичок відбуватиметься без показу їх місця в ширшій структурі даної галузі знань. Здобуті таким чином знання швидко забуваються, бо:

- таке навчання не зможе запобігти тому, щоб запам'ятовування не сприймалось як одне з першочергових завдань, щоб у методиці навчання екстенсивність знань не здійснювалась через їх інтенсивність і глибину;

- таке викладання робить важким для студентів здійснення узагальнення на основі того, що вони вже вивчили і застосовувати ці повідомлення до того, що вони будуть вивчати згодом;

- такі знання (вони формуються без розуміння студентами загальних принципів) мало стимулюють їхню інтелектуальну активність.

Тому студенти повинні частіше відчувати важливість логічних роздумів, спрямованих на переосмислення свого досвіду, надання йому нової форми й порядку. Щоб проаналізувати знання недостатньо просто пов'язати його з тим, що вже знайоме. Насамперед людина розглядає відоме як приклад загальнішого і тим самим одержує уявлення про нього.

У кожному розділі курсу фізики насамперед треба виділяти ядро знань і його варіант, який треба обов'язково засвоїти. Тут особливу роль відіграють осмислення зв'язків між явищами в їх динамічному, часовому та історичному причинно-наслідковому аспектах.

Таким чином, сформована ціль навчання повинна стати визначальним чинником, який задаватиме зміст та структуру побудови нової комплексної теми та її технології навчання.

Побудова технології навчання має ґрунтуватися на психолого-педагогічному аналізі діяльності педагога і студента на різних стадіях

повного циклу навчання комплексної теми. Вихідним такого аналізу повинно стати конкретне і за можливістю деталізоване визначення цілей навчання, що відображає не тільки цільові установки вивчення навчального матеріалу теми загалом, а й локальні цілі, що належать до окремих фрагментів-кроків навчання з цього чи іншого розділу, підрозділу, теми.

Починаючи з цілей навчання, необхідно формувати структуру навчального матеріалу, представляючи його як об'єкт пізнання.

Під об'єктом пізнання треба розуміти те мінімальне ціле, що взяте з системи наукових знань та відповідно систематизоване та структуроване так, що в ньому проявляються поняття та інші елементи знань у найрізноманітніших взаємозв'язках.

Таким чином логічно побудована структура змісту навчання має сприяти формуванню знань у студентів.

#### *Модульна структура побудови змісту навчання*

У процесі створення технологій комплексних тем завжди виникають проблеми, пов'язані з алгоритмізацією навчальної діяльності, бо, по-перше, не просто усвідомити необхідність доцільного поопераційного підходу до процесу навчання; по-друге, усвідомлення цього – тільки крок у напрямку до її реалізації в навчанні. Далі виникають проблеми, пов'язані з візуалізацією змісту навчання.

Для цього необхідно відповідно систематизувати і структурувати знання, організовуючи його як широкомасштабні функціональні блоки-модулі, побудовані на основі фізичних принципів. Розробляючи методологію їх упровадження у навчальний процес у сценарії навчання треба передбачити їх систематичне розбивання на дрібніші блоки-модулі, виділяючи у кожному відповідні фізичні поняття, їх властивості та взаємозв'язки між ними.

Отже, нові технології навчання інноваційних комплексних тем повинні бути технологіями модульного навчання. Реалізувати їх треба зусиллями

двох органічно поєднаних чинників. Один з них – “стиск”, а інший – модульність. Вони повинні забезпечувати мобільність знань [73].

Методологічний фундамент теорії “стискування” становить принцип системного квантування. Він полягає в узагальненні, систематизації і генералізації знань з використанням інженерії знань.

Інженерія знань як галузь інформаційних технологій спрямована на дослідження проблем представлення і використання знань. Основні завдання – розробка мови і моделі представлення знань, методи наповнення і використання знань при розв’язанні різних задач.

Серед можливих моделей компонування знань у компактному, вигідному для використання, вигляді є логічна, продуктивна, фреймова модель та модель семантичної мережі. Важливо, що при стисненні програмного матеріалу найкращого засвоєння досягають при поданні навчальної інформації одночасно за чотирма кодами: малюнками, числами, символічним і словесним способами.

Поняття модульності у пропонованій технології навчання набуває методологічного змісту і постає як один з основних принципів системного підходу, що разом із принципом розвитку визначає динамічність і мобільність функціонування системи.

Важливо, що традиційне, суто технічне уявлення про модуль як про фіксований функціональний елемент недосконале. Система може бути представлена як сукупність модулів або розглядатися як окремий модуль у структурі загальнішої системи.

Таке представлення модуля надає йому мобільності і гнучкості, а використання принципу модульності у процесі навчання сприяє формуванню мобільності знань і гнучкості методу.

*Структура змісту навчального матеріалу та  
експеримент забезпечують проблемні методи навчання*

Необхідність досягнення навчальних цілей висуває перед розробниками нових технологій навчання традиційне питання психологічного характеру – як стимулювати позитивну мотивацію навчання.

Для цього потрібно заохочувати студента до подолання труднощів у навчальному матеріалі. Зробити йому виклик випробувати свої сили, відчувати повне занурення в роботу. Саме такий шлях до його самостійної роботи.

Важливу роль у цьому відіграють проблемні методи навчання. Тому третім чинником, посередництвом якого треба реалізувати технологію навчання, є проблемність.

Реалізуючи проблемний підхід у навчання в таких формах, як проблемна дискусія, “мозковий штурм”, аналіз конкретних ситуацій, “академічна суперечка”, рольова гра, драматизація, ми спрямовуватимемо студентів на вироблення навичок самостійного розв’язання проблем, стимулюватимемо формування у них таких умінь інтелектуальної праці: виділити проблему, проаналізувати ситуацію, створити концепцію, сформулювати гіпотезу, зробити необхідні узагальнення, висловлювати оцінювальні судження.

Як компонент технології проблемне навчання покликане активізувати розумову діяльність студентів. Воно впливає на формування нестандартних підходів до розв’язання проблем та веде до розвитку творчого та критичного мислення студентів. Такого результату можна досягнути забезпечуючи створення у процесі навчання спеціальних ситуацій інтелектуальних труднощів – проблемних ситуацій та їх розвитку.

Для реалізації проблемного навчання необхідно зміст відповідно систематизованого та структурованого навчального матеріалу комплексної теми спеціально скомпонувати таким чином, щоб у процесі навчання можна було легко забезпечувати:

- прийом постановки запитань;

- метод навчання через розв’язування проблем;
- винахідницький метод.

Приємом постановки запитань, що є серцем проблемного навчання – один з найефективніших засобів стимулювання мислення [59 с.164]. За допомогою вміло поставлених запитань середньої трудності викладач допомагає студентові у прискореному переході від однієї стадії розумового розвитку до другої, сприяючи тим самим глибшому розумінню предмета дослідження.

У методі навчання через розв’язування проблем викладач разом зі студентом окреслює проблему і викликає зацікавлення в її розв’язанні. Її розглядають як важке запитання, відповідь на яке має особливе значення: студент практично засвоює нові факти, з формального боку він вправляється в активному мисленні (думає, робить висновки). Проблема не охоплює аспект “закінченості”, результативної впорядкованості. Динамічність, цілеспрямованість її змістового наповнення створює простір для самостійного дослідження – оригінального мислення студента, а також можливість творчої співпраці з викладачем.

Важливо, щоб у нових технологіях навчання, там де це можливо, результати проведених експериментальних досліджень викликали у студентів проблемні запитання, пояснення яких приводило б до застосування винахідницького методу.

Зауважимо, що метод винахідництва – це метод сучасного навчання як у середній, так і у вищій школі розвинутих зарубіжних країн. Цей термін використовується для визначення будь-якого типу навчальної діяльності, яку здійснює студент своїми зусиллями при мінімальному керівництві з боку викладача. Метод винахідництва забезпечує одержання нових знань, здійснення пізнавальної діяльності на ґрунті самостійно досліджуваних фактів.

На думку автора праці [61], пізнавальне зацікавлення як внутрішній мотив навчання, яке зароджується і формується у процесі пізнавальної

діяльності, може бути викликане тільки за умови підходу до навчання як до “акту відкриття”. Він вважає доцільним раціонально поєднувати цей метод з іншими дидактичними методами, методами повідомлення готових знань викладачем.

Слід пам’ятати, що винахідницький метод асоціюється не з практичною діяльністю, а з дослідницькою. У навчанні посилено використовують методи наукової роботи, діяльність студентів максимально наближується до діяльності вченого. Бо студентові легше навчитися фізики, якщо він думає як фізик, ніж коли він робить щось інше, тобто коли йому, як у традиційній системі навчання, пропонують інформацію, яку він повинен пасивно засвоїти [43].

### *Проміжні підсумки до підрозділів 3.1, 3.2*

Подане дає змогу зробити деякі узагальнення щодо вимог та засад удосконалення методики навчання курсу загальної фізики як інноваційного напрямку її розвитку. Вони базуються на необхідності поєднання у навчальному процесі двох культурно-освітніх традицій – природничо-наукової та гуманітарної.

Якраз це завдання методики викладання фізики – поєднати природничу науку фізику з гуманітарною педагогічною методикою навчання фізики, яка.

З одного боку, вона “...має вивчати співвідношення між закономірностями руху (самоорганізації) змісту навчальної дисципліни, яка вивчається, і формами організації та проведення навчально-виховного процесу (співвідношення), проявлятися в найефективніших засобах донесення змісту навчання до свідомості студентів, сприяти перетворенню навчального процесу у партнерський діалог викладача і студента звичайно зі збереженням статусу і реальних функцій кожного з них” [145].

З другого – сприяти розвитку засобів сучасного навчального експерименту, як окремої складової навчального процесу, так і в комплексі технологій навчання інноваційних комплексних тем.

Зміст тем повинен охоплювати ключові поняття, теорії і закони та взаємозв'язки між ними, які ще недостатньо висвітлених у навчальному процесі. Це стане основою реалізації вимог принципу фундаменталізації та інтеграції знань.

Отже, потрібно із змісту курсу загальної фізики вибрати матеріал, який дасть змогу об'єднати ключові поняття, теорії і закономірності фізики та формувати його як об'єкт пізнання інноваційних комплексних тем – фрагментів фізичної картини світу. Їх висвітленню мають сприяти сучасні навчальні експерименти як невіддільні складові технологій навчання.

Технологію навчання комплексної теми треба розробляти інтегрально, починати з цілей навчання, розкривати структури навчального матеріалу, формуючи його як об'єкт пізнання.

Розуміти, що чим переконливіше і ґрунтовніше сформовано об'єкт дослідження, тим ефективніше він може бути доведеним новою технологією навчання до свідомості студента.

Розкривати конкретизовані цілі навчання теми мовою різних завдань, а цілі завдання визначати зв'язками закономірного характеру руху змісту фізики. Знання цих зв'язків дає можливість науково обґрунтувати і вибрати оптимальну структуру змісту навчання фізики на етапі формування змісту теми.

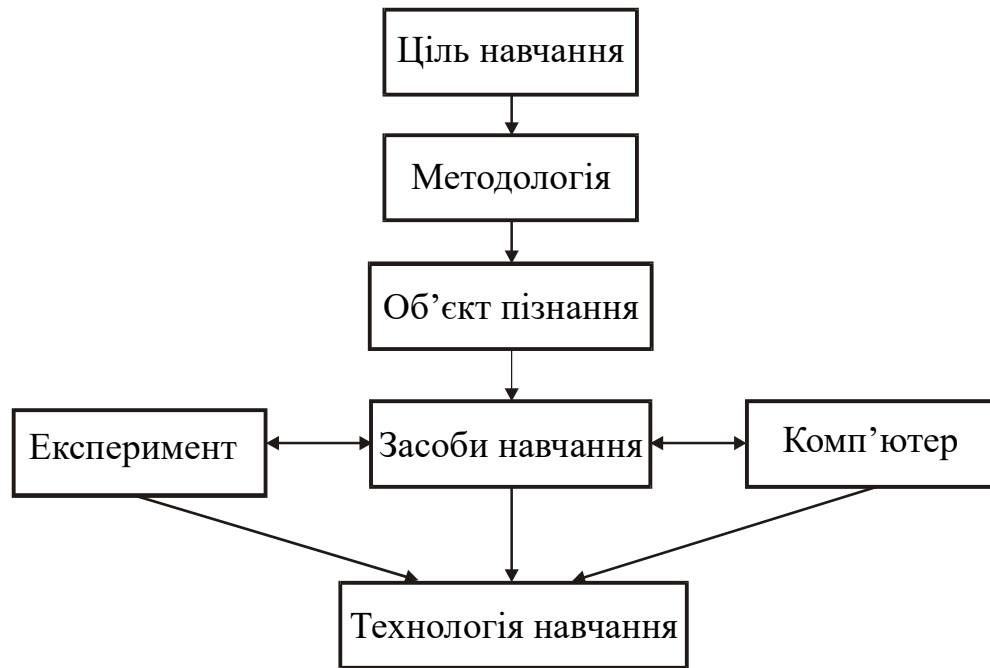
Вибирати доцільні методи вербального і наочного висвітлення матеріалу та розробляти нові форми навчання.

Проектувати і створювати нові та використовувати існуючі засоби навчання, узгоджуючи їх там, де це доцільно, з комп'ютером.

Розробляти методики проведення конкретних форм занять з використанням елементів інформаційних технологій.

Все це в сукупності означає дотримуватися блок-схеми, яку подано на рис. 3.1, і дає змогу сформувати нову технологію навчання конкретної комплексної теми.





**Рис. 3.1.** Блок-схема розробки нових технологій навчання курсу фізики

Важливо, щоб універсальним компонентом процесу навчання стало не заучування тексту, а пізнання в процесі реалізації діяльнісного підходу, спрямованого на сприйняття і усвідомлення взаємозв'язків між поняттями, теоріями і законами комплексної теми.

У цьому аспекті важливою функцією курсу фізики має стати навчання способам розв'язку різних завдань з орієнтацією не тільки на систему знань для формування цілісної картини світу, але й систему професійних і навчальних умінь.

Вимоги до побудови нових технологій навчання інноваційних комплексних тем як напрямку, що веде до створення нових форм навчання, повинні органічно поєднувати в собі вимоги до організації традиційних форм занять:

1. До лекції як до форми навчання, що служить організуючим елементом у вивченні фізики, забезпечує початкове ознайомлення студента з навчальним матеріалом, формує діалектичний світогляд, виховує пізнавальні інтереси та спрямовує самостійну роботу студентів;

2. До лабораторних занять як до експериментального методу навчання, в яких:

– світоглядні навчальні лабораторні дослідження повинні стати переходом від словесної констатації єдності фізики як незаперечного факту до практичних дій з реалізації цієї єдності у навчальних експериментальних дослідженнях;

– повинно вирішуватись завдання знаходження значення важливих фізичних величин;

– пошук розв'язку поставленого завдання торкався навчального матеріалу різних розділів фізики та охоплював взаємозв'язки між ними;

– розв'язок досягався у процесі послідовного виконання низки взаємопов'язаних експериментів.

3. До процесу навчання, як до процесу, в якому важливу роль відіграє комп'ютер.

Усвідомити, що необхідною передумовою формування знань у студентів з фізики повинно стати їхнє вміння словами описувати об'єкт пізнання – вміння конструювати системне оповідання про нього, тобто таке, що передає його цілісність як об'єкту пізнання загалом. Для цього треба спочатку вчити студентів якісно уявляти об'єкт пізнання і тільки після того навчати їх конструювати математичне уявлення про нього.

Таким чином, по-перше, створені технології навчання відповідних інноваційних комплексних тем курсу загальної фізики, які охоплюють ключові поняття, теорії і закони курсу фізики. Розкривати їх та встановлювати взаємозв'язки між ними повинен сучасний навчальний експеримент.

По-друге, вони дають змогу врахувати і використати виявлені співвідношення між закономірностями руху змісту курсу фізики та різноманітними методами та методиками навчання, зокрема націленими на діяльнісний підхід у навчанні та проблемний метод навчання.

Такі інновації у навчальному процесі курсу загальної фізики – це шлях до покращення засвоєння її фундаментального, гуманітарного та технічного потенціалу фізики. Він сприятиме формуванню у студентів знань з фізики та розвитку їхнього наукового мислення.

### **3.3. Нові навчальні експерименти та засоби і способи їх реалізації**

В контексті поданого – як перехід від абстрактного, з одного боку, взявши за основу результати досліджень на предмет “чи достатньо повно висвітлюються засобами усталеного навчального експерименту ключові поняття, закони і теорії курсу фізики та взаємозв’язки між ними”, здійснено пошук способів найефективнішого їх подання в навчання, ми розробили нові експерименти та спроектували і створили відповідні засоби навчання. Це, зокрема:

- прилад для демонстрації закономірностей випадкових похибок;
- прилад для дослідження швидкості обертання Землі навколо своєї осі;
- установка для дослідження механічних коливань (фізичний маятник);
- прилад для демонстрації коливань пружинного маятника;
- спосіб та прилад для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях;
- спосіб дослідження властивостей світла;
- установка для дослідження корпускулярних та хвильових властивостей електронів.

Більшість із них не мають аналогів у вітчизняному та й у зарубіжному навчальному практикумі курсу загальної фізики. Їх новизна та актуальність підтверджена авторськими свідоцтвами на винаходи. Важливість тематики, якої стосуються нові навчальні експерименти, нетрадиційність у підходах до її висвітлення робить їх актуальним для навчального процесу.

З другого боку, зважаючи на принципи і методи дидактики та принципи діалектики, систематизовано і структуровано навчальний матеріал, що стосується ключових понять, законів і теорій курсу фізики та подано його як об'єкт пізнання інноваційних комплексних тем. Для подання їх у навчальний процес, сформовано відповідні технології навчання, основою яких є розроблений навчальний експеримент.

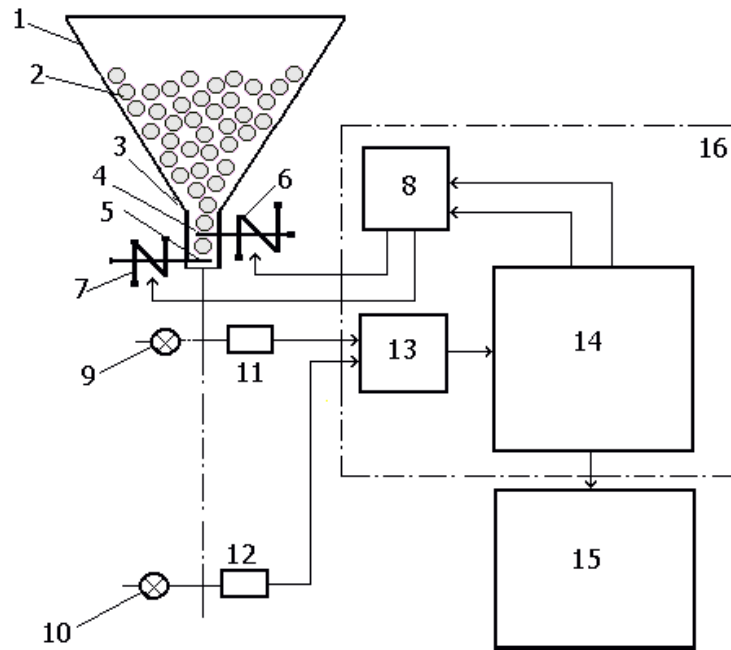
Зауважимо, що про п'ять із семи запропонованих засобів і способів реалізації нових експериментів, що стали складовими відповідно сформованих технологій навчання певних комплексних тем, які охоплюють ключові поняття, закони і теорії курсу фізики, йтиметься в наступних розділах. Дві розробки, що стосуються знаходження швидкості обертання Землі навколо своєї осі та квантово-механічних властивостей світла ще чекають впровадження.

## 1. ПРИЛАД ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК

У праці [147] описано наш винахід, що стосується наочних навчальних приладів. На рис. 3.2 подано функціональну схему приладу. Він може бути використаний для вивчення вільного падіння тіл та закономірностей випадкових похибок фізичних величин.

Перевага даного приладу порівняно з подібними полягає у збільшенні швидкодії і зменшенні трудомісткості процесу демонстрації закономірностей випадкових похибок.

Використання у дослідженнях комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням не тільки економить час навчання, позбавляючи студента рутинних та досить складних і одноманітних підрахунків, але у поєднанні з наочною відображення інформації на дисплеї робить демонстраційний експеримент ефективним і привабливим.



**Рис. 3.2.** Функціональна схема приладу:

- |                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| 1 – контейнер;    | 8, 13 – перетворювачі;  |
| 2 – кульки;       | 9, 10 – джерела світла; |
| 3 – патрубок;     | 11, 12 – фотоприймачі;  |
| 4, 5 – засувки;   | 14 – комп’ютер;         |
| 6, 7 – соленоїди; | 15 – графопобудовник    |

## 2. ПРИЛАД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ЗЕМЛІ НАВКОЛО СВОЄЇ ОСІ

Традиційно проявлення неінерціальності систем відліку, що пов’язані з Землею, пояснюють студентам, вказуючи на причини підмивання берегів ріками, які течуть у меридіанному напрямку (правий за течією – для рік Північної півкулі і лівий – для рік Південної півкулі) та повертання (обертання) площини коливань, так званого маятника Фуко.

У працях [148, 149] “Спосіб дослідження руху тіл” ми запропонували прилад, що дає змогу в лабораторних умовах проводити дослідження, яке забезпечує наочну демонстрацію не тільки неінерціальності систем відліку,

пов'язаних з Землею, але також знаходити кутову швидкість  $\omega$  обертання Землі навколо своєї осі.

*Рух вільно падаючого тіла до поверхні Землі*

Як відомо, основною причиною неінерціальності систем відліку, що зв'язані з Землею, є добове обертання Землі навколо своєї осі. Тому тіло, що вільно падає на Землю, рухатиметься не по вертикалі, а дещо відхилятиметься до сходу. Це відхилення буде тим більше, чим більшою є висота  $h$ , з якої падає тіло. Воно також залежить від географічної широти ( $\varphi$ ) місця падіння.

Якщо знехтувати опором повітря, то у довільній точці біля поверхні Землі на вільно падаюче тіло діятимуть дві сили. Перша – це сила тяжіння:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{g}, \quad (3.1)$$

а друга – Коріолісова сила інерції:

$$\mathbf{F}_k = -2m[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}_r], \quad (3.2)$$

де:  $m$  – маса падаючого тіла;  $\boldsymbol{\omega}$  – кутова швидкість обертання Землі навколо своєї осі,  $\mathbf{v}_r$  – швидкість рівноприскореного руху тіла по вертикалі.

Сила Коріоліса  $\mathbf{F}_k$  спрямована із Заходу на Схід по дотичній до поверхні Землі, тобто перпендикулярно до швидкості  $\mathbf{v}_r$  падіння тіла. Враховуючи, що кут між  $\boldsymbol{\omega}$  та  $\mathbf{v}_r$  залежить від географічної широти місця падіння тіла, рівняння (3.2) можна записати у вигляді:

$$F_k = 2mgv_r \cos\varphi. \quad (3.3)$$

Ця сила також надаватиме тілу прискорення, спрямованого з Заходу на Схід

$$a_k = 2g v_r \cos \varphi. \quad (3.4)$$

Величина прискорення зростатиме із збільшенням часу  $t$  падіння тіла. Відповідно до зміни прискорення змінюватиметься горизонтальна швидкість  $v_\tau$  та відхилення тіла на схід  $S$ :

$$v_\tau = \int_0^t a_k dt, \quad S = \int_0^t v_\tau dt. \quad (3.5)$$

Час  $t$  падіння тіла з висоти  $h$  можна знайти із співвідношення

$$h = \frac{gt^2}{2}. \quad (3.6)$$

Враховуючи залежності (3.4), (3.5) та (3.6) для знаходження відхилення  $S$  траєкторії падіння тіла від виска можна визначити за формулою:

$$S = \frac{1}{3} \omega g \cos \varphi \left( \frac{2h}{g} \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (3.7)$$

У випадку падіння тіла з висоти  $h = 2$  м відхилення  $S$  є незначним ( $\approx 10^{-5}$  м). Воно є надто малим, щоб бути поміченим в умовах лабораторного навчального експерименту і, тим паче, переконливим для наочного та наукового підтвердження дії сили Коріоліса.

*Ідея способу дослідження. Падіння кульок у рідині*

Очевидно, що якби ми якимось чином зменшили швидкість падіння тіла, то це відповідно приведе до збільшення як часу їх падіння тіла, так і дії на тіло сили Коріоліса. А це своєю чергою призведе до відповідного збільшення

відхилення  $S$ , яке стає достатнім, щоб бути зареєстрованим в умовах навчального лабораторного експерименту.

Один із можливих способів реалізації такого підходу можна здійснити на установці (рис. 3.3), що запропонована у працях [148, 149].

На кульку, що падатиме в рідині, на відміну від випадку падіння у повітрі (вакуумі), крім сили тяжіння  $F$  і Коріолісової сили  $F_k$ , діє виштовхувальна сила  $F_a$  і сила в'язкого опору рідини  $F_s$ .

Тоді рівняння руху запишеться у вигляді:

$$\mathbf{F} + \mathbf{F}_k + \mathbf{F}_a + \mathbf{F}_s = m\mathbf{a}. \quad (3.8)$$

Сила Архімеда  $F_a$  дорівнює

$$F_a = \rho g V, \quad (3.9)$$

де:  $\rho$  – густина рідини;  $V$  – об'єм кульки.

Сила  $\mathbf{F}_s$  має дві складові – вертикальну

$$F_{sn} = 6\pi\eta R v_r, \quad (3.10)$$

де:  $\eta$  – коефіцієнт в'язкості рідини;  $R$  – радіус кульки,  
і горизонтальну

$$F_{st} = 6\pi\eta R v_t. \quad (3.11)$$

Підставивши (3.9), (3.10) та (3.11) у рівняння (3.8) отримаємо два рівняння, які описують рух кульки по вертикалі:



$$mg - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g - 6\pi\eta R v_r = ma_r, \quad (3.12)$$

та по горизонталі:

$$2m\omega v_r \cos \varphi - 6\pi\eta R v_\tau = ma_\tau. \quad (3.13)$$

Розв'язуючи рівняння (3.2) та (3.13), отримаємо вираз для відхилення тіла:

$$S = 2\omega \cos \varphi \left\{ \frac{h}{B} - \frac{\left(h - \frac{A}{B}t\right)t \exp(-Bt)}{1 - \exp(-Bt)} - \frac{A}{B^3} [1 - \exp(-Bt)] \right\}. \quad (3.14)$$

Увівши позначення

$$K = \left\{ \frac{h}{B} - \frac{\left(h - \frac{A}{B}t\right)t \exp(-Bt)}{1 - \exp(-Bt)} - \frac{A}{B^3} [1 - \exp(-Bt)] \right\}, \quad (3.15)$$

де

$$A = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g \quad i \quad B = \frac{9\eta}{2R^2 \rho_0}, \quad (3.15')$$

отримаємо рівняння

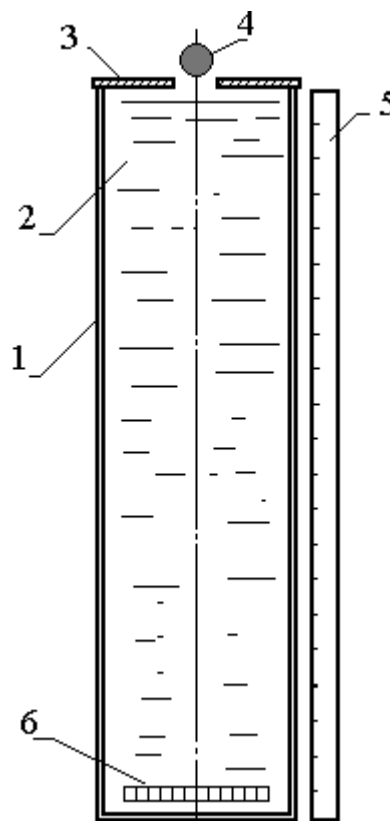
$$S = 2\omega K \cos \varphi, \quad (3.16)$$

з якого випливає вираз для знаходження кутової швидкості обертання Землі навколо своєї осі:

$$\omega = \frac{S}{2K \cos \varphi}. \quad (3.17)$$

### Лабораторна установка

Установка є вертикально розміщеною скляною посудиною 1 (циліндричною або прямокутною), яку заповнюють рідиною 2 (вода або слабкий розчин гліцерину).



**Рис. 3. 3.** Прилад для реалізації способу дослідження неінерціальності системи відліку, що зв'язана із Землею:

- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1 – скляна посудина;  | 4 – кулька;             |
| 2 – рідина;           | 5 – лінійка;            |
| 3 – кришка з отвором; | 6 – відліковий пристрій |

Посудину закривають кришкою з каліброваним отвором 3, крізь який опускають кульки 4, і який задає початкове положення кульки, тобто початок

відліку для визначення величини відхилення кульок по горизонталі, та висоти  $h$  падіння кульок по вертикалі.

(Зауважимо, що замість кришки з отвором 3 можливі інші варіанти, які забезпечують постійність цієї точки відліку. Наприклад, стаціонарно закріплений у верхній частині посудини електромагніт із сферичною виїмкою у сердечнику для центрування кульки. У цьому випадку кулька повинна бути виготовлена із феромагнетика).

Уздовж посудини 1 вертикально розміщують лінійку 5, яка забезпечує визначення висоти падіння кульок. А для знаходження величини відхилення  $S$  кульок по горизонталі на дні посудини розміщують відліковий пристрій 6 з компасом.

Висота посудини приблизно 2 м, що цілком допустимо в лабораторних умовах. Відлік часу падіння кульки проводять електронним хронометром.

Ми встановили, що достатня наочність навчального експерименту досягається у такому випадку. Кулька радіусом 10-15 мм повинна бути виготовлена таким чином, щоб її усереднена густина  $\rho_0$  всього на соті частки відсотка перевищувала густину рідини  $\rho$ , в якій вони падають, що дає змогу забезпечити компенсацію більшої частини сили тяжіння виштовхувальною силою Архімеда. Відповідним підбором  $\rho_0$  і  $\rho$  можна добитися швидкості падіння кульки порядку  $10^{-2}$  м/с. Тоді відхилення  $S$  становитиме декілька міліметрів.

#### *Хід дослідження швидкості обертання Землі*

Скляну посудину, не заповнену рідиною, встановлюють строго вертикально (наприклад, з допомогою виска) і по компасу орієнтують відліковий пристрій по земній паралелі. Потім через калібрувальний отвір верхньої кришки опускають кульку і реєструють за відліковим пристроєм точку його падіння.

Далі посудину заповнюють рідиною і знову через отвір у кришці з опускають кульку. Тоді, вимірявши по лінійці висоту  $h$  падіння кульки, час її падіння  $t$  (з допомогою секундоміра), за відліковим пристроєм реєструють точку падіння і визначають величину відхилення  $S$  як відстань між точкою падіння кульки на відліковий пристрій у повітрі та в рідині.

Використання поданого способу дослідження руху тіл у гравітаційному полі Землі забезпечить експериментальну перевірку теоретичних положень руху тіл у неінерціальних системах відліку.

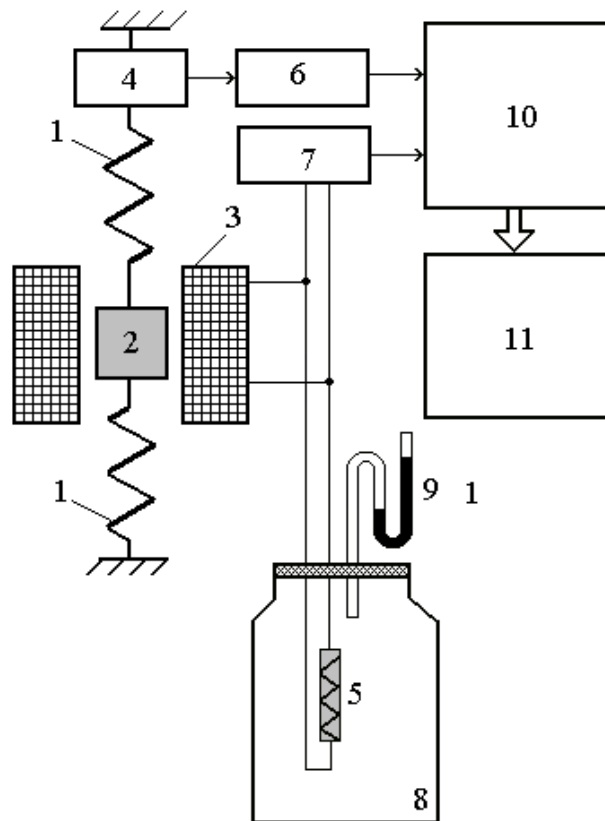
### 3. УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ (ФІЗИЧНИЙ МАЯТНИК)

У праці [150] ми показали, що традиційні підходи до вивчення теми “Вільні механічні коливання” є дещо недосконалими. Серед низки причин, що приводять до цього, вважають брак сучасних навчальних досліджень з даної теми. На нашу думку, сприятиме покращенню навчання теми “Механічні коливання” впровадження у навчальний процес узгодженої з комп’ютером установки “Фізичний маятник” (див. розділ 5). На установці можна проводити експерименти, що дають можливість:

- переконуватись в ізохронності коливних рухів;
- знаходити кінематичне рівняння руху;
- наочно досліджувати фізику згасаючих коливань.

### 4. ПРИЛАД ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ КОЛИВАНЬ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА

У праці [151] ми запропонували прилад для демонстрації коливань пружинного маятника. Його функціональна схема представлена на рис. 3.4.



**Рис. 3.4.** Функціональна схема приладу:

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| 1 – спіральні пружини;       | 6 і 7 – аналого-цифрові перетворювачі; |
| 2 – постійний магніт;        | 8 – герметично закритий балон;         |
| 3 – електромагнітна котушка; | 9 – манометр;                          |
| 4 – електричний динамометр;  | 10 – обчислювальний блок;              |
| 5 – навантажувальний опір;   | 11 – графічний дисплей                 |

Коливальні переміщення магніту в електричній котушці призводять до виникнення електрорушійної сили індукції. Під'єднання до затискачів котушки відомого опору  $R$ , співмірного по величині з опором витків котушки, призводить до згасання механічних коливань.

Залежність величини електрорушійної сили індукції та зміщення магніту від часу відображаються у вигляді графіка на екрані дисплея.

Перевага даного приладу, порівняно з відомими, полягає у підвищенні наочності демонстрації коливного процесу і закону збереження і перетворення енергії. Наприклад, механічна енергія коливань пружинного

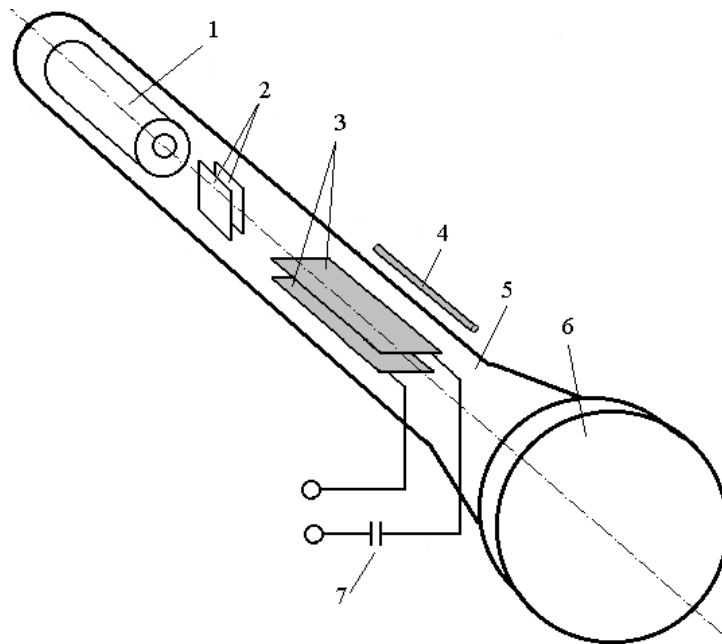
маятника перетворюється в енергію електричних коливань, далі, перетворившись у теплову енергію, витрачається на підвищення внутрішньої енергії повітря в балоні і виконання роботи по його розширенню.

## 5. СПОСІБ ТА ПРИЛАД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЕЛЕКТРОНІВ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТА МАГНІТНОМУ ПОЛЯХ

Опис винаходу, що стосується способу дослідження фізичних величин у навчальному процесі подано у праці [152]. Його метою є розширення можливостей дослідження руху електронів в електричному полі шляхом демонстрації релятивістської природи магнетизму. На рис. 3.5 представлено приклад реалізації способу.

Основною складовою пристрою є електронно-променева трубка. Вона містить електронну гармату 1, нижні відхиляючі пластини 2, які використовують для горизонтального коректування електронного променя, верхні відхиляючі пластини 3, що виконані у вигляді плоского горизонтального конденсатора з паралельними обкладками. Крім того, пристрій містить прямолінійний провідник 4, що розміщений на циліндричній горловині 5 електронно-променевої трубки на рівні відхиляючих пластин 3, довжина яких дорівнює довжині провідника, та флуоресціюючий екран 6 і додатковий конденсатор 7.

Спосіб дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях полягає у взаємній компенсації відхилень електронного променя електронно-променевої трубки, викликаного взаємно перпендикулярними електричним і магнітним полями діючими на пучок електронів, що рухається перпендикулярно до обох полів. Це дає змогу, визначивши швидкість руху електронів незалежним від цих полів способом і, знайшовши швидкість світла, переконуватись у взаємозв'язку магнетизму з релятивізмом.



**Рис. 3.5.** Приклад реалізації способу:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1 – електронно-променева гармата;      | 4 – прямолінійний провідник;     |
| 2 – горизонтально-відхиляючі пластини; | 5 – електронно-променева трубка; |
| 3 – вертикально-відхиляючі пластини;   | 6 – екран;                       |
| 7 – додатковий конденсатор             |                                  |

У праці [153] ми запропонували обмотку системи магнітного відхилення виконати у вигляді двох груп паралельних провідників, розміщених симетрично і діаметрально протилежно на горловині електронно-променевої трубки та доповнити додатковим конденсатором і герконними перемикачами. Площа пластин додаткового конденсатора більша від площі пластин вертикального відхилення, а відстань між пластинами однакова.

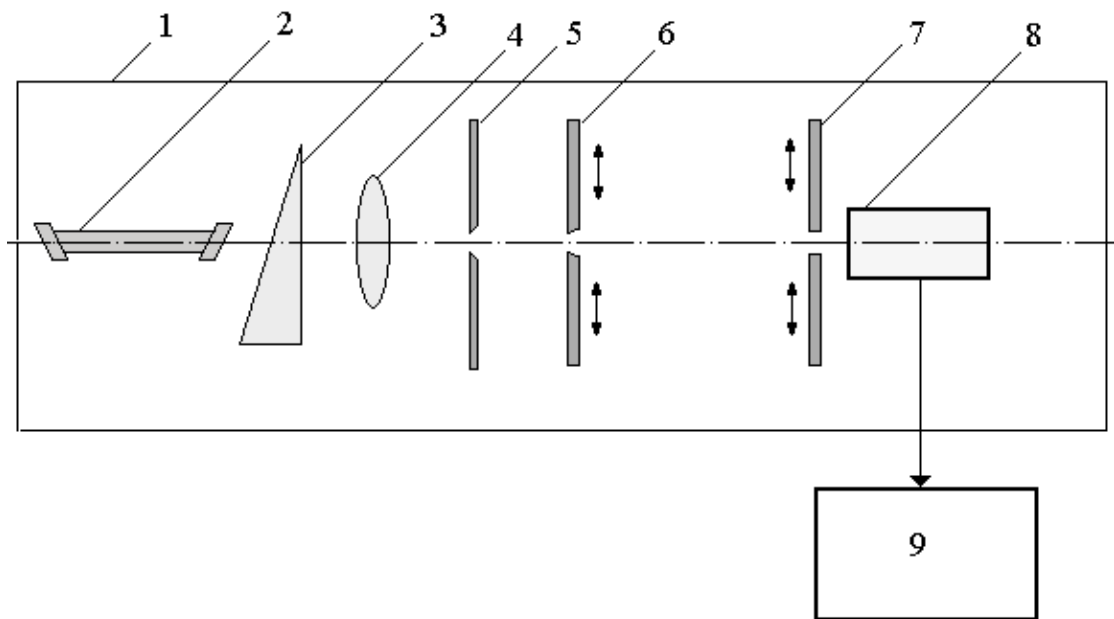
## 6. СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СВІТЛА

Метою винаходу “Спосіб дослідження властивостей світла” [140] є забезпечення демонстрації квантово-механічних властивостей світла. Зокрема того, що поняття “траєкторія” не завжди можна застосовувати до квантів світла.

На рис. 3.6 подано установку, на якій можна реалізувати дослідження квантово-механічних властивостей світла, а на рис. 3.7 – схема, яка допомагає, на основі зон Френеля, зрозуміти яким чином відбувається дифракція світла на круглому отворі.

### *Дифракція світла на круглому отворі*

Створений лазером 2 світловий потік збирають з допомогою лінзи 4 на дуже малому круглому отворі 5, що відіграє роль точкового джерела  $S$  (рис. 3.6). Сферична хвиля, що розповсюджується від нього попадає на круглий отвір у діафрагмі 6 (отвір  $BC$  на рис. 3.7). На екрані 7 (екран  $E$  на рис. 3.7) виникає дифракційна картина. Навколо точки  $M$  вона матиме вигляд темних та світлих кілець, які чергуються одне з одним.

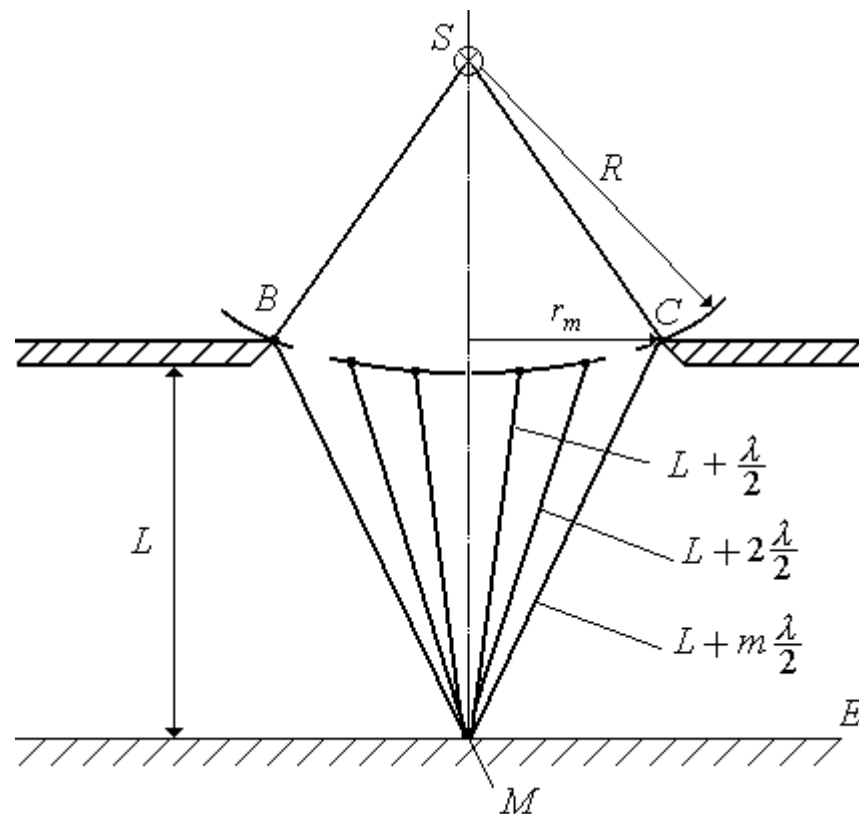


**Рис. 3.6.** Приклад реалізації способу:

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1 – світлонепроникний ящик;  | 6 – діафрагма з круглим отвором;          |
| 2 – гелій-неоновий лазер;    | 7 – екран з круглим регульованим отвором; |
| 3 – послаблювач;             | 8 – фотоелектронний помножувач;           |
| 4 – збірна лінза;            | 9 – лічильник фотонів                     |
| 5 – екран з круглим отвором; |   |



Згідно з принципом Гюйгенса-Френеля, дифракційні хвилі можна представити як суперпозицію вторинних хвиль, що виходять з кожного елемента площі в межах  $BC$ . Для цього на відкритій частині  $BC$  фронту хвилі будують відповідні до точки  $M$ , зони Френеля. Освітленість центру дифракційної картини (точка  $M$ , залежить від кількості зон Френеля, що вкладаються у дифракційному отворі з поверхні хвильового фронту.



**Рис. 3.7.** Схема проходження сферичної хвилі через круглий отвір:

$S$  – точкове джерело (круглий отвір екрана 5 на рис. 3.6);

$BC$  – круглий отвір (отвір діафрагми 6 на рис. 3.7);

$R$  – радіус хвильової поверхні;

$L$  – відстань від дифракційного отвору до екрана;

$r$  – радіус зовнішньої границі зони Френеля;

$\lambda$  – довжина хвилі світла

Кількість зон  $m$  залежить від радіуса  $r_m$  отвору, віддалі  $R$  від центру отвору до джерела світла та відстані  $L$  до точки спостереження, а також довжини світла  $\lambda$ . Співвідношення для радіуса зовнішньої границі  $m$ -ої зони Френеля має вигляд:

$$r_m = \sqrt{\frac{R L m \lambda}{R + L}}. \quad (3.18)$$

Якщо в отворі  $BC$  вкладається непарна кількість зон, у точці  $M$  спостерігається інтерференційний максимум, а при парній кількості зон – мінімум. Коли діаметр отвору є великий, дифракційної картини на екрані не буде. У цьому випадку світло розповсюджується так, як і без непрозорого екрана, тобто прямолінійно.

*Хід реалізації способу дослідження квантово-механічних властивостей світла*

Змінюючи діаметр дифракційного отвору 6, добиваються, щоб у центрі дифракційної картини на екрані 7, яка складається із світлих та темних кілець, був дифракційний максимум. Це вказує на те, що у дифракційному отворі 6 вкладається непарна кількість зон Френеля. Використовуючи співвідношення (3.18) переконуються, що кількість зон Френеля

$$m = 3 + 2n, \quad (3.19)$$

де  $n = 0, 1, 2$ .

Тоді, не змінюючи відстані між елементами установки, регульованим отвором екрану 7 виділяють центральний світлий максимум.

Далі, шляхом введення послаблювача 2, зменшують світловий потік до потоку окремих фотонів та реєструють їх з допомогою фотопомножувача. Після цього, збільшуючи діаметр дифракційного отвору на одну зону Френеля:

$$m = 3 + 2n + 1, \quad (3.20)$$

і переконуються, що фотопомножувач перестає реєструвати фотони.

Такий результат експерименту дає змогу зробити висновок:

– якщо збільшення отвору, через який потрапляють окремі фотони у детектор, не тільки не приводить до відповідного збільшення їх кількості, що проходять через цей отвір, але навпаки – фотони взагалі не потрапляють у детектор, то це вказує на те, що поняття “траєкторія” до квантів світла не завжди можна застосовувати.

Отже, використання даного способу дослідження властивостей світла забезпечує, порівняно з існуючими способами, експериментальну перевірку квантово-механічних властивостей світла.

## 7. УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРПУСКУЛЯРНИХ ТА ХВИЛЬОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОНІВ

У праці [155] (див. розділ 8) для дослідження хвильових властивостей електронів нами запропоновано навчальну установку, яка дає можливість одночасно спостерігати і порівнювати рух електронів у вакуумі з рухом електронів в атмосфері суміші аргону з криптоном. Досліджують криві залежності анодного струму від напруги по точках: плавно збільшуючи потенціометром прискорюючу напругу і вимірюючи гальванометром струм в анодному колі.

Цікаво, що ідею пояснення цього ефекту (хвилі де’Бройля дифрагують на молекулах газу) висунув Н. Бор.

### Висновки до розділу 3

1. Зміни у парадигмі освіти, що відбуваються останніми роками, недостатньо втілюються у зміст навчання фізики. У навчальному процесі курсу загальної фізики:

– бракує достатнього висвітлення ключових понять засобами навчального експерименту;

– віддається перевага представленню знання у вигляді готового знання та запам'ятовуванню над усвідомленням;

– зберігається усталена роками побудова змісту підручників, посібників до лабораторних і практичних занять та форм, методів і засобів навчання;

– недостатньо здійснюється акцент на системно-діяльнісний підхід, фундаментальність, наочність і проблемні методи навчання.

2. Потрібно формувати інноваційний напрям розвитку навчання фізики.

З одного боку, у лабораторних навчальних дослідженнях повинні використовуватись сучасні, узгоджені, там де це доцільно, з комп'ютером, лабораторні та демонстраційні установки, під час розробки яких враховано ергономічні вимоги та прогрес техніки. Невід'ємною складовою нових технологій навчання фізики повинно стати комп'ютерне моделювання навчального дослідження.

З іншого – крім засобів навчання, інновації мають стосуватися добору змісту навчання, його структурування у відповідній дидактичній формі та способів його реалізації в процесі навчання.

3. З ключових тем курсу загальної фізики вибирати матеріал, який дасть змогу об'єднати різноманітні поняття, теорії і закономірності і формувати його як об'єкт пізнання комплексних тем – фрагментів фізичної картини світу, висвітленню яких мають сприяти інноваційні навчальні експерименти.

Розкривати конкретизовані цілі навчання теми мовою різних завдань. Для цього треба вивчати і висвітлювати співвідношення між закономірностями розвитку змісту фізики і формами організації та

проведення навчального процесу. Вони мають проявлятися в найефективніших засобах донесення змісту. Результати цих досліджень повинні лягти в основу побудови технологій навчання відповідних комплексних тем курсу фізики, що як складові дидактичної системи навчання предмету мають призводити до ефективного досягнення навчальних цілей.

4. Технологію навчання фізики слід розглядати як науково обґрунтований спосіб відтворення зразків організації навчальної діяльності – інваріантів навчального процесу. Їх потрібно розробляти інтегрально, починаючи з цілей навчання, розкривати структуру навчального матеріалу, формуючи його як об'єкт пізнання, далі – вибір доцільних методів вербального і наочного висвітлення матеріалу, після чого розробка і створення нових, чи використання наявних засобів навчання, і закінчувати розробками методик проведення конкретних занять.

Сценарій навчання, базу знань та іншу допоміжну інформацію оформляти у вигляді програмного продукту так, щоб в єдиному цільовому руслі все було націлено на реалізацію фізичної ідеї, актуальність якої для навчального процесу незаперечна.

5. Результатом досліджень на предмет “чи достатньо повно висвітлюються засобами усталеного навчального експерименту ключові поняття, закони і теорії курсу фізики та взаємозв'язки між ними”, є розроблення нових експериментів, проектування і створення відповідних засобів навчання. Це, зокрема:

- прилад для демонстрації закономірностей випадкових похибок;
- прилад для дослідження швидкості обертання Землі навколо своєї осі;
- установка для дослідження механічних коливань (фізичний маятник);
- прилад для демонстрації коливань пружинного маятника;
- спосіб та прилад для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях;
- спосіб дослідження властивостей світла;

– установка для дослідження корпускулярних та хвильових властивостей електронів.

Більшість із них не має аналогів у вітчизняному та зарубіжному навчальному практикумі курсу загальної фізики. Їх новизна та актуальність підтверджена авторськими свідоцтвами на винаходи.

6. Розробки “Прилад для дослідження швидкості обертання Землі навколо своєї осі” та “Спосіб дослідження властивостей світла” використовують у вербальному викладі як оригінальні і наочні та необхідні зразки інноваційного підходу висвітлення ключових понять класичної і сучасної фізики і формування у студентів наукового мислення.

РОЗДІЛ 4

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ  
ТЕМИ “ВИМІРЮВАННЯ ТА ЇХ ПОХИБКИ”**

Метою вивчення теми “Вимірювання та їх похибки” є оволодіння студентами раціональних прийомів обчислення результатів вимірювань, уміння знаходити шляхи і засоби підвищення їх точності.

Для цього необхідно поглибити знання студентів з фізики за середню школу, забезпечити засвоєння ними таких понять: істинне та вибіркоче середнє арифметичне значення вимірюваної величини, похибка окремого вимірювання та середня квадратична похибка вимірювання, котрі глибше вивчатимуться у старших курсах.

(Результати досліджень висвітлювались у працях [147, 159-167].)

**4.1. Тема “Вимірювання та їх похибки”. Навчальні проблеми та шляхи їх розв’язку**

Тема “Вимірювання та їх похибки” досить складна у методичному відношенні, оскільки її вивчення здійснюється на початку курсу, коли знання першокурсників ще недостатні для засвоєння теми, де потрібно оперувати поняттями з теорії імовірностей і математичної статистики. І не просто визначити ту доцільну побудову викладу, щоб складний математичний формалізм не відлякував студентів, а сприяючи засвоєнню складних понять даної теми, полегшував формування у них достатніх наукових знань, які можуть стати вагомою складовою їх подальшої інженерної підготовки.

Аналіз результатів опитувань студентів, яке ми проводили через рік після вивчення ними теми “Вимірювання та їх похибки” в Українському державному лісотехнічному університеті та на фізичному факультеті Львівського національного університету ім. І. Франка, показав брак у більшості з них достатніх наукових знань як про типи похибок, так і про елементарні оцінки похибок вимірювання. Крім того, ще часто можна спостерігати у студентів хибно сформовані, спрощені уявлення про похибки вимірювання.

На нашу думку, що ґрунтується на результатах науково-методичних та педагогічних досліджень, основною причиною, яка сприяє цим недолікам, є недосконалість традиційного підходу до викладання даної теми. Він зазвичай базується на лекційному висвітленні матеріалу, який подано у низці підручників з фізики, зокрема [168-172]. Спроби обмежитись простою модернізацією викладання теми (внесенням невеликих змін у традиційну методику навчання) не дали позитивних результатів. Потрібні радикальні зміни у методиці навчання: чіткіша структуризація і систематизація навчального матеріалу та розуміння того, що надалі ця тема повинна знайти логічне продовження при вивченні теми “Електричні вимірювання”.

Зважаючи на сказане, мета нашого дослідження полягає:

1. У розробці засад побудови нової технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”, такого її загальноосвітнього варіанта, з якого б випливало:

– чітке розуміння систематичних і випадкових похибок, закономірностей розподілу вимірювань та їх похибок;

– переконання, що без знань математичної статистики тут не обійтись;

– усвідомлення, що здобуті знання надалі застосовуватимуться під час розв’язку конкретних виробничих завдань, а не тільки у формальному розв’язку кількох абстрактних прикладів, чим зазвичай ще часто обмежується роль математики в уяві студентів.



2. У розробці, виготовленні як реальних, так і віртуальних засобів навчання теми та їх впровадженні у навчальну практику.

3. У розробці методики навчання теми “Вимірювання та їх похибки” та реалізації її у відповідному педагогічному програмному продукті.

У процесі наших педагогічних досліджень ми насамперед прагнули зрозуміти психолого-педагогічні особливості сприйняття студентами цього матеріалу. Ми не торкатимемось деталей досліджень, а лише зупинимось на результатах, які покладено в основу формування нової технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”.

#### *Проблемний виклад та предмет дослідження в експерименті*

З одного боку, з результатів наших досліджень випливає, що навчальний матеріал даної теми доцільно викладати як проблемний, тобто в формі, в якій зафіксовані навчальні проблеми. Сам процес вимірювання – це проблема. І було б недоречно не скористатися з цього у побудові технології навчання. Проілюструємо це двома прикладами.

*Приклад 1.* Відомо, що вимірювання фізичної величини зводиться до знаходження кількісного її значення з допомогою відповідного засобу. Але навіть при старанному його проведенні неминуче виникають похибки.

Риторичне запитання: “Як знайти ці похибки?” створює у студентів проблемну ситуацію. Після формування навчальної проблеми з’ясовуємо, що для знаходження похибки потрібно знати істинне значення вимірюваної величини, бо її порівняння з результатом вимірювання лише дасть значення цієї похибки. Але, якщо істинне значення вимірюваної величини відоме, тоді не буде потреби її вимірювати. Річ у тому, що істинних значень фізичних величин ми ніколи не знаємо (за винятком кількох констант), але можемо із заданою імовірністю вказати за результатами вимірювань межі, в яких знаходяться ці величини.

*Приклад 2.* Дуже часто ми чуємо, що зробивши точні виміри “дечого”, стало можливим “дещо”. Але, що означає та як математично виразити вислів “достатньо точно”?

Виявляється, що це не так просто. Для розуміння суті цього висловлювання потрібно ввести непрості поняття, такі як імовірність та інтервал певності.

*З другого,* – ми переконались, що коли процес вивчення теми “Вимірювання та їх похибки” будувати тільки на прикладах, де математичний формалізм застосовується для обробки заздалегідь отриманих експериментальних результатів, то він є малоефективним.

У той же час, коли навчальний процес будувати на прикладах аналізу результатів спостережень величин, отриманих у присутності студентів як в лабораторному, так і комп’ютерному модельному експерименті, то його ефективність зростає.

Отже, тільки методика навчання з використанням наочності є актуальною.

Але виявилось, що такий підхід не завжди веде до покращення навчання. Зокрема, процес навчання не стає ефективнішим, якщо скористатись як методиками, так і засобами навчання, які пропонуються у низці навчальних посібників [168-172]. Для прикладу наведемо рекомендації з [148]: “У ході виконання лабораторної роботи з допомогою грубого приладу (годинник, генератор, стрілочний вольтметр) багатократно встановлюють одне і те ж значення фізичної величини (інтервал часу, частоту синусоїдальної напруги, напругу постійного струму), яку вимірюють точним приладом (частотоміром-хронометром, цифровим вольтметром). Унаслідок обмеженої точності відтворення фізичної величини...”

У праці [169] для вивчення статистичних похибок, що виникають при вимірюваннях інтенсивності космічного випромінювання у лабораторних

умовах для реєстрації випромінювання використовується лічильник Гейгера-Мюллера.

На нашу думку, по-перше, такі дослідження важко реалізувати у лекційному викладі даної теми. По-друге, вони теж недостатньо пізнавальні й наочні у лабораторному ж практикумі, і не лише для першокурсників – учорашніх школярів, але й для студентів старших курсів.

Виявилось, що ефективність засвоєння теми “Вимірювання та їх похибки” теж не зростає і тоді, коли її виклад будувати на використанні одержаних на занятті результатах вимірювань “простих” величин (наприклад, діаметра циліндра), тобто величин без істотного смислового навантаження.

У той же час, аналізуючи відповіді студентів на запитання “Чи завжди середнє арифметичне значення вимірюваної величини буде найкраще відповідати його істинному значенню”, переконуємось, що засвоєння низки важливих понять теорії похибок спрощується, коли у викладі теми оперувати величинами, дійсне значення яких уже відоме студентам з численних фізичних експериментів.

Отже, істотним у засвоєнні теми є предмет дослідження у навчальному експерименті.

*Структурування, комп'ютер та основні засади побудови технології навчання*

На підставі проведених досліджень ми переконалися, що засвоєння знань студентами буде ефективним, якщо організувати навчальний процес так, щоб зміст теми висвітлювався під час виконання та обробки результатів спостережень експерименту.

З одного боку, для цього необхідно відповідно структурувати навчальний матеріал теми. Відібрати вузлові, найважливіші її поняття, принципи, які в своїй сукупності становлять її основний концептуальний зміст, є найбільш важливими для її розуміння і засвоєння.

З другого, – розробити підходи для їх достатнього наочного представлення у навчальній практиці. Важливо, щоб складність проведення багатьох

вимірів безпосередньо на занятті та трудомісткість здійснення їх швидкої математичної обробки не заважала навчанню.

У попередніх розділах ми вже наголошували на тому, що в останні роки традиційні методики викладання зазнають істотних змін у зв'язку з впровадженням комп'ютера. Це – складний процес, який вимагає скрупульозного педагогічного осмислення уведення комп'ютера у кожен ланку навчального процесу. Без урахування цього неможливе створення ефективних технологій навчання фізики.

Саме у даній темі комп'ютер повинен доцільно і природно вписуватися у процес викладання. І не тільки зважаючи на потребу проводити математичну обробку великої кількості експериментальних результатів, але й як засіб, що сприяє автоматизації і візуалізації реального навчального експерименту.

Нарешті, як засіб реалізації віртуального навчального експерименту у відповідно розробленому та створеному педагогічному програмному продукті теми.

Відповідно до поданого постає завдання – так організувати навчальний процес, щоб проблемний виклад теми можна було реалізувати шляхом застосування наочності, яка б сприяла доступному для усвідомлення студентами поданню навчального матеріалу, а також забезпечувала необхідний рівень науковості його висвітлення, щоб комп'ютер, природно вписуючись у процес її викладання, допомагав як при наявності відповідних інструментальних засобів навчання, так і без них (грунтуючись суто на модельному комп'ютерному експерименті), у створенні і реалізації технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”. У ній ефективний і привабливий демонстраційний експеримент давав змогу швидко, наочно і з малою трудомісткістю продемонструвати закономірності розподілу випадкових похибок та сприяє свідомому засвоєнню всіх необхідних положень теорії.

## 4.2. Проектування технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”

На нашу думку, основними засадами створення технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки” повинні бути:

- подання змісту теми у вигляді системи, структурні елементи якої несуть чітко визначені пізнавальні функції;

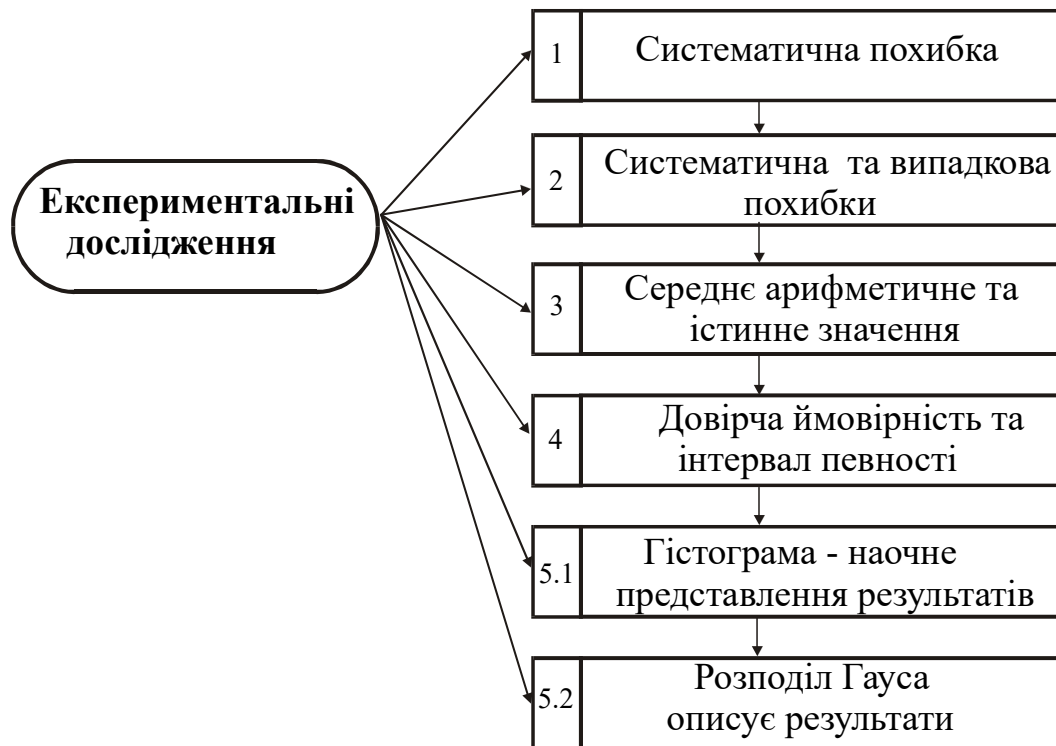
- висвітлення структурних елементів системи під час аналізу одержаних у присутності студентів значень спостережень величини, “істинне” значення якої добре відоме студентам;

- експеримент повинен бути простим та наочним, керуватись з клавіатури комп’ютера. Його результати треба наочно представити на дисплеї, залишати у пам’яті комп’ютера і використовувати при побудові педагогічного програмного продукту;

- порівняння результатів вимірювань кожного, цільово реалізованого експерименту, з відомим, “істинним” значенням вимірюваної величини, повинно сприяти виявленню та аналізу причин відхилень та поетапно підводити студентів до розуміння процесу вимірювань і суті похибок;

- аналізуючи експериментальні дані, еволюційно переходити від їх наочного якісного та кількісного представлення у вигляді гістограми, до усвідомлення того, що обвідну гістограми можна описати певною кривою, знання аналітичного вигляду якої дає усю необхідну інформацію про вимірювану величину, її випадкові похибки [173].

Ми вважаємо, що зміст матеріалу теми доцільно структурувати п’ятьма блоками-модулями (рис. 4.1). Їх послідовне введення у процес навчання повинно сприяти формуванню у студентів понять теми та їх основних ознак.



**Рис. 4.1.** Блок-схема структури змісту теми “Вимірювання та їх похибки”

У першому блоці-модулі треба ввести поняття “систематична похибка”. У другому – поряд з систематичними похибками ввести випадкові. Подальші три блоки-модулі повинні розкривати основні ознаки випадкових похибок, зокрема: *третій*, – що середнє арифметичне значення вимірюваної величини є функцією кількості спостережень; *четвертий*, що середнє арифметичне не вказує на величини похибок і тільки ширина інтервалу розкиду окремих спостережень свідчить про це; *п’ятий*, – що гістограма (а у випадку великої кількості спостережень її огинаюча), яку описує формула Гауса, несе всю інформацію про результати вимірювань.

Згідно з наведеними п’ятьма структурними блоками-модулями, вивчення теми треба здійснювати під час виконання п’яти навчальних досліджень, у яких шукають значення певної величини  $x$ , істинне значення якої є відомим. Кожний з дослідів проводити за певних “технічних” умов, створених так, щоб

отримана у кожному досліді серія значень  $x_i$ , давав змогу відобразити конкретну особливість процесу вимірювань та властиві йому похибки.

Окремі вузлові фрагменти технології навчання, котрі дають змогу зрозуміти методику підходу до висвітлення змісту теми, можна побудувати таким чином:

1. Спочатку у блоці-модулі 1 слід зосередити увагу на систематичних похибках, причинах їх виникнення. Для цього у відповідному йому експерименті 1 діставати тільки таке значення  $x$  досліджуваної величини, яке істотно відрізняється від його відомого істинного значення  $x_r$ . На пошуку відповіді, на причині виникнення такого результату побудувати усвідомлення і засвоєння поняття систематична похибка.

2. Експеримент 2 (блок-модуль 2) слід побудувати так, щоб розкидані в деяких межах значення досліджуваної величини містили, крім випадкових похибок, – систематичну. Аналізуючи ці результати, акцентувати на відмінностях систематичних похибок від випадкових та підводити студентів до усвідомлення, що розкидані у певному діапазоні значення  $x_i$  характеризує середнє арифметичне значення вимірюваної величини ( $\langle x \rangle$ ).

3. Результати експерименту 3 блоку-модуля 3 повинні переконати студентів, що середнє арифметичне залежить від кількості вимірів  $N$ , і тому його ще називають вибіркоvim середнім арифметичним. Крім того, досліджуючи залежність середнього арифметичного значення вимірюваної величини від кількості спостережень  $N$ , потрібно показати, що із збільшенням  $N$  середнє арифметичне значення вимірюваної величини наближається до його істинного значення.

4. В експерименті 4 (блок-модуль 4) слід продемонструвати, що результати спостережень, отриманих на установці, яка дає змогу забезпечити вищу точність вимірювань порівняно з установкою, якою користувалися в дослідженні 3, перебуватимуть у набагато вужчому інтервалі, ніж результати попереднього дослідження.

Аналіз результатів обох експериментів повинен переконати студентів, з одного боку, що про точність вимірювань не можна судити тільки за відомим значенням її середньоарифметичної величини. З другого, – що про величину похибок вимірювання можна судити по ширині діапазону знаходження значення окремих вимірів. Наприклад, якщо в одній серії вимірювань розкид окремих результатів більший, порівняно з розкидом в іншій серії, то, відповідно, буде більшою похибка у значенні середнього арифметичного вимірюваної величини.

Запитання: “як у кінцевому результаті відобразити дану особливість різноточних вимірювань?” покликане підвести студентів до усвідомлення, що без математики це зробити неможливо.

Таким чином, ми логічно підводимо студента до побудови гістограми та до розподілу Гауса.

5. Метою блоку-модуля 5 є ознайомлення студентів зі статистичними закономірностями, яким підпорядковуються отримані результати окремих вимірювань ( $x_i$ ), і їх похибкою та методикою обробки результатів вимірювань. Блок повинен складатися з двох частин, в основі кожної має бути експеримент.

В експерименті 5.1 цього блоку-модуля треба отримати результати  $N = 50$  вимірювань. Далі – поставити завдання, як наочно представити їх.

Тоді слід показати, що для цього потрібно розбити діапазон, в якому знаходиться весь масив  $x_i$  результатів вимірювань, на декілька інтервалів  $m$  (наприклад, 5-9) та підрахувати, яка кількість результатів вимірювань ( $n_m$ ) знаходиться у кожному інтервалі. Представити ці підрахунки як у вигляді таблиці, так і у вигляді діаграми, відкладаючи по осі абсцис інтервали  $m$ , які охоплюють весь масив  $x_i$  отриманих результатів, а по осі ординат – кількість  $n_m$  результатів вимірювань, що потрапляють у кожний із  $m$  інтервалів.



Отриману таким чином діаграму називають гістограмою. Важливо, що відношення  $n_m/N$  – це ймовірність, з якою результати вимірювань перебувають у кожному інтервалі.

Після того показати доцільність переходу від ручного режиму обробки результатів до автоматичного. В автоматичному режимі, задавши кількість інтервалів, можна автоматично отримати таблицю і гістограму, в якій підраховано кількість попадань у кожний інтервал.

Далі, замінити на гістограмі вісь ординат  $n_m$  на  $\frac{n_m}{N \cdot \Delta g}$ . Вигляд гістограми не змінюється, але тепер площа  $S_m$  прямокутників гістограми визначає імовірність, з якою результати вимірювань знаходяться у кожному з них.

В експерименті 5.2 цього ж блоку – модуля 5, провести ще хоча б 150 вимірювань та доповнити їх масивом результатів попереднього експерименту 5.1. Це дасть змогу розбити весь діапазон значень  $x_i$  на більшу, порівняно з попереднім, кількість інтервалів  $m$  (наприклад, 19-21). Тепер сходинки гістограми повинні утворювати майже плавну криву. Аналогічно, як у попередній частині блоку-модуля 5, замінити на гістограмі вісь ординат  $n_m$  на  $\frac{n_m}{N \cdot \Delta x}$  та представляти її як  $P$ :

$$P = \frac{n_m}{N \cdot \Delta x}.$$

Важливо, що тепер площу прямокутників гістограми  $S_i$ , яка дорівнює імовірності знаходження результатів експерименту в інтервалі  $\Delta x$  ( $[x_1, x_2]$ ), можна представити як інтеграл:

$$S_i = \int_{g_i}^{g_{i+1}} P(g) dg .$$

Цей інтеграл можна підрахувати лише тоді, коли відомо аналітичну залежність огинаючої  $P$  гістограми ( $P=P(g)$ ). Отже, наше завдання – знайти його.

У математиці відомо про нормальний розподіл похибок Гауса. Його можна побудувати, знаючи істинне значення вимірюваної величини та середню квадратичну похибку.

Перед нами постає завдання – дослідити, чи наші експериментальні результати, тобто обвідну гістограми, можна описати формулою Гауса. Якщо так, то у підрахунках імовірності та інтервалу певності можна було б скористатися вищеподаною формулою для  $S_i$ .

Щоб цього досягнути, за істинне значення вимірюваної величини  $x$  слід взяти її вибіркоче середнє арифметичне  $\langle x \rangle$ , а за середню квадратичну похибку  $\sigma$  – значення  $\Delta x$  на висоті  $0,67P$  від максимального значення  $P$  та підставити їх у формулу Гауса. Отриману криву подати на рисунку разом з обвідною гістограми. Порівнювання їх дасть змогу переконатись, що одна крива майже накладається на іншу. А це дає можливість констатувати, що експериментальні результати можна описувати формулою Гауса “Закону нормального розподілу похибок” та використовувати теоретичні висновки, що випливають з цього, для аналізу результатів експериментальних досліджень.

### 4.3. Розробка засобів навчання

Запропонована у підрозділі 4.2 концепція навчання теми ґрунтується на послідовному виконанні та усвідомленні результатів низки експериментів. Зрозуміло, що реалізація наочного висвітлення завдань теми, яка пов’язана з розробкою простих, цільово продуманих навчальних експериментів, потребує для цього відповідних засобів навчання.

В той же час виявилось, що на наявних у лабораторному практикумі курсу загальної фізики засобах навчання поставлені завдання реалізувати неможливо.

Отже, реалізація завдань теми вимагає розробки відповідних засобів навчання, характер яких визначатимуть три чинники:

- предмет дослідження;
- реалізація експерименту (керування з допомогою комп'ютера);
- представлення експериментальних даних.

Таким вимогам відповідає запропонований нами у роботі [147] навчальний прилад з фізики для дослідження випадкових похибок (див. підрозділ 3.3). Він може стати базовим засобом навчання нової технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”. Забезпечуючи наочність у викладанні, ми сприятимемо більш осмисленому засвоєнню студентами змісту навчального матеріалу.

#### *Ідея експерименту. Представлення результатів*

Ідея експерименту, що стала основою для побудови цього приладу, така: із заданою послідовністю з висоти  $h$  починають без початкової швидкості падати кульки однакової маси та діаметру (рис. 4.2 *a*). На висоті  $h = 0$  відбувається реєстрація часу  $t$  падіння кульок. Використовуючи відомі співвідношення кінематики, прискорення вільного падіння кульок  $g$  визначають за часом  $t$  падіння кульок з висоти  $h$ :

$$g = \frac{2h}{t^2}. \quad (4.1)$$

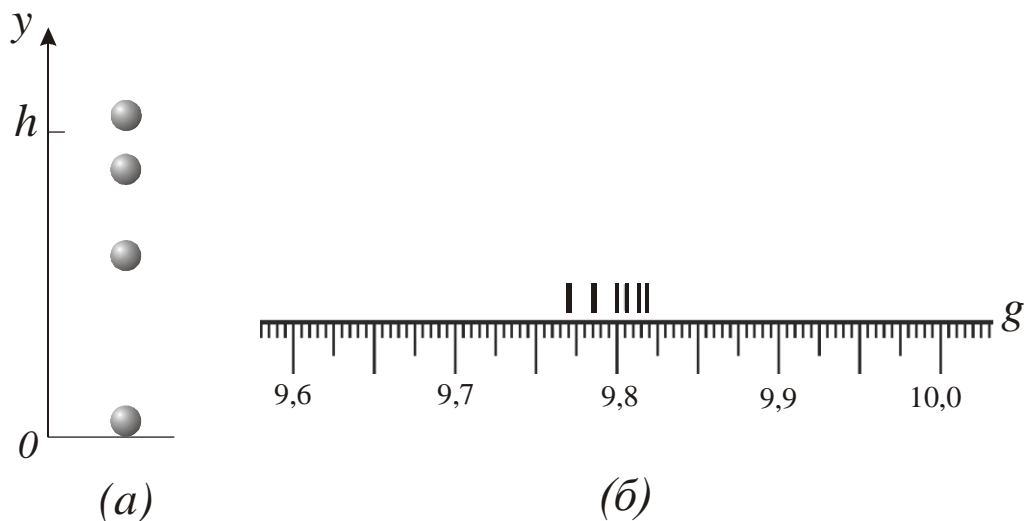
Точність, з якою знаходять  $g$ , обмежують похибки, що властиві вимірюванням величин  $t$  та  $h$ . Похибки, отримані при вимірюваннях висоти  $h$ , є набагато менші, ніж похибки при вимірюваннях часу падіння  $t$  кульок. Тому наближено можна вважати, що точність, з якою знаходять величину

прискорення земного тяжіння  $g$ , визначають тільки похибки результатів вимірювання часу  $t$  падіння кульок.

Якщо таким простим експериментом керувати за допомогою комп'ютера, то це дасть можливість значення часу падіння  $t$  кульок та відповідно прискорення вільного падіння  $g$  автоматично відобразити на екрані монітора, залишити в пам'яті комп'ютера для подальшого використання при викладанні теми.

Далі залишається реалізувати важливу умову – яким чином наочно представити окремі результати експериментальних досліджень прискорення земного тяжіння  $g$  на екрані монітора комп'ютера.

На нашу думку, найдоцільніше представляти їх на горизонтальній осі прискорень  $g$  (рис. 4.2 б) невеличкою вертикальною рисою над нею.



**Рис. 4.2.** (а) Кульки вільно падають з висоти  $h$ . (б) Представлення результатів спостережень

Підкреслимо, що як запропоноване нами подання результатів вимірювань, так і вибір прискорення сили земного тяжіння  $g$  як предмета дослідження, є важливим для забезпечення наочності викладання. Це пов'язано з тим, що значення прискорення вільного падіння в даній

місцевості відоме з великою точністю, його можна взяти за “істинне значення” вимірюваної величини  $g$ . Це надзвичайно унаочнює процес навчання, даючи змогу порівнювати з цим значенням результати вимірів і на цьому порівнянні та його аналізі детально будувати етапи нашого навчання.

Подана ідея експерименту, в якій предмет дослідження – прискорення сили земного тяжіння, втілена, з одного боку, в розробленій та виготовленій нами експериментальній установці для дослідження випадкових похибок (рис. 4.3), а з другого, – у модельній комп’ютерній навчальній установці (рис. 4.4) – аналогу реальної.

Як виявилось, поєднання у навчанні цих експериментів, реального та віртуального, є найбільш ефективним при засвоєнні студентами змісту теми.

*Установка для дослідження випадкових похибок (рис. 4.3) та її модельний комп’ютерний аналог (рис. 4.4)*

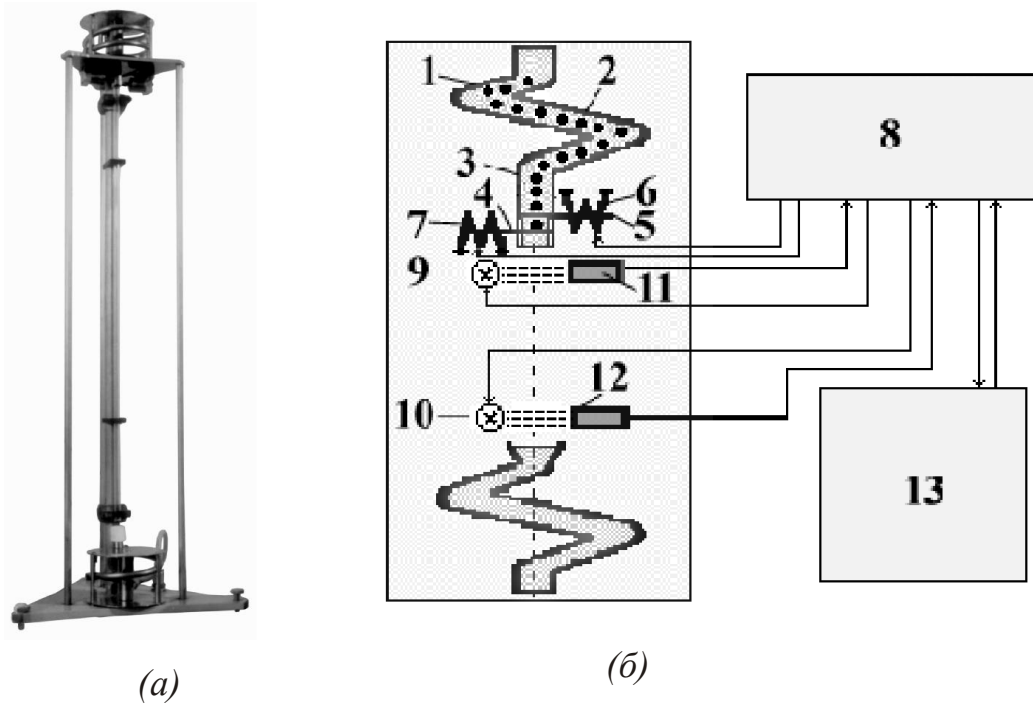
Загальний вигляд установки для дослідження випадкових похибок подано на рис. 4.3 а. Функціональну схему її представлено на рис. 4.4 б.

Навчальна установка містить:

– контейнер 1 у формі спіралі з кульками 2, циліндричний патрубок 3 з двома засувками 4 і 5 на осердях соленоїдів 6 і 7, котушки яких під’єднані до перетворювача вихідних сигналів 8;

– датчики падіння кульок, які виконані у вигляді оптронних пар, що складаються з джерел світла 9 і 10 і фотоприймачів 11 та 12, під’єднаних до перетворювача вихідних сигналів;

– комп’ютер 13, до керуючих кіл якого під’єднано перетворювач сигналів 8.

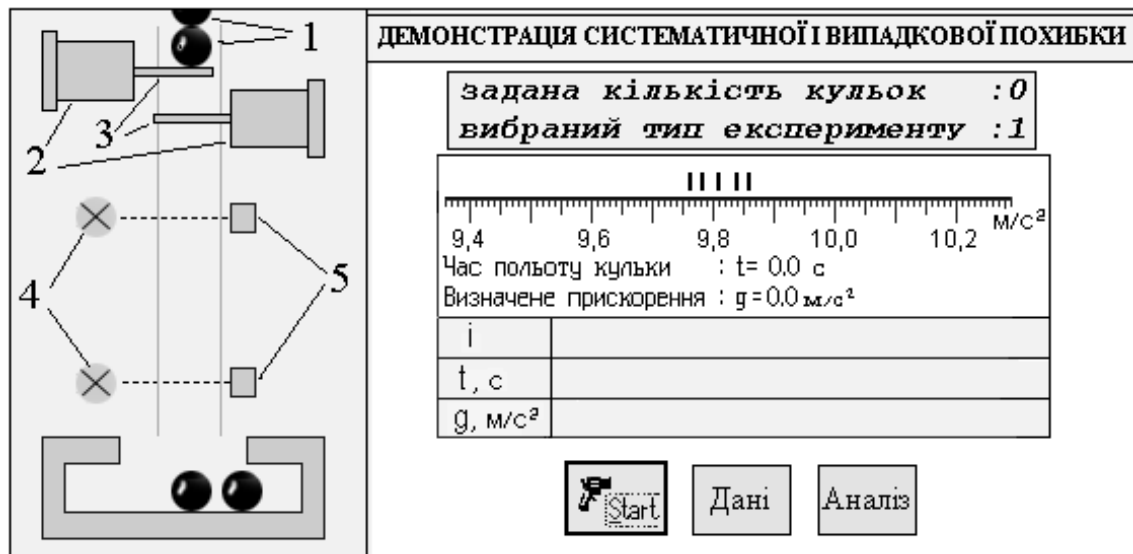


**Рис.4.3.** (а) Установа для дослідження випадкових похибок.  
 (б) Функціональна схема установки дослідження випадкових похибок:

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1 □ контейнер для кульок;  | 8 – перетворювач сигналів; |
| 2 – кульки;                | 9, 10 – джерела світла;    |
| 3 – циліндричний патрубок; | 11, 12 – фотоприймачі;     |
| 4, 5 – засувка;            | 13 – комп'ютер             |
| 6,7 – соленоїди;           |                            |

Після завантаження контейнера кульками, ввімкнення живлення і завантаження в комп'ютер програми, прилад готовий до роботи. Інструментальні засоби приладу дають можливість повністю автоматизувати процес запуску та вимірювання часу падіння кульок. Керування зводиться до подачі від комп'ютера сигналів, які рознесені в часі. При цьому перший імпульс струму подається від перетворювача 8 на соленоїд 6 і засувка 4 відкривається, пропускаючи одну кульку у відсік циліндричного патрубка 3 між засувками 4 і 5. Другий імпульс поступає на соленоїд 7 після прийняття першого імпульсу і засувка 5 відпускає кульку, що є між засувками. Кулька, падаючи вертикально, перекриває світловий потік від джерел 9 та 10 до

відповідних фотоприймачів 11 та 12. При цьому сигнал від фотоприймача 11 вмикає перетворювач 18, а сигнал від фотоприймача 12 вимикає його. Комп'ютер 13 визначає час падіння кульок програмним опитуванням хронометричного пристрою. Частота опитування задає точність вимірювання часу падіння і може змінюватись у широких межах. Вимірювання часу падіння повторюється у циклі задану кількість разів.



(a)

(б)

**Рис.4.4.** (a) Комп'ютерна модельна установка:

1 – кульки; 2 – соленоїди; 3 – засувки;  
4 – джерела світла; 5 – фотоприймачі.

(б) Представлення результатів спостережень

При потребі, в навчальних цілях, щоб продемонструвати особливості процесу вимірювання можна змінювати точність пристрою для вимірювання часу падіння кульок та вводити конкретні величини систематичних похибок.

На рис. 4.4 зліва представлено модельну комп'ютерну установку. Це аналог реальної. Тільки тепер з клавіатури комп'ютера керують установкою, зображеною на екрані монітора.

*Експеримент – основа технології навчання*

Із поданого бачимо, що такі засоби навчання, як узгоджена з комп'ютером експериментальна установка так і модельна комп'ютерна дають змогу, визначивши значення часу падіння кульок з висоти  $h$  знаходити значення прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

Ці значення  $t$  і  $g$  у випадку як реального, так і модельного експериментів, відображаються на моніторі у вигляді таблиці (рис. 4.4, б), і на горизонтальній осі прискорень, що розташована над таблицею. Тут значення  $g$  представлено невеличкою вертикальною рисою, а більшою рисою – відоме з літературних джерел значення прискорення вільного падіння для даної місцевості. У нашому дослідженні за “істинне значення  $g_r$ ” ми взяли –  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

На основі аналізу результатів досліджень, що ґрунтується на порівнянні їх з відомим істинним значенням прискорення, побудова методика навчання теми “Вимірювання та їх похибки”.

Таким чином подані результати експерименту дають змогу легко застосовувати проблемні методи навчання, зокрема, прийом постановки запитань. Оперті на наочність цілеспрямовано поставлені запитання, активізуючи діяльність студентів на пошук відповіді на них, сприятимуть засвоєнню важливих понять теми. Далі, у підрозділі 4.4, ми покажемо один із можливих варіантів реалізації такого підходу.

Ми розробили та апробували фрагмент технології навчання, що об'єднує в собі як реальний навчальний експеримент, так і модельний комп'ютерний. Для цього ми виготовили установку, узгоджену з комп'ютером, та розробили два режими проведення експерименту на ній.

*Перший* – демонструє наявність випадкових та систематичних похибок. (Програмно передбачено, що величина систематичної похибки в окремих серіях вимірювань може відрізнятися одна від одної, водночас залишаючись незмінною у кожній серії.)



*Другий* експеримент проводять в умовах, коли головну роль відіграють лише випадкові похибки.

Щоб не допустити у студентів втрати зацікавлення експериментом (здійснення великої кількості одноманітних вимірів вимагає терпіння), передбачено доповнення експериментальних даних заздалегідь підготовленим масивом значень  $g$ .

Згодом всі значення  $g$  можна використати для побудови гістограми розподілу вимірів, що дає змогу наочно демонструвати те, що найбільша кількість вимірів знаходиться по обидві сторони, близько від середнього арифметичного. Апроксимуючи їх кривою Гауса, підводять студентів до свідомого розуміння ймовірнісного опису похибок вимірювання.

Але, зрозуміло, що впровадження розробленого фрагмента цієї технології навчання, основою якої є реальний навчальний експеримент, вимагає узгодженої з комп'ютером установки. На жаль, це завдання непросто розв'язати у наш час.

Набагато легшим і простішим для впровадження є варіант технології навчання, що базується на використанні модельного комп'ютерного експерименту. Це пов'язано тільки з розробкою і створенням якісного педагогічного програмного продукту теми, що теж є досить складним завданням.

Його основу становлять п'ять віртуальних експериментів, які здійснюють на модельній установці (рис. 4.4). Ми не ставили за мету створити цілісну технологію навчання даної теми, а пропонуємо лише такий варіант її структури, з якого викладач фізики зможе використати потрібні йому деталі при реалізації своєї методики викладання.

#### 4.4. Методика побудови педагогічного програмного продукту теми “Вимірювання та їх похибки”

##### *Загальні відомості*

У даному підрозділі подано опис розробленого нами фрагмента педагогічного програмного продукту теми “Вимірювання та їх похибки”.

Засвоєння змісту теми відбувається у процесі виконання студентами навчальних досліджень, основу яких становить п’ять експериментів.

На рис. 4.5 подано заставку основного меню програми “Вибір експерименту”. Треба на комп’ютерній модельній установці (рис. 4.5) провести віртуальний експеримент: знаходити час  $t$  падіння кульок з висоти  $h$  (відстань від верхньої засувки до нижньої оптопари), а за формулою (4.1) – прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

Точність, з якою проводять вимірювання часу  $t$  падіння кульок, пов’язана з вибором типу експерименту (рис. 4.5). Вибравши тип експерименту та ознайомившись із поданою на дисплеї текстовою інформацією, яка стосується мети експерименту, рекомендації щодо кількості  $N$  вимірів та врахувавши їх, можна приступати до проведення експерименту.

Після першої команди “*Start*”, яка керує відкриванням верхньої засувки, одна кулька потрапляє у простір між двома засувками. А після другої команди “*Start*”, яка спричинює одночасно як відкривання нижньої засувки, так і вмикання секундоміра, кулька починає вільно падати. В момент пересікання кулькою світлового пучка нижньої оптопари секундомір вимикається. Час  $t$  та прискорення  $g$  визначаються автоматично. Результати вимірювань послідовно відображаються на екрані монітора в таблиці та на осі прискорень (рис. 4.5).



**Рис.4.5.** Основне меню “Вибір експерименту”

Вдумливий аналіз та усвідомлення студентом як запитань, так і відповідей, що висвітлюватимуться на дисплеї, спроба після повторного проведення експерименту вже самостійно відповідати на запитання, сприятиме засвоєнню теми “Вимірювання та їх похибки”.

Зауважимо, що необхідно дотримуватися запропонованої послідовності проведення досліджень.

#### Дослідження 1. СИСТЕМАТИЧНА ПОХИБКА

*Мета експерименту:* ознайомитись з систематичними похибками при вимірюваннях прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

#### *Завдання, результати та аналіз експерименту*

На установці (рис. 4.6 зліва) треба провести одну серію з  $N \geq 5$  вимірів часу  $t$  вільного падіння кульок із заданої висоти  $h = 0,8$  м.

На рис. 4.6 справа подано результати експерименту: у таблиці час  $t$  падіння кульок, а над нею, на лінійці (осі) прискорень  $g$ , відповідна цьому часу величина прискорення вільного падіння  $g$ .

Як бачимо, отримана тільки одна величина  $g = 10,0 \text{ м/с}^2$ , яка відрізняється від істинного значення прискорення  $g_r = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Зрозуміло, що різниця

$$\Delta g = g - g_r = 0,19 \text{ м/с}^2 \quad (4.3)$$

вказує на те, що даному вимірюванню властива постійна похибка.



**Рис. 4.6.** Установка та результати експерименту 1

Яка причина виникнення такої систематичної похибки, що так істотно впливає на процес вимірювання прискорення сили земного тяжіння  $g$ ?

Чи можна зменшити числове значення цієї похибки?

Щоб відповісти на ці запитання, треба дослідити, чим ця похибка може бути спричинена.

Відомо, що до похибок може призводити недосконалість як методики вимірювань, так і засобів вимірювання. Відповідно до цього похибки

називають методичними та інструментальними. Разом вони становлять систематичні похибки.

В ідеальних умовах здійснення експерименту для  $g_r = 9,81 \text{ м/с}^2$ , згідно з формулою (4.1)

$$g = \frac{2h}{t^2},$$

де  $t$  – час падіння кульок з висоти  $h = 0,8 \text{ м}$  повинен становити  $0,4039 \text{ с}$ .

У нас експеримент дає тільки єдиний час –  $0,4 \text{ с}$  та відповідне йому значення прискоренням вільного падіння  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

Зважаючи, з одного боку, на те, що висоту  $h$ , як ми згадували раніше, задано з незначною інструментальною похибкою, тому її внесок у кінцевий результат не є істотним та, з другого, – що у нашому експерименті з “методикою” (підходом до знаходження прискорення) все гаразд, з великою достовірністю можна вважати, що тільки похибки у вимірюваннях часу  $t$  падіння кульок спричиняють таку величину  $g$ .

Отже, це – інструментальна похибка.

Залишається проаналізувати пристрій реєстрації часу (секундомір). Його представлено на рис. 4.7.

Увімкнувши секундомір, легко переконатися, що його покази зростають дискретно з кроком  $0,1$  ( $0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5\dots$ ).

Виникає запитання, який час падіння кульок зафіксує цей секундомір, якби вони з висоти  $0,8 \text{ м}$  падали протягом  $0,409 \text{ с}$ ?

Враховуючи крок дискретності показів секундоміра, стає очевидним, що тут є вибір між двома величинами ( $0,4 \text{ с}$  або  $0,5 \text{ с}$ ).



**Рис. 4.7.** Пристрій для реєстрації часу падіння кульок

Але через те, що навіть в ідеальних умовах падіння кульок час  $t$  становив 0,409 с, секундомір нашої установки зафіксує час 0,4 с, бо час 0,409 с набагато ближчий до часу 0,4 с, ніж до часу 0,5 с.

Отже, у цьому випадку похибка є інструментальною. Вона зумовлена низьким класом точності секундоміра. Замінивши його секундоміром більш високого класу точності, можна позбутись цієї похибки.

### Дослідження 2. ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ

*Мета експерименту:* ознайомитись з випадковими похибками при вимірюваннях прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

#### *Завдання, результати та аналіз експерименту*

На установці, ціна поділки секундоміра якої дорівнює 0,001 с, треба провести серію з  $N = 5 - 7$  вимірювань часу  $t$  вільного падіння кульок та отримати відповідні йому величини прискорення сили земного тяжіння.

Типова серія отриманих даних прискорення  $g$  подана на осі (лінійці) прискорень  $g$  (рис. 4.8). Вони розкидані у деякому інтервалі [9,84-10,07] м/с<sup>2</sup>, в який не потрапляє істинне значення прискорення  $g_r = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.



**Рис. 4.8.** Короткі вертикальні риски над віссю прискорень показують отримані в досліді 2 величини  $g$

Чому величини прискорення  $g$  змінюються від виміру до виміру і знаходяться саме в інтервалі  $[9,84-10,17] \text{ м/с}^2$ ?

Яка величина прискорення  $g$  повинна характеризувати дану серію вимірювань?

Очевидно, що обмежена точність відтворення величини прискорення вільного падіння  $g$  є наслідком впливу випадкових явищ, зумовлених багатьма факторами, які неможливо врахувати. Відповідні їм похибки називають випадковими похибками вимірювань. Їх абсолютна величина і знак змінюються при багатократних вимірюваннях однієї і тієї ж фізичної величини.

Наприклад, якщо б ми зважували тіла, то на покази чутливих аналітичних ваг можуть вплинути пилінки, що сідають під час зважування на чашки ваги, подовження одного з плеч коромисла ваги при нагріванні від рук експериментатора, що знаходиться поряд, та інші причини.

У нашому випадку відкривання засувки може спричинювати надання кульці деякого горизонтального імпульсу, що вестиме до відхилення траєкторії падіння кульки від виска. Це вноситиме деяку невизначеність у координати точки початку перетину сферичною кулькою розбіжного пучка світла від світлодіода, а це своєю чергою, – у величину висоти падіння  $h$ , яка змінюючись від виміру до виміру, вноситиме випадкові похибки у значення часу падіння кульок, а він – у прискорення вільного падіння  $g$ .

Щодо другого запитання, то очевидно, найдоцільніше було б, щоб величину прискорення вільного падіння кульок задавало середнє арифметичне  $\langle g \rangle$ , котре обчислюють з  $N$  отриманих величин рівноточних вимірювань:

$$\langle g \rangle = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i. \quad (4.4)$$

У нашому випадку  $\langle g \rangle = 9,96 \text{ м/с}^2$ . Отже, середнє арифметичне прискорення  $\langle g \rangle$  відрізняється від “істинного”  $g_r$  на деяку величину:

$$\Delta g = \langle g \rangle - g_r = 0,05 \text{ м/с}^2. \quad (4.5)$$

Які у нашому експерименті можуть бути причини виникнення такого відхилення  $\langle g \rangle$  від  $g_r$ ?

Очевидно, що крім випадкових похибок, які зумовлюють розкидання величин  $g$ , нашим дослідженням властива постійна систематична похибка. На величину цієї похибки ( $\Delta g$ ) відбувся зсув усього масиву  $g_i$ . Без цієї похибки вплив випадкових проявлявся б у розкиданні величин повторних вимірювань симетрично як у більший, так і менший бік від істинного значення  $g_r$ .

Отже, тільки коли не має систематичних похибок, середнє арифметичне є близьким до істинного значення, і тільки тоді воно найкраще його характеризує.

Чи можна позбутись виникнення систематичної похибки?

Природа деяких типів систематичних похибок може бути достатньо точно визначена. Тому, введенням відповідних поправок, вплив деяких типів похибок може бути ліквідовано.



У нашому випадку причина появи систематичної похибки може полягати у наступному. Ми знаємо, що у момент запуску секундоміра швидкість кульки повинна дорівнювати нулю. Водночас, аналізуючи побудову нашого експерименту (рис. 4.6) зауважуємо, що можливо запуск секундоміра відбувається в момент перекривання кулькою пучка світла верхньої оптронної пари. А до цього моменту кулька пролітає деяку відстань і має вже деяку початкову швидкість. Це вноситиме в наші виміри деяку постійну систематичну похибку.

Позбутись її можна різними шляхами, наприклад:

- змінити хід світлового пучка, наблизивши його до початкового положення кульки;
- запускати секундомір у момент відкривання засувки нижнього електромагніту;
- внести постійну поправку в результати всіх спостережень.

На цьому ми закінчуємо ознайомлення з поняттям “систематична похибка”. Подальші завдання – це дослідження особливостей випадкових похибок. Ознайомлення з закономірностями, яким вони підпорядковуються, повинно зробити процес вимірювання зрозумілим і передбачливим. Тому подальші досліди (3, 4 та 5) ми проводитимемо на установках, що не вносять систематичних похибок у результати вимірювань. Отже, у подальших експериментах вимірюванням будуть властиві тільки випадкові похибки.

### *Дослідження 3. ЗАЛЕЖНІСТЬ СЕРЕДНЬОГО АРИФМЕТИЧНОГО ВІД КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ*

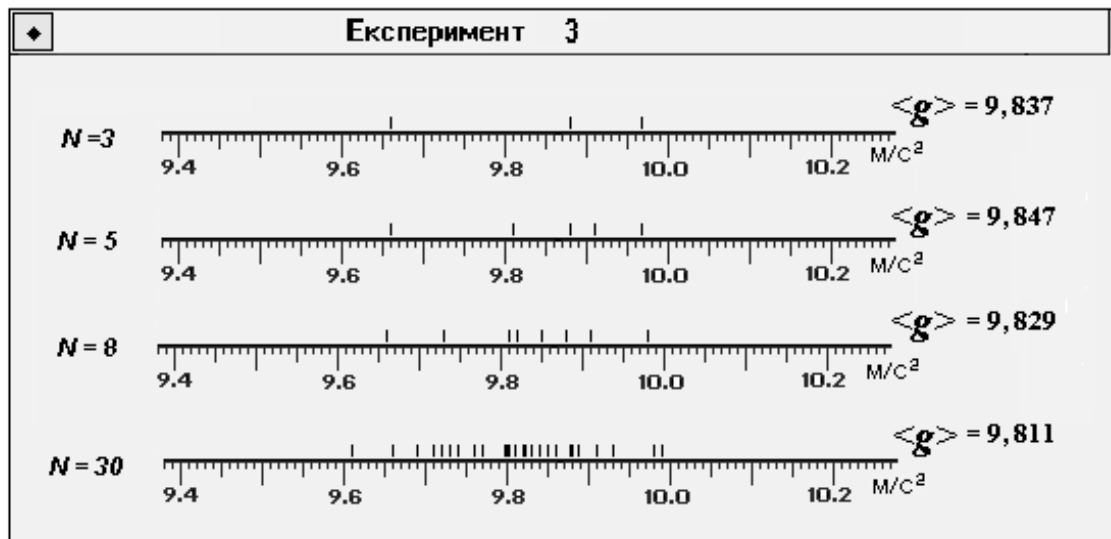
*Мета експерименту:* отримати залежність середнього арифметичного значення  $\langle g \rangle$  від кількості  $N$  вимірювань.

*Завдання, результати та аналіз експерименту*

Потрібно провести  $N = 30$  вимірювань прискорення сили земного тяжіння  $g$ . Після проведення 9-го вимірювання решта (21) відбудеться

автоматично. Це дещо полегшить студентіві рутинний процес ручної реалізації експерименту (відкривання засувки на віртуальній установці).

Під час проведення експерименту спостерігають, що зміна кількості вимірювань  $N$  веде до зміни значення середнього арифметичного  $\langle g \rangle$ .



**Рис. 4.9.** Динаміка змін середнього арифметичного  $\langle g \rangle$  залежно від кількості спостережень  $N$

Результати експерименту подають у вигляді чотирьох серій, на 4 лінійках (рис. 4.9). У першій серії кількість вимірювань становить 3, у другій – 5, у третій – 8, у четвертій – 30.

Візуальний аналіз результатів експерименту, які подані на цьому рисунку, дає змогу підкреслити таке:

- інтервали, в яких знаходяться результати окремих вимірювань прискорення кожної серії, відрізняються мало;
- кожна серія вимірювань має дещо іншу величину середнього арифметичного.

Отже, середня арифметична величина найкраще характеризує тільки вибрану серію вимірювань. Провівши іншу серію, отримаємо відмінну від попереднього величину  $\langle g \rangle$ . Тому середнє арифметичне ще називають вибірковим середнім.

Крім того, це дає змогу побачити певну закономірність у тому, як середнє арифметичне залежить від кількості  $N$  вимірювань, що зі зростанням  $N$  спостережень середньоарифметичне  $\langle g \rangle$  наближається до істинного значення  $g_r$ .

#### Дослідження 4. РІЗНОТОЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

*Мета експерименту:* показати, що ширина інтервалу, в якому знаходяться отримані у певній серії величини прискорення, пов'язана з точністю експерименту і це треба відповідно пов'язувати із середньо арифметичною величиною

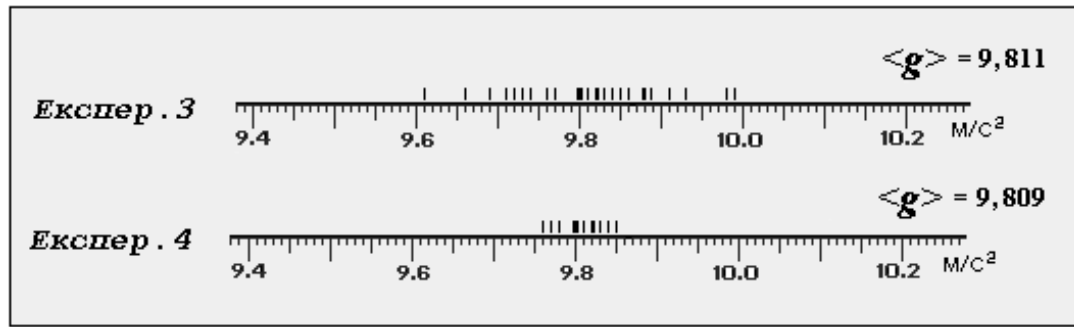
#### *Завдання, результати та аналіз експерименту*

На установці, що є прецизійніша від установки, якою користувалися у попередньому дослідженні 3, треба здійснити серію не менше, як з  $N = 7$  вимірювань.

Типові результати експерименту подано на нижній лінійці рис. 4.10, а на верхній лінійці представлено результати попереднього досліду 3.

Порівнюючи обидві серії спостережень, зауважуємо, що інтервал, в якому знаходяться величини окремих вимірювань досліду 4 ( $[9,76-9,84]$  м/с<sup>2</sup>), набагато вужчий, ніж інтервал значень масиву досліду 3 ( $[9,61-9,99]$  м/с<sup>2</sup>).

Водночас, середні арифметичні значення  $\langle g \rangle$  обох масивів є дуже близькими.



**Рис. 4.10.** Результати 3-го та 4-го експериментів

Зрозуміло, що ширина інтервалів величин  $g$  масивів досліду 3 та 4 певним чином пов'язана з похибками, з якими були знайдені їх середні арифметичні значення. Бо очевидно, коли в одному досліді ширина інтервалу, в якому розкидані окремі результати, є більшою, ніж в іншому, то, відповідно, в ньому буде більшою похибка, з якою знайдено середнє арифметичне.

Але яким чином представити результати таких різноточних вимірювань?

Для цього необхідно, навчившись оцінювати похибки вимірювань, поруч із середньоарифметичним задавати дві величини: похибку  $\Delta g$  та ймовірність  $\alpha$  певності, з якою результати вимірювань знаходяться у межах

$$[(\langle g \rangle - \Delta g), (\langle g \rangle + \Delta g)]. \quad (4.5')$$

Величину  $\alpha$  називають ще імовірністю певності або коефіцієнтом надійності, а інтервал (4.5') – інтервалом надійності.

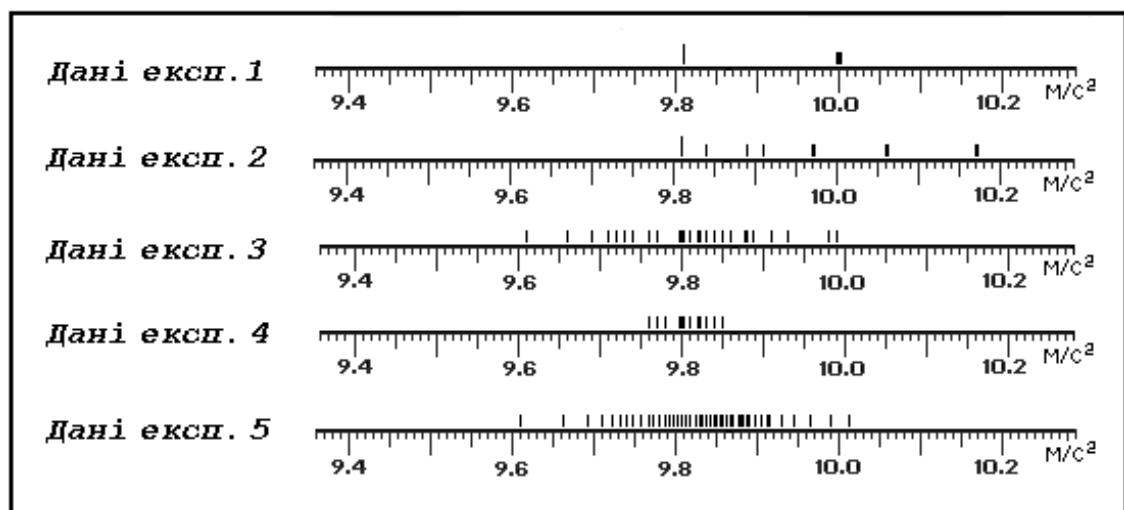
Треба розуміти, що завдання тільки величини похибки, не вказуючи відповідну їй імовірність певності, позбавлено сенсу, бо не відома надійність результату.

Дослід 5.1. ГІСТОГРАМА – НАОЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ  
РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Мета експерименту:* ознайомити з наочним представленням у вигляді гістограми результатів вимірювань прискорення вільного падіння  $g$ .

*Завдання та результати експерименту*

На установці, яка використовувалась у дослідженні 3, потрібно провести серію з  $N = 50$  вимірювань прискорення сили земного тяжіння  $g$ . Після проведення першого спостереження решта – 49 відбудеться автоматично. Результати досліді подано на рис. 4.11, *експ. 5* (нижня лінійка). Крім того, на цьому ж рисунку вище, на чотирьох лінійках, подано результати попередніх чотирьох експериментів.



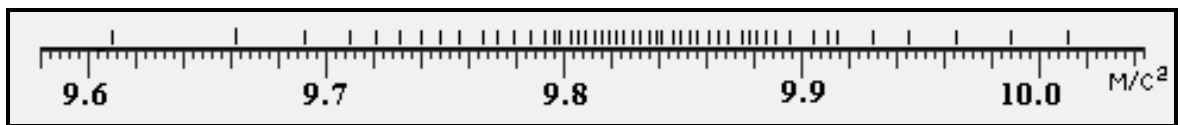
**Рис. 4.11.** Результати п'яти експериментів

Таке представлення (рис. 4.11) дає змогу, перш ніж приступити до детального аналізу результатів експерименту 5.1, провести загальний порівняльний аналіз результатів усіх п'яти експериментів. Наочне порівняння результатів одне з одним, загострюючи увагу на конкретних особливостях

процесу вимірювань та на їх похибках, сприятиме кращому засвоєнню студентами вже пройденого матеріалу теми “Вимірювання та їх похибки”.

### Побудова гістограми

У досліді 5.1 ми отримали масив  $g_i$  величин прискорення вільного падіння. Він обіймає тільки невеликий інтервал  $[9,6-10,05]$  м/с<sup>2</sup> у центрі на осі прискорень (рис. 4.11, *експ. 5*). Аналіз цього масиву полегшиться, стане більш наочним, якщо його впорядкувати – представити на лінійці  $g$  з більшим масштабом, де вони займатимуть майже всю її довжину (рис. 4.12).



**Рис. 4.12.** Впорядковані результати експерименту 5.1

Тепер легко зауважити, що густина розподілу результатів експерименту (масив  $g_i$ ) вздовж осі  $g$ , тобто кількість результатів, що попадають в будь-які однакові проміжки  $\Delta g$  (наприклад,  $\Delta g = 0,05$  м/с<sup>2</sup>), є різною. Вона максимальна в центрі інтервалу біля  $g = g_r$  і зменшується як в напрямку до  $g_{min}$ , так і до  $g_{max}$ .

Як наочно зобразити таку особливість густоти розподілу результатів?

Це можна зробити, представивши результати у вигляді гістограми, яка показує, як часто результати вимірювань  $g$  потрапляють у кожний заданий інтервал  $\Delta g$ .

Для її побудови потрібно інтервал  $[9,6-10,05]$  м/с<sup>2</sup>, в якому знаходяться результати вимірювань  $g$ , розбити на  $k$  однакових проміжків:

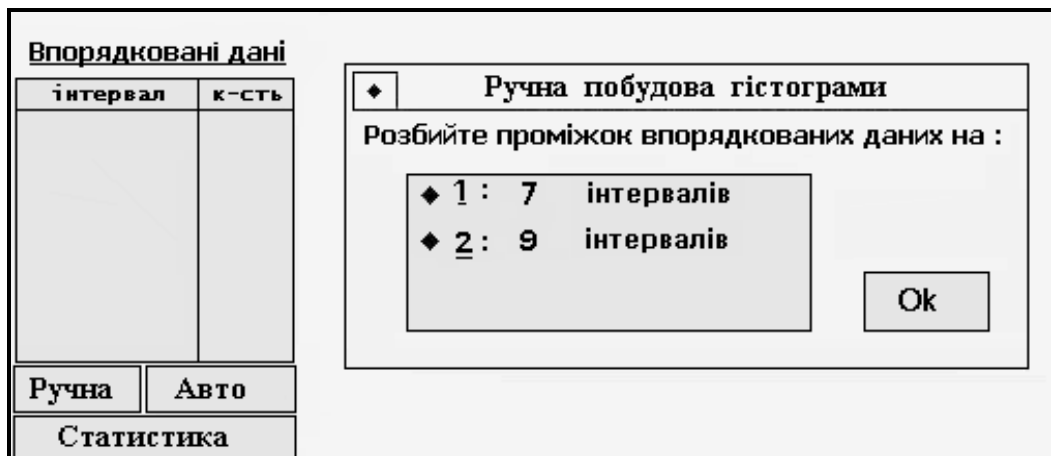
$$\Delta g = \frac{g_{max} - g_{min}}{k}, \quad (4.6)$$

а межі проміжків

$$g_m = g_{min} + m \Delta g, \quad (4.7)$$

де  $m = 1, 2, \dots, k$ , виділити вертикальними пунктирними лініями над віссю прискорень.

У педагогічному програмному продукті даної теми передбачено два режими побудови гістограми (рис. 4.13): “Ручна побудова гістограми” та “Автоматична побудова гістограми”. Зауважимо, що автоматичною побудовою гістограми можна скористатися лише після завершення ручної побудови.



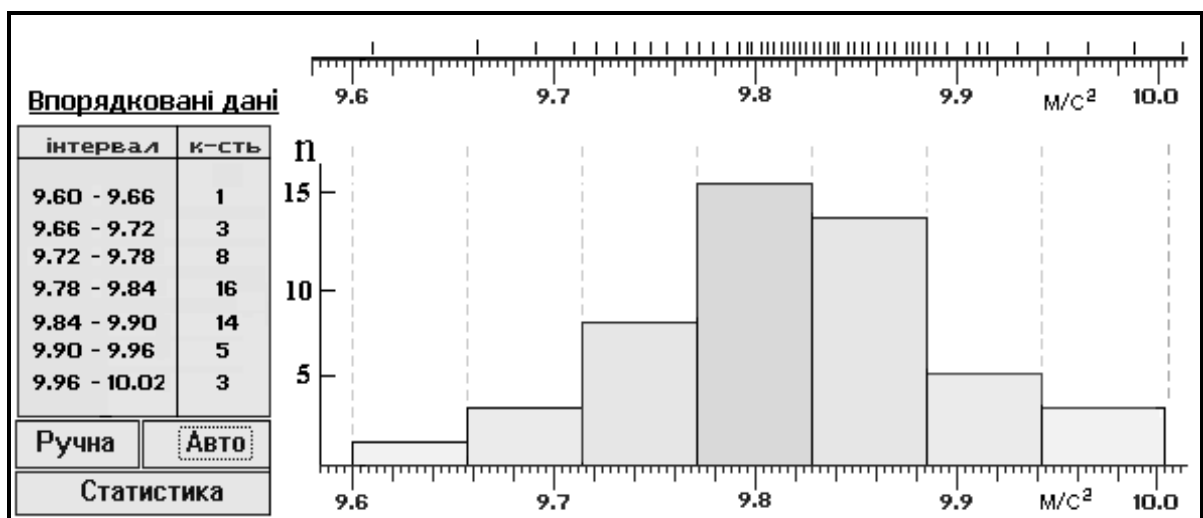
**Рис. 4.13.** Заставка меню “Старт побудови гістограми”

Під час ручної побудови гістограми необхідно підрахувати кількість  $n$  попадань величини  $g$  в кожний проміжок  $k$ . Результати, що збігаються з межами проміжків треба, відносити до того проміжку, котрий розташований ближче до  $\langle g \rangle$ . Далі над кожним з  $k$  проміжків  $\Delta g$  потрібно будувати

прямокутник висотою  $n_m$ , де  $n_m$  – кількість результатів вимірювань, що припадають на даний інтервал.

Це не обов'язково робити у зошиті, а можна скористатися комп'ютером. Для цього досить вказувати тільки величину  $n_m$  для всіх проміжків. Таким чином, на моніторі буде отримана гістограма (рис. 4.14).

Для побудови гістограми в автоматичному режимі достатньо задати лише кількість інтервалів  $k$ .



**Рис. 4.14.** Гістограма спостережень дослідів 5.1

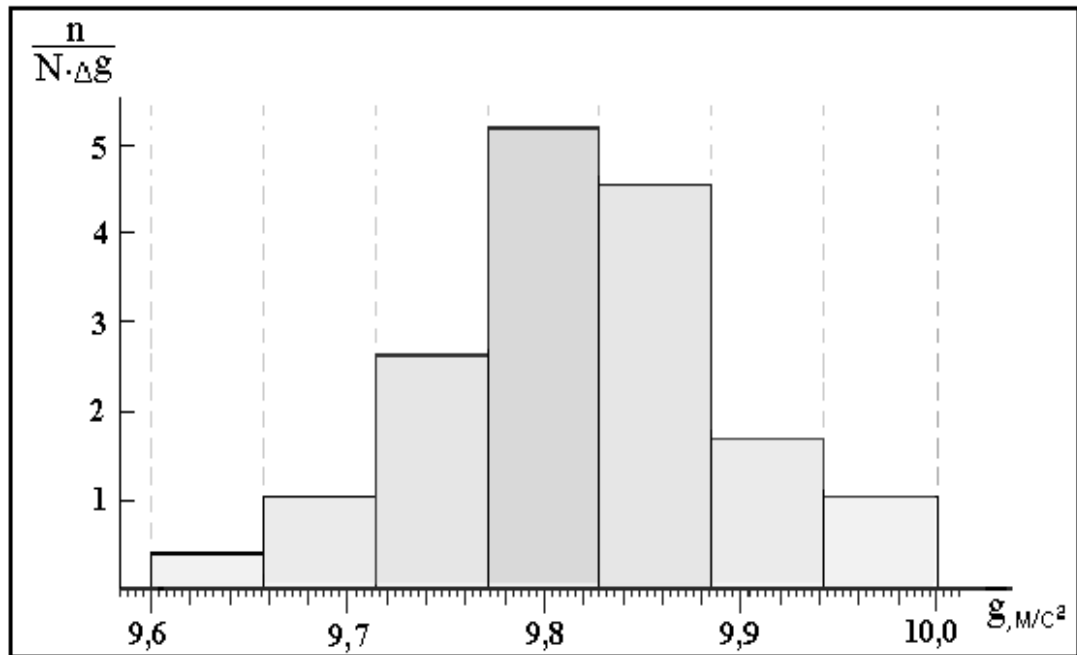
Зауважимо, що побудова гістограми двома способами, порівняння результатів обох побудов та можливість внесення певних коректив – це шлях до набуття студентами навичок і вмінь, необхідних як для розуміння розподілу отриманих результатів вимірювань, так і в подальшому для розуміння інших розподілів, наприклад, Максвелла, Планка.

Ми бачимо (рис. 4.14), що гістограма наочно представляє результати певної серії вимірювань. Максимум густоти розподілу знаходиться поблизу  $\langle g \rangle$  та  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  і майже симетрично спадає на кінцях інтервалу  $[g_{min}, g_{max}]$ .



### Ймовірність певності та інтервал певності

Чи зміниться загальний вигляд гістограми, якщо по осі ординат відкласти не  $n_i$ , а відносну кількість вимірів, що потрапляють в цей одиничний інтервал  $\frac{n_i}{N \cdot \Delta g}$ , і що нам дасть така заміна?



**Рис. 4 15.** Гістограма з віссю ординат  $n/N\Delta g$

Очевидно, що вигляд гістограми не зміниться (див. рис. 4.15), бо  $n/N\Delta g$  – це постійна величина. Але важливо, що тепер площа  $S_i$  будь-якого з прямокутників гістограми

$$S_i = \frac{n_i}{N \Delta g} \Delta g = \frac{n_i}{N} \quad (4.8)$$

вказує, яка частка  $n_i$  з усього числа  $N$  вимірювань потрапляє в конкретний ( $i$ ) проміжок  $\Delta g$ . Тобто, визначає величину ймовірності, з якою в процесі

вимірювань були отримані величини прискорення  $g$ , що знаходяться в даному проміжку ( $i$ ).

Наприклад, як видно з рис. 4.14, для проміжку  $i = 2$  кількість попадань  $n_2 = 3$ . Отже площа  $S_3 = \frac{3}{50}$ , яка характеризує ймовірність дістати такий результат, становить:

$$S \times 100 \% = 6 \%$$

Площа всіх прямокутників гістограми експерименту 5.1

$$S = \sum_{i=1}^7 S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_7 = \frac{n_1}{N} + \frac{n_2}{N} + \dots + \frac{n_7}{N} = 1, \quad (4.9)$$

$$(n_1 + n_2 + \dots + n_k = N).$$

Тобто з імовірністю 100 % в інтервалі  $[9,6-10,02]$  м/с<sup>2</sup> знаходяться всі 50 результатів вимірювання прискорення експерименту 5.1.

Якщо відома ймовірність, з якою результати вимірювань  $g$  потрапляють у певний інтервал  $\Delta g$ , то як можна назвати відповідну цьому інтервалу ймовірність?

Взаємозв'язок площі  $S_i$  прямокутників гістограми, зокрема висоти ( $n_i$ ), що пов'язана з імовірністю отримати відповідну кількість попадань результатів вимірювання у даний інтервал, дає змогу ввести поняття інтервал певності та ймовірність певності  $\alpha$ .

Нехай нас цікавить, з якою імовірністю в експерименті 5.1 (рис. 4.15) результати вимірювань попадали в інтервал:

$$[9,9 - 9,72] \text{ м/с}^2.$$

Цей інтервал охоплює три прямокутники гістограми: 4-й, 5-й та 6-й. Їх сумарна площа дасть значення шуканої ймовірності:

$$(S_4 + S_5 + S_6) \times 100 \% = \left( \frac{n_4}{N} + \frac{n_5}{N} + \frac{n_6}{N} \right) \times 100 \% = 76\% .$$

Тому можна стверджувати, що з імовірністю  $\alpha=76\%$  в інтервал  $[9,72-9,9]$  потраплятимуть результати окремих вимірювань.

Підсумовуючи, зазначимо, що:

– по-перше, гістограма – це найбільш інформативне і наочне представлення результатів експерименту;

– по-друге, площа прямокутників гістограми пов'язана з імовірністю, – вона вказує величину імовірності  $\alpha$ , з якою результати вимірювань потрапляють в кожний заданий проміжок  $[g_1, g_2]$ ;

– по-третє, як показує практика, важливим є те, що загальний вигляд гістограми не залежить від роду величини, яку вимірюють. Це вказує на наявність у розподілі результатів вимірювань певних статистичних закономірностей. Очевидно, що їх можна знайти, лише зробивши достатньо велике число вимірювань.

Пошуку статистичних закономірностей розподілу вимірювань присвячено дослідження 5.2.

#### Дослідження 5.2. ВІД ГІСТОГРАМИ ДО РОЗПОДІЛУ ГАУСА

*Мета експерименту:* ознайомити зі статистичними закономірностями, яким підпорядковуються результати вимірювань ( $g_i$ ), та методикою їх обробки

#### *Завдання експерименту, результати та аналіз результатів*

Потрібно провести 1 серію з  $N = 200$  спостережень часу падіння кульок  $t$  та отримати набір значень прискорення сили земного тяжіння  $g$  або

скористатися заздалегідь отриманим масивом результатів ( $g_i$ ). Для цього треба перейти до режиму роботи “Статистика” (див. рис. 4.13).



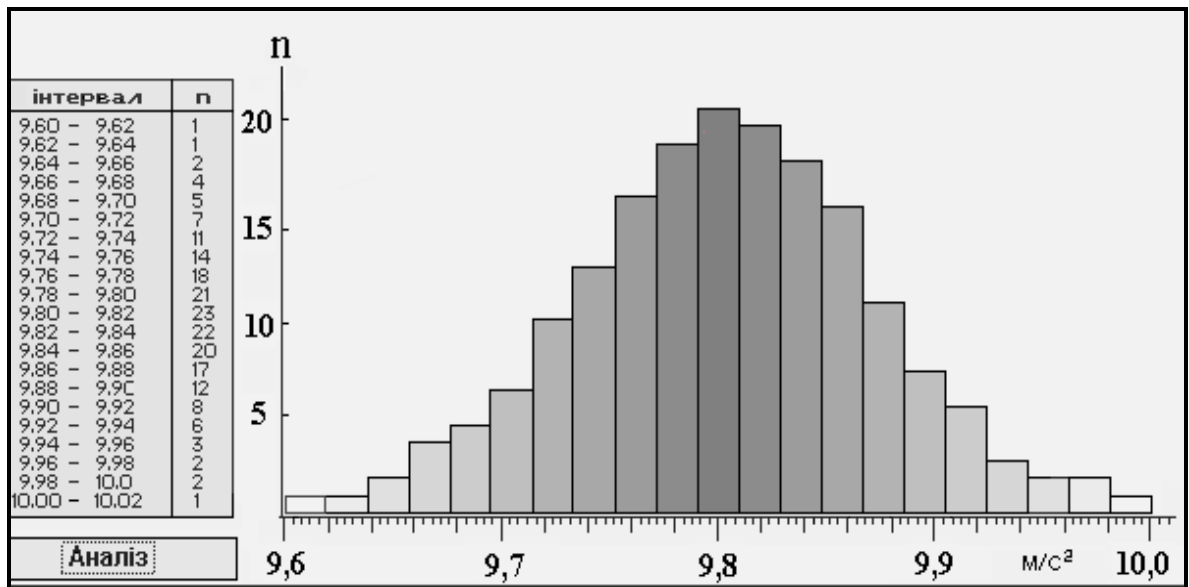
**Рис. 4.16.** Заставка основного меню режиму “Статистика” з результатами експерименту 5.2

Типові результати експерименту для серії  $N = 200$  вимірювань  $g$  представлено на осі прискорень у верхній частині рис. 4.16. (Зауважимо, що рис. 4.16 служить заставкою основного меню та започатковує режим роботи “Статистика”.)

*Гістограма: від площі  $\sum S_i$  до інтегралу  $\int P(g) dg$*

Задавши кількість інтервалів  $k$ , весь масив величин  $g$  буде автоматично представлений у вигляді гістограми з віссю ординат  $n_m$ .

На рис. 4.17 подано результати дослідження гістограмою з  $k = 21$ .



**Рис. 4.17.** Гістограма результатів вимірювання прискорення вільного падіння  $g$  експерименту 5.2

Вершини прямокутників гістограми утворюють майже плавну криву (рис. 4.17). Це дає змогу замінити ламану сходишкову лінію її обвідною та описувати нею результати вимірювань (рис. 4.18). Зауважимо, що на відміну від рис. 4.17, де на осі ординат відкладено  $n_m$ , на рис. 4.18 відкладають відносні значення  $n/N\Delta g$ .

Можна вважати, що наближено сумарна площа прямокутників гістограми дорівнює площі, обмеженій обвідною, віссю  $g$  та паралельними осі ординат лініями з координатами лініями  $g_{min}$  і  $g_{max}$ .

Очевидно, що як і у випадку гістограми попереднього дослідження 5.1, ця площа нестиме всю необхідну інформацію про результати вимірювань.

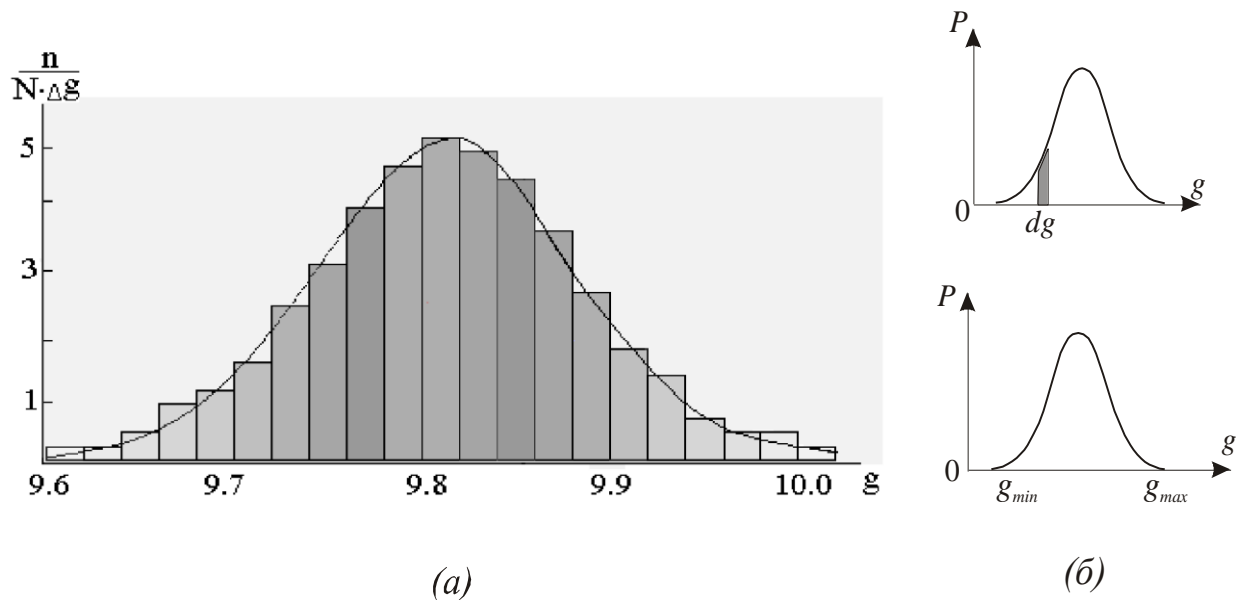
Як тепер можна представляти цю площу?

Якщо ввести позначення

$$\frac{n}{N\Delta g} = P,$$

обвідну можна подати як

$$P = P(g).$$



**Рис. 4.18.** (а) Обвідна гістограми результатів вимірювань експерименту 5.2. (б) Знаходження площі гістограми

Нехай  $dg$  – нескінченно мала зміна прискорення  $g$ . Тоді елементарна площа  $dS$  (рис. 4.18 б, *вгорі*) буде дорівнювати:

$$dS = P(g) dg . \quad (4.10)$$

Уся площа  $S$ , що обмежена віссю  $g$ , огинаючою  $P$  гістограми та лініями, паралельними осі абсцис з ординатами при  $g_{min}$  та  $g_{max}$  (рис. 4.18 б, *нижн.*), можна записати через інтеграл:

$$S = \int_{g_{min}}^{g_{max}} P(g) dg . \quad (4.11)$$

Оскільки, цей інтеграл  $S=1$ , то це вказує на те, що з імовірністю 100 % результати вимірів знаходяться в інтервалі  $[g_{min}, g_{max}]$ .

Отже, ймовірність  $\alpha$ , з якою результати вимірювань знаходяться у будь-якому проміжку, наприклад  $[g_1, g_2]$ , можна знайти, вирахувавши інтеграл:

$$S_{12} \times 100 \% = \int_{g_1}^{g_2} P(g) dg \times 100 \% . \quad (4.12)$$

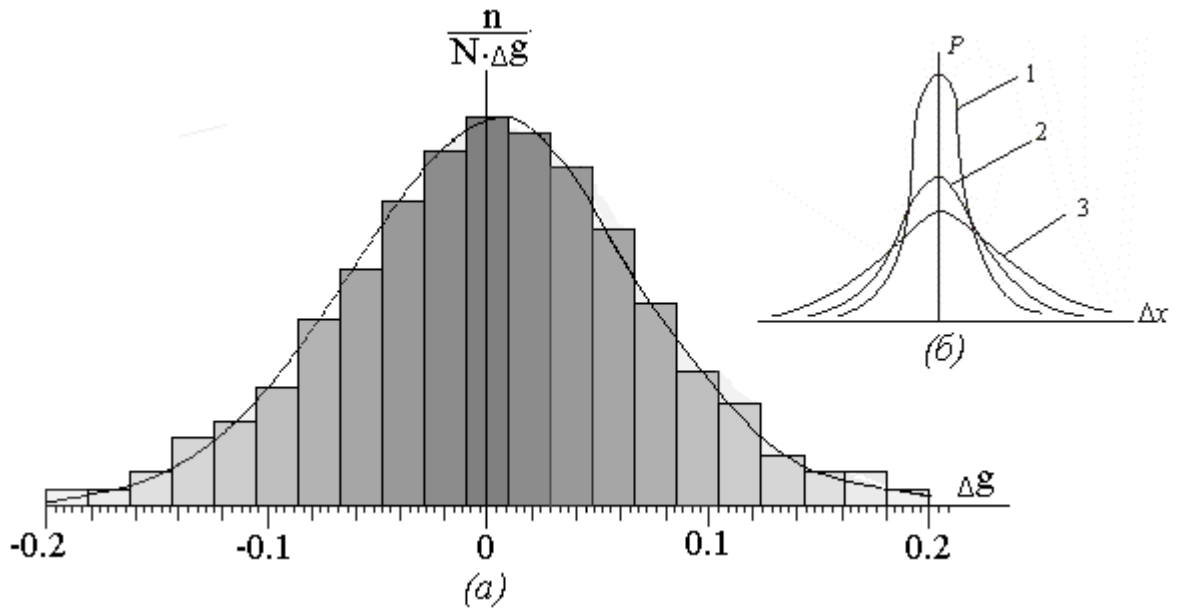
#### *Функція $P(g)$ як характеристика розподілу похибок*

Із поданого бачимо, що функція  $P(g)$  описує розподіл результатів вимірювань.

Чи може ця функція  $P(g)$  описувати розподіл похибок?

З рис. 4.19 видно, що так. Бо якщо через точку, що відповідає середньоарифметичному значенню  $\langle g \rangle$ , провести вісь ординат та взяти  $\langle g \rangle = 0$ , то стає зрозумілим, що відхилення ліворуч та праворуч від  $\langle g \rangle$  – це величини похибок.

Очевидно, якщо ми знатимемо аналітичний вигляд функції  $P(g)$ , то матимемо всю інформацію про розподіл похибок. Тоді зможемо за формулою (4.12) знаходити, з якою ймовірністю у процесі вимірювань були отримані відхилення  $\Delta g$  від величини  $\langle g \rangle$ .



**Рис. 4.19.** (а) Гістограма похибок дослідів 5.2. (б) Криві Гауса:

$$1 - \sigma_1 = 0,1 \text{ м/с}^2; 2 - \sigma_2 = 0,4 \text{ м/с}^2; 3 - \sigma_3 = 0,6 \text{ м/с}^2$$

### Розподіл Гауса

У математичній статистиці відомо: якщо у процесі  $n$  послідовних вимірювань деякої величини, істинне значення якої дорівнює  $x_r$ , отримали величини:

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \quad (4.13)$$

то похибки вимірювань можна описати з допомогою “Закону нормального розподілу похибок” [158, 159]. Його основою є відома формула Гауса:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - x_r)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (4.14)$$

де  $\sigma^2$  (дисперсія) та  $\sigma$  – величини, що служать для оцінки відхилень (похибок). Величина  $\sigma$  – так звана середня квадратична похибка.



Теорія дає такий вираз для середньої квадратичної похибки

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n, \quad (4.15)$$

$$S_n = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_r)^2}{n-1} \right]^{1/2},$$

де  $x_i$  – результати окремих вимірювань, а  $(x_i - x_r)$  – похибки окремих вимірювань відносно істинного значення  $x_r$ .

Як на графіку виглядав би розподіл похибок вимірювань гіпотетичних вимірювань прискорення  $g$ , якби його описувала формула Гауса?

Нехай дослідження прискорення, істинне значення якого  $x_r = 9,81 \text{ м/с}^2$ , проводились із середньою квадратною похибкою:

$$1) \sigma_1 = 0,1 \text{ м/с}^2; 2) \sigma_2 = 0,4 \text{ м/с}^2; 3) \sigma_3 = 0,6 \text{ м/с}^2.$$

На рис. 4.19 б (криві 1-3) представлені залежності  $P(x)$  для трьох різних значень  $\sigma$ , отримані з допомогою формули (4.14).

Вигляд цих кривих нагадує обвідну гістограми, що подана на рис. 4.19 а. Він істотно залежить від величини середньої квадратичної похибки  $\sigma$ . Чим більше  $\sigma$ , тим ширша крива розподілу  $P(g)$  і тим більша ймовірність значних відхилень окремих результатів вимірювань відносно істинного значення  $g = g_r$ . Отже, середня квадратична похибка характеризує “якість” процесу вимірювання фізичної величини, залежність від випадкових похибок результату вимірювання.

Чи можна використовувати формулу Гауса для опису результатів, що отримані у досліді 5.2?

Якщо б обвідну гістограми, що описує масив  $g_i$  результатів експерименту 5.2 (рис. 4.19 а), можна було отримати з допомогою формули (4.14), то це було б незаперечне підтвердження того, що результати експерименту описуються формулою Гауса – законом нормального розподілу похибок.

Але щоб скористатись формулою (4.14), потрібно знати дві величини:  $g_r$  та  $\sigma$ . Значення як першої величини ( $g_r$ ), так і другої ( $\sigma$ ) у реальному експерименті не відомі.

Можна показати, що з погляду ймовірності найближче до істинного значення є середнє арифметичне значення (коли немає систематичних похибок). Для нашого експерименту  $\langle g \rangle = 9,82 \text{ м/с}^2$ .

Залишається невідомою середня квадратична похибка  $\sigma$ .

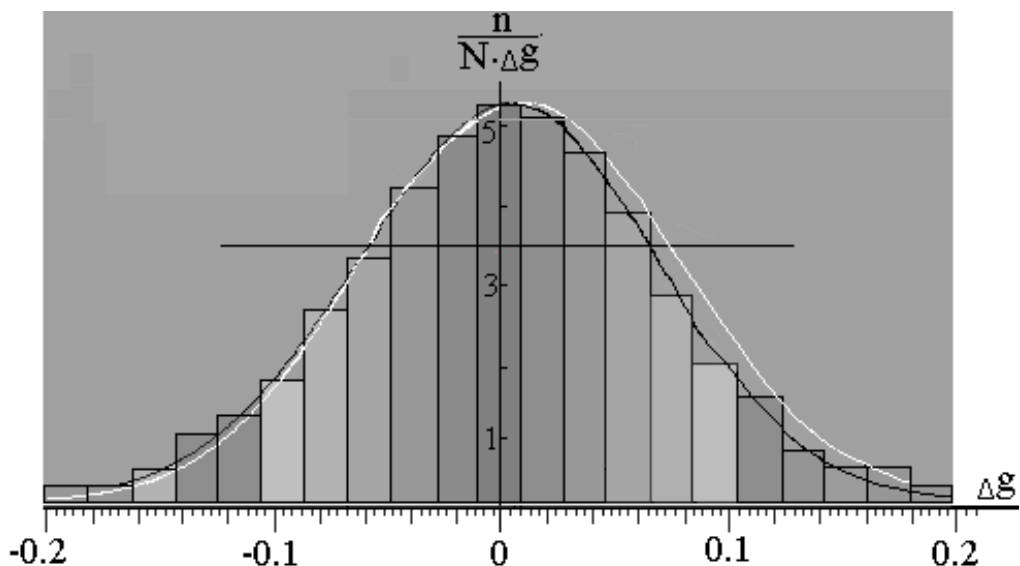
Нехай вона дорівнює

$$\Delta g = g - \langle g \rangle, \quad (4.16)$$

де  $g$  – відповідає значенню абсциси точки перетину з огинаючою лінією, ордината якої дорівнює  $0,67 P_{max}$  (рис. 4.20).

Отже  $\sigma = 0,07 \text{ м/с}^2$ .

На рис. 4.20 крива 2 подано отримані з допомогою формули (4.14) залежності  $P(x)$  для  $\langle g \rangle = 9,82 \text{ м/с}^2$  та  $\sigma = 0,07 \text{ м/с}^2$ .



**Рис. 4.20.** Огинаюча 1 гістограми похибок накладається на криву 2, отриману за формулою (4.14)

Як бачимо, крива 2 майже накладається на криву 1. Це дає змогу констатувати, що наші експериментальні результати можна описувати формулою Гауса (“Закон нормального розподілу похибок”) та використовувати теоретичні висновки, що випливають з нього, для аналізу результатів експериментальних досліджень.

Отже, в загальному випадку, якщо значенням окремих вимірювань деякої величини  $x$  властива випадкова похибка, то підрахувавши за формулою (4.4) середньоарифметичне значення вимірюваної величини, а за формулою (4.15) середню квадратичну похибку  $\sigma$ , дістанемо можливість для будь-якого інтервалу  $[x_1, x_2]$  значень величини  $x$ , скориставшись формулою Гауса (4.14), знайти ймовірність певності  $\alpha$ :

$$\alpha = \int_{x_1}^{x_2} P(x) dx. \quad (4.17)$$

#### *Запис результату дослідження*

Якщо за похибку  $\Delta x$  вимірювань якоїсь величини  $x$  взяти значення її середньої квадратичної похибки  $\sigma$ :

$$\Delta x = \sigma, \quad (4.18)$$

то з імовірністю (певністю)  $\alpha = 67\%$  значення вимірюваної величини будуть в інтервалі:

$$(x_r - \Delta x) < x < (x_r + \Delta x). \quad (4.19)$$

Відповідно для похибки  $\Delta x = 2\sigma$  певність зросте до  $\alpha = 95\%$ , а для  $\Delta x = 3\sigma - \alpha = 99,7\%$ .

Отже, записуючи кінцевий результат досліджень:

$$x = \langle x \rangle \pm \sigma, \quad (4.20)$$

ми покажемо, що з імовірністю (певністю)  $\alpha = 68\%$  результат вимірювання буде знаходитися в інтервалі від  $(x - \sigma)$  до  $(x + \sigma)$ .

Навіть, якщо у кінцевому результаті не вказано ймовірності, то це означає, що  $\Delta x = \sigma$ , а ймовірність  $\alpha$  становить  $0,68\%$ .

Інтеграл (4.17) підрахувати досить складно.

То чи вигідно робити такі складні підрахунки, щоб знайти для конкретного інтервалу довірчу ймовірність?

Для знаходження імовірності певності  $\alpha$  для будь-якого інтервалу  $\langle x \rangle = \pm \Delta x$  не обов'язково обчислювати інтеграл (4.17). Такі підрахунки вже виконано і результати представлені у науковій і навчальній літературі, наприклад, [177]. Там наведено ймовірність  $\alpha$  для інтервалу певності  $\Delta x$ , вираженого через середню квадратичну похибку:

$$\varepsilon = \Delta x / \sigma. \quad (4.21)$$

Щоб визначити середню квадратичну похибку  $\sigma$ , потрібно провести велику кількість вимірювань, що не завжди можливо. При малій кількості вимірювань стає неможливим застосування розподілу Гауса.

Що робити у разі малої кількості спостережень?

Необхідно вводити поправку. У цьому випадку користуються коефіцієнтами  $t_{an}$ :

$$t_{an} = \Delta x / S_n, \quad (4.22)$$

де  $t_{an}$  мають назву “коефіцієнти Стюдента” [159, с.84].

У випадку, коли число вимірювань, з яких визначають похибку, не дуже велике, відіграють ту ж роль, як  $\alpha$  для великої кількості вимірювань.

#### Висновки до розділу 4

1. Сформовано та впроваджено засади вдосконалення теми “Вимірювання та їх похибки”, що, зокрема, стосується:

а) подання змісту теми у вигляді концептуально ейдетичної та емпірично-теоретичної системи, структурні елементи якої несуть чітко визначені пізнавальні функції;

б) висвітлення структурних елементів системи, що проводиться під час аналізу одержаних у присутності студентів результатів вимірювань величини, “істинне” значення якої добре відоме студентам;

в) експерименту, який має бути простим та наочним, керуватись з клавіатури комп'ютера;

г) наочного представлення результатів експерименту на дисплеї та використання їх для побудови педагогічного програмного продукту теми;

г) програмного варіювання умов перебігу дослідження. Це дає можливість проводити експеримент у штучно створених умовах, забезпечуючи наочне, якісне висвітлення конкретних особливостей процесу вимірювання кожного структурного елементу змісту теми;

д) порівняння результатів дослідження елементів структури змісту теми з відомим, “істинним” значенням шуканої величини та між собою. Це полегшує виявленню похибок, сприяє пошуку й аналізу причин відхилень та дає змогу поетапно підводити студентів до розуміння процесу вимірювань і суті похибок;

е) “еволюційного” переходу від наочного подання результатів експерименту у вигляді гістограми до усвідомлення, що обвідну гістограми

можна описати певною кривою, знання аналітичного вигляду якої дає усю необхідну інформацію про шукану величину похибки вимірювань.

2. Уперше запропоновано спосіб для дослідження випадкових похибок і виготовлено узгоджену з комп'ютером установку (отримано авторське свідоцтво на винахід) та створено її віртуальний аналог. Предмет дослідження – прискорення вільного падіння тіл. Це дає змогу реалізувати розроблені засади побудови технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”.

3. Застосовуючи програмне варіювання умов перебігу експерименту кожної структурної одиниці змісту теми, будують навчання на порівнянні отриманих значень прискорення з його “істинним” ( $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ) та між собою, акцентують на особливостях процесу вимірювання, його похибках, доцільності переходу від кількісного представлення результатів вимірювань у вигляді гістограми до опису їх розподілом Гауса.

## РОЗДІЛ 5

### **ВІЛЬНІ МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ: НЕДОЛІКИ, ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ НАВЧАННЯ**

Аналізуючи стан викладання теми “Вільні механічні коливання” в курсах фізики як у вищих навчальних закладах освіти, так і у середній школі дослідники часто зауважують, що традиційній технології навчання цієї теми властиві й істотні недоліки та недоробки, так і те, що її викладання ще недостатньо науково та методично обґрунтовано. Звідси випливає, що в результаті навчання за окремими властивостями коливальних систем губиться сутність явища коливань та їх органічна єдність як складових системи повторювальних рухів. Неусвідомлення фізики коливань унеможливує в подальшому формування у студентів розуміння єдності фізичного знання.

Які причини призводять до таких істотних недоліків і як можна їх позбутись?

Відповідь на ці запитання ми намагались викласти у працях [150, 178-184] та спробуємо знайти у цьому розділі.

#### **5.1. Аналіз деяких особливостей традиційної методики навчання та формування нової**

Результати контрольних опитувань слухачів підготовчого відділення та студентів першого курсу, які регулярно проводяться в Українському державному лісотехнічному університеті та Національному педагогічному університеті ім. М.П. Драгоманова показали деякі недоліки у засвоєнні знань.

У більшості опитуваних немає розуміння суті як повторювальних рухів взагалі, так і фізики коливань зокрема. Після вивчення цієї теми у них часто формується спрощене уявлення про коливальні процеси, що не може бути фундаментом для подальшого розвитку знань. Здобуті знання студентів обмежуються переважно такими поняттями, як математичний маятник, період коливань та деякими іншими, що не несуть істотного смислового навантаження. Вони не розуміють місця та ролі коливального руху в системі фізичних знань.

Причини, що зумовлюють недоліки традиційної методики навчання теми “Вільні механічні коливання”, на нашу думку, є такі:

- брак наступності у змісті навчання від тем кінематики до тем коливальних процесів;
- брак наочного експериментального доказу, що вільні коливальні рухи маятника здійснюються за гармонічним законом;
- брак сучасних засобів навчання;
- дещо завеликий акцент у навчанні на ідеальні фізичні моделі.

Зупинимось на деяких з них.

### *Наступність*

Викладаючи кінематику, традиційно, до простих механічних рухів відносять прямолінійний рівномірний та рівноприскорений рухи і рівномірний рух точки по колу. Вивчаючи останній, не наголошують на взаємозв'язку цього руху з простим гармонічним рухом. Водночас, набагато пізніше (рознесення в часі може досягати року) в процесі вивчення коливальних процесів вводять поняття “прості гармонічні рухи” та акцентують на тому, що проекція на вибрану вісь радіус-вектора точки, яка обертається по колу, описує гармонічні коливання. І зразу ж намагаються переконати школярів та студентів, що ці гармонічні коливання проекцій радіус-вектора мають стосунок до коливань математичного чи пружинного маятника.



Однак, виявляється, що тепер це вже не так просто усвідомлюється та запам'ятовується студентами. Хоча можливість полегшити розуміння цього була раніше.

Водночас важливість такого взаємозв'язку недостатньо усвідомлюється і швидко забувається. А це згодом приводить до формалізму в розумінні такого важливого засобу дослідження фізики коливань, як “метод векторних діаграм”, та невміння використати його на практиці.

Отже, вдосконалення викладання теми “Вільні механічні коливання” повинно починатися із внесення коректив до традиційної методу навчання та їх апробації.

### *Наочність*

У курсі загальної фізики немає наочного експериментального доведення того, що коливальні рухи маятника здійснюються за гармонічним законом:

$$s = s_m \cos \omega_0 t, \quad (5.1)$$

де:  $s$  – амплітуда коливань, величина, що характеризує зміщення маятника з положення рівноваги,  $s_m$  – амплітуда коливань,  $t$  – час,  $\omega_0$  – циклічна частота.

На нашу думку, дещо академічним є доведення, побудоване тільки на вгадуванні розв'язку рівняння коливань:

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + \omega_0^2 s = 0. \quad (5.2)$$

При такому підході до розв'язку рівняння (5.2) є багато математичного формалізму, але немає наочності.

Також непереконливим є доказ, який побудовано на наступному твердженні: якщо рівняння (5.1) є розв'язком рівняння (5.2), то воно також є рівнянням, яке описуватиме залежність зміщення від часу.

Таке узагальнення побудоване здебільшого на авторитеті викладача (“бо він так сказав”), – дещо волюнтаристське. Бажаної ефективності у навчанні такий підхід не дає. Це, на нашу думку, спричиняє як відчуття незавершеності фізичних знань, так і відірваності їх від практики, що згодом проявляється в ускладненні формування у свідомості студентів асоціативних зв'язків між різними повторювальними рухами.

Отже, недоліком традиційної методики навчання теми “Вільні механічні коливання” є брак наочного експериментального доведення, що вільні коливальні рухи маятника здійснюються за гармонічним законом.

### *Засоби навчання*

Для реалізації наочних навчальних досліджень з цієї теми бракує сучасних засобів навчання. На базі демонстраційних та лабораторних засобів навчання, які нині використовують у навчальному процесі вищої та середньої школи, підвищити ефективність навчального процесу дуже складно. Ці засоби застаріли. Вимагають великих коректив і методичних рекомендацій щодо їх застосування.

Як приклад цього можна взяти описані в праці [185] рекомендації для демонстрації залежності величини зміщення маятника від часу: “Для встановлення залежності координати тіла від часу потрібно отримати на міліметровому папері якісний запис коливань пружинного або математичного маятника”. Це рекомендується зробити “...з допомогою пензлика, змоченого чорнилом, або воронки з піском. Потрібно рівномірно переміщати папір (екран) відносно площини коливань маятника”.

Важко уявити собі, як це можна здійснити під час лабораторного заняття, а тим паче, в демонстраційному експерименті перед великою аудиторією, не втративши наочність.

А далі, що робити з результатом?

Як довести, що це синусоїда?

### *Ідеальні фізичні моделі*

Недоліком традиційної методики навчання даної теми можна вважати те, що зроблено завеликий акцент на ідеальні фізичні моделі, зокрема “математичний маятник”. Навчання, що базується на фізичних теоріях, в основі яких лежать ідеальні фізичні моделі, має істотні мінуси, що може призвести до втрати розуміння багатогранності і складності реальних фізичних процесів. Згодом це приведе до абстрагування знань та утруднень у використанні їх на практиці, в неусвідомлені аналогій з іншими спорідненими явищами.

У контексті поданого шлях розв’язку проблем навчання теми “Вільні механічні коливання” повинен пройти через послідовне виконання таких двох етапів.

#### *Перший етап – етап коректив*

Для поліпшення систематизації навчального матеріалу спочатку треба зробити певні корективи навчальних планів курсу фізики вищої та середньої школи.

Спочатку треба ліквідувати рознесеність в часі вивчення матеріалу, усвідомлення якого полегшує розуміння фізики коливань і сприяє формуванню асоціативних зв’язків між різними поняттями фізики. Ще при вивченні кінематики, зокрема, рівномірного руху точки по колу потрібно закладати фундамент для подальшого розуміння спорідненості простого гармонічного руху з коливальним рухом різних типів маятників.

Для цього доцільно доповнити підрозділ кінематики, в якому розглядають рівномірний рух точки по колу, параграфом, в якому б демонструвався взаємозв’язок рівномірного руху точки по колу з простим гармонічним рухом, крім цього, розробити та впровадити в навчальну практику відповідний цикл задач з метою розв’язування їх після закінчення теоретичного викладу матеріалу тем кінематики та динаміки.

*Другий етап – етап розробки нової технології навчання*

Нова технологія навчання повинна допомогти студентам у такому:

- побудувати структуру знань навколо основних понять фізики коливань;
- навчити використовувати здобуті знання для аналізу конкретних фізичних процесів;
- дати можливість побачити, що невелика кількість понять є основою для розуміння не лише різних типів коливань, а й фізики загалом.

Важливим елементом технології навчання повинні стати навчальні експерименти, здійснювані на установці з сучасними засобами вимірювання, автоматизації та візуалізації експерименту.

Концепція навчання повинна ґрунтуватись на послідовному усвідомленні та виконанні низки взаємно пов'язаних експериментальних завдань, котрі дали б змогу:

- переконуватися в ізохронності коливальних рухів маятника;
- знаходити кінематичне рівняння руху;
- демонструвати енергетичні закономірності коливальних процесів;
- наочно досліджувати фізику згасаючих коливань.

Враховуючи подане, у наступних підрозділах ми пропонуємо розробку одного з можливих шляхів удосконалення теми “Вільні механічні коливання”. Ми зробили спробу систематизувати та методично опрацювати навчальний матеріал цієї теми і впровадити його у нову технологію навчання, яку назвали “Фізичний маятник та рух точки по колу”.

Це тільки невелика частка того, що вона повинна охоплювати.

Окремі, вже розроблені фрагменти технології навчання можна використовувати як у вищій школі, так і в старших класах середньої школи.

Фрагмент розробки започатковує матеріал (підрозділ 5.2), яким, на нашу думку, доцільно завершувати вивчення розділу “Кінематика” традиційного курсу фізики – аналізуючи рівномірний рух точки по колу, вводити поняття “гармонічний рух”.

У підрозділі 5.3 описано нову, розроблену та виготовлену нами сучасну установку, узгоджену з комп'ютером, та кілька експериментів, які доцільно впровадити в навчальний процес.

Кінематиці, динаміці та енергетиці коливальних рухів присвячено підрозділ 5.4. У ньому ми акцентуємо на тих фундаментальних закономірностях, які виділяють даний об'єкт серед інших і дають можливість об'єднати їх з подібними під спільною назвою “гармонічні рухи”.

## 5.2. Формування технології навчання комплексної теми

### “Рівномірний рух точки по колу та гармонічні коливання”

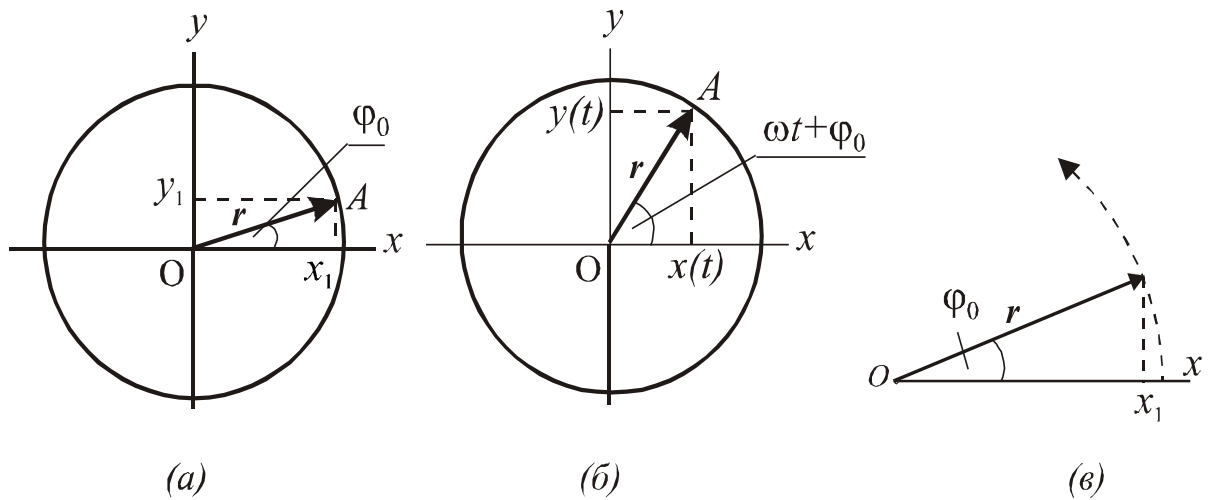
#### *Лекційний матеріал*

Нехай в момент часу  $t = t_0 = 0$  точка  $A$  знаходиться на ободі колеса з радіусом  $r$  (рис. 5.1 *a*). Колесо може обертатися з кутовою швидкістю  $\omega$  навколо осі, що проходить через його центр  $O$ .

Положення точки  $A$  на ободі колеса може задаватися радіус-вектором  $\mathbf{r}$ , початок якого збігається з центром обертання і закінчується у точці  $A$ , або координатами  $x_1$  та  $y_1$  точки  $A$  декартової системи координат  $xOy$ , центр якої збігається з центром обертання  $O$  колеса:

$$x_1 = r \cos \varphi_0, \quad y_1 = r \sin \varphi_0, \quad (5.3)$$

де  $\varphi_0$  – кут, який вектор  $\mathbf{r}$  утворює з віссю  $x$  у початковий момент часу  $t_0$ .



**Рис. 5.1.** (а) Радіус-вектор  $\mathbf{r}$  та його проєкції  $x_1$  та  $y_2$ , що задають положення точки  $A$  в просторі. (б) Точка  $A$  через деякий проміжок часу  $t$ . (в) Представлення гармонічного коливання з допомогою вектора  $\mathbf{r}$

Нехай колесо обертається зі сталою кутовою швидкістю  $\omega$  проти годинникової стрілки навколо осі  $O$  (рис. 5.1 б). Точка  $A$  теж буде рівномірно обертатися з цією швидкістю навколо точки  $O$  і за час, який називають періодом обертання  $T$ , здійснить повний оберт ( $\varphi = 2\pi$ ).

Координати точки  $x$  та  $y$  змінюватимуться, вони стануть функціями часу  $t$ :

$$x = x(t), \quad y = y(t). \quad (5.4)$$

Рівняння (5.4) називають кінематичними рівняннями руху.

Якщо в початковий момент часу  $t_0$  радіус-вектор  $\mathbf{r}$  утворює з віссю  $x$  кут  $\varphi_0$ , то через проміжок часу  $t$  радіус-вектор  $\mathbf{r}$  опише відносно осі  $x$  кут  $(\omega t + \varphi_0)$  (рис. 5.1 б). Тепер проєкції  $x$  та  $y$  вектора  $\mathbf{r}$  визначатимуться співвідношеннями:

$$x = r \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (5.5)$$

та

$$y = r \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (5.6)$$

які змінюються за законом косинуса або синуса. Такі залежності прийнято називати гармонічними коливаннями.

Абсолютна величина радіус-вектора  $\mathbf{r}$  точки  $A$  – це амплітуда коливань. Вона дорівнює максимальним значенням проєкцій  $\pm x_m$  та  $\pm y_m$ .

Аргумент синуса чи косинуса – це фаза коливань. Вона задає величину проєкції у будь-який момент часу  $t$ . У момент часу  $t = 0$  фаза коливань дорівнює  $\varphi_0$  (початкова фаза).

Величина  $\omega$ , що в обертальному русі є кутовою швидкістю, в коливальному русі є швидкістю його повторюваності. Її називають циклічною або коловою частотою.

Подане дозволяє зробити висновок: через те, що повторювальні гармонічні рухи радіус-вектора  $\mathbf{r}$  точки  $A$  пов'язані з її обертальним рухом, це дає змогу зображати гармонічні коливання графічно радіус-вектором  $\mathbf{r}$  (рис. 5.1 в).

Представлення гармонічних коливань з допомогою вектора  $\mathbf{r}$  (рис. 5.1 в), що обертається, дає можливість векторно, тобто графічно, додавати гармонічні коливання однієї частоти. Такий метод у багатьох випадках є набагато простішим від аналітичного. Він називається методом векторних діаграм.

#### *Приклади розв'язування задач*

*Задача 1.* Знайдіть рівняння траєкторії точки  $A$ , що рівномірно обертається по колу з радіусом  $r$ .

**Розв'язок:** Щоб знайти траєкторію руху тіла  $A$ , необхідно з кінематичних рівнянь руху (5.5) і (5.6) виключити час. Піднісши обидва рівняння до квадрату і додавши їх, одержимо рівняння кола:

$$x^2 + y^2 = r^2 (\cos^2(\omega t + \varphi_0) + \sin^2(\omega t + \varphi_0)),$$

$$x^2 + y^2 = r^2. \quad (5.7)$$

**Задача 2.** На тіло масою  $m$  діє сила, що змінюється за гармонічним законом:

$$F_x = F_m \cos \omega t. \quad (5.8)$$

Нехай при  $t = 0$  зміщення  $x = 0$ . Знайдіть рівняння, що описує залежність прискорення  $a$ , швидкості  $v$  та переміщення  $x$  від часу  $t$  та побудуйте графіки цих залежностей.

**Розв'язок:** Прискорення  $a$ , швидкість  $v$  та переміщення  $x$  зв'язані рівняннями:

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (5.9)$$

Згідно з другим законом Ньютона та враховуючи (5.8), одержимо:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_m}{m} \cos \omega t, \quad (5.10)$$

або



$$dv = \frac{F_m}{m} \cos \omega t dt . \quad (5.11)$$

Проінтегрувавши вираз (5.11):

$$\int dv = \int \frac{F_m}{m} \cos \omega t dt , \quad (5.12)$$

отримаємо

$$v = v_m \sin \omega t , \quad (5.13)$$

де:

$$v_m = \frac{F_m}{m\omega} . \quad (5.14)$$

Для переміщення  $x$  матимемо:

$$x = x_m \cos \omega t , \quad (5.15)$$

де

$$x_m = \frac{F_m}{m\omega^2} . \quad (5.16)$$

*Задача 3.* Знайдіть траєкторію точки, яка здійснює коливання під дією двох взаємно перпендикулярних сил, амплітуди та періоди коливань яких однакові:

$$x = x_m \cos \omega t, \quad y = y_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right), \quad (5.17)$$

де

$$x_m = y_m = 1.$$

Р о з в ’ я з о к : Задають значення часу

$$t = \frac{n}{24} T,$$

де  $n = 0, 1, 2, \dots, 24$ .

Підставляють їх у рівняння (5.17) та знаходять відповідні їм величини координат  $x$  та  $y$  і будують графік  $y = f(x)$ .

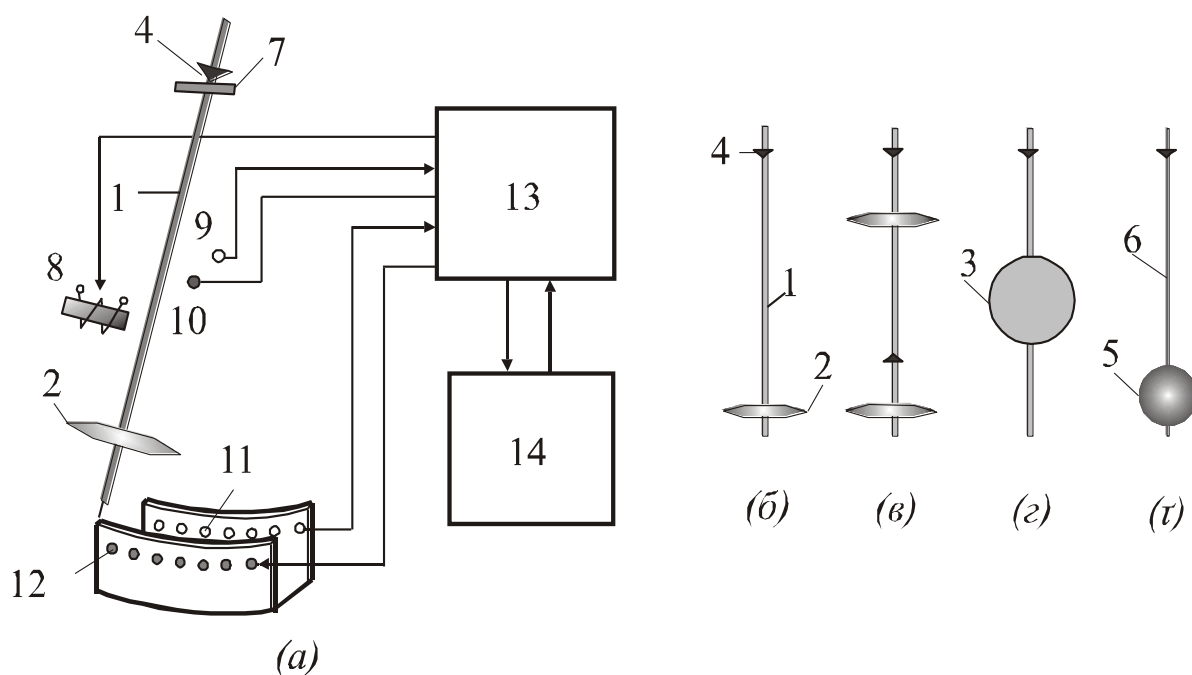
### 5.3. Установка та приклади лабораторних досліджень

На рис. 5.2 *a* подано функціональну схему розробленої та виготовленої нами навчальної установки “Фізичний маятник”. Її основним елементом є коливне тіло, яке залежно від цільової установки може мати різні форми (рис. 5.2 *б-г*).

Установка має два реєструючі пристрої:

– один виконаний у вигляді оптронної пари, в яку входить джерело світла 9 та фотоприймач 10. Їх розміщують перпендикулярно до площини коливань (по обидві сторони) та до вертикалі, що проходить через центр коливань (опорної призми 4), на відстані 40 см від нього;

– другий – у вигляді оптронної лінійки, оптопари якої розміщені на відстані 80 см від осі коливань по обидва боки площини коливань. Лінійка має тринадцять джерел світла 11 і відповідно стільки ж фотоприймачів 12. Оптопари розміщені на відстані  $1^\circ$  одна від одної та охоплюють кути від  $-6^\circ$  до  $+6^\circ$ .



**Рис. 5.2.** (а) Функціональна схема установки “Фізичний маятник”:

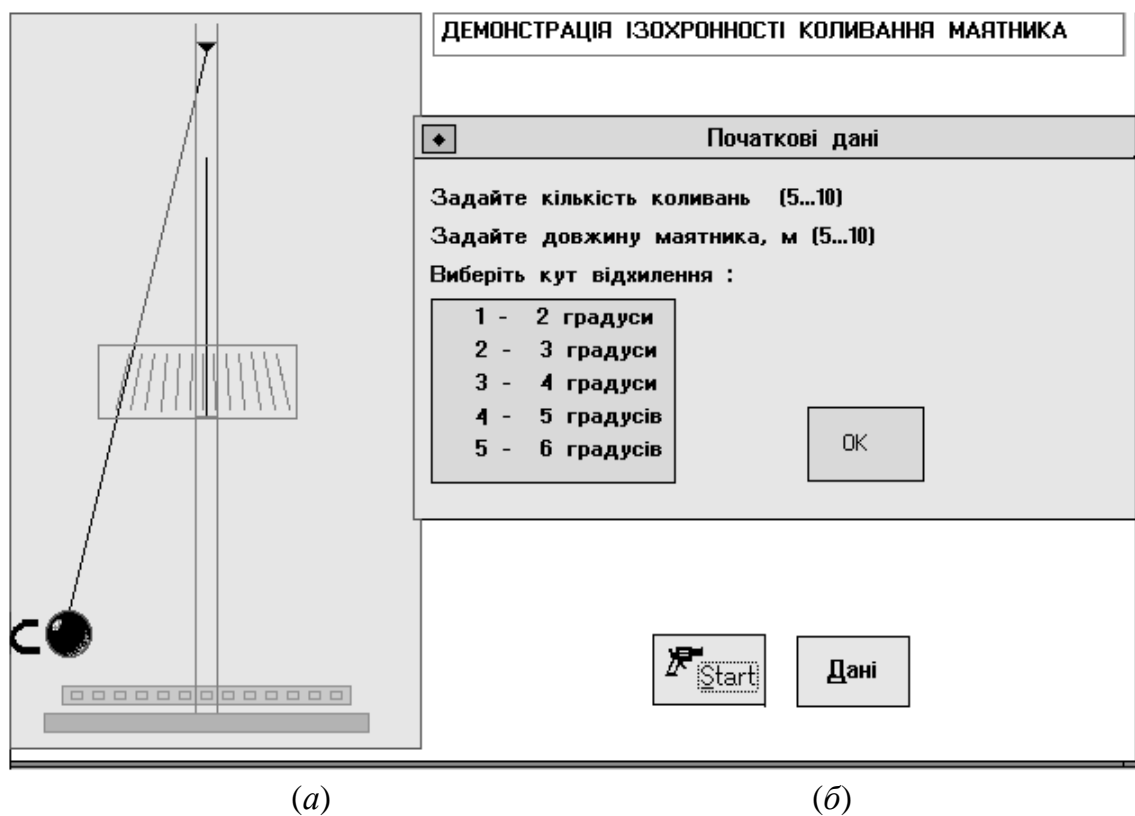
- |                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1 – стержень;            | 8 – електромагніт;             |
| 2 – вантажі;             | 9 – джерело світла;            |
| 3 – гальмівна пластинка; | 10 – фотоприймач;              |
| 4 – опорна призма;       | 11 – тринадцять джерел світла; |
| 5 – металева куля;       | 12 – тринадцять фотоприймачів; |
| 6 – нерозтяжна нитка;    | 13 – блок спряження;           |
| 7 – опорна площадка;     | 14 – комп’ютер.                |

(б) Фізичний маятник. (в) Оборотний маятник. (г) Маятник для дослідження згасаючих коливань. (д) Математичний маятник

Пусковий та реєструючий пристрої установки під’єднані до блоку спряження 13, а він – до керуючої системи комп’ютера 14. Програмно-апаратна система узгодження установки з комп’ютером забезпечує керування нею з клавіатури та автоматизацію процесу вимірювань.

Час проходження маятником проміжку між оптопарами визначається з допомогою системного таймера комп'ютера IBM PC/AT. Програма відслідковування положення маятника дає можливість вивести на екран зображення маятника, що коливається, синхронно з реальним коливальним процесом. Згодом це використовується у розробці педагогічного програмного продукту.

На рис. 5.3 подано комп'ютерну модельну установку “Математичний маятник” педагогічного програмного продукту технології навчання “Фізичний маятник та рух тіла по колу”. Довжину маятника  $l$ , кут відхилення  $\varphi$  та кількість коливань  $n$  можна задавати в певних межах.



**Рис. 5.3.** (а) Модельна комп'ютерна установка. (б) Меню: “Вибір параметрів експерименту 1”

З допомогою навчальної установки “Фізичний маятник” та її комп’ютерного модельного аналогу можна реалізувати низку досліджень, три з яких ми пропонуємо для детального розгляду.

### **Експеримент 1. ДОСДЖЕННЯ ПЕРІОДУ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА**

*Мета експерименту:* на прикладі досліджень коливань фізичного маятника переконатись, що при малих амплітудах коливань його період залишається незмінним.

Дослідження періоду  $T$  коливань фізичного маятника здійснюють в межах амплітуд від  $2^\circ$  до  $6^\circ$  з кроком  $\Delta\varphi = 1^\circ$ . Отримані у кожній серії значення часу  $T$  вказуватимуть на те, що практично в межах досліджуваних амплітуд коливання маятника відбувається за один і той же час. Це дає змогу констатувати, що при малих відхиленнях період  $T$  є характеристикою коливальної системи. Ця властивість маятника є дуже важливою. Ще Галілео Галілей запропонував використовувати маятник як регулятор у годинниках.

### **Експеримент 2. КІНЕМАТИЧНЕ РІВНЯННЯ РУХУ МАЯТНИКА**

*Мета експерименту:* отримати залежність відхилення  $\varphi$  від часу  $t$  та довести, що вона є гармонічною.

Маятнику задають зміщення  $\varphi_m = 6^\circ$ . Після команди “Start” пусковий пристрій відпускає його. Комп’ютер автоматично фіксує час проходження коливальним тілом кожної оптопари. Проводять  $k = 5$  спостережень. Результати кожного спостереження і середні арифметичні значення часу  $\langle t \rangle$  проходження маятником кожного кута будуть автоматично записуватись у таблицю 5.1.

Результати досліджень наочно представляють у вигляді графіка, відкладаючи по осі абсцис час  $\langle t \rangle$ , а по осі ординат – зміщення  $\varphi$  (невеликі чорні точки на рис. 5.4).

Таблиця 5.1

Залежність кута відхилення маятника від часу

$\varphi^\circ$	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
$t, \text{с}$	0,000	0,177	0,254	0,317	0,372	0,434	0,475	0,526	0,577	0,633	0,696	0,773	0,951
	1,902	1,723	1,645	1,583	1,527	1,476	1,425	1,374	1,322	1,267	1,204	1,127	0,951

Після того досліджують, чи отримані результати можна описати гармонічною залежністю (5.1):

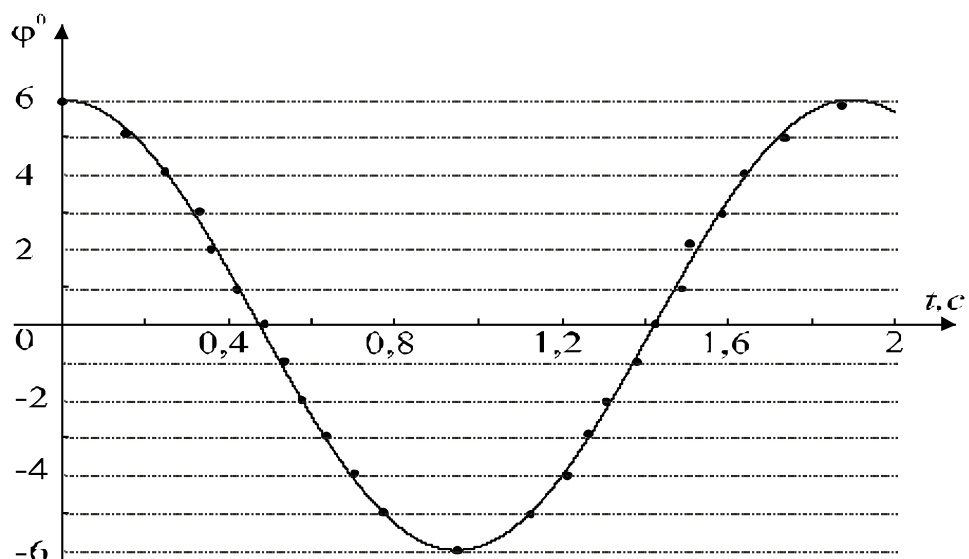
$$s = s_m \cos \omega_0 t.$$

У рівнянні (5.1) підставляють  $\varphi$  замість  $s$ , а  $2\pi/T$  замість  $\omega$ , та  $\varphi_m = 6^\circ$  замість амплітуди коливань  $s_m$ , після чого воно набуде вигляду:

$$\varphi = 6^\circ \cos \frac{2\pi}{T} t. \quad (5.18)$$

Тоді підставляють у рівняння (5.18) експериментально отриману величину періоду коливань  $T = 1,902 \text{ с}$  (див. таблицю) та змінюють час  $t$  від 0 до 2 с. Отримані величини  $\varphi$  та відповідні їм значення часу  $t$  наносять на рис. 5.4 (суцільна крива).

Бачимо, що експериментальні величини добре збігаються з теоретично отриманою кривою. Це вказує на те, що коливальні рухи фізичного маятника є гармонічними.



**Рис. 5.4.** Суцільна крива – графік залежності  $\varphi$  від часу  $t$  побудований з допомогою формули (5.18), яка описує гармонічне коливання ми, та результати експерименту – невеликі круглі чорні кружечки

### **Експеримент 3. ДОСПІДЖЕННЯ ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕНЬ ЕНЕРГІЇ. ЗНАХОДЖЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ**

*Мета експерименту:* на основі досліджень коливань фізичного маятника ознайомитись із закономірностями енергетичних перетворень та знайти величину прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

Досліджують залежність амплітуди швидкості  $v_m$  від амплітуди зміщення  $\varphi_m$ . Експеримент проводять у межах кутів від  $2^\circ$  до  $7^\circ$ , задаючи крок відхилення  $1^\circ$ .

Згідно з законом збереження і перетворення механічної енергії (див. підрозділ 5.4, формула 5.30):

$$v_m^2 = gl\varphi_m^2,$$

де:  $v_m$  – швидкість проходження маятником положення рівноваги;  
 $l$  – його довжина;  $\varphi_m$  – амплітуда коливань.

Це співвідношення використовують для знаходження прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

На графіку залежності  $v_m^2$  від  $\varphi_m^2$  експериментальні результати описуватиме пряма лінія, тангенс кута нахилу якої дасть значення  $gl$ .

#### **5.4. Методика побудови навчання кінематичних, динамічних та енергетичних закономірностей коливальних рухів маятника**

Ми намагались систематизувати і структурувати зміст навчання теми “Вільні механічні коливання” таким чином, щоб полегшити студентам формування основних, стрижневих понять і закономірностей коливальних рухів, набуття певних навиків і вмінь, необхідних для подальшого засвоєння фізики. Відповідно до цього у пропонованому фрагменті технології навчання “Фізичний маятник та рух точки по колу” ми намагались показати:

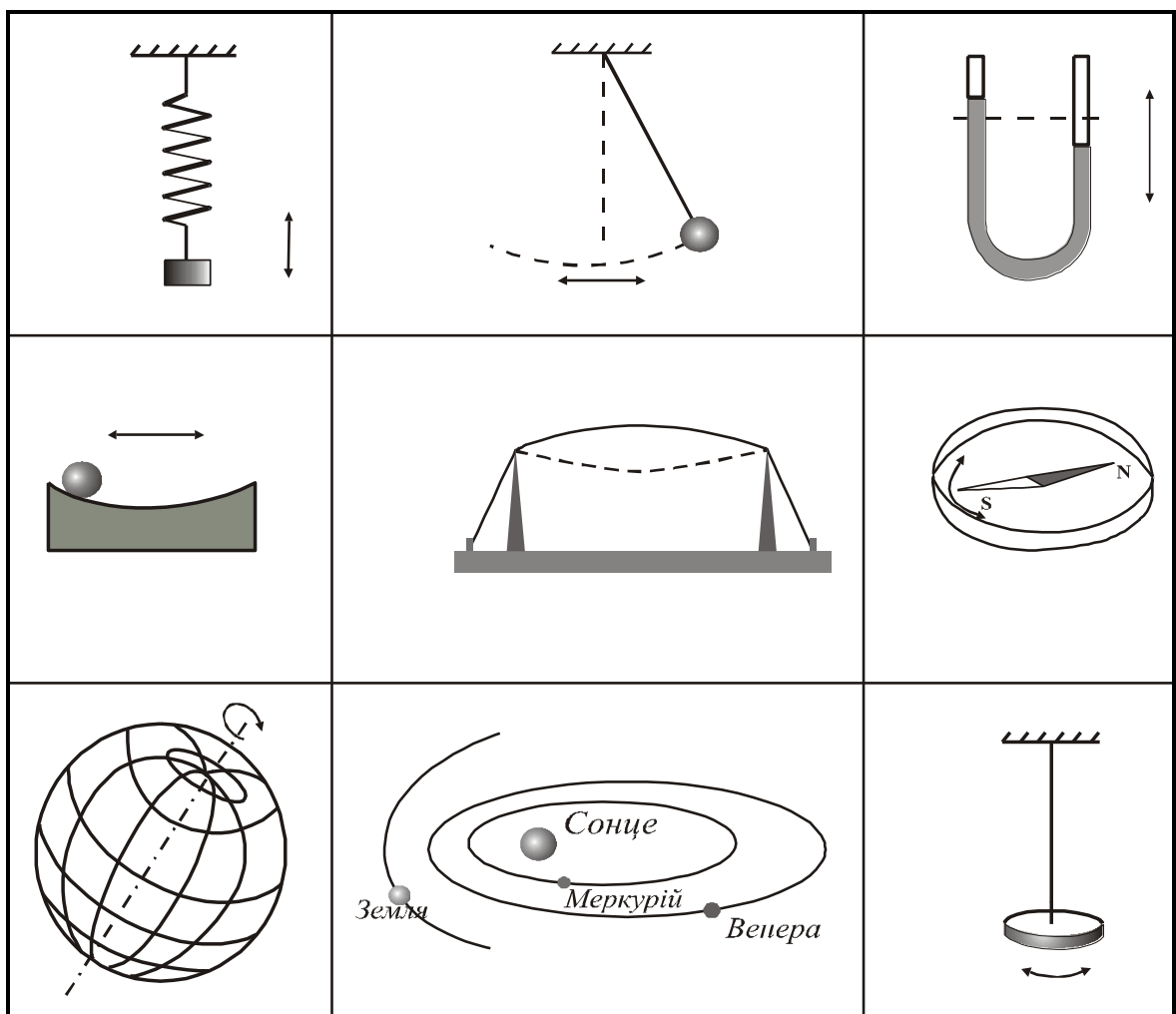
- по-перше, місце та роль простих коливальних рухів у загальній структурі повторювальних рухів;
- по-друге, як аналітично представити положення маятника в просторі;
- по-третє, що період коливань  $T$  є не лише характеристикою коливального процесу, але і коливальної системи;
- по-четверте, що коливальні рухи маятника є гармонічними;
- по-п’яте, що гармонічні коливання це – результат дії “пружних” сил, які описує відомий закон Гука;
- по-шосте, що знання сили дає змогу отримати рівняння, яке описує гармонічні коливання;



– по-сьоме, що графік потенціальної енергії маятника в процесі коливань це – парабола, що нагадує “потенціальну яму”.

### Повторювальні рухи

Вивчення закономірностей коливальних рухів започатковує рис. 5.5, на якому представлено анімований фрагмент “Приклади повторювальних рухів” педагогічного програмного продукту технології навчання “Фізичний маятник та рух точки по колу”.



**Рис. 5.5.** Заставка “Приклади повторювальних рухів”

Завдання студентів (школярів) проаналізувати їх та виявити те, що дає змогу об’єднати їх під назвою “Повторювальні рухи”.

Траєкторії руху тіл бувають різними – еліпси, кола, прямі лінії та інші. Спільним є те, що тіла, рухаючись через певний проміжок часу проходять одне і те ж положення. Цей найменший проміжок часу називається періодом  $T$ , а рухи, що повторюються через рівні проміжки часу, називаються періодичними.

Отже, повторювальність у часі положення тіл дає можливість віднести ці рухи до найбільш розповсюджених у природі і техніці рухів, до повторювальних механічних рухів.

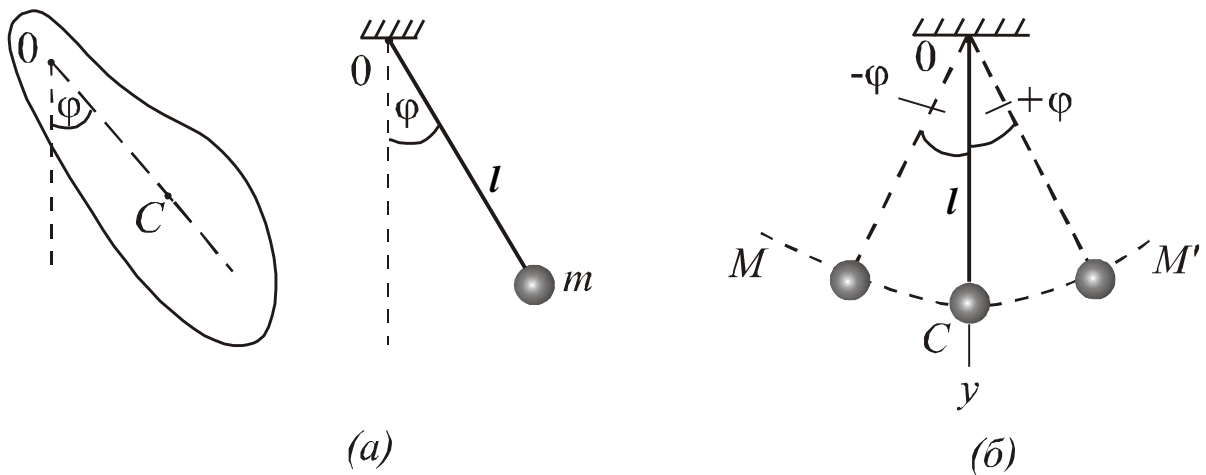
Частковим, але дуже важливим, випадком повторювальних рухів є коливання. Коливатися може будь-яке тіло, що в полі земного тяжіння може обертатися навколо деякої нерухомої горизонтальної осі  $O$ , яка не проходить через його центр мас  $C$  (рис. 5.6 а). Це – фізичний маятник. На його частковий випадок – математичний маятник (матеріальна точка масою  $m$ , що підвішена на нерозтяжній нитці довжиною  $l$  (рис. 5.6 б)), ми посилатимемося далі.

### *Положення маятника у просторі*

Здійснюючи коливання, маятник змінює своє положення у просторі, описуючи дугу  $MM'$  радіуса  $l$ . Тому насамперед студентам потрібно набути вміння аналітично представляти положення маятника в просторі.

Якщо через точку  $O$  (вісь обертання) та центр мас  $C$  маятника, що знаходиться у положенні рівноваги, провести вісь  $Oy$  (рис. 5.6 б), то положення маятника можна задати відрізком  $l$  та кутом  $\varphi$  між ним та вертикаллю (вісь  $Oy$ ). При відхиленнях маятника вправо цей кут буде додатнім, а вліво – від'ємним.

Отже, в процесі коливань кут  $\varphi$  змінюватиме знак на протилежний.



**Рис. 5.6.** (а) Фізичний і математичний маятник. (б) Полярні координати задають положення маятника

### *Коливальна система та процес*

Здавалось, що не може бути складним засвоєння таких, на перший погляд, простих понять, як коливальна система та процес. Але запитання “чи найменший проміжок часу, через який коливання повторюються, тобто період коливань  $T$ , є лише характеристикою коливального процесу, чи також коливальної системи”, приводить до ускладнень. Для того, щоб відповісти на це питання, треба дослідити, чи маятник здійснює ізохронні коливання.

Виконавши навчальне лабораторне дослідження 1, переконуються, що при малих амплітудах коливань період  $T$  не залежить від величини амплітуди. Отже, період  $T$  є не лише характеристикою коливального процесу, а й коливальної системи.

### *Кінематичне рівняння руху*

Якщо у момент часу  $t = 0$  кут відхилення математичного маятника дорівнює амплітудному значенню  $\varphi_m$ , то положення маятника дуже легко знайти через проміжки часу  $t$ , кратні  $\frac{T}{4}$  (див. рис. 5.7 а, б, в), тобто:

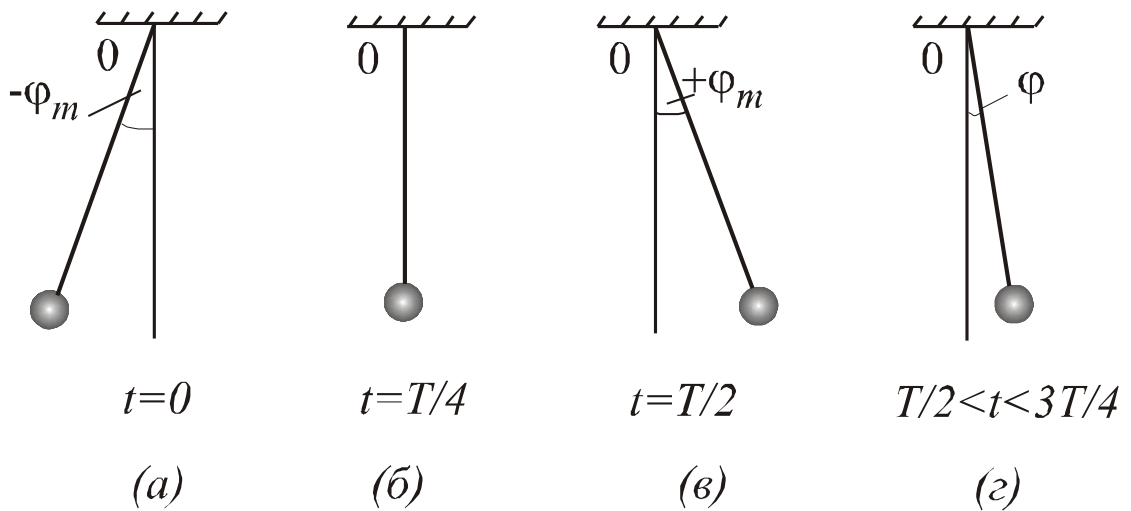
$$t = m \frac{T}{4},$$

де  $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Водночас не так просто знайти відхилення маятника через проміжки часу, не кратні  $\frac{T}{4}$ :

$$t \neq m \frac{T}{4},$$

що відповідають кутам відхилення  $-\varphi_m < \varphi < \varphi_m$  (рис. 5.7 з).



**Рис. 5.7.** Коливання маятника протягом половини періоду  $T$

Для цього треба знати аналітичний вигляд кінематичного рівняння руху маятника:

$$\varphi = f(t).$$

Виконавши лабораторне дослідження 2 переконуються, що коливальні рухи маятника описуються косинусоїдальною залежністю (5.18):

$$\varphi = \varphi_m \cos \frac{2\pi}{T} t,$$

отже, є гармонічними.

### *Сили в коливальному русі*

Результатом дії якого типу сил є гармонічні коливання?

Без чіткого усвідомлення цього не достатньо формуватимуться у студентів поняття даної теми.

Відхиліть маятник зі стану спокою і відпустіть (рис. 5.8 *a*). Очевидно, що якась сила, нехай це буде  $F_1$ , змушує маятник рухатися в положення рівноваги. Він проскочить його за інерцією (рис. 5.8 *б*) і відхилиться в інший бік, де на нього діятиме сила  $F_2$  (рис. 5.8 *в*), яка змусить його рухатися зворотно.

Отже, під дією сили, яка періодично змінює свій напрямок, маятник здійснює гармонічні коливальні рухи.

З лабораторного експерименту 1 відомо, що збільшення амплітуди коливань  $\varphi_m$  маятника не веде до зміни періоду коливань  $T$ . Але подолання більшого відхилення за один і той же час  $T$  вказує на те, що зміни швидкості руху маятника на відповідних ділянках відбуваються з більшими змінами прискорення. Зрозуміло, що ці зміни прискорення пропорційні відповідним змінам сили  $F$ .

З низки взаємозв'язаних величин, які супроводжують коливальні рухи, випливає, що зміна відхилення  $\varphi$  призводить до зміни величини сили  $F$ , під дією якої відбуваються коливання. Таким чином, сила повинна бути функцією положення коливного тіла:

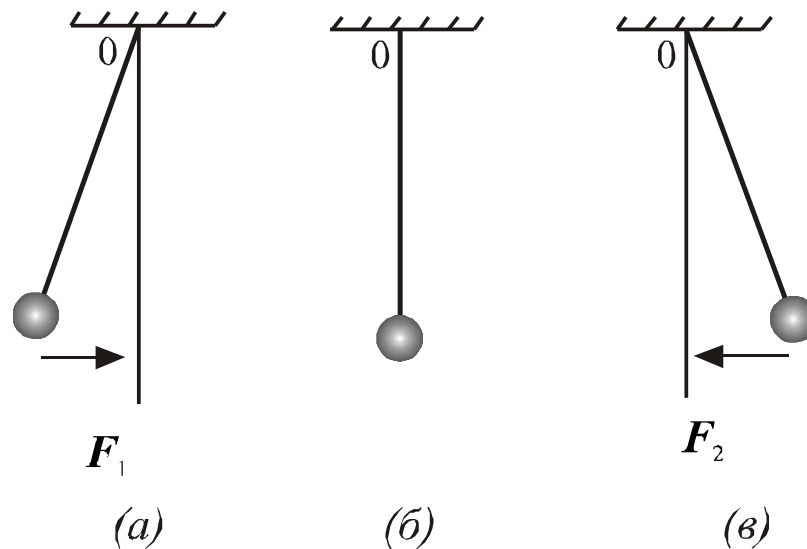
$$F = f(\varphi).$$

Залишається лише знайти аналітичний вигляд цієї залежності.

Зауважимо, що ми маємо справу з відхиленнями на малі кути, для яких  $\sin \varphi \approx \varphi$ .

На відхилений маятник (рис. 5.8 *a*) діють дві сили: тяжіння  $mg$ , яку розкладають на дві складові – тангенціальну  $F_\tau$  (дотична до траєкторії руху) і нормальну  $F_n$ , та силу реакції нитки  $N$ .

Сили  $F_n$  та  $N$  забезпечують доцентрове прискорення  $a_n$ , яке напрямлене до центру кривизни траєкторії. Воно характеризує швидкість зміни напрямку вектора швидкості  $v$  центру маси  $C$  кульки.



**Рис. 5.8.** (*a*) На маятник, що відхилений вліво, діє спрямована вправо сила  $\mathbf{F}_1$ . (*б*) Маятник зі швидкістю  $v$  проходить положення рівноваги. (*в*) На маятник, що відхилений вправо, діє спрямована вліво сила  $\mathbf{F}_2$

Сила  $F_\tau$  задає величину тангенціального прискорення  $a_r$ , яке характеризує швидкість зміни модуля швидкості  $v$  маятника.

З рис. 5.9 *a* маємо:

$$F_\tau = -mg \sin \varphi. \quad (5.19)$$

Враховуючи співвідношення:  $\varphi \approx \frac{s}{l}$ , рівняння (5.19) можна записати у вигляді:

$$F_{\tau} = -ks, \quad (5.20)$$

де

$$k = \frac{mg}{l}. \quad (5.21)$$

Отже, причиною виникнення гармонічних коливань математичного маятника є сила, прямо пропорційна величині відхилення і напрямлена протилежно йому.

Цей результат має важливе значення, бо такий тип сил дуже розповсюджений у природі – це пружні сили, які описує закон Гука:

Сила, що виникає при пружній деформації, – прямо пропорційна величині деформації  $x$  і напрямлена у бік її зменшення:

$$F = -kx. \quad (5.22)$$

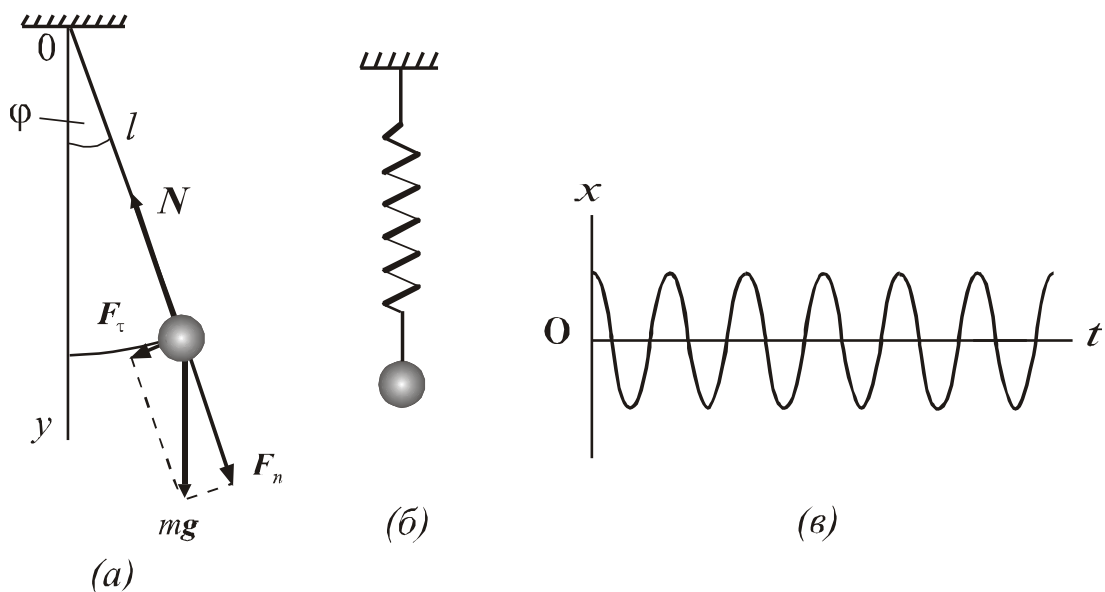
Ця сила повинна зумовлювати гармонічні коливання.

Отже, через те, що сила  $F$  розтягнутої пружини, звичайно, пропорційна її видовженню  $x$ , то це означає, що коливальні рухи вантажу, підвішеного на пружині (пружинний маятник), будуть гармонічними (рис. 5.9 б).

Існує багато інших прикладів гармонічних рухів. Деякі з них представлені на рис. 5.5. Виявляється, що коливання атомів твердого тіла теж відбуваються за гармонічним законом.

Причина, через яку велика кількість рухів у природі є простим гармонічним рухом, у тому, що незалежно від того, як (нехай навіть дуже

складно) сила залежить від відстані, її зміна при малих відхиленнях повинна бути прямо пропорційна цьому відхиленню. Тому при малих відхиленнях майже всіх тіл від їх положення рівноваги будуть діяти сили вигляду (5.22) і тіло здійснюватиме прості гармонічні коливання [186].



**Рис. 5.9.** (а) На відхилений маятник діють сили  $N$  та  $mg$  ( $F_\tau$  та  $F_n$  – це складові сили тяжіння  $mg$ ). (б) Вертикальний пружинний маятник здійснює гармонічні коливання

#### *Рівняння гармонічних коливань*

Підставляючи вираз для сили (5.20) у рівняння другого закону Ньютона, отримаємо основне рівняння гармонічних коливань:

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = -k s \quad \text{або} \quad \frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{k}{m} s = 0, \quad (5.23)$$

та за умови, що



$$\omega^2 = \frac{k}{m}. \quad (5.24)$$

вираз (5.1)

$$s = s_m \cos \omega t \quad \text{або} \quad s = s_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

є розв'язком рівняння (5.23).

### *Потенціальна енергія та потенціальна яма*

Вивчення енергетичних закономірностей коливальних процесів ми починаємо із знаходження виразу величини роботи, яку потрібно виконати, щоб надати системі енергію.

На рис. 5.10 *a* показано маятник, що перебуває у стані спокою. Його повна механічна енергія  $W_0$ , кінетична енергія його руху  $W_k$  та його потенціальна енергія  $W_n$  відносно точки  $O$  дорівнює нулеві.

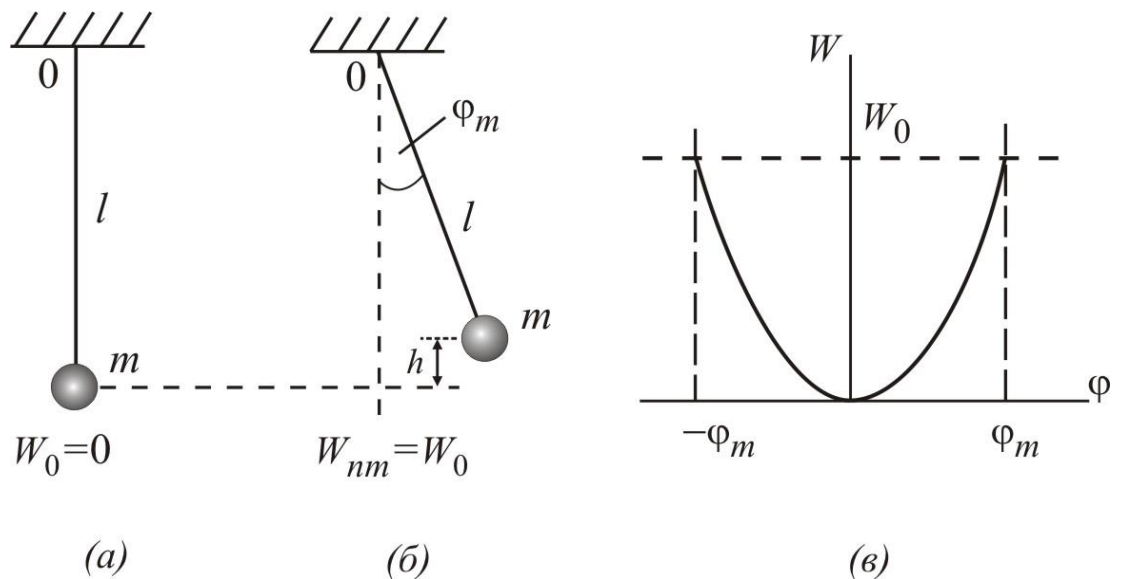
Щоб маятник почав коливатися, його треба відхилити з положення рівноваги та відпустити. Але, щоб відхилити маятник з положення рівноваги на кут  $\varphi$ , потрібно виконати проти сили (5.19), яка у випадку малих кутів матиме вигляд:

$$F_\tau \approx mg\varphi, \quad (5.25)$$

роботу:

$$A = \int_0^\varphi F_\tau l d\varphi. \quad (5.25)$$

Ця робота піде на надання системі потенціальної енергії  $W_n$ .



**Рис. 5.10.** (а) У стані спокою повна механічна енергія маятника  $W_0 = 0$ . (б) Відхилений маятник має потенціальну енергію  $W_n$  ( $W_0 = W_{nm}$ ). (в) Графік залежності потенціальної енергії  $W_n$  від кута відхилення

Підставивши вираз (5.25) в рівняння (5.26) та проінтегрувавши його, отримаємо:

$$A = \frac{m \, g l \varphi^2}{2} = W_n. \quad (5.27)$$

На рис. 5.10 в подано графік потенціальної енергії. Це – парабола. Її вигляд нагадує “потенціальну яму”. Якщо в початковий момент часу відхилення  $\varphi = \varphi_m$ , то потенціальна енергія  $W_n$  маятника буде максимальною  $W_{nm}$  і дорівнюватиме його повній механічній енергії  $W_0$ :

$$W_{nm} = \frac{m g l \varphi_m^2}{2} = W_0. \quad (5.28)$$

На рис. 5.11 а вона виділена горизонтальною пунктирною лінією. Якщо відпустити маятник, то він почне здійснювати прості гармонічні коливання.

Із зменшенням кута  $\varphi$  потенціальна енергія  $W_n$  буде зменшуватися (рис. 5. 11 *a*). Однак, за рахунок збільшення швидкості руху  $v$  коливального тіла зростатиме його кінетична енергія  $W_k$ . Згідно з законом збереження і перетворення енергії, повна механічна енергія системи залишатиметься постійною ( $W_0 = \text{const}$ ):

$$W_n + W_k = W_0. \quad (5.29)$$

У момент проходження маятником положення рівноваги його кінетична енергія  $W_k$  дорівнюватиме максимальній потенціальній енергії  $W_n$ :

$$W_{km} = W_{nm} \quad \text{або} \quad \frac{mgl\varphi_n^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2}. \quad (5.30)$$

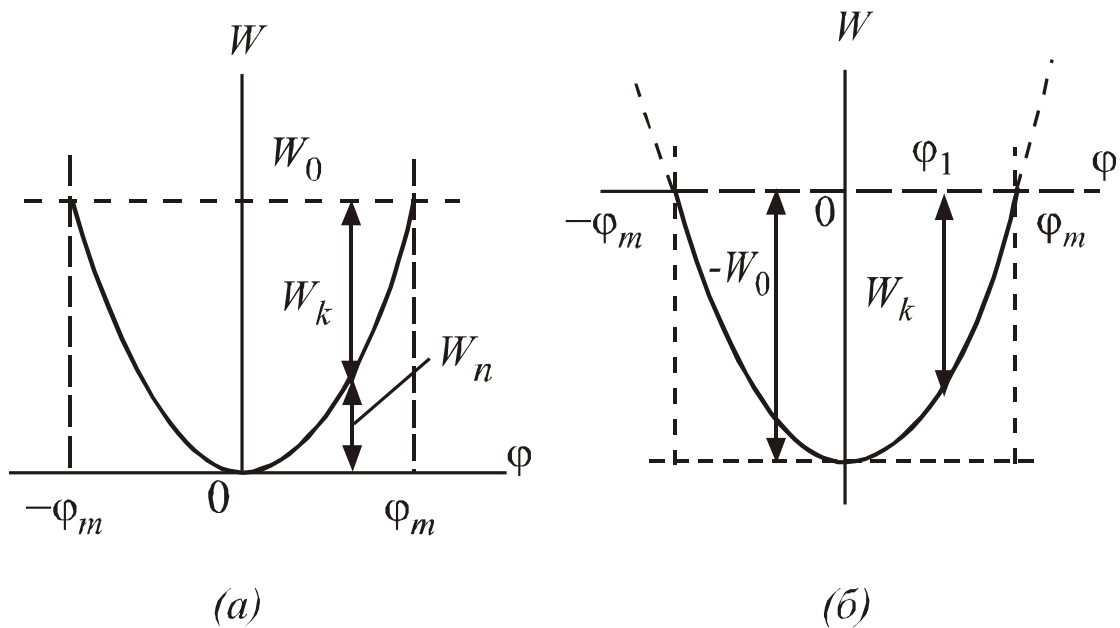
З формули (5.30) отримаємо вираз:

$$v_m^2 = \varphi_n^2 gl. \quad (5.31)$$

Він пов'язує амплітудні значення швидкості та зміщення.

Під час виконання *Лабораторної роботи 3* це співвідношення використовують для знаходження прискорення сили земного тяжіння  $g$ .

Отже, перетворення енергії з одного виду в інший наочно відображаються на кривій потенціальної енергії (рис. 5.11 *a*). Через те, що відстань від пунктирної лінії до осі  $\varphi$  дорівнює повній енергії системи  $W_0$ , а відстань від кривої до осі  $\varphi$  дорівнює потенціальній енергії  $W_n$ , то відстань по вертикалі від кривої потенціальної енергії до пунктирної повинна відповідати кінетичній енергії  $W_k$  при даному куті відхилення  $\varphi$ . Таким чином, користуючись кривою потенціальної енергії, можна швидко визначити  $W_k$  для будь-якого значення  $\varphi$ .



**Рис. 5.11.** (а). Динаміка змін потенціальної  $W_n$  та кінетичної  $W_k$  енергії ( $W_0 = \text{const}$ ). (б) Енергію  $W_0$  вигідно приймати за нуль

Якщо маятникові надати енергію  $W_0$ , то його коливання відбуватимуться у межах кута від  $-\varphi_m$  до  $+\varphi_m$ . Відхилитись чи проникнути правіше  $+\varphi_m$  чи лівіше  $-\varphi_m$ , він не може. Координати  $-\varphi_m$  і  $+\varphi_m$  ніби утворюють відбиваючі стінки, а коливальна система знаходиться у просторі, обмеженому цими стінками. Тільки тут проявляються сили притягання. Відстань між стінками  $a = 2\varphi_m$ . Цю відстань називають шириною потенціальної ями. Різницю потенціальної енергії  $W_0$  на краю ями і на її дні називають глибиною потенціальної ями. Ці дві величини  $W_0$  та  $a$  є її характеристиками.

У просторі, обмеженому потенціальною кривою, потенціальна енергія нашої системи менша, ніж поза нею. Енергію  $W_0$  вигідно приймати за нуль. Так можна зробити тому, що в усіх задачах, які розв'язуються у фізиці, ми стикаємося лише з різницею потенціальної енергії. Нульовий рівень, від якого відраховується енергія, довільний.

У цьому випадку, аналогічно як і попередньому (рис. 5.11 а), щоб знайти кінетичну енергію, наприклад при  $\varphi = \varphi_1$ , потрібно просто виміряти відстань

по вертикалі від кривої до пунктирної лінії, що є тепер і віссю координат  $\varphi$  (рис. 5.11 б).

Подані у вигляді графіка залежності потенціальної енергії стають дуже актуальними, коли мають справу з силами складної фізичної природи.

Насамкінець зауважимо, що запропонована нами проста і ефективна лабораторна установка “Фізичний маятник” відрізняється від пропонованих, наприклад, у працях [187, 188], технічними можливостями, наочністю проведення експерименту і його візуалізацією на екрані дисплея комп’ютера. Крім того, вона забезпечує проведення дослідження залежності величини відхилення маятника від часу.

У запропонованій методиці навчання гармонічних коливань, що пов’язана з простими навчальними експериментами, які проводять на цій установці, акцентують на простих важливих поняттях фізики коливань та взаємозв’язках між ними і це сприяє їх якісному засвоєнню.

## Висновки до розділу 5

1. Подано деякі з виявлених недоліків традиційної методики навчання цієї теми “Вільні механічні коливання”. Це, зокрема, брак:

а) наступності при переході у змісті навчання від кінематики до фізики коливань;

б) експериментального підтвердження, що вільні коливальні рухи маятника здійснюються за гармонічним законом;

в) сучасних технічних засобів навчання.

2. Розроблено технологію навчання комплексної теми “Рівномірний рух точки по колу та гармонічні коливання”. У ній, насамперед, з метою поліпшення наступності врахована доцільність внесення певних змін у навчальні програми курсу фізики середньої та вищої школи та подано навчальний матеріал, який демонструє взаємозв’язок рівномірного руху точки по колу з простим гармонічним рухом. Такі корективи дають змогу

ліквідувати рознесення в часі вивчення матеріалу, усвідомлення якого в подальшому полегшить розуміння фізики коливань і сприяє формуванню асоціативних зв'язків між різними поняттями фізики.

3. Розроблено та виготовлено узгоджену з комп'ютером навчальну установку “Фізичний маятник” та розроблено навчальні експерименти, які можна здійснювати на ній.

4. У підрозділах (“Кінематика”, “Динаміка” та “Енергетика коливальних рухів”) комплексної теми акцентується на тих ключових закономірностях, які виділяють цей об'єкт серед інших і дають можливість об'єднати їх з подібними під спільною назвою “гармонічні рухи”.

5. Концепція навчання ґрунтується на послідовному усвідомленні та виконанні низки взаємопов'язаних експериментальних завдань, котрі дають змогу:

- переконатися в ізохронності коливальних рухів маятника;
- уперше експериментально отримати і подати на дисплеї зміщення кута відхилення маятника від часу та знаходити кінематичне рівняння руху;
- уперше, демонструючи енергетичні закономірності коливальних процесів, знаходити прискорення сили земного тяжіння.

6. Основою комп'ютерної технології навчання став модельний аналог установки, що дало змогу реалізувати числові віртуальні експерименти.

## РОЗДІЛ 6

### РОЗВИТОК ІНТЕГРАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ЗНАНЬ НА ПРИКЛАДІ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕМИ ПРУЖИННИЙ МАЯТНИК ТА ЗАРЯД ЕЛЕКТРОНА

У цьому розділі пропонуємо один з наших підходів до розв’язання проблеми єдності фізики [151, 189–196]. З одного боку, ми розробили та виготовили навчальну установку “Пружинний маятник” та розробили методiku проведення на ній низки навчальних експериментів. З другого, – виходячи з досліджень коливань пружинного маятника, створили методологію знаходження заряду електрона, що дало змогу у технології навчання “Пружинний маятник та заряд електрона” об’єднати низку навчальних досліджень. Це один з прикладів підходу до демонстрації взаємозв’язку різних процесів та явищ у фізиці. Він актуальний для розробки концепції єдності фізичного знання.

#### **6.1. Постановка завдання та засоби навчання**

Результати наших педагогічних досліджень свідчать про те, що важливою складовою навчального процесу курсу загальної фізики повинні бути навчальні світоглядні дослідження, у яких:

- 1) ставилось би завдання знайти значення важливих фізичних величин;
- 2) методологія навчання пролягала б через пошук розв’язання завдань з різних розділів фізики та торкалася б взаємозв’язку між ними;

3) важливо, щоб у навчальних дослідженнях відповідь на поставлене завдання досягала би у процесі поетапного виконання взаємозв'язаних експериментів.

Постановка таких завдань – це перехід від “розмов” про єдність фізики до практичних дій з реалізації цієї єдності в навчальному процесі курсу загальної фізики. Зрозуміло, що їх розробка та впровадження вимагає врахування багатьох чинників методологічного, технічного, психолого-педагогічного характеру.

Переконатись у справедливості наведеного ми пропонуємо на прикладі розробки технології навчання комплексної теми, яку ми назвали “Пружинний маятник та заряд електрона”. Вона починається з постановки дещо незвичного запитання-завдання.

“Чи можливо, взявши за основу дослідження коливання вертикального пружинного маятника, побудувати експеримент таким чином, щоб можна було визначити заряд електрона  $e$ ?”

З одного боку, не просто встановити зв'язок між механічними коливаннями пружинного маятника і зарядом електрона. Причина не лише в тому, що в курсі загальної фізики вищої та середньої школи два класичних приклади механічних коливальних процесів, що здійснюються фізичним та пружинним маятником, перебувають дещо збоку. Хоча про коливання пружинного маятника ще згадують під час вивчення молекулярної фізики, розглядаючи коливальні рухи атомів у молекулах і твердих тілах, та в атомній фізиці, коли вводять поняття “класичний гармонічний осцилятор”. Основна причина полягає у тому, що в такому аспекті питання єдності фізики ще не ставилось у реальному навчальному процесі курсу фізики.

З другого боку, наші спроби реалізувати розроблену нами концепцію знаходження заряду електрона на традиційному навчальному обладнанні виявилися марними. Нові навчальні дослідження, якісне наочне висвітлення їх у навчальному процесі вимагають розробки і створення нових узгоджених з комп'ютером технічних засобів навчання.



Водночас треба розуміти, що лише знаходження величини заряду електрона, за простою чи “хитромудрою” формулою, відомою у курсі фізики, на простому чи надзвичайно складному навчальному обладнанні, не може бути єдиною метою навчання. Ми не сумніваємось у достовірності величини відомого значення заряду електрона. Основна засада нашого підходу – побудувати навчання таким чином, щоб у процесі пошуку та розв’язку поставленого завдання відбувалося формування фізичного мислення студента. Здобуваючи знання, він повинен зрозуміти місце та роль різних фізичних явищ та процесів у фізичній картині світу.

Перш ніж почати пошук відповіді на поставлене завдання, зупинимось на багатопрофільній установці “Пружинний маятник”. У її розробці і створенні ми по-перше, зважали на те, що установка повинна забезпечувати автоматизацію проведення експерименту та візуалізацію результатів експерименту на моніторі. Отже, вона повинна бути узгоджена з комп’ютером. По-друге, установка повинна стати аналогом модельної комп’ютерної установки. Віртуальний експеримент, який реалізується з її допомогою, повинен стати основою педагогічного програмного продукту технології навчання комплексної теми “Пружинний маятник та заряд електрона”.

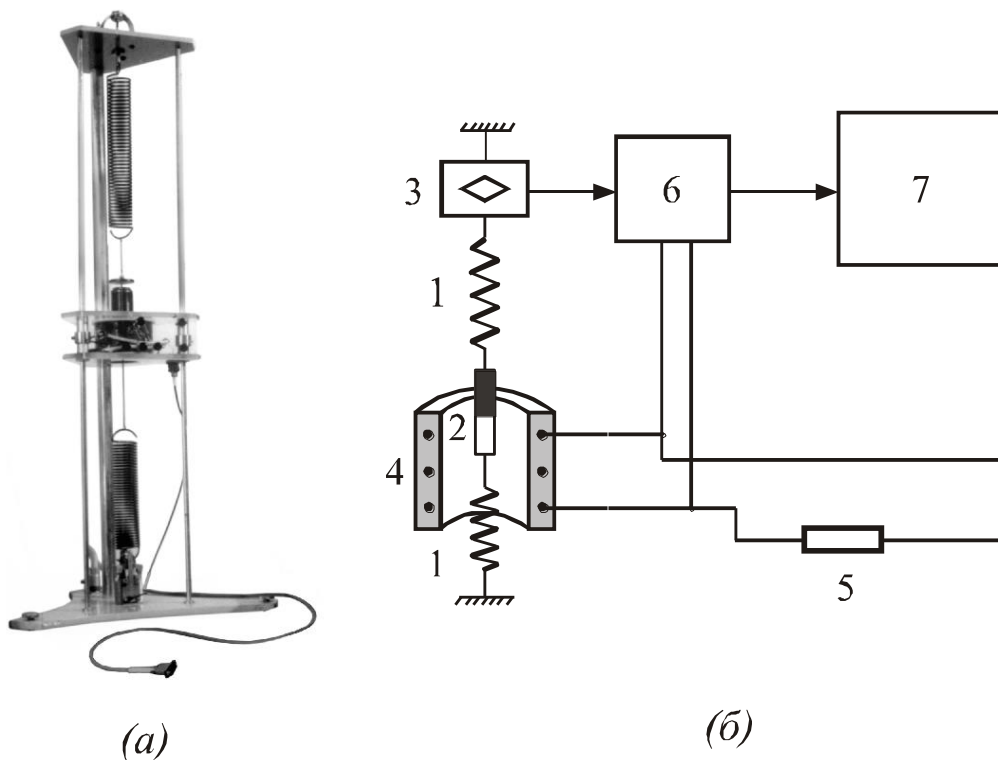
#### *Установка “Пружинний маятник”*

На рис. 6.1 *а* подано загальний вигляд установки “Пружинний маятник”, а на рис. 6.1 *б* її функціональну схему.

Установка складається з двох вертикально розміщених циліндричних спіральних пружин 1, між якими знаходиться коливальне тіло 2, що пов’язане з пружинами електричного динамометра 3, електричної котушки 4, блоку навантажувальних опорів 5, аналого-цифрового перетворювача 6, комп’ютера 7, гальмівної пластинки та в’язкого середовища (на рис. 6.1 *б* не показано, див. рис. 6.3 *г*).

Коливальне тіло виготовляють з матеріалів, які мають різні магнітні властивості: діа-, пара- та ферромагнітні. Його можна встановлювати в каналі електричної котушки 4.

Блок “навантажувальні опори 5” дає змогу з’єднувати кінці обмотки котушки 4 опорами 2, 4, 6 Ом і забезпечувати два положення: “кінці котушки незамкнуті” та “кінці котушки замкнуті”.



**Рис. 6.1.** (а) Багатофункціональна навчальна установка “Пружинний маятник”. (б) Функціональна схема установки:

- |                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| 1 – циліндричні спіральні пружини; | 5 – навантажувальний опір; |
| 2 – коливне тіло;                  | 6 – аналого-цифровий       |
| 3 – електричний динамометр;        | перетворювач;              |
| 4 – електромагнітна котушка;       | 7 – комп’ютер              |

Електричний динамометр 3 – це пристрій для вимірювання сили. Він складається з силової ланки (пружного елемента) і відлікового пристрою, у

який входять датчики, що перетворюють деформацію в електричний сигнал, та підсилювач. Як датчики використовують тензорезистори.

Деформація силової ланки динамометра призводить до деформації пов'язаних з нею тензорезистивних датчиків, а це, своєю чергою, до розбалансування струмів моста опору. Цей сигнал підсилюється і з допомогою аналого-цифрового перетворювача перетворюється у цифровий код, який сприймається комп'ютером 7.

Враховуючи відоме співвідношення між силою, що деформує тіло, і величиною деформації, яку вона спричиняє (закон Гука), покази електричного динамометра приводять у відповідність зі зміщенням  $x$  з положення рівноваги коливального тіла 2. Для цього коефіцієнт жорсткості  $k$  пружин визначають незалежним способом: деформують пружини маятника силою певної величини і вимірюють величину деформації пружини, що, власне кажучи, відповідає величині зміщення  $x$  коливального тіла 2 з положення рівноваги.

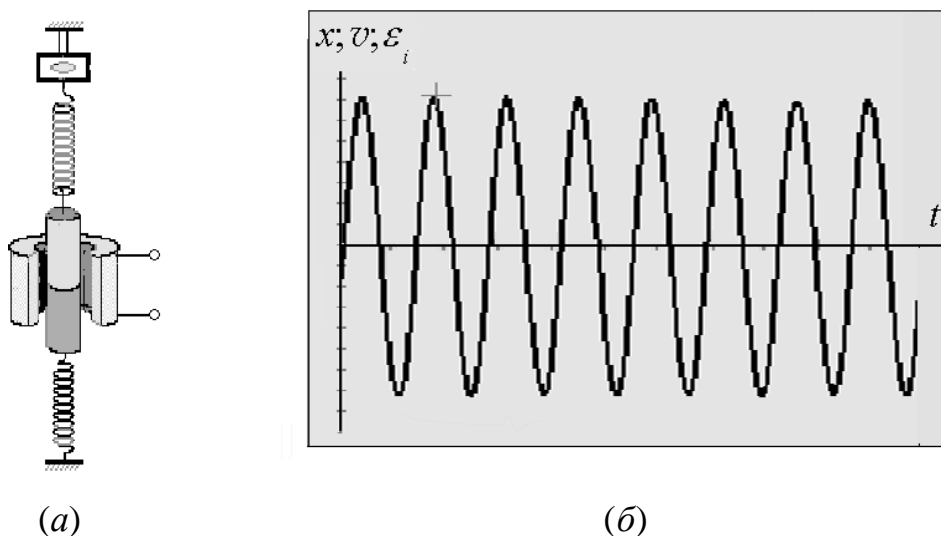
Для достовірного відображення коливальних рухів пружинного маятника аналого-цифровий перетворювач 50 разів протягом одного періоду  $T$  коливань маятника визначає величину сигналу, який поступає від електричного динамометра.

Якщо коливальним тілом 2 є магніт (рис. 6.2 а), то під час його переміщення в каналі електричної котушки 4 на кінцях її обмотки виникатиме електрорушійна сила індукції  $\varepsilon_i$ . Аналого-цифровий перетворювач 6 сприймає її і перетворює у цифровий код так само, як сигнал від електричного динамометра 3.

#### *Вільні коливання. Методика проведення вимірювань*

У процесі дослідження вільних коливань установка використовується так: кінці обмотки електричної котушки повинні бути роз'єднані (рис. 6.2 а). Коливальне тіло 2 пересувають по вертикалі в положення, що відповідає зміщенню  $x_m$ , і відпускають. Після команди "Enter" комп'ютер 7 буде

відстежувати коливання (рис. 6.2 б). Залежно від типу досліджень і поставлених завдань, до нього через аналого-цифровий перетворювач б поступатиме сигнал від електричного динамометра 3 чи від електричної котушки 4. Перший сигнал відповідає залежності зміщення  $x$  та швидкості  $v$  коливального тіла від часу  $t$ . Другий – залежності електрорушійної сили індукції  $\varepsilon_i$  від часу  $t$ . У будь-який момент їх можна зафіксувати на екрані монітора як кожен зокрема (рис. 6.2 б), так і попарно:  $x = x(t)$  і  $v = v(t)$  або  $x = x(t)$  і  $\varepsilon_i = \varepsilon_i(t)$ .



**Рис. 6.2.** (а) Елемент установки “Пружинний маятник” постійний магніт у каналі електричної котушки.(б) Залежність однієї із трьох величин  $x$ ,  $\varepsilon_i$ ,  $v$  від часу  $t$  на екрані монітора

Студенти переміщують курсор у місце на кривій, що їх цікавить. Значення ординати, що відповідає одній із трьох величин  $x$ ,  $\varepsilon_i$ ,  $v$  та відповідне їм значення часу  $t$  будуть автоматично відображені на екрані монітора. Тоді вони записують ці значення у свій робочий зошит або безпосередньо у файл, подаючи їх у вигляді відповідних таблиць або графіків у робочому зошиті, або на екрані монітора.

Зауважимо, що установка забезпечує “гарну” наочність проведення експерименту, якщо період  $T$  коливань маятника знаходиться у межах

[0,1-0,6] с, що досягається відповідним вибором параметрів пружинного маятника: маси  $m$  у межах [0,3-0,5] кг та коефіцієнта жорсткості пружин  $k$  – [10<sup>2</sup>-10<sup>3</sup>] Н/м. У цьому випадку для амплітуди коливань  $x_m$  у межах [3-4] см енергія коливальної системи буде близькою до 1 Дж.

### *Згасаючі та вимушені коливання*

1. Установка забезпечує два випадки дослідження згасаючих коливань. В обох випадках параметри коливальної системи: жорсткість  $k$  пружин, маса  $m$  коливального тіла, що є постійним магнітом, одні і ті ж.

У першому випадку досліджують звичні механічні згасаючі коливання. Елемент коливального тіла, гальмівна пластинка (рис. 6.3 з), здійснює коливання у в'язкому середовищі, отже, причиною згасання коливань тут є механічна сила тертя.

Другий випадок. Спочатку постійний магніт коливається у каналі електричної котушки, кінці витків обмотки якої незамкнуті. Аналого-цифровий перетворювач реєструє як механічні коливання (сигнал від електричного динамометра), так і електричні. Потім витки котушки закорочують одним із опорів блоку 5, що призводить до згасання коливань.

Закорочення витків котушки не може змінити механічних властивостей коливальної системи, тому цікаво зрозуміти, які це сили не механічного походження діють аналогічно силі тертя у першому випадку.

Перед студентами постає навчальна проблема, подана як результат простого наочного лабораторного чи демонстраційного експерименту. Взаємодія студентів з цією проблемою веде до створення проблемної ситуації, що активізує їх мислення.

Розв'язок цієї проблеми став важливим елементом розробленої нами технології навчання комплексної теми “Пружинний маятник та заряд електрона”. Він сприяє засвоєнню важливих розділів курсу фізики, які у взаємозв'язку становлять її основний концептуальний зміст.

4. Дослідження вимушених коливань на установки “Пружинний маятник” забезпечується таким чином. До кінців обмотки електричної котушки, у каналі якої знаходиться коливальне тіло, що є феромагнетиком, замість опорів блоку 5 під’єднують програмно реалізований генератор змінного струму.

#### *Тематика досліджень*

Нами, з одного боку, розроблено методику проведення на установці “Пружинний маятник” низки лабораторних та демонстраційних експериментів. Вони стосуються:

— дослідження вільних, згасаючих та вимушених коливань пружинного маятника;

— демонстрації діа-, пара- та феромагнітних властивостей коливальних тіл та оцінки їх аеродинамічних властивостей;

— демонстрації закону збереження і перетворення енергії, розкриття фізичної суті закону електромагнітної індукції.

З другого – розроблено методологію знаходження заряду електрона та створено комплексну тему “Пружинний маятник та заряд електрона” та відповідну їй технологію навчання. У ній дослідження, які стосуються вільних та згасаючих як механічних, так і електричних коливань, явища електромагнітної індукції та закону збереження і перетворення енергії, стали структурними елементами шести взаємопов’язаних навчальних модулів:

- 1) вільні механічні коливання;
- 2) механічні коливання та електромагнітне поле;
- 3) коливання та електромагнітна індукція;
- 4) згасаючі механічні коливання;
- 5) згасаючі електричні коливання та закон збереження і перетворення енергії;
- 6) стороння і гальмівна сила та заряд електрона.

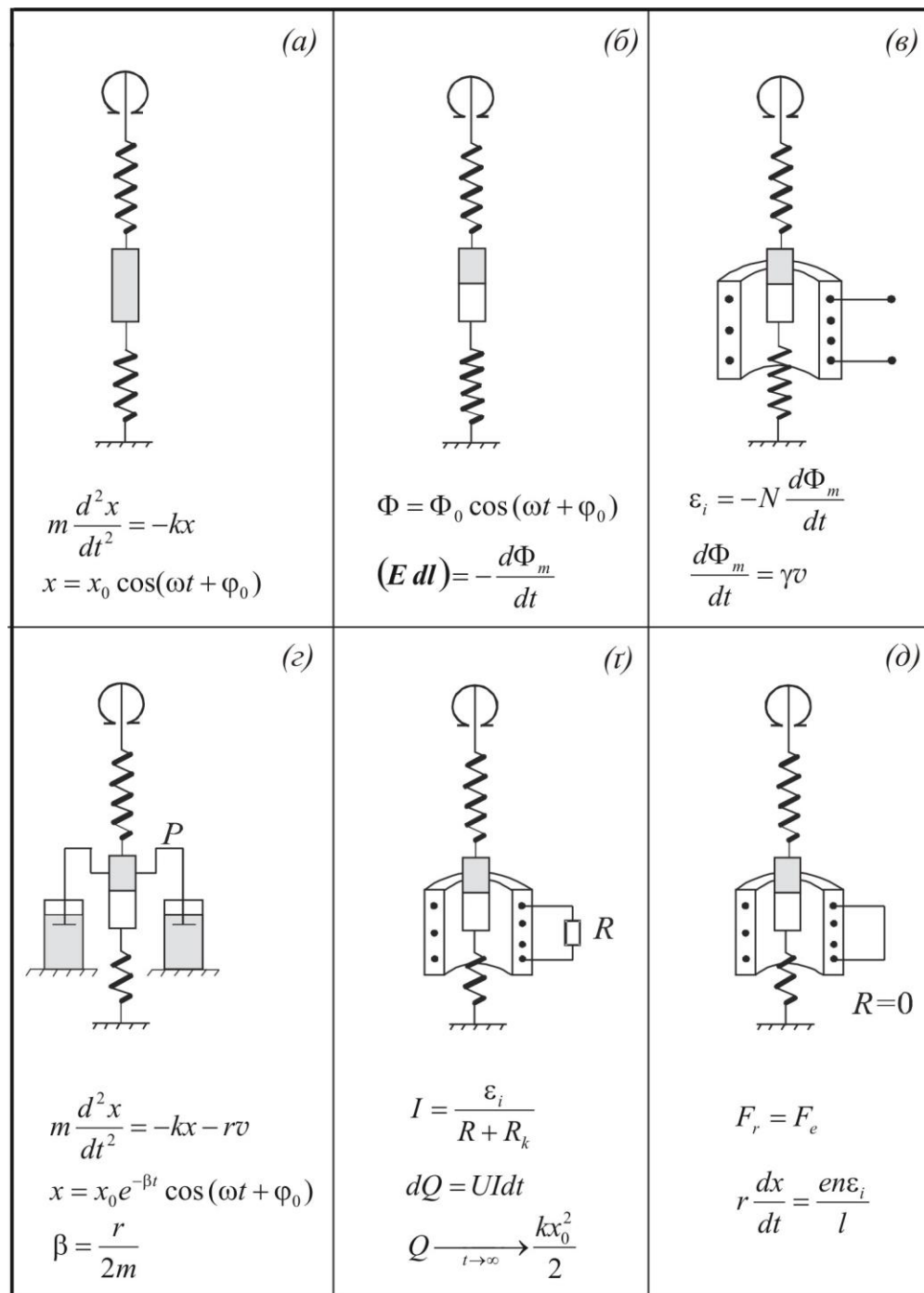
Лабораторні та демонстраційні експерименти кожного модуля здійснюються на відповідних установках, основні елементи яких подано на рис. 6.3. Так, відповідно, експеримент модуля 1 здійснюється на установці *a*, 2 – на *б*, 3 – на *в*, 4 – на *г*, 5 – на *т*, 6 – на *д*. У процесі досліджень жорсткість  $k$  пружин залишається незмінною. Маса  $m_0$  коливального тіла теж постійна (за винятком експерименту, метою якого є знайти її величину). Завдання кожного експерименту має цільове, чітко окреслене, смислове навантаження. Зміни завдань пов'язані зі змінами та доповненнями в коливальній системі, наприклад, з гальмівною системою *P* (рис. 6.3 *г*) та електричною котушкою *K* (рис. 6.3 *в-д*).

Дослідження можна згрупувати у три блоки-модулі. У перший з них входять три модулі 1, 2, 3, у другий два – 4, 5, у третій одне – 6.

У експерименті 1 (блок-модуль 1) коливальним тілом є пара- або діаманетик (рис. 6.3 *а*), а у дослідженнях 2-6 (другий та третій блоки) – феромагнетик (рис. 6.3 *г, т, д*).

Спочатку, у підрозділі 6.2, що стосується методології знаходження заряду електрона, ми коротко зупинимося тільки на тому основному, що дає змогу показати, як поетапне виконання завдань, поставлених у шести модулях, дає можливість знаходження заряду електрона.

Після того, у підрозділах 6.3-6.5, методика навчальних досліджень буде представлена більш розгорнуто і повно.



**Рис. 6.3.** Фрагменти установок для шести експериментів з пружинним маятником, де:  $m$  – маса коливального тіла;  $t$  – час;  $R$  – опір, яким з'єднують витки котушки;  $\omega$  – циклічна частота;  $\Phi_m$  – магнітний потік;  $\mathbf{B}$  – вектор магнітної індукції;  $E$  – напруженість вихрового електричного поля;  $R_k$  – опір витків котушки;  $F_e$  – стороння сила;  $F_r$  – гальмівна сила;  $e$  – заряд електрона;  $\varepsilon_i$  – е.р.с.;  $Q$  – теплота;  $\varphi_0$  – початкова фаза;  $\gamma$  – коефіцієнт взаємозв'язку;  $k$  – жорсткість пружин;  $r$  – коефіцієнт опору;  $\beta$  – коефіцієнт згасання;  $n$  – кількість електронів;  $v$  – швидкість руху магніта;  $x$  – зміщення;  $x_0$  – амплітуда коливань;  $U$  – напруга;  $N$  – кількість витків котушки



## 6.2. Методологія знаходження заряду електрона

Пошук відповіді на дещо незвичне, на перший погляд, проблемне запитання: “яким чином можна знайти заряд електрона, досліджуючи коливання вертикального пружинного маятника?” ґрунтується на послідовному усвідомленні та виконанні низки експериментів-завдань, поданих у трьох блоках-модулях, у яких досліджують коливання вертикального пружинного маятника (рис. 6.3).

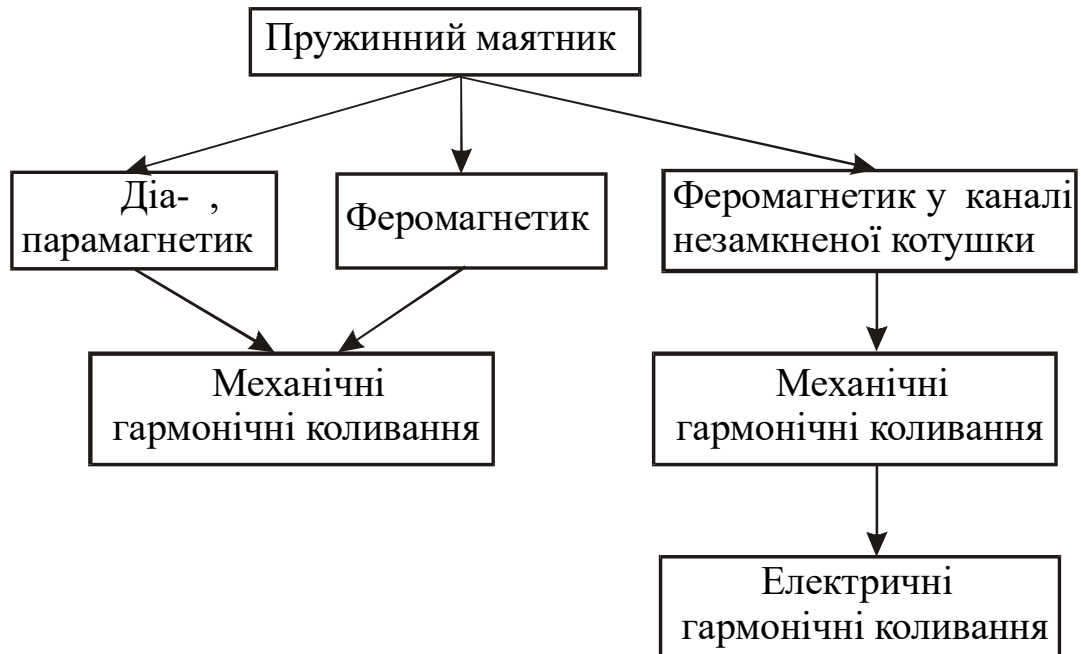
*Перший блок-модуль.* В експериментах модулів 1 і 2 (рис. 6.3 а, б) маятник здійснює вільні механічні коливання. У першому випадку коливальне тіло є діамагнетик, у другому – феромагнетик. У досліді модуля 3 коливним тілом є феромагнетик. Він коливається у каналі електричної котушки, кінці якої роз’єднані (рис. 3 в). Це призводить до виникнення на її кінцях електрорушійної сили індукції  $\varepsilon_i$ , залежність якої від часу  $t$  подібна до аналогічної залежності швидкості  $v$  від часу  $t$ . Не зважаючи на це, механічні коливання у всіх трьох випадках є ідентичні. Період коливань  $T$  залишається незмінним і їх можна вважати гармонічними. (Хоча зрозуміло, що це дуже наближено, бо незначні сили опору, що все-таки властиві коливній системі, спричиняють згасання коливань.)

Отже, отримані вільні гармонічні механічні коливання вказують на брак сил гальмування механічного походження. Крім того, виникнення гармонічних електричних коливань не супроводжується виникненням сил гальмування електричного походження.

На рис. 6.4 представлена структурна схема досліджень першого блоку-модуля.

У *другому блоці-модулі* отримують і досліджують згасаючі коливання, що виникають у коливальних системах, які подані на рис. 6.3 з, г: механічні (модуль 4 і 5) та механічні та електричні (дослідження 5). Залежності зміщення  $x$  від часу  $t$  в обох дослідженнях є подібними. Показують, що

отримані криві (залежності  $x = x(t)$ ) описує диференціальне рівняння згасаючих коливань.



**Рис. 6.4.** Структурна схема досліджень гармонічних коливань

В експерименті модуля 4 згасання коливань спричиняють сили опору механічного походження, що зумовлені в'язкістю води (рис. 6.3 з).

В експерименті модуля 5 згасання коливань відбувається під час замикання опором  $R$  кінців витків обмотки електричної котушки, в каналі якої здійснює коливання коливальне тіло-феромагнетик.

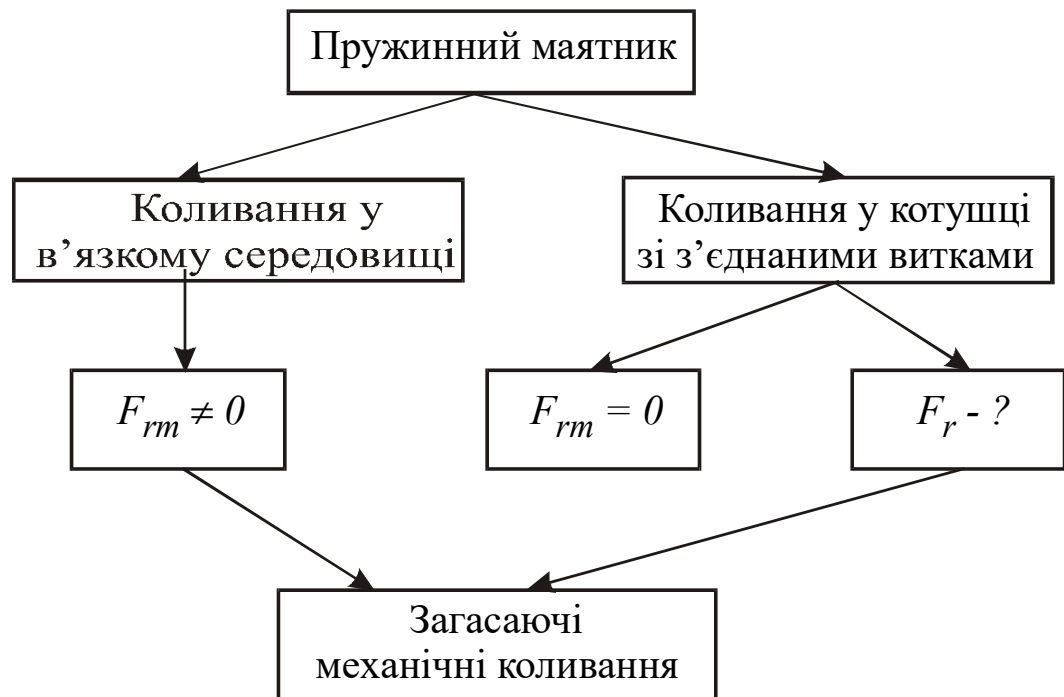
Підкреслимо, що у цьому випадку причиною згасання не можуть бути сили механічного походження, бо з'єднання опором  $R$  кінців котушки (рис. 6.3 г) не може змінити суто механічні властивості коливальної системи.

Але зрозуміло, що замикання опором  $R$  кінців котушки, на яких індукується електрорушійна сила індукції, призводить до виникнення в ній струму  $I$  та до виділення теплоти  $Q$ . Згідно з законом збереження та перетворення енергії, це відбуватиметься завдяки механічній енергії системи. Під час коливань вона не поповнюється, що веде до згасання коливань.

У цьому аспекті особливо наочним і пізнавальним є те, що після короткого замикання витків котушки маятник, здійснивши декілька коливань, майже зупиняється.

Наведений аналіз дає змогу зрозуміти, чому коливання стають згасаючими, але не дає відповіді на запитання, яка сила спричинює це згасання.

Підсумувати результати досліджень цього блоку допомагає структурна схема, що наведена на рис. 6.5. Вона підводить до необхідності осмислення причин згасання коливань з позицій діючих у системі сил.



**Рис. 6.5.** Структурна схема дослідження згасаючих коливань

*Третій блок-модуль.* В експерименті модуля 6 кінці котушки закорочують (рис. 6.3 д) і отримують згасаючі механічні коливання та підраховують коефіцієнт згасання.

Аналізують причини виникнення як гальмівної сили, так і сили, що заставляє рухатися електрони провідності мідної обмотки електричної

катушки. Доходять висновку, що гальмівна сила  $F_r$  пов'язана з електричною силою  $F_e$ : поява одної спричиняє появу другої. У процесі коливань сила  $F_e$  діє на електрони катушки і змушує їх рухатися. Пов'язавши між собою через параметри коливальної системи ці сили, стає можливим знайти заряд електрона  $e$ .

### **6.3. Методика навчання гармонічних механічних і електричних коливань на багатопрофільній установці “Пружинний маятник”**

Далі ми зупинимось на описі структури та змісту шести модулів запропонованої технології навчання комплексної теми “Пружинний маятник та заряд електрона”. Вони охоплюють широкий спектр, певним чином взаємопов'язаного навчального матеріалу.

Запропонована методика навчання поєднує вербальний і експериментальний методи навчання. Важливу роль у навчанні відіграє експеримент: навчання побудоване на обговоренні результатів експериментів, які отримують у кожному модулі з допомогою як реальної, так і віртуальної навчальної установки. Результати експериментів входять у структуру висвітлення навчального матеріалу і сприяють його засвоєнню.

У модулі 1 охоплено деякі елементи навчання вільних механічних коливань. Експериментальні дослідження цього модуля є ввідними. Вони започатковують вже згадувану технологію навчання комплексної теми “Пружинний маятник та заряд електрона”.

Ми намагались експериментально підтвердити як ізохронність коливань пружинного маятника, так і те, що залежність зміщення  $x$  від часу  $t$  є гармонічною; важливе для формування понять “коливальна система”, “коливальний процес”, їх параметрів та характеристик.

Ми вважали за доцільне перш ніж отримати рівняння, що описує коливання вертикального пружинного маятника, показати, що його коливання

здійснюються аналогічно коливанням горизонтального пружинного маятника, під дією сил одного типу – це пружних сил.

Важливо показати, що цей тип сил спричиняє відповідну залежність потенціальної енергії пружин від зміщення. Її графік – це парабола, що нагадує “потенціальну яму”. Характеристики потенціальної ями – глибина і ширина, відбивні стінки є важливими для подальшого розуміння навчального матеріалу тем атомної фізики, фізики твердого тіла та ядерної фізики.

Крім цього, ми вважаємо, що експеримент, в якому на основі досліджень коливальних рухів пружинного маятника знаходять величину співвідношення  $\frac{k}{m}$  та його складових  $k$  і  $m$ , активізує діяльність учнів і сприяє формуванню взаємозв’язків “коливальна система – коливальний процес”.

У наступних п’яти модулях цей матеріал стає основою для подальшого засвоєння важливих світоглядних понять, які стосуються електромагнетизму та закону збереження і перетворення енергії.

## МОДУЛЬ 1. ВІЛЬНІ МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ

### Лабораторна робота 1

#### ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ КОЛИВАЛЬНИХ РУХІВ

*Мета:* на основі аналізу, експериментально отриманих залежностей зміщення  $x$  і швидкості  $v$  коливального тіла вертикального пружинного маятника від часу  $t$ , ознайомитись з кінематичними, динамічними та енергетичними закономірностями коливальних рухів.

#### *Проведення експерименту*

Проводять три серії дослідів, по п’ять спостережень у кожній серії. У першій серії маятнику задають амплітуду зміщення  $x_m$  у проміжку  $[1,0-1,2]$  см, у другій –  $[2,0-2,2]$  см, у третій –  $[3,0-3,2]$  см.

На екрані монітора залежності  $x = x(t)$  та  $v = v(t)$  отримують у вигляді графіків, на яких по осі абсцис відкладено час  $t$ , а по осі ординат – зміщення  $x$  або швидкість  $v$ . Типовий результат подано на рис. 6.6 (а, б).

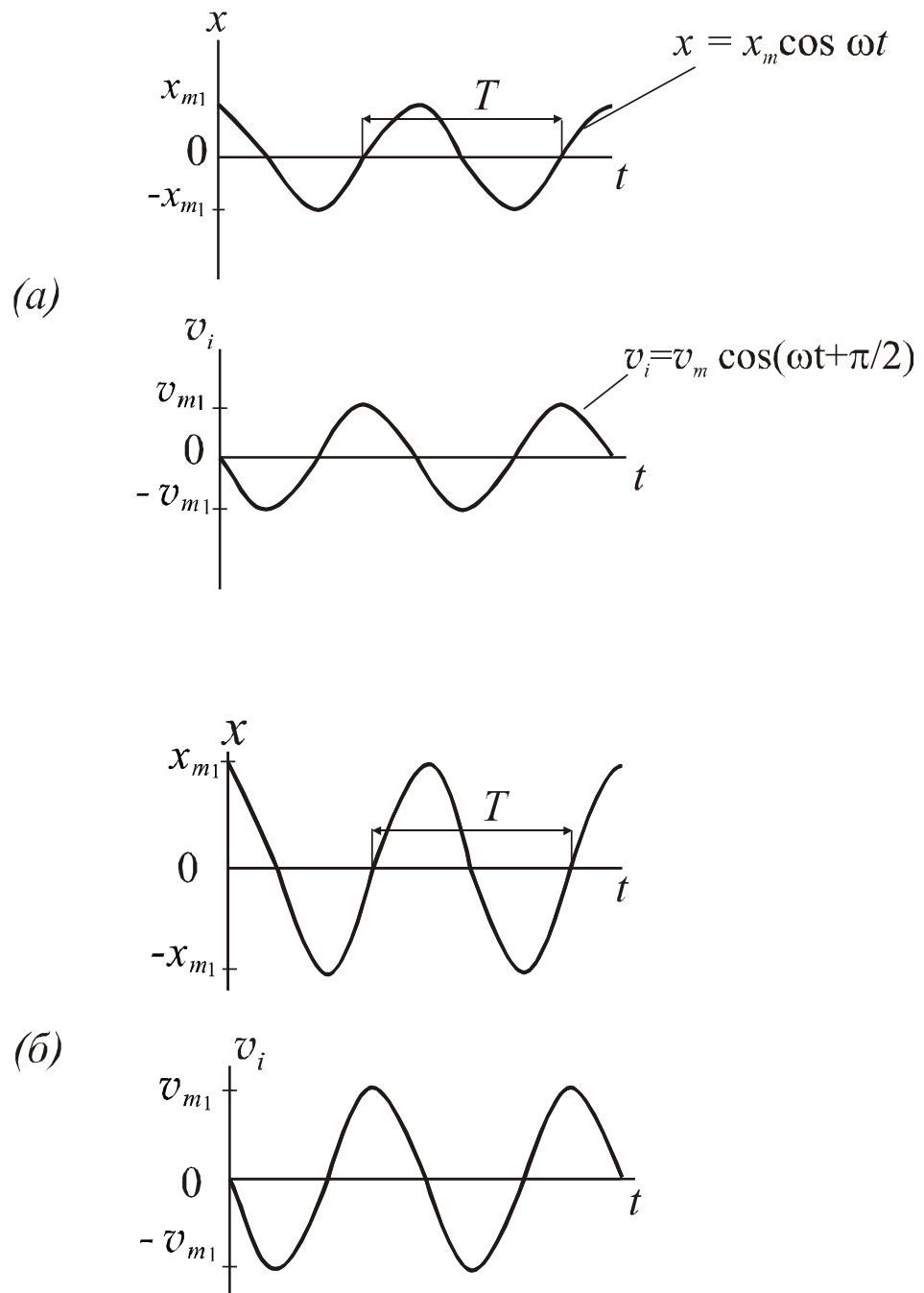
### *Кінематичні властивості коливальних рухів*

Подані на рис. 6.6 графіки використовують для знаходження періоду  $T$  коливань. Підрахувавши для кожної серії спостережень середнє арифметичне значення періоду  $\langle T \rangle$ , переконуються, що практично в межах досліджуваних амплітуд коливальні рухи маятника здійснюються за один і той же час. Це дає підстави констатувати, що при малих відхиленнях період  $T$  коливань є характеристикою коливальної системи. Ця властивість маятника є дуже важливою і корисною. (Ми вже згадували в попередньому розділі, що ще Галілео Галілей запропонував використовувати маятник, як регулятор у годинниках.).

Потім досліджують, чи можна отримані залежності зміщення  $x$  від часу  $t$  описати гармонічною функцією:

$$x = x_m \cos \frac{2\pi}{T} t. \quad (6.1)$$

Підставляють у це рівняння експериментально отримане значення періоду  $T$  та одне зі значень амплітуди  $x_m$  коливань. Тоді час  $t$  змінюють від 0 до  $T$  с. Отримані значення  $x$  та відповідні йому значення часу  $t$  відкладають на тому самому рисунку, що й експериментально отриману залежність  $x = x(t)$ . Порівнюючи обидва графіки, не зауважують істотної відмінності між ними; вони майже накладаються одна на одну. Це дає підставу вважати, що коливальні рухи пружинного маятника є гармонічними.



**Рис. 6.6.** Типовий графік залежності зміщення  $x$  та швидкості  $v$  від часу  $t$  відповідно для першої (а) та другої (б) серії дослідів

### *Динамічні властивості коливальних рухів*

1. Проводять аналіз сил, які спричиняють коливальні рухи горизонтального (рис. 6.7 а) та вертикального (рис. 6.7 б, в і з) пружинних маятників і переконуються, що в обох випадках – це пружна сила  $F$ , яка є

пропорційною величині зміщення  $x$  тіла з положення рівноваги;  $k$  – жорсткість пружини:

$$F = -kx. \quad (6.2)$$

На рис. 6.8 б подано, побудований за формулою (6.2), графік залежності сили пружності  $F$  від зміщення  $x$ .

2. Знаходять рівняння коливань. Для прямолінійних коливань вздовж осі  $x$  прискорення:  $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ .

Підставивши цей вираз для  $a$  і значення  $F$  за формулою (6.2) до рівняння другого закону Ньютона, знаходять основне рівняння прямолінійних гармонічних коливань, що збуджені пружними силами:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 \quad \text{або} \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0, \quad (6.3)$$

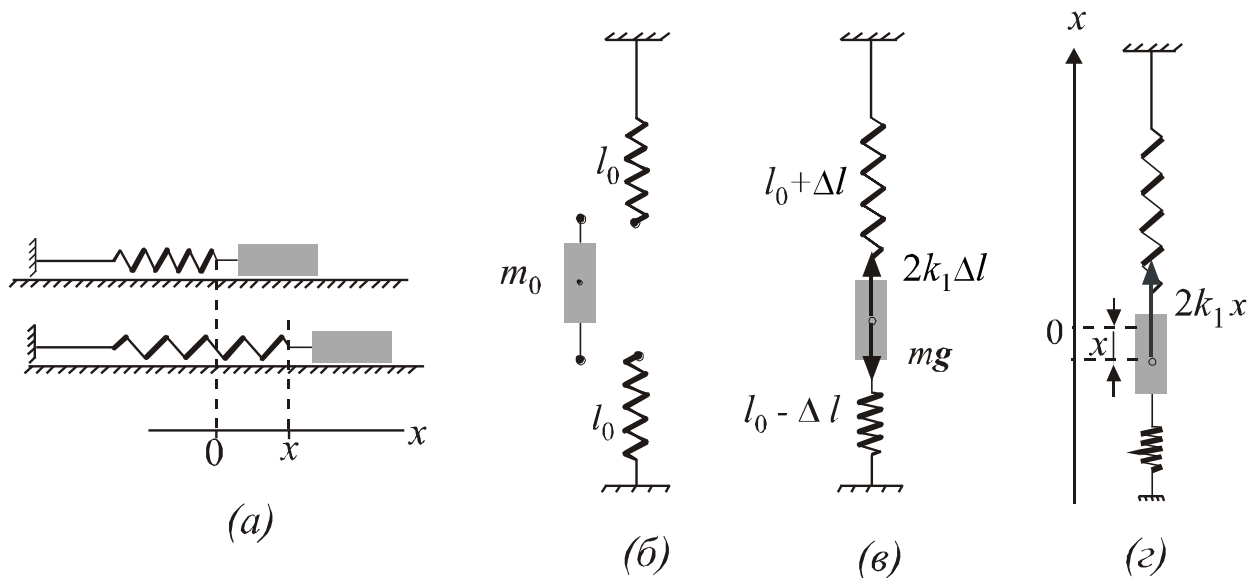
де  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$  – параметр коливальної системи.

У випадку, коли стала  $\omega_0$  зв'язана з періодом  $T$  коливань співвідношенням:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad \text{або} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (6.4)$$

то вираз (6.1) є розв'язком рівняння (6.3). Величину  $\omega_0$  називають циклічною частотою. Вона задає швидкість повторювальності коливального руху.





**Рис. 6.7.** (а) Горизонтальний пружинний маятник; (б) Складові вертикального пружинного маятника. (е) Маятник у стані спокою. (з) Маятник відхилений у положення, яке відповідає зміщенню  $x$

### *Енергетичні властивості коливальних рухів*

У даному пункті застосовано підхід, яким користувалися у розділі 5, вивчаючи енергетичні закономірності коливних рухів математичного маятника. Зрозуміло, що аналогічні закономірності характеризують коливні рухи пружинного маятника. Тому зміст даного пункту дещо нагадуватиме зміст відповідного пункту розділу 5.

1. Вивчення енергетичних закономірностей коливальних процесів починають із знаходження виразу величини роботи, яку потрібно виконати, щоб відхилити маятник від положення рівноваги.

Нехай у стані спокою повна механічна енергія маятника  $W_0$  (кінетична енергія його руху  $W_k$  та його потенціальна енергія пружин  $W_n$  відносно точки  $O$ ) дорівнює нулю.

Щоб маятник почав коливатися, треба його відхилити з положення рівноваги (рис. 6.8 а) та відпустити. Але, щоб відхилити маятник у

положення, яке відповідає зміщенню  $x$ , слід виконати проти сили (6.2) роботу:

$$A = \int_0^x F_{\tau} dx, \quad (6.5)$$

яка дорівнює збільшенню потенціальної енергії  $W_n$  системи. Отже, підставивши вираз (6.2) у формулу (6.5) та проінтегрувавши, отримаємо:

$$A = \frac{k x^2}{2} = W_n. \quad (6.6)$$

2. Якщо в початковий момент часу зміщення  $x = x_m$ , то потенціальна енергія маятника максимальна ( $W_n = W_{nm}$ ) і дорівнює його повній механічній енергії  $W_0$ :

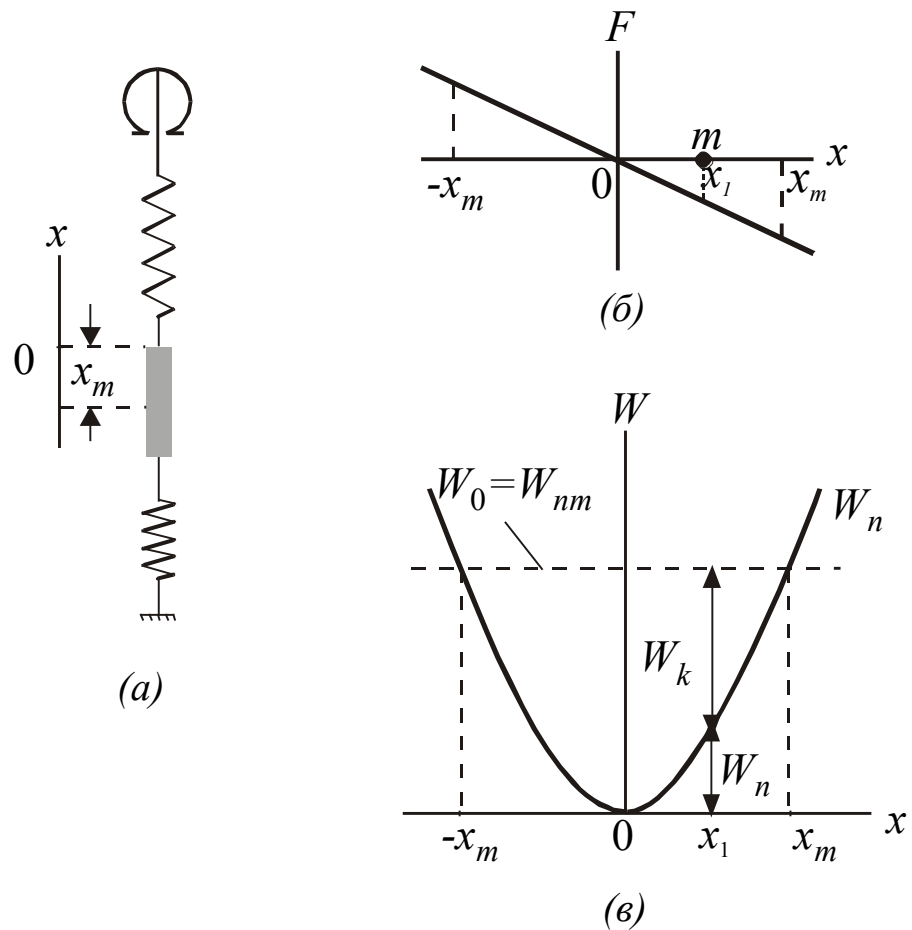
$$W_{nm} = \frac{kx_m^2}{2} = W_0. \quad (6.7)$$

На рис. 6.8 (в) енергія  $W_0$  виділена горизонтальною пунктирною лінією.

Якщо відпустити маятник, то він почне здійснювати прості гармонічні коливання. В міру наближення коливного тіла до положення рівноваги потенціальна енергія пружин  $W_n$  зменшується, однак через збільшення швидкості  $v$  руху коливного тіла зростатиме його кінетична енергія  $W_k = \frac{mv^2}{2}$ .

За законом збереження і перетворення енергії, повна механічна енергія системи  $W_0$  залишиться сталою:

$$W_0 = W_n + W_k. \quad (6.8)$$



**Рис. 6.8** (а) Положення маятника відповідає зміщенню  $x = x_m$ . (б) Графік залежності сили пружності  $F$  від зміщення  $x$  за формулою (6.2). (в) Графік залежності потенціальної енергії  $W_n$  від зміщення  $x$  за формулою (6.6)

У точці  $x = 0$  енергія  $W_n = 0$ , отже, згідно з (6.8) кінетична енергія буде максимальною:

$$W_0 = W_{km}. \quad (6.9)$$

Порівнюючи формули (6.7) та (6.9), знаходимо

$$W_{km} = W_{nm} \quad \text{або} \quad \frac{kx_n^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2}, \quad (6.10)$$

звідки

$$v_m^2 = \frac{k}{m} x_m^2. \quad (6.11)$$

3. Залежність  $W_n$  від зміщення  $x$  за формулою (6.6) подано графічно на рис. 6.8 (в). Це – парабола. Її вигляд нагадує “потенціальну яму”. На ній наочно відображаються зазначені перетворення енергії з одного виду в інший. Застосовуючи криву потенціальної енергії, можна швидко визначити кінетичну енергію  $W_k$  для будь-якого значення  $x$ . Через те, що відстань від пунктирної лінії до осі  $x$  дорівнює повній енергії системи  $W_0$ , а відстань від кривої до осі  $x$  дорівнює потенціальній енергії  $W_n$ , то відстань по вертикалі від кривої потенціальної енергії до пунктирної лінії повинна відповідати кінетичній енергії  $W_k$  при заданому зміщенні  $x$ .

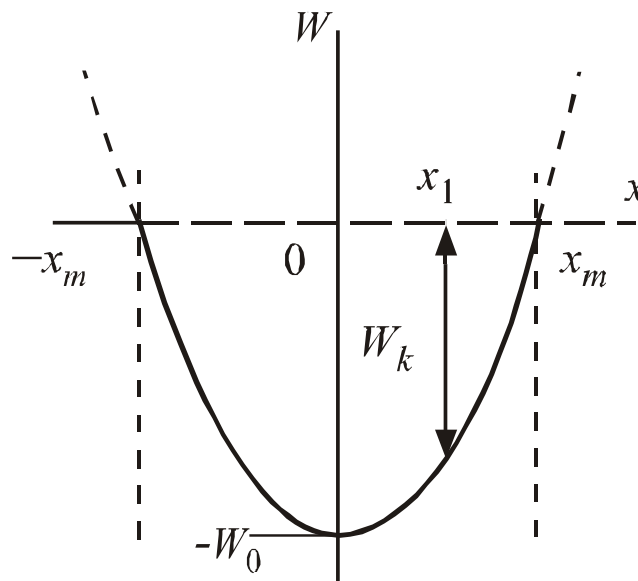
Важливо підкреслити, *по-перше*, що коли маятнику надати енергію  $W_0$ , то його коливання відбуватимуться у межах зміщень від  $-x_m$  до  $+x_m$ . Відхилитись чи проникнути правіше  $+x_m$ , чи лівіше  $-x_m$ , він не може. Координати  $-x_m$  і  $+x_m$  ніби утворюють відбиваючі стінки, а коливальна система знаходиться у просторі, обмеженому цими стінками.

*По-друге*, відстань між стінками  $a = 2x_m$  називають шириною потенціальної ями. Різницю  $\Delta W$  потенціальної енергії на краю ями і на її дні, а вона дорівнює енергії  $W_0$ , називають глибиною потенціальної ями. Ці дві величини:  $W_0$  та  $a$  є її характеристиками.

*По-третьє*, у просторі, обмеженому потенціальною кривою, потенціальна енергія нашої системи менша, ніж поза нею.

Нульовий рівень, від якого відраховується енергія, може бути довільний. Так можна зробити тому, що в усіх задачах, які розв’язують у фізиці, мають справу лише з різницею потенціальної енергії  $\Delta W$ .

По-четверте, дуже зручно за нульовий рівень енергії брати енергію  $W_0$  (рис. 6.9). Тепер глибина потенціальної буде дорівнювати  $-W_0$ . Аналогічно, як у попередньому випадку (рис. 6.8 в), щоб знайти кінетичну енергію, наприклад, для випадку, коли коливальне тіло проходить координату  $x = x_1$ , потрібно просто виміряти відстань по вертикалі від кривої до пунктирної лінії, що є тепер і віссю координат  $x$ .



**Рис. 6.9.** Динаміка змін потенціальної  $W_n$  та кінетичної  $W_k$  енергії маятника для випадку, коли за початок відліку потенціальної енергії взято енергію  $W_0$

Зауважимо, що графічне представлення залежності  $W = W(x)$  стає дуже актуальним, коли мають справу із силами складної фізичної природи.

### Лабораторна робота 2

#### ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ КОЛИВАЛЬНОГО ТІЛА ТА КОЕФІЦІЄНТА

#### ЖОРСТКОСТІ ПРУЖИНИ

*Мета:* проаналізувати та реалізувати спосіб, який на основі досліджень залежності зміщення  $x$  від часу  $t$  дозволяє знайти жорсткість  $k$  пружини та масу  $m$  коливального тіла.

1. Нехай маса  $m$  коливального тіла у кожній наступній серії дослідів зростає на величину  $nm_d$  (де  $n = 0, 1, 2, 3, 4$ , а  $m_d$  – відома маса тягарців). Тоді залежність (6.4) можна подати у вигляді:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m + nm_d}{k}} . \quad (6.12)$$

Піднісши до квадрата, отримуємо:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m + \frac{4\pi^2}{k} nm_d . \quad (6.13)$$

Введемо позначення:

$$a = \frac{4\pi^2}{k} m , \quad b = \frac{4\pi^2}{k} . \quad (6.14)$$

Врахувавши їх, матимемо рівняння (6.13) у такому вигляді:

$$T^2 = a + b nm_d . \quad (6.15)$$

А поділивши почленно рівності (6.14), отримаємо вираз:

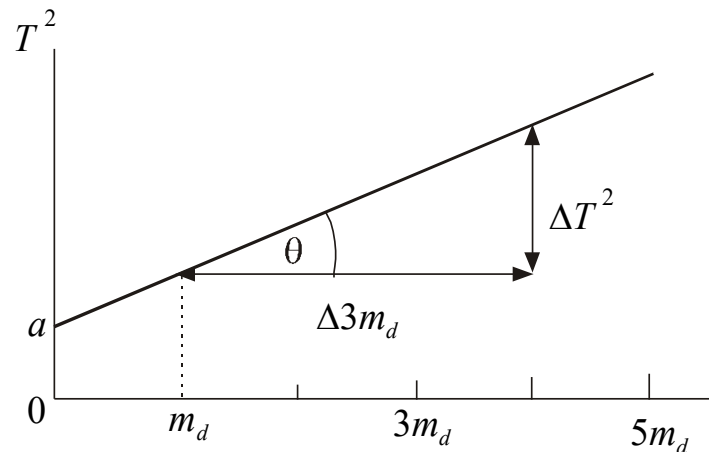
$$m = \frac{a}{b} . \quad (6.16)$$

Залежність  $T^2$  від  $nm_d$  за формулою (6.15) подано графічно на рис. 6.10. Це – пряма лінія. В точці перетину її з віссю ординат маємо

$$T^2 = a . \quad (6.17)$$

З рівняння (6.16) випливає, що тангенс кута  $\theta$  нахилу прямої до осі абсцис (рис. 6.10) дорівнює

$$\operatorname{tg}\theta = b . \quad (6.18)$$

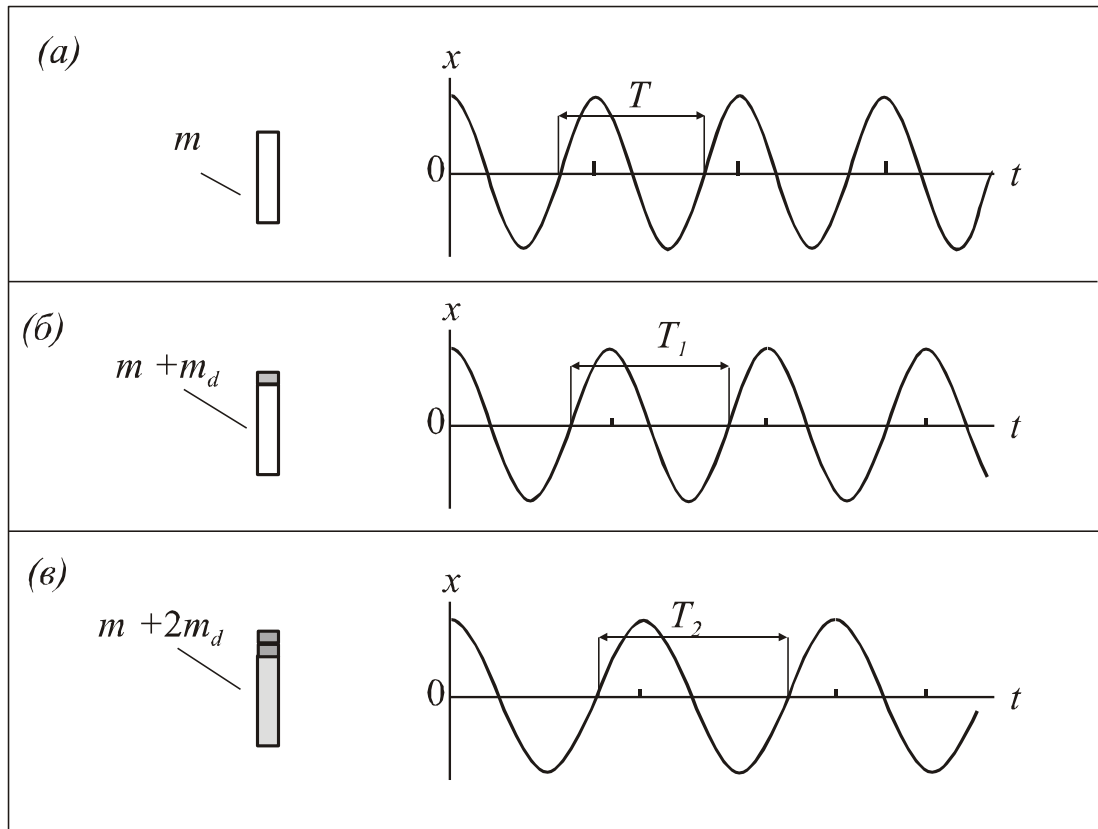


**Рис. 6.10.** Графік залежності  $T^2$  від  $nm_d$

2. Проводять п'ять серій дослідів залежності зміщення  $x$  від часу  $t$ , по п'ять спостережень у кожному досліді. У першій серії коливальне тіло має масу  $m$  (рис. 6. 11. а), у другій її збільшують на величину  $m_d$  (рис. 6.11. б), у третій – на  $2m_d$  (рис. 6.1 в), у четвертій – на  $3m_d$ , у п'ятій – на  $4m_d$ .

Отримані залежності  $x = x(t)$  використовують для знаходження періоду  $T$  коливань. Знаходять середнє арифметичне значення  $\langle T \rangle$  кожної серії досліджень.

Будують графік залежності  $T^2 = f(m_d)$  (рис. 6.10) та використовують його для обчислення  $a$  та  $\operatorname{tg}\theta$ , який, згідно з (6.15), дорівнює  $b$  і, скориставшись (6.16), знаходять жорсткість  $k$  пружин та масу  $m$  коливального тіла.



**Рис. 6.11.** (а), (б), (в): зліва – коливальне тіло маятника у трьох серіях дослідів; справа – відповідні кожній масі коливного тіла залежності зміщення  $x$  від часу  $t$

На закінчення зауважимо, що результати поданих експериментальних досліджень ми використали під час створення модельних комп'ютерних експериментів – аналогів реальних навчальних експериментів, – для комп'ютерного варіанта технології навчання комплексної теми “Пружинний маятник та заряд електрона”.

## МОДУЛЬ 2. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ

*Мета експерименту модуля 2* – показати, що магнітні властивості коливального тіла вертикального пружинного маятника не впливають на процес коливань.



### *Завдання та результати експерименту*

На відміну від дослідження 1, у якому коливальним тілом пружинного маятника був діамагнетик, у дослідженні 2 його замінили на тіло такої ж маси  $m$ , що має феромагнітні властивості, тобто є постійним магнітом. Очевидно, що тепер під час його коливань в просторі, що оточує коливне тіло, відбуватимуться певні електромагнітні процеси.

Потрібно, *по-перше*, експериментально дослідити, чи зміна фізичних властивостей коливного тіла позначиться на коливальному процесі.

*По-друге*, проаналізувати процеси, які відбуваються в просторі навколо магніту під час його коливальних рухів.

Проводять дослідження залежності зміщення  $x$  коливального тіла маятника від часу  $t$ . Амплітуда зміщення  $x_m$  не повинна перевищувати 3 см.

Типовий результат досліджень залежності  $x = x(t)$  подано на рис. 6.12 г.

### *Аналіз дослідження*

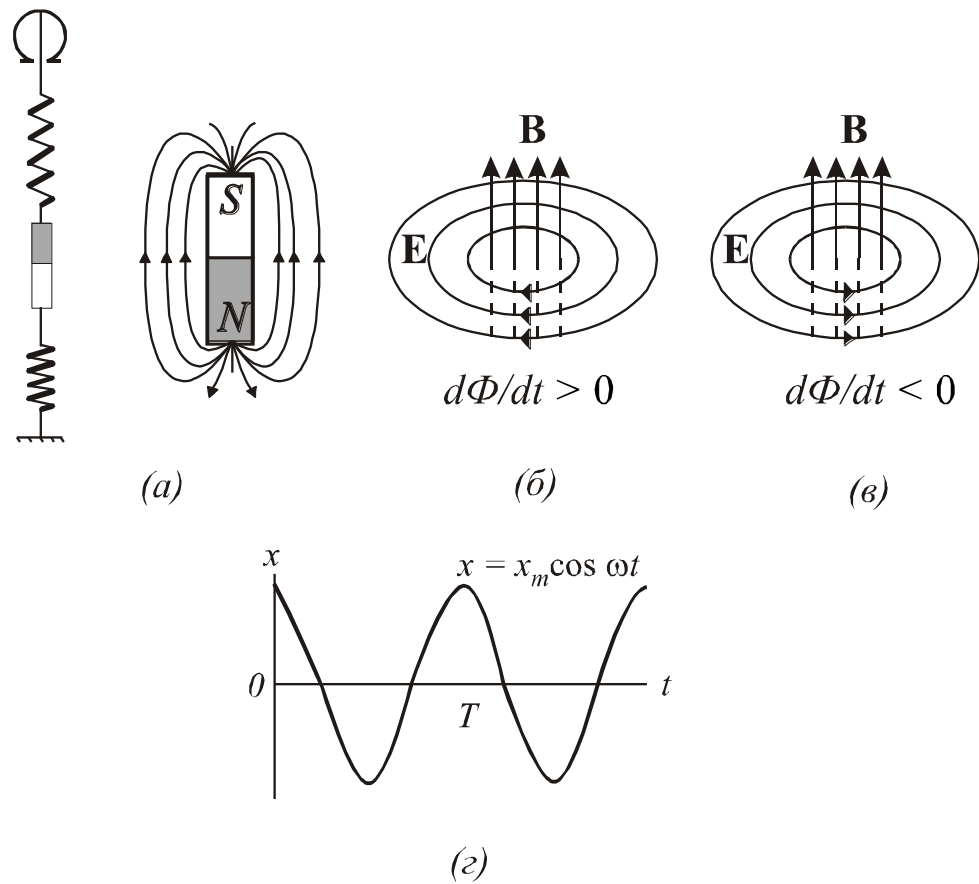
Отриману залежність  $x = x(t)$  порівнюють з аналогічними результатами, отриманими у дослідженні 1. Переконаються у тому, що:

- період коливань залишився незмінним;
- втрат енергії, які б викликала заміна коливального тіла, немає.

Тому, ми можемо наближено вважати, що коливання є гармонічними.

Отже, на коливання пружинного маятника не впливають магнітні властивості коливального тіла.

Щодо електромагнітних процесів зазначимо, що навколо феромагнетика (рис. 6.12 б) існує постійне магнітне поле. Через те, що коливальні рухи – це рухи з прискоренням, то в просторі, що оточує магніт, виникатиме змінне магнітне поле.



**Рис. 6.12.** (а) Маятник та силові лінії постійного магніту. (б) Силові лінії вихрового електричного поля  $\mathbf{E}$  у випадку збільшення магнітного потоку. (в) Зменшення магнітного потоку веде до зміни напрямку вектора  $\mathbf{E}$ . (г) Залежність  $x = f(t)$

Згідно з законом Фарадея-Максвелла, змінне магнітне поле створює вихрове електричне поле  $\mathbf{E}$ . Циркуляція цього вектора по нерухомому замкнутому контуру  $l$ , довільно вибраному в змінному магнітному полі, визначається як:

$$\int_l \mathbf{E} d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_m}{dt}, \quad (6.19)$$

де  $\Phi_m$  – потік вектора магнітної індукції  $\mathbf{B}$  через площу, обмежену уявним контуром  $l$  (рис. 6.12 в, г).

На рис. 6.12 *в, г* подано картину електричних силових ліній **E**, що виникають навколо ліній змінної в часі магнітної індукції **B** (для випадку, коли змінюється тільки величина, а не напрям **B**).

Отже, електромагнітне поле, яке виникає унаслідок коливальних рухів магніту та яке описує перше рівняння Максвелла, не веде до змін параметрів коливального процесу.

### МОДУЛЬ 3. КОЛИВАННЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

*Мета експерименту модуля 3:* на основі досліджень коливальних феромагнетика в каналі незамкненої котушки ознайомитися з явищем електромагнітної індукції та врахувати коефіцієнт взаємозв'язку  $\gamma$  електромагнітних параметрів коливальної системи з механічними.

*Теоретичні відомості, завдання та результати експерименту*

У даному експерименті колювання феромагнетика відбуваються у каналі електричної котушки, витки якої незамкнуті.

Потік  $\Phi$  вектора магнітної індукції **B**, що пронизуватиме витки, змінюватиметься. Це призводитиме до виникнення вихрового електричного поля **E**, яке діятиме на електрони обмотки котушки з силою:

$$\mathbf{F} = e \mathbf{E}. \quad (6.20)$$

На кінцях обмотки виникне електрорушійна сила індукції  $\varepsilon_i$ . Згідно з законом Фарадея, вона дорівнює:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi_m}{dt}, \quad (6.21)$$

де  $N$  – кількість витків котушки.

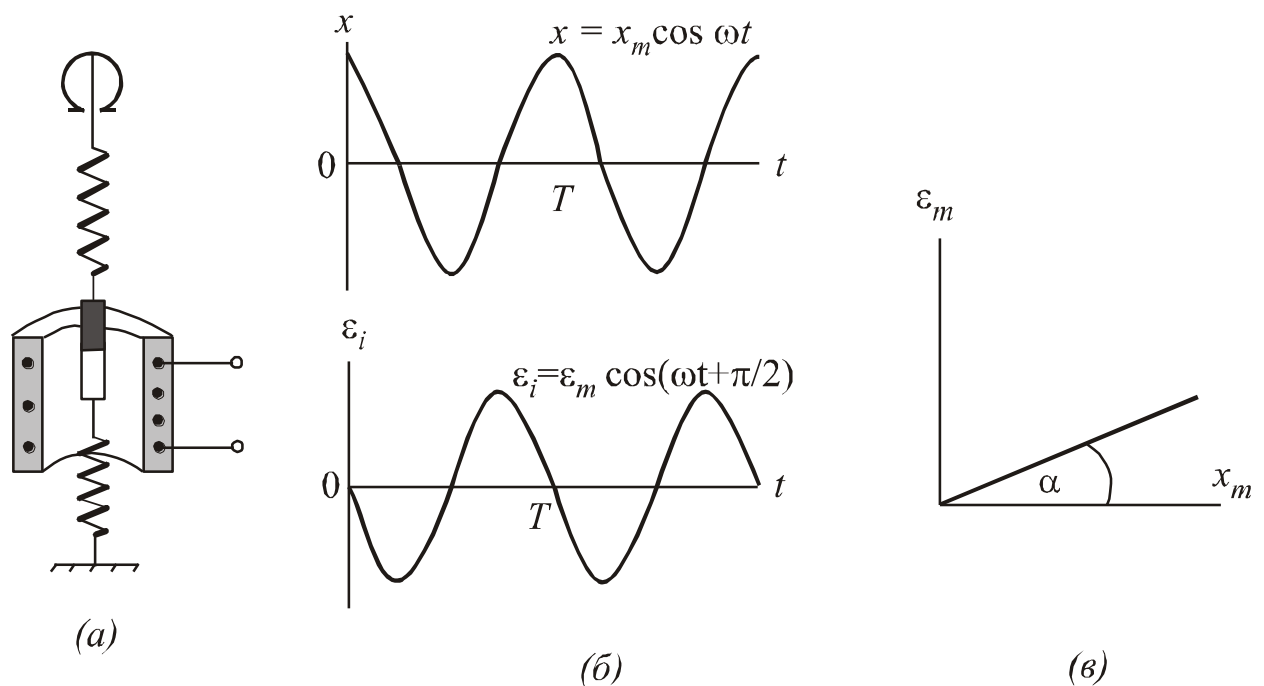
Потрібно, *по-перше*, дослідити, чи виникнення електрорушійної сили індукції  $\varepsilon_i$  впливає на характер механічних коливань.

*По-друге*, знайти залежність  $\varepsilon_i$  від часу  $t$ .

*По-третьє*, знайти залежність амплітуди  $\varepsilon_m$  електрорушійної сили індукції від амплітуди  $x_m$  зміщення коливального тіла.

Задають початкове зміщення  $x_m$  у проміжку  $[0,5; 3,0]$  см та знаходять відповідні їм значення електрорушійної сили  $\varepsilon_m$ .

На рис. 6.13 представлено типову залежність зміщення  $x = f(t)$ , котру фіксує електродинамометр та залежність електрорушійної сили  $\varepsilon_i = f(t)$ , що виникає на кінцях обмотки котушки, витки якої розімкнуті.



**Рис. 6.13.** (а) Коливання ферромагнетика. (б) Зміни  $x = f(t)$  та  $\varepsilon = f(t)$  під час коливань магніту в каналі незамкненої котушки. (в) Графічне представлення результатів дослідження залежності  $\varepsilon_m$  від  $x_m$

*Обробка результатів. Коефіцієнт взаємозв'язку*

Порівнюючи залежність  $x = f(t)$  з аналогічною залежністю, яку отримали в попередніх двох дослідженнях (модуль 1 і 2), можна констатувати, що вони ідентичні. Це дає змогу стверджувати, що поява електрорушійної сили  $\varepsilon_i$  не змінює характер механічних коливань, які і надалі задаватиме тільки величина маси  $m$  коливального тіла та коефіцієнт  $k$  жорсткості пружин.

Хоча вимушені коливання  $\varepsilon_i$  відбуваються з частотою коливань зовнішнього джерела (магніту), яке їх спричиняє, але не збігаються з ним за фазою: коливання зміщення  $x$  за фазою відстає від коливань електрорушійної сили  $\varepsilon_i$  на  $\frac{\pi}{2}$ .

Подібне ми спостерігали у дослідженні 1. Там теж фаза коливань зміщення  $x$  не збігається з фазою коливань швидкості  $v$ . Коливання  $x$  за фазою відстають від коливань  $v$  на  $\frac{\pi}{2}$ .

Порівнюючи ці два випадки, доходимо висновку, що зміна магнітного потоку  $\frac{d\Phi}{dt}$  є пропорційною швидкості  $v$  руху магніту:

$$\frac{d\Phi_m}{dt} \sim v = \frac{dx}{dt}. \quad (6.22)$$

Це дає можливість ввести між  $\varepsilon_i$  та  $v$  коефіцієнт взаємозв'язку  $\gamma$ .

$$\varepsilon_i = \gamma v. \quad (6.23)$$

Враховуючи (6.11) та формулу періоду коливань (6.4), рівняння (6.23) набуде вигляду:

$$\gamma = \frac{T\varepsilon_m}{2\pi x_m}. \quad (6.24)$$

Числове значення коефіцієнта  $\gamma$  знаходять так. Будується графік залежності  $\varepsilon_m = f(x_m)$  (рис. 6.13 в). Це – пряма лінія, тангенс нахилу якої дає значення  $\frac{\varepsilon_m}{x_m}$ . Підставивши його у вираз (6.24), знаходять коефіцієнт взаємозв'язку  $\gamma$ .

Подане дає можливість зробити важливий для подальших досліджень висновок.

Отримані вимушені гармонічні коливання електрорушійної сили індукції як наслідок коливальних рухів магніту в каналі незамкненої електричної котушки свідчать про те, що в процесі коливань немає сил гальмування як механічного, так і електричного походження.

Зрозуміло, що це ідеалізація. У цьому дослідженні і в двох попередніх ми тільки наближено вважали, що в коливальному русі сил тертя немає.

Насправді коливання маятника не можуть тривати безмежно довго. В результаті дії сил тертя, які завжди є при коливальному русі, амплітуда коливань маятника поступово з бігом часу зменшуватиметься до нуля. Говорять, що рух гаситиметься тертям, його називають згасаючим рухом.

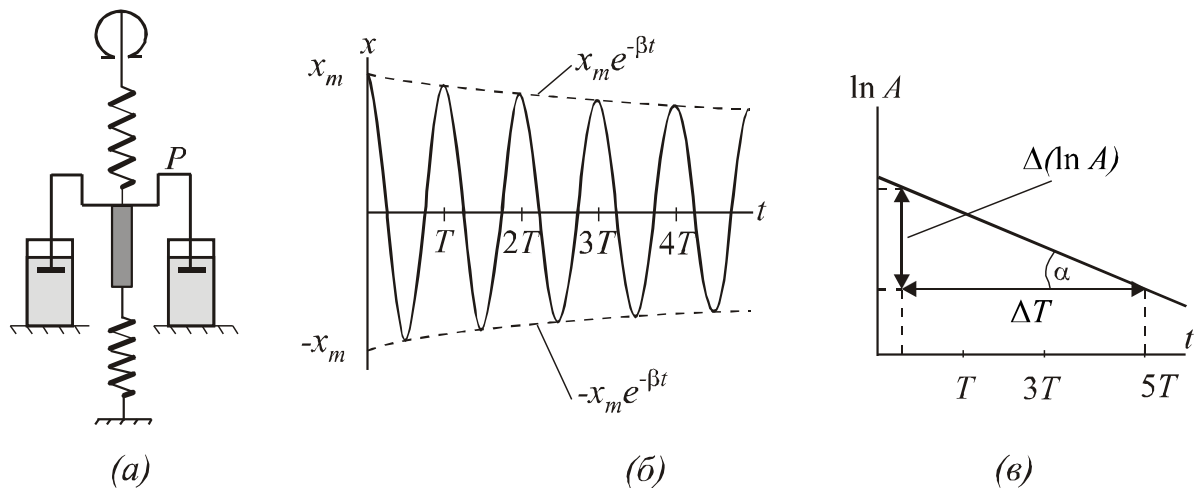
#### **6.4. Дослідження механічних та електричних згасаючих коливань**

##### **МОДУЛЬ 4. ЗГАСАЮЧІ МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ**

*Мета експерименту модуля 4:* на прикладі досліджень коливань вертикального пружинного маятника з гальмівною системою  $P$  ознайомитися з величинами, що характеризують згасаючі коливання.

##### *Завдання та результати експерименту*

До коливального тіла пружинного маятника треба прикріпити невагоме коромисло з двома крильцями, зануреними у воду (рис. 6.14 а) і провести дослідження залежності зміщення  $x$  від часу  $t$ . Типовий графік залежності  $x = x(t)$  показано на рис. 6.14 б.



**Рис. 6.14.** (а). Коливальні рухи пластинки  $P$  у рідині. (б) Згасаючі механічні коливання. (в) Графічне представлення залежності  $\lg A$  від  $t$

#### Аналіз експерименту

На відміну від гармонічного коливального руху, в якому амплітуда коливань є сталою величиною, тут вона зменшується.

Важливо знати, яке рівняння описуватиме отриману залежність  $x = x(t)$  та які величини його характеризуватимуть.

Зрозуміло, що такий вигляд кривої визначають сили, що діють у системі. Тому проаналізувавши їх, можна знайти рівняння руху даної коливальної системи. Його розв'язок повинен описувати залежність  $x = f(t)$ .

Згасаючий рух маятника зумовлює сила опору. В першому наближенні можна вважати, що вона пропорційна швидкості зміни зміщення  $x$ :

$$F_0 = -rv \quad \text{або} \quad F_r = -r \frac{dx}{dt}, \quad (6.25)$$

де  $r$  – коефіцієнт опору. Рівняння руху буде мати вигляд:

$$ma = -kx + F_r, \quad \text{або} \quad m \frac{d^2x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + kx = 0. \quad (6.26)$$

Розв'язком рівняння (6.26) є рівняння вигляду:

$$x = x_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (6.27)$$

де:  $\beta = \frac{r}{2m}$  – коефіцієнт згасання;  $\omega$  – циклічна частота згасаючих коливань,

$x_m$  та  $\varphi_0$  – відповідно початкова амплітуда та фаза, а величина

$$A = x_m e^{-\beta t} \quad (6.28)$$

– це амплітуда згасаючих коливань. Вона зменшується з бігом часу тим швидше, чим більший коефіцієнт згасання  $\beta$ . На графіку залежності  $x = x(t)$  згасаючих коливань її показано пунктирною лінією (рис. 6.14 б).

Прологарифувавши вираз (6.28), одержимо:

$$\ln A = \ln x_m - \beta t. \quad (6.29)$$

Через те, що  $x_m$  та  $\beta$  – сталі, то залежність логарифму амплітуди коливань  $A$  від часу  $t$  на графіку з осями координат  $\ln A$  та  $t$  буде пряма (рис. 6.14 в), тангенс нахилу якої дорівнює:

$$\operatorname{tg} \theta = -\frac{\Delta(\ln A)}{\Delta t} = \beta. \quad (6.30)$$

## МОДУЛЬ 5. ЗГАСАЮЧІ КОЛИВАННЯ ТА ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

*Мета експерименту модуля 5:* на прикладі досліджень коливань пружинного маятника, коливальне тіло якого – ферромагнетик

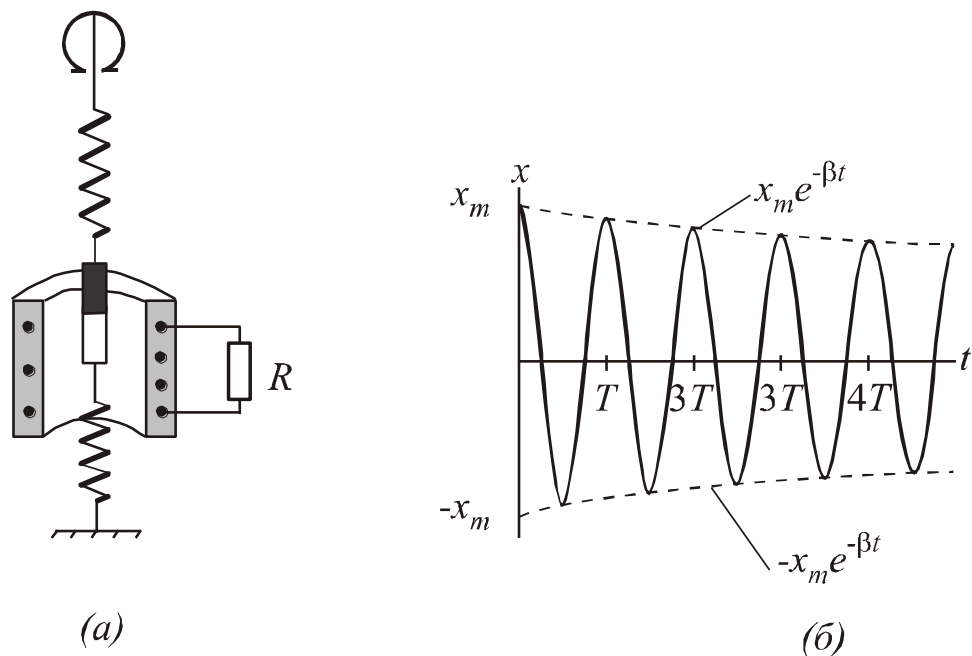


здійснює коливання у каналі електричної котушки, до кінців обмотки якої під'єднано опір  $R$ , ознайомитись із згасаючими електричними коливаннями.

### Завдання та результати експерименту

При розімкнених кінцях котушки маятника задають деяке відхилення та відпускають його. Отримують гармонічні коливання як механічні, так і електричні.

Тоді під'єднують до кінців котушки опір  $R$  (рис. 6.15 а), величина якого є сумірною з опором витків котушки  $R_k$ . Це призводить до того, що коливання зміщення  $x$  і електрорушійної сили  $\varepsilon_i$  стають згасаючими.



**Рис. 6.15.** (а) Коливання магніту спричиняє виникнення струму.  
(б) Виникнення струму призводить до згасання коливань

На рис. 6.15 б подано типовий результат дослідження залежності зміщення  $x$  від часу  $t$  (залежність  $\varepsilon_i = f(t)$  є аналогічною).

Потрібно, *по-перше*, переконатися у тому, що цю експериментальну залежність  $x = x(t)$  описує рівняння згасаючих коливань (6.27), та підрахувати коефіцієнт згасання  $\beta$ .

По-друге, необхідно з'ясувати, чому приєднання опору  $R$  до кінців витків електричної котушки призводить до того, що гармонічні коливання стають згасаючими.

Очевидним є те, що згасання коливань не спричиняють сили механічного походження – приєднання опору  $R$  до кінців витків котушки не повинно викликати змін механічних параметрів коливальної системи. Тому і надалі, так само як в експерименті модуля 3, сила тертя механічного походження  $F_{r\ m} = 0$ .

Необхідно з'ясувати все те нове, що на відміну від експерименту модуля 3, проявляється у коливальному процесі експерименту модуля 5.

Чому закорочення витків обмотки котушки призводить до згасання коливань?

#### *Аналіз експерименту. Енергетичний підхід*

Із аналізу експерименту модуля 3 нам відомо, що коливання магніту в котушці спричиняють виникнення електрорушійної сили. Тому приєднання опору  $R$  до кінців котушки призведе до виникнення електричного струму  $I$ :

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R + R_k}, \quad (6.31)$$

де:  $R$  – зовнішній опір;  $R_k$  – опір витків обмотки котушки.

Очевидно, що ця поява струму  $I$  у витках котушки є причиною згасання коливань. Бо проходження струму через провідник спричиняє його нагрівання та веде до виділення певної кількості теплоти  $Q$ . За законом Джоуля-Ленца, питома теплова потужність струму  $Q_n$  (кількість теплоти, що виділяється за одиницю часу в одиниці об'єму провідника) пропорційна квадрату густини електричного струму  $j$  і питомого опору провідника  $\rho$ :

$$Q_n = \rho j^2, \quad (6.32)$$



Через те, що під час коливань механічна енергія коливальної системи не поповнюється, це призведе до зменшення амплітуди механічних коливань магніту і коливання повинні стати згасаючими.

Зауважимо, що поданий аналіз дає можливість зрозуміти, чому коливання стають згасаючими, але не відповідає на запитання, яка сила спричиняє згасання. Відповідь на це запитання можна отримати на основі аналізу діючих у системі сил, проведеному в модулі 6.

### 6.5. Методика знаходження величини заряду електрона

## МОДУЛЬ 6. СТОРОННЯ І ГАЛЬМІВНА СИЛИ ТА ЗАРЯД ЕЛЕКТРОНА

*Мета експерименту модуля 6:* отримати згасаючі коливання, що виникають під час закорочення обмотки котушки, підрахувати коефіцієнт згасання  $\beta$  та, пов'язавши його з силою, що змушує рухатися електрони у витках обмотки електричної котушки, знайти заряд електрона

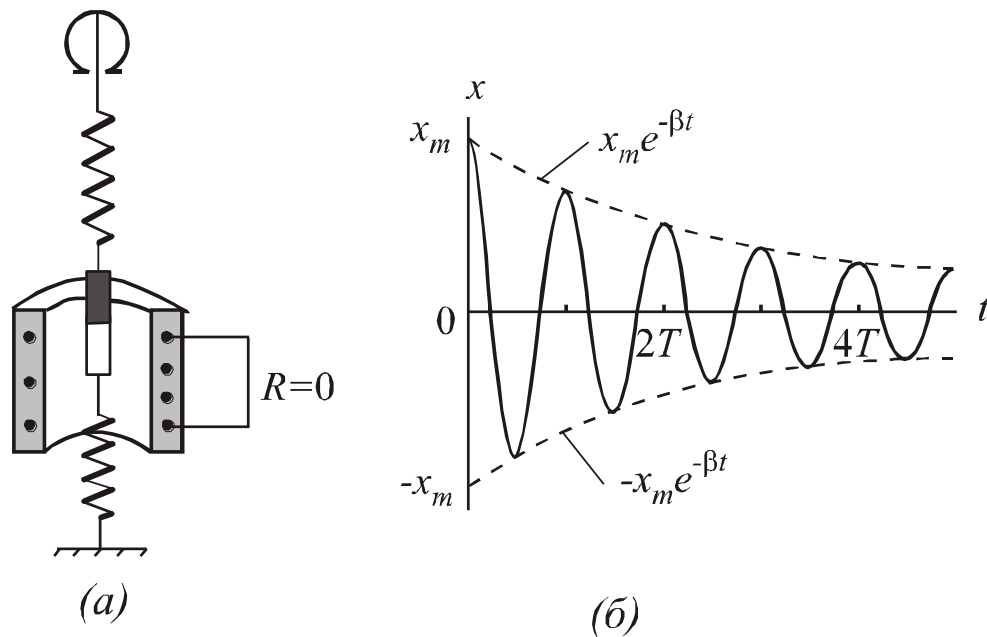
### *Завдання та результати експерименту*

Потрібно, *по-перше*, дослідити і переконатися, що швидкість згасання коливань збільшується із зменшенням опору навантаження  $R$ , який під'єднують до кінців електричної котушки.

*По-друге*, треба отримати і проаналізувати залежність зміщення  $x$  від часу  $t$  у випадку короткого замикання витків електричної котушки ( $R = 0$ ).

*По-третє*, з'ясувати причини виникнення гальмівної сили, а також сили, що змушує рухатися електрони в котушці, пов'язати їх між собою через параметри коливальної системи і процесу, отримати формулу для визначення заряду електрона.

Установка та типовий результат одного з експериментів, поданого на рис. 6.17.



**Рис. 6.17.** (а) Під час коливань магніту кінці електричної котушки закорочують ( $R = 0$ ). (б) Згасаючі коливання

*Аналіз експерименту. Знаходження формули*

Через те, що коливання згасаючі, вони повинні описуватися співвідношення (6.26) та (6.27). Гальмівна сила  $F_r$  пропорційна  $\frac{dx}{dt}$  (6.25):

$$F_r = -r \frac{dx}{dt}.$$

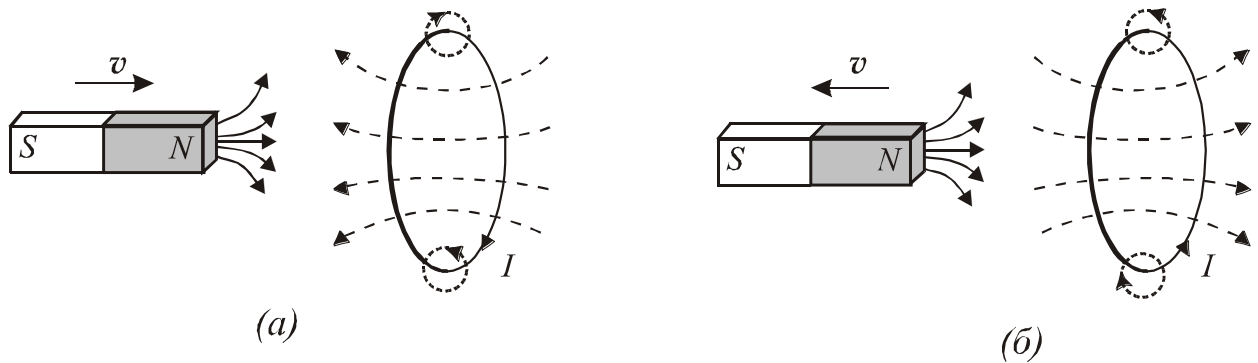
Нагадаємо, якщо у випадку експерименту модуля 4 згасання коливань є результатом дії гальмівної сили механічного походження, виникнення якої спричиняє в'язкість води, то у дослідженнях 5 та 6 причиною гальмування не є сила механічного походження.

Гальмування може бути результатом дії сили, яка певним чином пов'язана із силою електричного походження, бо гальмівна сила залежить від величини

струму  $I$  у витках котушки. Вона залежить від опору та є максимальною під час короткого замикання витків.

Очевидно, що тут через посередництво електромагнітного поля відбувається взаємодія між магнітним полем та електричним струмом.

Продемонструємо це на цьому прикладі (рис. 6.18).



**Рис. 6.18.** (а) Магніт відштовхується від кільця. (б) Магніт притягується до кільця

Постійний магніт, який рухається вправо, збільшує магнітний потік через замкнену дротяну петлю, що призводить до появи в ній струму індукції  $i$  (рис. 6.18 а). Цей струм створює магнітне поле, яке напрямлене протилежно початковому магнітному полю (силові лінії поля  $B$  струму індукції показані штриховими лініями).

На рис. 6.18 б показано магніт, що рухається вліво. Це призводить до зменшення магнітного потоку через дротяну петлю. Виникає струм індукції  $i$ , який створить поле  $B_i$ , що протидіятиме зміні початкового магнітного потоку.

В обох випадках поле струму  $i$  намагається зберегти початкову величину магнітного потоку. У випадку (а) діюча на магніт сила напрямлена вліво, а у випадку (б) – вправо.

З поданого доходимо висновку, що гальмівна сила  $F_r$  зв'язана з електричною силою  $F_e$ , бо поява  $F_e$  спричинює появу  $F_r$ . У процесі коливань

сила  $F_e$  діє на електрони котушки, змушуючи їх рухатися. Отже, результатом її дії є напрямлений рух електронів, тобто струм  $I$ .

Очевидно, що  $F_e$  прямо пропорційна  $F_r$ . Або:

$$F_r = \alpha F_e, \quad (6.34)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності.

Сила  $F_e$  зв'язана з напруженістю вихрового електричного поля  $E_e$ . У випадку короткого замикання витків вона дорівнює:

$$F_e = enE_e, \quad (6.35)$$

де  $n$  – кількість вільних електронів у витках котушки.

Очевидно, що сила  $F_e$ , змушуючи рухатися електрони провідника, призводить до виникнення електрорушійної сили індукції.

Скориставшись відомим виразом взаємозв'язку  $E_e$  з електрорушійною силою індукції  $\varepsilon_i$ :

$$\varepsilon_i = \int_l E_e dl, \quad \text{або} \quad \varepsilon_i = E_e l, \quad (6.36)$$

де  $l$  – довжина дроту обмотки котушки та враховуючи (6.34), (6.35) та (6.23), отримаємо гальмівну силу у вигляді:

$$F_r = \gamma \alpha \frac{n e}{l} \frac{dx}{dt}. \quad (6.37)$$

Отже, враховуючи (6.25), матимемо:

$$r = \gamma \alpha \frac{n e}{l} = 2m\beta. \quad (6.38)$$

Звідси знаходимо вираз для заряду електрона:

$$e = \frac{1}{\alpha} \frac{2m\ell\beta}{n\gamma}. \quad (6.39)$$

Як бачимо, концепція навчання полягає у послідовному усвідомленні та виконанні низки експериментальних завдань. Кінцевий результат пошуку еволюційно виводить на знаходження заряду електрона. У процесі виконання завдань демонструється взаємозв'язок різних розділів фізики, що повинно сприяти усвідомленню її єдності.

На закінчення зауважимо, що поданий приклад підходу до демонстрації взаємозв'язку різних процесів та явищ у фізиці є актуальним для розробки концепції єдності фізичного знання.

Такий підхід сприятиме реалізації концепції фізичної освіти, основою якої, як зазначають у праці [197], є:

– зростання фундаменталізації фізичної освіти як важливої умови формування інтелектуальної основи і наукової бази майбутнього спеціаліста;

– гуманітарний потенціал фізики, що є частиною загальнолюдської культури – фізика зачіпає проблеми, що мають велике значення для всього людства, і забезпечує істотний внесок у розвиток планетарного стилю мислення;

– технічний потенціал фізики, що пов'язує фундаментальні фізичні дослідження з народженням нових технологій і впливає на освіту, науку, культуру, економіку, соціологію, екологію;

– системний підхід, що відображає концептуальну єдність природничо-математичних наук, об'єктом яких є Природа.

На нашу думку, традиційний експериментальний курс загальної фізики недостатньо сприятиме її реалізації. Як підтвердження цього подаємо витяги з праці [198], в якій розглянута “методика експериментального вивчення



індукційного електричного поля у курсі фізики”. Пропонують, теоретично ознайомившись з явищем електромагнітної індукції Фарадея, відповідними рівняннями Максвелла, “...експериментально дослідити залежність напруженості електричного поля від відстані точки спостереження до осьової лінії соленоїда при різних частотах і формах струму у соленоїді”.

### Висновки до розділу 6

1. Вперше запропоновано спосіб дослідження коливань пружинного маятника та виготовлено узгоджену з комп’ютером установку “Пружинний маятник”, яка не має аналогів у навчальній практиці (отримано авторське свідоцтво на винахід) та розроблено методику проведення на ній низки навчальних експериментів.

2. Уперше встановлено співвідношення між величиною заряду  $e$  електрона та параметрами коливальної системи (вертикальний пружинний маятник, коливальним тілом якого є постійний магніт, що здійснює коливання у каналі електричної котушки, витки котрої заморочені (6.39):

$$e = \frac{2ml\beta}{\alpha n\gamma}.$$

де  $m$  – маса коливального тіла,  $l$  – довжина обмотки котушки,  $n$  – кількість електронів в обмотці,  $\gamma$  – коефіцієнт взаємозв’язку між електричними та механічними параметрами коливальної системи,  $\beta$  – коефіцієнт згасання,  $\alpha$  – коефіцієнт взаємозв’язку між силою гальмування і сторонньою силою.

3. Створено методологію знаходження заряду електрона. Це дало можливість у комплексній темі “Пружинний маятник та заряд електрона” об’єднати низку навчальних досліджень, які стосуються вільних механічних та вимушених гармонічних коливань, затухаючих механічних та електричних коливань, явища електромагнітної індукції та закону збереження і

перетворення енергії. У процесі їх виконання демонструються взаємозв'язки між ключовими фізичними поняттями і закономірностями різних розділів фізики. За результатами експериментальних досліджень знаходиться числове значення заряду електрона.

## РОЗДІЛ 7

### **ДІЯЛЬНІСНИЙ ПІДХІД ДО НАВЧАННЯ ЯК ЧИННИК ТРАНСЛЯЦІЇ З НАУКОВОЇ СИСТЕМИ В НАВЧАЛЬНУ ЗНАНЬ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ**

Сучасний навчальний процес загальної фізики вимагає складних технічних засобів. Але при цьому часто через складність і брак простоти та наочності експерименту губиться фізична суть досліджуваного явища. Ускладнює ситуацію також традиційна організація занять, коли лекція, лабораторне та практичне заняття проходять як окремі, самостійні, компоненти навчального процесу, тематично не пов'язані або рознесені в часі. Без органічного взаємозв'язку між експериментальними навчальними дослідженнями і практичними заняттями виникає абстрагування знань, що значно ускладнює розуміння єдності фізики та її взаємозв'язків. Це особливо актуально при вивченні складних світоглядних тем – основи формування фізичного мислення студентів.

У цьому розділі на прикладі вивчення окремих тем електромагнетизму, зокрема тих, що стосуються взаємозв'язку магнетизму з релятивізмом, зроблено спробу продемонструвати деякі аспекти побудови нової технології навчання, позбавленої згаданих хиб [152, 153, 199-205].

#### **7.1. Навчальні проблеми та шляхи їх розв'язку**

##### *Спеціальна теорія відносності та електромагнетизм*

Низку принципів та законів фізики називають фундаментальними. Вони є в основі розуміння фізичної картини світу. Без їх усвідомлення та засвоєння її

284-не досягнути. Але в навчальному процесі курсу фізики фундаментальним законам приділяється ще мало уваги, бо часто складається враження, що фізику загалом хочуть засвоїти, не заглиблюючись та не усвідомлюючи результатів та висновків, що випливають з фундаментальних фізичних принципів та законів.

Що ж залишається від світоглядної ролі фізики?

Набір певних формул та законів без усвідомлення належного взаємозв'язку між ними не може замінити повноцінні знання. І, як результат, часто маємо нерозуміння студентом фізики та її ролі в сучасній освіті.

До причин, що призводять до такого стану, ми насамперед відносимо, з одного боку, небажання студентів заглиблюватися у розуміння фізики, з другого, – традиційну технологію навчання, зокрема наші недоліки у виборі навчального матеріалу та невміння його науково та наочно представити на заняттях. На нашу думку, в навчальних негараздах більше винна наша традиційна технологія навчання. Покажемо це на прикладі.

Серед фундаментальних фізичних принципів є принцип відносності, згідно з яким будь-який процес протікає однаково в ізольованій матеріальній системі, що перебуває у стані спокою або прямолінійного рівномірного руху. Еквівалентне формулювання принципу відносності: “закони фізики мають однакову форму в усіх інерціальних системах”. Цей принцип разом з постулатом про незалежність швидкості світла в вакуумі від швидкості руху джерела лежить в основі спеціальної теорії відносності Ейнштейна.

Результати наших педагогічних досліджень свідчать, що в навчальному процесі цим питанням приділяється недостатньо уваги. Як результат цього у загалу студентів формується спрощене розуміння цього принципу, найчастіше, як принцип відносності швидкості для класичного випадку малих швидкостей. А теорію відносності вони часто уявляють як щось важко доступне, досягнути яке можуть лише одиниці, яке навряд чи стосуватиметься “звичної” фізики, яку надалі вони вивчатимуть.

Та й, очевидно, не може бути інакше, бо, як звичайно, лабораторний та практичний курс найчастіше побудований так, що під час підготовки до лабораторних та практичних занять у студентів не виникає потреби усвідомити та використати поняття та принципи теорії відносності у взаємозв'язку з іншими поняттями. Але для засвоєння принципу відносності та спеціальної теорії відносності, для розуміння їх ролі в системі фізичних знань згадувати про це лише під час лекційного викладу недостатньо.

Із наведеного випливає, що на часі розробка та постановка завдань, у яких розуміння матеріалу лабораторної роботи чи практичного заняття пролягало б через обов'язкове свідоме засвоєння принципу відносності та елементів спеціальної теорії відносності. Такі завдання вестимуть до формування у студентів розуміння єдності фізики.

Одне з завдань розроблено нами у технології навчання комплексної теми, яку ми назвали “Релятивізм магнетизму”. Воно стосується такого важливого розділу фізики, як електромагнетизм, зокрема того, що закони магнетизму впливають з рівнянь електростатики та спеціальної теорії відносності.

### *Шляхи формування технології навчання комплексної теми “Релятивізм магнетизму”*

Формування теми “Релятивізм магнетизму” пов'язане з низкою питань, що торкаються, з одного боку, систематизації навчального матеріалу і його методичного опрацювання для представлення на лекційних та практичних заняттях. З другого, – створення відповідних засобів навчання та розробки нових навчальних експериментів.

У даній технології навчання лекції, а також лабораторні та практичні заняття, повинні проходити в єдиному навчальному руслі. Її істотним, невід'ємним елементом повинен стати комп'ютер. Це як об'єкт навчальної діяльності (вагома частка процесу вивчення матеріалу будується на її базі), і як засіб праці студента, і, нарешті, як засіб керування процесом навчальної діяльності в руках викладача.

Враховуючи це, у розробці технології навчання комплексної теми “Релятивізм магнетизму” ми вважали за доцільне виходити з такого:

1. На лекціях з проблемним викладом, на прикладі аналізу руху електрона вздовж провідника зі струмом, показати, що закони магнетизму впливають з рівнянь електростатики і спеціальної теорії відносності [88, 89, 91].

2. На практичних заняттях закласти фундамент розуміння суті досліджуваних явищ та акцентувати на розв’язку не якихось абстрактних задач (як це, звичайно, є в навчальному процесі), а конкретних, які можна надалі реально досліджувати з допомогою лабораторної установки. Таким чином, практичні заняття органічно поєднувати з експериментальними дослідженнями.

3. На лабораторних заняттях на основі вивчення руху електронів у взаємно перпендикулярних електричному та магнітному полях експериментально реалізувати дослідження взаємозв’язку магнетизму з релятивізмом. Для цього розробити та виготовити відповідні засоби навчання: “Прилад для дослідження руху електронів в електричних та магнітних полях” та розробити низку експериментальних завдань, які можна виконувати на ньому. Методику навчання побудувати так, щоб забезпечити проведення з допомогою приладу комплексу досліджень.

*По-перше*, знаходити кількома способами швидкість руху електронів.

*По-друге*, отриману залежність величини швидкості від прискорювальної напруги використовувати для знаходження величини питомого заряду електрона та швидкості світла.

Якщо отримана величина швидкості світла збігається із відомим табличним значенням, то це буде ніби “експериментальним навчальним підтвердженням зв’язку магнетизму з релятивізмом”.

Зрозуміло, що основною суттю такого підходу до навчання є те, що ми в навчальному лабораторному практикумі висвітлюємо важливі для розуміння фізики питання.

4. Створити педагогічний програмний продукт технології навчання комплексної теми “Релятивізм магнетизму”. В його основу покласти віртуальний навчальний експеримент і реалізувати його з допомогою комп’ютерної модельної установки, яка є аналогом реальної.

У компонентах педагогічного програмного продукту:

а) “Рух електронів в електричному та магнітному полях” – акцентувати на дослідженні руху електронів у полі плоского конденсатора та вздовж прямого провідника зі струмом;

б) “Коливання та швидкість руху електрона” – показати, як можна знаходити швидкість руху електронів, виходячи з досліджень їх руху у перпендикулярних, рознесених у просторі, високочастотних електричних полях;

в) “Складання взаємно перпендикулярних електричних гармонічних коливань” – навчити розуміти процес додавання взаємно перпендикулярних гармонічних коливань, зокрема, те, як величина зсуву за фазою коливань впливає на результат накладання.

Студенти повинні мати можливість змінювати параметри модельної комп’ютерної установки (розміри пластин, відстань між ними, відстань від провідника зі струмом до осі електронно-променевої трубки) та режими роботи (прискорювальну та відхиляючу напруги, струм у провіднику). Підраховуючи величину відхилення, вони повинні мати можливість звірити її з контрольним результатом

## **7.2. Лекційне представлення змісту комплексної теми “Релятивізм магнетизму”**

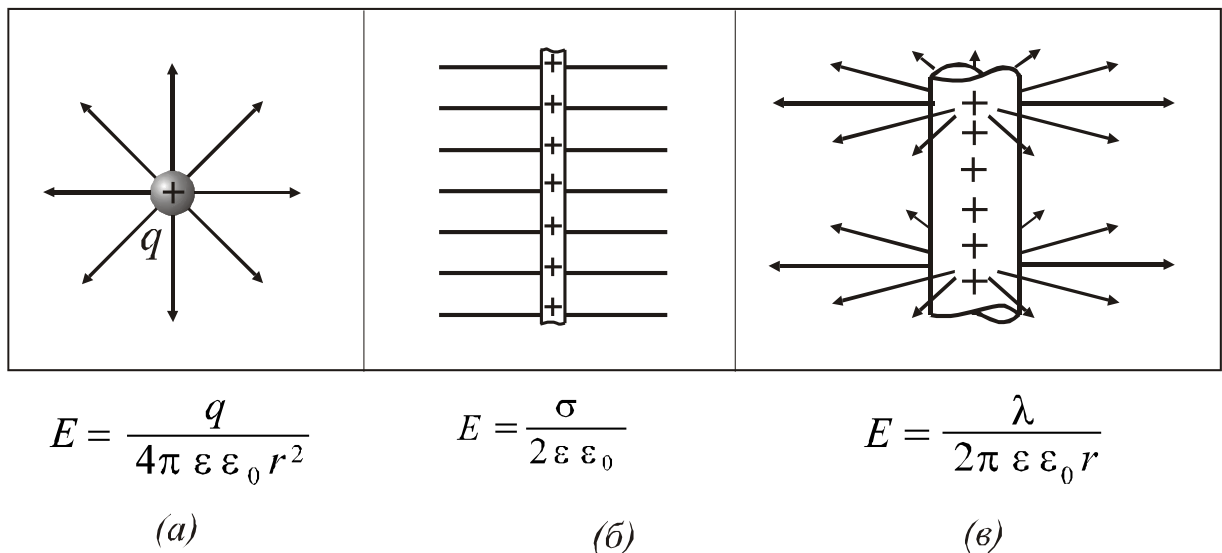
### *Електричне та магнітне поля*

1. “Електрон, електромагнітна взаємодія” – це фундаментальні фізичні поняття. Уважають, що сучасну фізику започаткувало відкриття електрона, а електромагнітна взаємодія забезпечує сили, завдяки яким речовина на

атомному і молекулярному рівні існує як ціле. Навіть, вивчаючи оптику, маємо справу з електромагнітними взаємодіями, бо світло – це електромагнітне випромінювання.

Взаємодія точкових електричних зарядів щодо системи координат  $K$ , у якій вони перебувають у спокої, повністю описується законом Кулона і здійснюється через електричне поле.

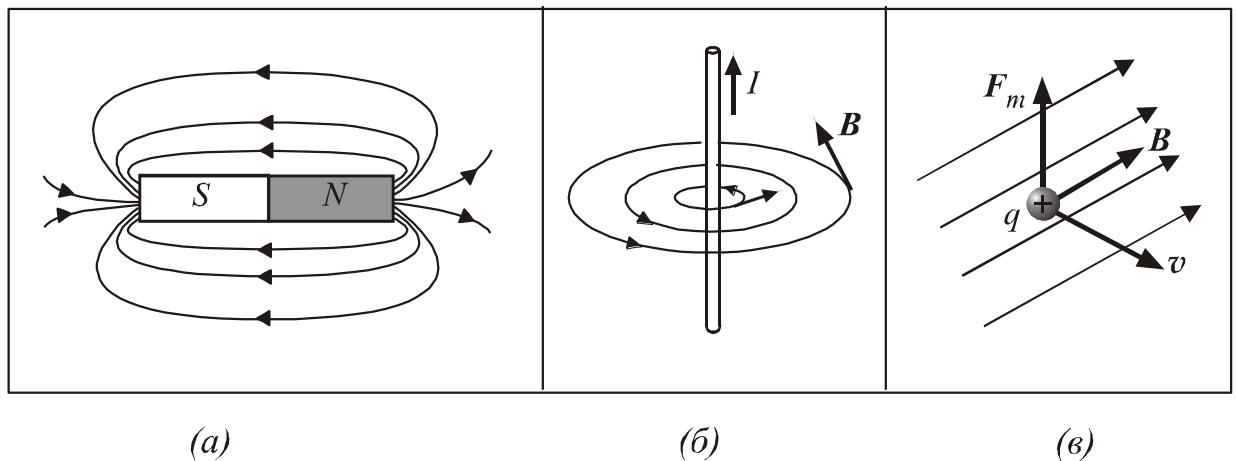
Навколо нерухомих електричних зарядів виникає електростатичне поле, силовою характеристикою якого є напруженість електричного поля  $E$ . Наочно електричне поле у просторі можна зобразити з допомогою силових ліній, дотичні до яких збігаються з вектором напруженості електричного поля. Силові лінії та значення напруженостей електричного поля у випадку сфери радіуса  $R$ , або точкового заряду, рівномірно зарядженої нескінченної площини та циліндричної поверхні показано на рис. 7.1. Крім цього, під кожним з них подано формулу, що дає можливість знайти величину напруженості.



**Рис. 7.1.** Силові лінії полів, створених тілами різної форми: (а) сферичним або точковим зарядом  $q$ ; (б) зарядами на безмежній площині з поверхневою густиною  $\sigma = q/S$ ; (в) зарядами на нескінченно довгій прямій дротині з лінійною густиною  $\lambda$



2. Щоб пояснити взаємодію рухомих електричних зарядів, одного електричного поля уже не достатньо. На рухомі заряди, крім сили Кулона, діє сила магнітної природи – сила Лоренца  $\mathbf{F}_m$ . Її виникнення пояснюють, виходячи з концепції магнітного поля: навколо постійних магнітів та рухомих електричних зарядів існує магнітне поле, яке характеризують вектором магнітної індукції  $\mathbf{B}$  (рис. 7.2 а, б).



**Рис. 7.2.** Силкові лінії магнітного поля  $\mathbf{B}$ , створеного: (а) магнітним полем постійного магніту; (б) магнітним полем безмежного прямолінійного струму; (в) позитивно заряджена частинка рухається в магнітному полі

Величина вектора магнітної індукції  $\mathbf{B}$  нескінченного прямого струму  $I$  в точці, що знаходиться на віддалі  $r$  від його осі

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r}, \quad (7.1)$$

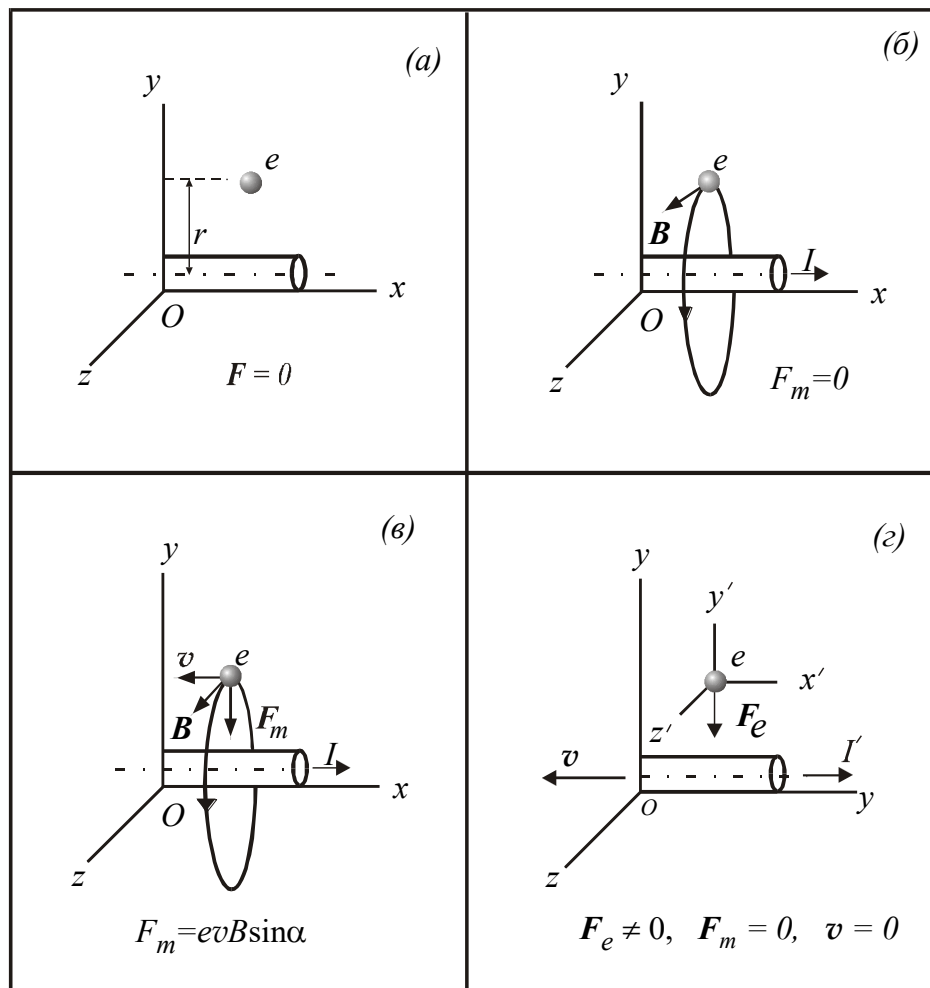
де:  $\mu_0$  – магнітна стала;  $\mu$  – магнітна проникність середовища.

Сила Лоренца  $\mathbf{F}_m$  – це сила, що діє на рухомий заряд  $q$ , який рухається у магнітному полі перпендикулярно до вектора магнітної індукції  $\mathbf{B}$  і його швидкості руху  $v$  (рис. 7.2 в). Вона записується у вигляді:

$$\mathbf{F} = q[\mathbf{v}\mathbf{B}]. \quad (7.2)$$

Принцип відносності і магнітна взаємодія

1. Уявімо собі, що електрон знаходиться у стані спокою ( $v = 0$ ) на віддалі  $r$  від нескінченного електрично нейтрального циліндричного провідника, з яким зв'язана система координат  $xOy$  (рис. 7.3 а).



**Рис. 7.3.** Електрон та провідник у нерухомій системі відліку  $xOy$ : (а) провідник без струму; (б) по провіднику тече струм  $I$ ; (в); електрон зі швидкістю  $v$  рухається паралельно нерухомому в системі  $xOy$  провіднику зі струмом  $I$ ; (г) повз нерухомий в системі  $x'O'y'$  електрон рухається зі швидкістю  $v$  провідник зі струмом

Такий електрон не взаємодіятиме з провідником ( $F = 0$ ).

2. Чи відбудуться зміни у взаємодії між електроном і провідником, якщо по провіднику почне протікати струм  $I$ ?

Тепер навколо провідника буде існувати магнітне поле  $B$  (рис. 7.3 б), але і далі  $F = 0$ , бо магнітне поле діє тільки на рухомі електричні заряди.

3. Що зміниться у випадку, якщо електрон зі швидкістю  $v$  почне рухатися паралельно до провідника, по якому тече струм  $I$  (рис. 7.3 в)?

У системі відліку  $xOy$  на рухомий вздовж провідника зі струмом заряд діятиме магнітна сила:

$$F_m = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r} ev, \quad (7.3)$$

яка відхилятиме його до провідника.

4. Тепер з електроном в'яжемо систему координат  $x'O'y'$  (рис. 7.3 г). Відносно цієї системи координат провідник зі струмом рухається зі швидкістю  $v$ .

Які сили діятимуть на електрон у цій системі координат?

У системі  $x'O'y'$  електрон перебуває у спокої, а провідник зі струмом рухається повз нього зі швидкістю  $v$ . Струм  $I'$ , котрий зумовлюється додатними іонами, що рухаються разом із провідником і від'ємними електронами провідності, створить навколо електрона деяке магнітне поле  $B'$ .

З огляду на те, що тепер електрон перебуває у стані спокою, то на нього магнітна сила не діятиме ( $F_m = 0$ ).

Можливо, у даному випадку фундаментальний принцип відносності не справджується і тому електрон не наблизатиметься до провідника?

Зрозуміло, що ні, бо принцип відносності не може бути порушений. Як у системі  $xOy$ , де завдяки дії магнітної сили заряд наближається до провідника, так і в системі  $K'$ , він теж повинен наблизатися до нього.

Отже, при розгляді руху електрона в системі  $x'O'y'$  повинні проявитися нові нюанси, які вкажуть на появу замість сил магнітного походження сил електростатичного походження. У такому разі виникне електричне поле  $\mathbf{E}_{er}$ , яке призведе до того, що на електрон діятиме сила  $\mathbf{F}_{er}$ :

$$\mathbf{F}_{er} = e\mathbf{E}. \quad (7.4)$$

Але провідник створить електричне поле тільки тоді, коли буде здаватися зарядженим. Отже, провідник зі струмом буде видаватися зарядженим, коли його привести в рух.

Яким чином це відбувається і як це зрозуміти?

Нижче ми покажемо це, застосувавши до руху електронів та іонів провідника зі струмом, що рухається відносно системи  $x'O'y'$ , спеціальну теорію відносності – її правило додавання швидкостей та лоренцове скорочення довжини.

### *Релятивізм магнетизму*

Спочатку спробуємо відповісти на запитання: “Густина електричних зарядів є інваріантною величиною, чи ні?”

Якщо взяти незаряджений провідник довжиною  $L_0$ , в якому густина як додатніх, так і від’ємних зарядів є  $\rho_0$  (рис. 7.4, а), то він міститиме однаковий додатній та від’ємний електричний заряд:

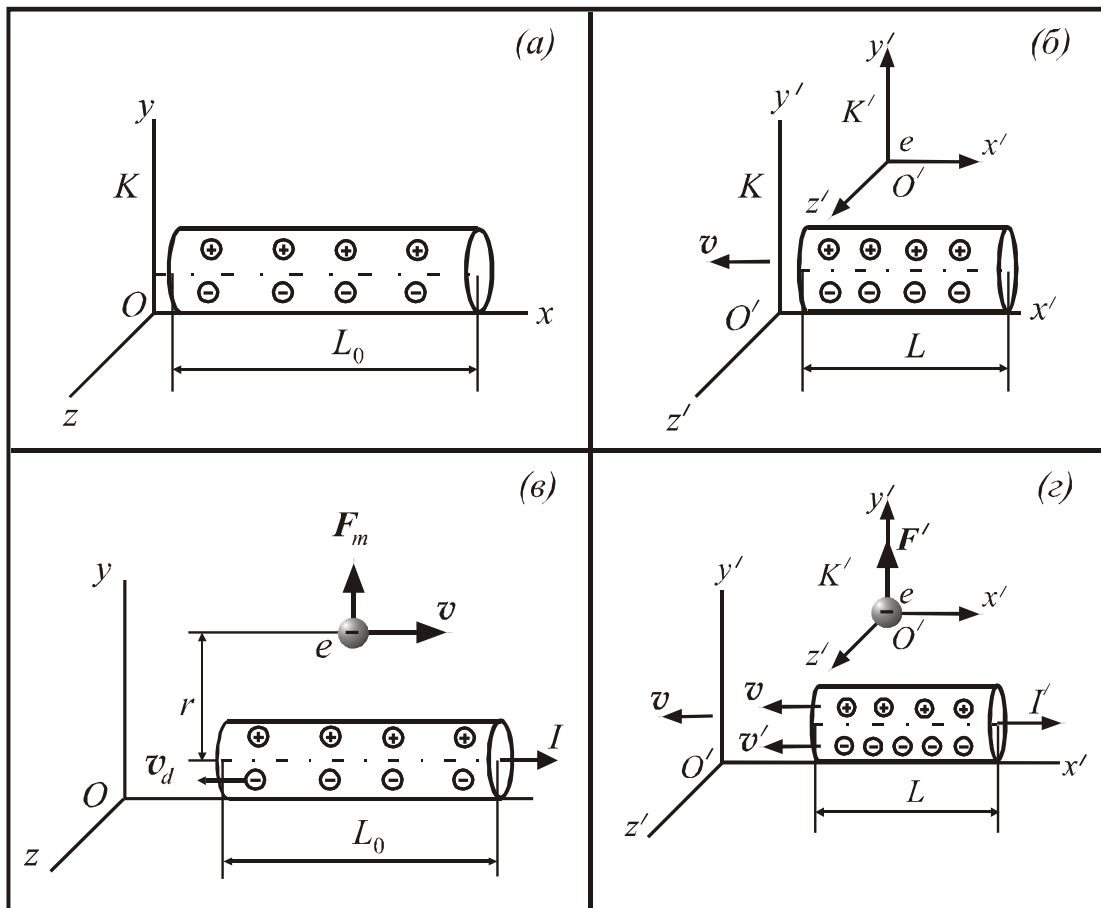
$$q = \rho_0 L_0 S_0,$$

де  $S_0$  – площа поперечного перерізу провідника.

Якщо потім заряди рухаються у другій системі  $K$  зі швидкістю  $v$ , то відносно нерухомої системи  $K'$  всі вони згідно з лоренцовим скороченням довжини будуть знаходитися у провіднику меншої довжини (рис. 7.4 б):

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (7.5)$$

але того ж перерізу  $S_0$ , бо розміри в напрямку, перпендикулярному рухові, не змінюються.



**Рис. 7.4.** (а) Провідник у нерухомій системі матиме густину зарядів  $\rho_0$ . (б) У рухомій системі координат густина зарядів провідника  $\rho$  зростає. (в) Провідник зі струмом та сили, що діють на електрон, з погляду спостерігача у системі  $K$ . (г) Провідник зі струмом та сили, що діють на електрон, з погляду спостерігача у системі  $K'$

Якщо через  $\rho$  позначити густину зарядів у системі ( $K'$ ), де вони рухаються, то новий заряд буде  $\rho L S_0$ . Так як заряд у будь-якій системі однаковий, значить,  $\rho L = \rho_0 L_0$ , або з допомогою (7.5):

$$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.6)$$

Отже, густина рухомої сукупності додатних зарядів змінюється. Зрозуміло, що те саме можна віднести і до від'ємних зарядів.

Таким чином, розглядаючи провідник зі струмом у нерухомій та рухомій системах координат, необхідно врахувати два фактори. Перший – що електричний заряд є електрично інваріантним (його величина не залежить від системи відліку). Другий – що об'єм не є інваріантним. Він залежить від швидкості руху тіла через релятивістське скорочення довжини.

Тепер, враховуючи ці два фактори повернемося до нашої проблеми – взаємодії нерухомого електрона з провідником зі струмом, який рухається повз нього (рис. 7.3 з).

Насамперед ситуацію, зображену на рис. 7.3 в, з, подамо детальніше (рис. 7.4 в, з).

Струм  $I$  зумовлений електронами провідності, які рухаються вліво зі швидкістю дрейфу  $v_d$ . Щоб провідник був електрично нейтральним, він повинен утворювати коло з додатно заряджених іонів, які мають рівний за величиною і протилежний за знаком заряд (рис. 7.4 в).

Позначимо через  $(\lambda)_0$  лінійну густина заряду електронів провідності в нерухомій системі і до того ж, коли немає струму. Під час протікання струму електрони матимуть швидкість  $v_d$ , тому через скорочення довжини, лінійна густина заряду електронів матиме вигляд:

$$\lambda_- = (\lambda_-)_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{v_d^2}{c^2}\right)^{1/2}}, \quad (7.7)$$

або

$$(\lambda_-)_0 = \lambda_- \left( 1 - \frac{v_d^2}{c^2} \right)^{1/2}. \quad (7.8)$$

Величину струму  $I$  задає швидкість дрейфу електронів:

$$I = -\lambda v_d. \quad (7.9)$$

Розглянемо тепер наш провідник зі струмом у системі  $K'$ .

На рис. 7.4 зображено, як буде спостерігач бачити провідник зі струмом, рухаючись разом із зарядом  $e$ .

Із погляду спостерігача, зв'язаного з системою  $K'$ , заряд  $e$  буде нерухомим, а додатні іони рухатимуться вліво зі швидкістю  $v$ . У тому ж напрямку, але з більшою швидкістю  $v'$ , рухаються електрони.

Застосовуючи релятивістське правило додавання швидкостей, отримаємо вираз для швидкості руху  $v$  електронів провідності в системі відліку  $K'$ :

$$v' = \frac{v + v_d}{1 + \frac{vv_d}{c^2}}. \quad (7.10)$$

Густина додатніх іонів у цій системі дорівнюватиме:

$$\lambda'_+ = \frac{1}{\left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{1/2}} \lambda_+. \quad (7.11)$$

А густина від'ємних зарядів:

$$\lambda'_- = \frac{1}{\left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{1/2}} (\lambda_-)_0. \quad (7.12)$$

Результуюча густина  $\lambda'$  дорівнюватиме:

$$\lambda' = \lambda'_+ + \lambda'_-. \quad (7.13)$$

Після деяких перетворень (дивись книгу [91]) отримаємо вираз:

$$\lambda' = \frac{\lambda_-}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} \frac{Iv}{c^2}, \quad (7.14)$$

який показує, що в системі відліку  $K'$  незаряджений провідник буде мати заряд, тобто порушиться його електрична нейтральність.

Таким чином, тепер стає зрозумілим, чому в системі  $K'$  повинні виникати електричні поля.

Отже, значення напруженості  $E'$  безмежно довгої зарядженої дротини на відстані  $r$  від неї має вигляд:

$$E' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\lambda'}{r}, \quad (7.15)$$

де  $\epsilon_0$  – електрична стала.

Враховуючи вираз (7.4), значення сили  $F'$ , яка діятиме на заряд у системі  $K'$ , буде:

$$F' = qE' = \frac{qv}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} \left[ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2I}{y} \right] \frac{1}{c^2}. \quad (7.16)$$



Якщо цю силу реєструє рухомий спостерігач, то її повинен реєструвати будь-який інший спостерігач, що рухається без прискорення. Унаслідок симетрії, сила напрямлена вздовж осі  $y$  і зв'язана з імпульсом рівнянням руху:

$$F'_y = \frac{dp'_y}{dt}. \quad (7.17)$$

У системі координат  $K$  ця сила набуде вигляду:

$$F_y = \frac{dp_y}{dt}. \quad (7.18)$$

Згідно з законом збереження імпульсу:

$$p'_y = p_y. \quad (7.19)$$

Враховуючи формулу перетворення часу в теорії відносності:

$$t = \gamma t' + \gamma \frac{v_x^2}{c^2}, \quad (7.20)$$

знаходимо, що:

$$-\frac{dt'}{dt} = \frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}{1 + \frac{v_x v}{c^2}}, \quad (7.21)$$

де  $v_x$  – компонента швидкості частинки в системі координат  $K'$ , причому в даному випадку  $v_x = 0$ .

Враховавши релятивістські рівняння руху і формули перетворення, нерухомий спостерігач у системі  $K$  вимірює силу, яка діятиме на рухомий зі швидкістю  $v$  заряд  $q$ :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{2I}{y} qv. \quad (7.22)$$

Отже уявлення про те, що магнітна сила  $F$  фундаментальна – неправильне. Вона є релятивістським наслідком закону Кулона. Поділ цієї взаємодії на електричну та магнітну частини значною мірою залежить від системи відліку, в якій ми описуємо взаємодію.

Справедливість залежності (7.22) і наших висновків ми надалі спробуємо (у підрозділі 7.3) перевірити з допомогою дослідів. Для цього ми виготовили відповідні засоби навчання та розробили навчальні дослідження.

### 7.3. Нові засоби навчання з електромагнетизму

Релятивістський ефект у магнетизмі, який у підрозділі 7.2 ми ілюстрували на прикладі дослідження руху провідника зі струмом повз нерухомий електрон, проявляється у виникненні сили (7.22), що діє на електрон:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{2I}{y} qv.$$

Ми вважаємо, якщо забезпечити експериментальне вимірювання цієї сили, то за заданим значенням швидкості електронів  $v$ , сили струму  $I$  в провіднику та віддалі  $r$  можна обчислити швидкість світла  $c$ , що входить у вираз цієї сили. Збіг отриманого значення  $c$  з табличним буде непрямым експериментальним підтвердженням взаємозв'язку магнетизму з релятивізмом.

Таке лабораторне дослідження вимагає відповідних технічних засобів навчання. Одним з можливих варіантів реалізації способу визначення швидкості світла може бути здійснений у приладі, розробленому та виготовленому нами [205].

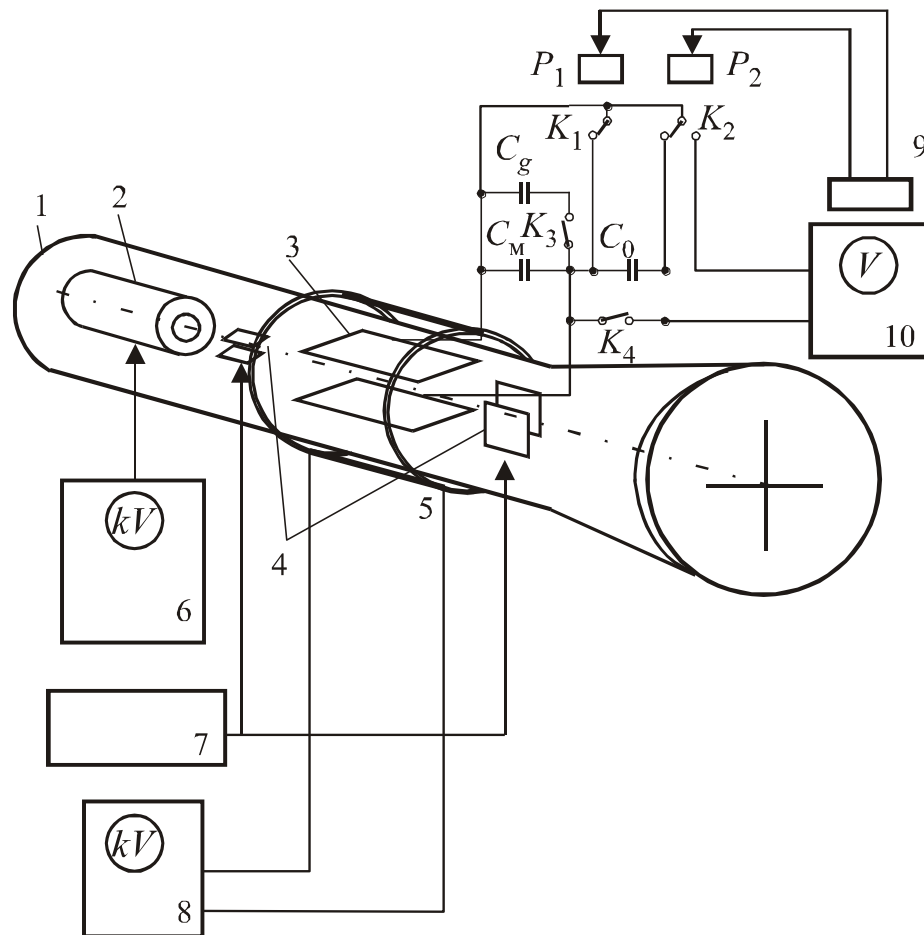
*Прилад для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях*

Зовнішній вигляд приладу для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях подано на рис. 7.5. Функціональна схема приладу зображена на рис. 7.6.



**Рис. 7.5.** Зовнішній вигляд приладу для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях

Основною частиною приладу є спеціальна електронно-променева трубка 1 (рис. 7.6), у якій, крім типової електронної гармати 2, додатково введені плоскопаралельні відхиляючі пластини 3, а також пластини вертикального та горизонтального відхилення 4, що розміщені перед та за пластинами 3.



**Рис. 7.6.** Функціональна схема приладу:

- |   |  |
|---|--|
| 1 – електронно-променева трубка;  | 8 – джерело регульованого постійного струму;                         |
| 2 – електронна гармата;   | 9 – генератор прямокутних імпульсів;                                 |
| 3 – плоскопаралельні пластини;  | 10 – джерело напруги;  |
| 4 – пластини горизонтального і вертикального відхилення;                    | $C_m$ – ємність монтажу;   |
| 5 – система магнітного відхилення;  | $C_g$ – додатковий конденсатор (плоскопаралельні пластини);          |
| 6 – блок живлення електронної гармати;                                      | $C_0$ – еталонний конденсатор;                                       |
| 7 – блок відхилення електронного пучка (генератор напруги високої частоти); | $P_1$ і $P_2$ – герконні реле з контактами $K_1$ і $K_2$ відповідно; |
|   | $K_3$ і $K_4$ – перемикачі   |

Схема містить електронно-променеву трубку 1, систему магнітного відхилення 5, блок живлення 6, високочастотний генератор 7, джерело регульованого струму 8, генератор прямокутних імпульсів 9, джерело регульованої напруги 10, систему електростатичного відхилення, до складу якої, крім відхиляючих пластин електронно-променевої трубки 3, входять додатковий  $C_d$  та еталонний  $C_0$  конденсатори, герконні реле  $P_1$  та  $P_2$  з контактами, відповідно  $K_1$  та  $K_2$  та перемикачі  $K_3$  та  $K_4$ . Формування електронного пучка здійснюється з допомогою блоку живлення 6, який забезпечує фокусування, регулювання яскравості електронного пучка, його корекцію щодо осі електронно-променевої трубки, а також дає змогу встановити певне значення прискорювальної напруги (в межах [1–4] кВ), яка вимірюється кіловольтметром.

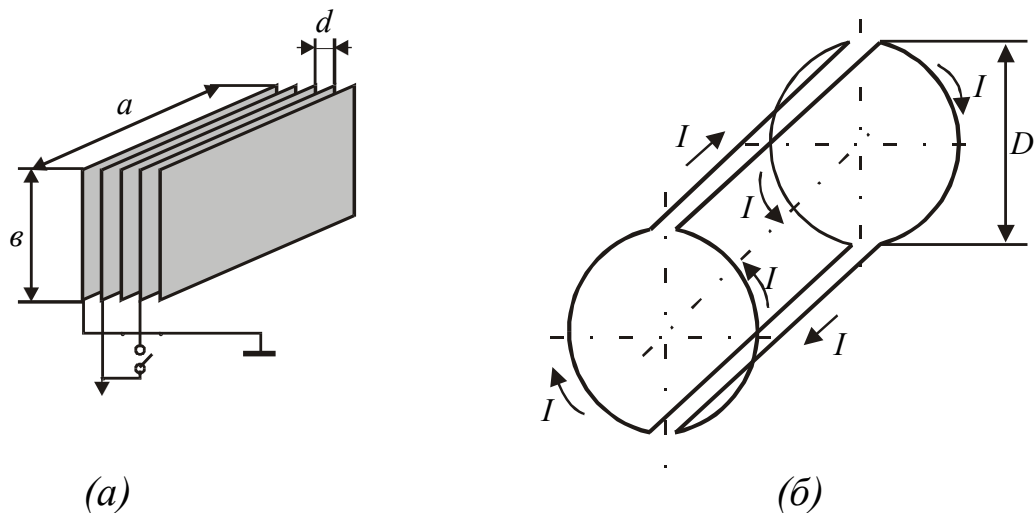
Система електростатичного відхилення забезпечує створення однорідного електричного поля (поперечного до руху електронів) між пластинами 3, на які подається регульована напруга від джерела напруги 10 і вимірюється вольтметром. При розімкненому перемикачі  $K_3$  і замкненому  $K_4$  вся напруга від джерела 10 подається на пластини 3 електронно-променевої трубки. Перемикач  $K_3$  забезпечує під'єднання паралельно до відхиляючих пластин додаткового конденсатора  $C_d$ , а перемикач  $K_4$  – під'єднання послідовно з відхиляючими пластинами 3 еталонного конденсатора  $C_0$ . При цьому вольтметр показує значення напруги на відповідному послідовному з'єднанні конденсаторів.

Додатковий конденсатор (рис. 7.7) виготовлений у вигляді плоско паралельних пластин площею  $S$  і повітряним прошарком між ними товщиною  $d$ . Його ємність визначається за формулою:

$$C_d = \frac{\varepsilon_0(N-1)S}{d},$$

де  $N$  – кількість пластин, які залежно від способу комутації, утворюють цей конденсатор.

Система магнітного відхилення 5, що розміщена на горловині електронно-променевої трубки на рівні відхиляючих пластин 3, на відміну від описаного (підрозділ 7.2) прямолінійного провідника, складається з обмотки, вкладеної у два діаметрально протилежні поздовжні пази циліндричного каркаса з діелектричного матеріалу. На рис. 7.7 зображено схему виконання обмотки системи магнітного відхилення. Для прикладу показано тільки два повних витки ( $n=2$ ) і стрілками позначено напрямки струмів у кожній ділянці



**Рис. 7.7.** (а) Система пластин додаткового конденсатора. (б) Схема виконання обмотки системи магнітного відхилення ( $n=2$ )

витків обмотки. Магнітне поле, створене струмом у поздовжніх ділянках обмотки, сумується за принципом суперпозиції і в приосьовій області електронно-променевої трубки направлене перпендикулярно до площини обмотки. А поля струмів у торцевих ділянках обмотки компенсуються завдяки як розміщенню (з обох боків каркаса), так і напрямку в них струмів (див. рис. 7.7 б). Довжина поздовжніх ділянок обмотки однакова з довжиною відхиляючих пластин 3. Зауважимо, що використання двох діаметрально протилежно розміщених ділянок обмотки забезпечує, крім того, велику однорідність магнітного поля в приосьовій області електронно-променевої трубки відхиляючої системи.

Струм  $I$  у системі магнітного відхилення створюється з допомогою джерела 8 і вимірюється амперметром.

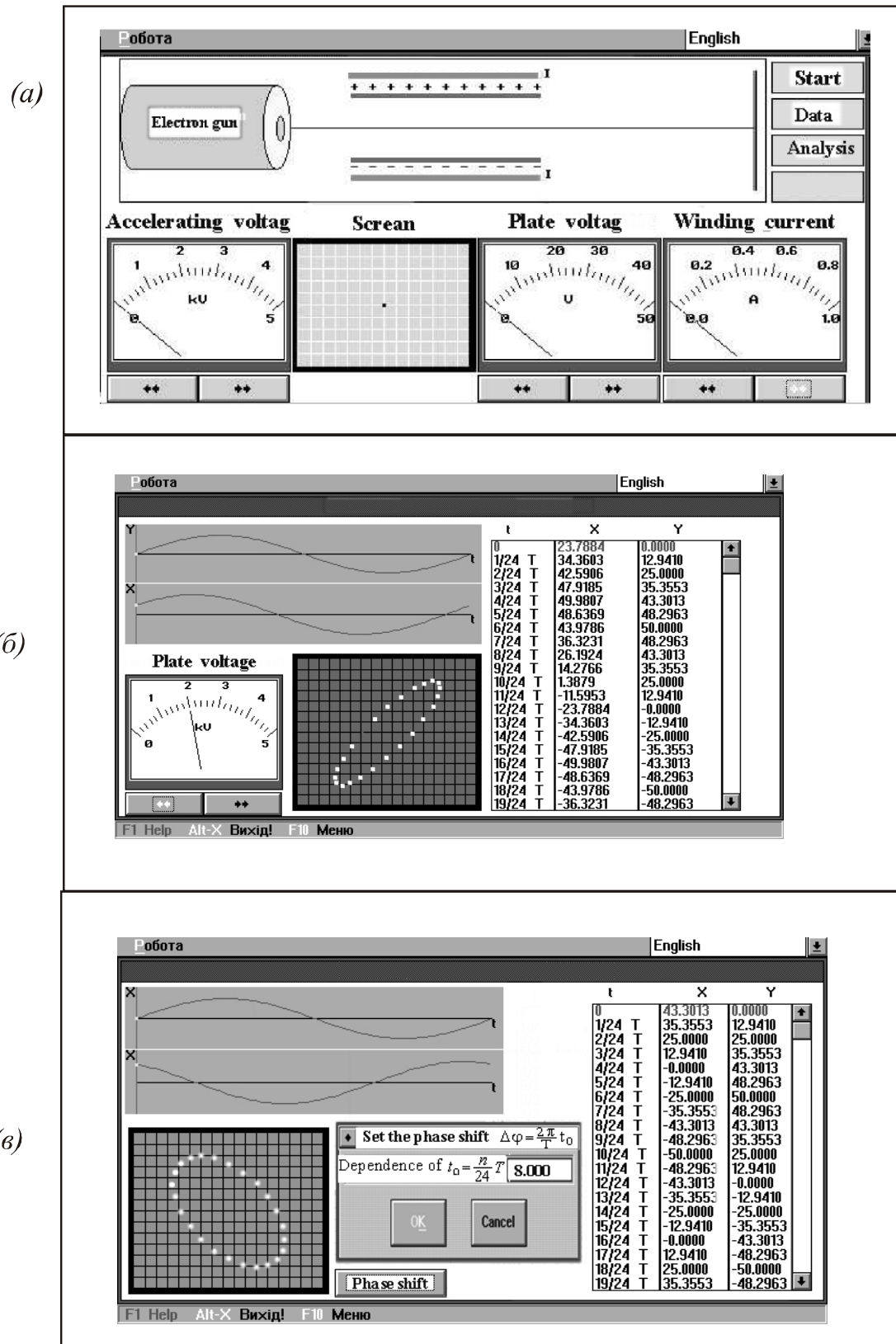
Контактні реле  $P_1$  та  $P_2$  призначені для періодичного закорочування відхиляючих пластин 3 і еталонного конденсатора, що усуває електростатичну зарядку відхиляючих пластин у процесі роботи приладу, яка може спотворювати результати вимірювань. Живлення обмотки реле здійснює генератор імпульсів 9, який виробляє однополярні імпульси струму, типу “*Меандр*”, з частотою у декілька десятків герц. Крім того, це забезпечує розгортку електронного пучка на екрані електронно-променевої трубки у відрізок.

Прилад забезпечує два режими роботи. Перший – це дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях. У цьому режимі високочастотний генератор 7 вимикається, а вмикається генератор імпульсів 9. Поля створюються системами 3 та 5, відповідно – електростатичного та магнітного відхилень.

Другий – визначення швидкості руху електронів. Генератор імпульсів 9 вимикається, а плоско паралельні відхиляючі пластини 3 закорочуються контактами реле  $P_1$ . Тоді забезпечується подача на пластини горизонтального та вертикального відхилення, які розміщені перед та позаду пластин 3, високочастотного сигналу від генератора 7.

#### *Комп'ютерна модельна установка*

Нами розроблено три віртуальні комп'ютерні установки, загальний вигляд яких подано на рис. 7.8 *а*, *б* і *в*. На них можна реалізувати три віртуальні експерименти. Перший і другий – аналоги реальних навчальних досліджень.



**Рис. 7.8.** Модельна комп'ютерна установка, яка забезпечує:  
 (а) дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях;  
 (б) знаходження швидкості руху електронів; (в) дослідження складання  
 взаємно перпендикулярних гармонічних коливань



*Перший експеримент.* Його реалізують на установці, поданій на рис. 7.8 а. Він стосується дослідження руху електронів у полях, створених плоско паралельними відхиляючими пластинами та провідником зі струмом. Дає можливість знаходити швидкість  $v$  руху електронів, швидкість світла  $c$  та величину питомого заряду електрона  $\frac{e}{m}$ .

*Другий експеримент.* Установа для його реалізації, подана на рис. 7.8 б, дає змогу знаходити швидкість  $v$  руху електронів, досліджуючи його у взаємно перпендикулярних високочастотних полях вертикально і горизонтально відхиляючих пластин (реальний аналог див. пластини 4 на рис. 7.6).

Ці два віртуальні експерименти мають важливе значення. Вони сприяють унаочненню реальних навчальних експериментів. Полегшують студентам ознайомлення з порядком проведення реального експерименту, розуміння його основних ідей, що веде до набуття ними певних експериментаторських навиків. Їх можна здійснювати під час проведення практичних занять.

Зауважимо, що навіть без реальної установки, комп'ютерні аналоги дають змогу повністю відтворити і зрозуміти суть експериментальних досліджень технології навчання теми “Релятивізм магнетизму”.

*Третій експеримент:* “Складання взаємно перпендикулярних гармонічних коливань”. Його забезпечує установка, загальний вигляд якої подано на рис. 7.8 в. Вона не має реального аналогу. Експеримент сприяє підготовці до лабораторних досліджень і має самостійне значення.

Задають зсув фаз між двома взаємно перпендикулярними коливаннями кратний  $\frac{T}{24}$  (де  $T$  – період коливань). Коливання візуалізуються (див. верхній лівий кут рис. 7.8 в). Результат додавання подають у нижньому лівому куті цього ж рисунка.

#### 7.4. Приклади нових навчальних експериментів

Навчальні лабораторні експерименти стосуються пошуку величин двох фундаментальних фізичних сталих – швидкості світла  $c$  та питомого заряду електрона  $\frac{e}{m}$ .

З одного боку, щоб знайти за формулою (7.22) величину швидкості світла  $c$ , потрібно знати швидкість  $v$  руху електронів. У цьому випадку для визначення швидкості світла можна скористатися тим, що швидкість руху електронів задає величина прискорювальної напруги  $U_{np}$

$$\frac{mv^2}{2} = eU_{np}. \quad (7.23)$$

З другого, – співвідношення (7.23) є основним для знаходження величини питомого заряду електрона  $\frac{e}{m}$ . Отже, у цьому випадку його не можна використовувати для знаходження швидкості  $v$  руху електронів. Тому необхідно вміти знаходити цю швидкість за допомогою співвідношень, які явно не пов'язані зі прискорювальною напругою.

Зважаючи на подане, ми починаємо розгляд експериментів з Лабораторної роботи 1, у якій знаходження швидкості руху електронів ґрунтується на прямому визначенні часу прольоту електронів в електронно-променевої трубці під час їх руху у високочастотних взаємно перпендикулярних електричних полях. Тоді, скориставшись отриманим значенням  $v$  та формулою (7.23), можна знайти питомий заряд електрона.

У лабораторних експериментах 2 та 3 ми досліджуємо рух електрона в полях, створених плоско паралельним конденсатором і провідником зі струмом та інтерпретуємо з позицій двох різних концепцій:

– у лабораторному експерименті 2 – з позицій взаємозв'язку магнетизму з релятивізмом, що дає змогу вийти на знаходження швидкості світла  $c$ ;

– у лабораторному експерименті 3 – з традиційної концепції магнітного поля, що дає можливість, незалежним від прискорювальної напруги способом, знайти швидкість  $v$ , а тоді, скориставшись формулою (7.23), знайти величину питомого заряду електрона.

### Лабораторна робота 1

#### *ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ЕЛЕКТРОНІВ*

*Мета роботи:* на основі досліджень руху електрона у двох рознесених у просторі взаємно перпендикулярних високочастотних електричних полях визначити його швидкість.

#### *Завдання та результати експерименту*

Дослідження проводять на установці, що подана на рис. 7.5 та на її комп'ютерному модельному аналізі (рис. 7.8 б). Вивчають рух електронів у спеціальній електронно-променевої трубки, прикладаючи до пластин вертикального та горизонтального відхилення 4, що розміщені на відстані  $\Delta L = 10$  см одна від одної, синусоїдальну високочастотну напругу:

$$U = U_m \sin \omega t, \quad (7.24)$$

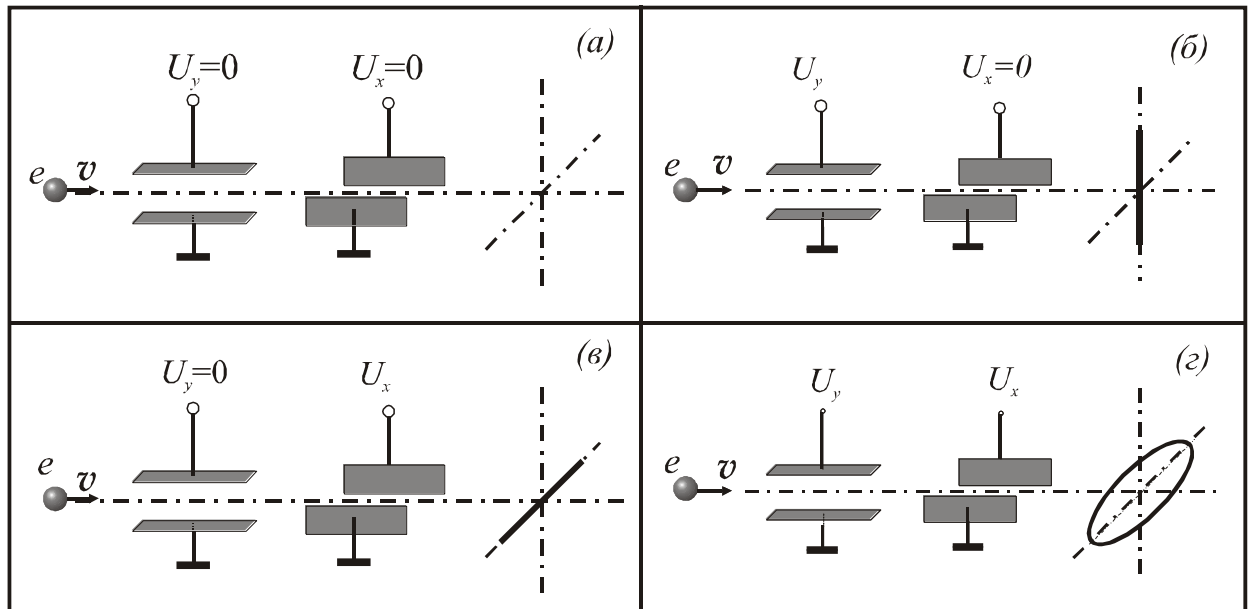
де  $\omega = 2\pi\nu$  ( $\nu = 10\,624\,000$  Гц).

На екрані електронно-променевої трубки приладу отримують еліпс. Його вигляд залежить від величини прискорювальної напруги.

На рис. 7.8 б подано результат віртуального експерименту, який отримують з допомогою відповідної комп'ютерної модельної установки.

Аналіз результатів експерименту

Якщо пучок електронів, що рухається з постійною швидкістю  $v$ , пролітає вздовж незаряджених вертикально та горизонтально відхиляючих пластин, то він потрапить у центр екрана (рис. 7.9 а).



**Рис. 7.9.** (а) Пучок електронів пролітає уздовж незаряджених пластин. (б) Високочастотна напруга вертикально відхиляючих пластин розгортає електронний промінь у вертикальну лінію. (в) Електронний промінь розгорнутий високочастотною напругою горизонтально відхиляючих пластин. (г) Електронний промінь описує еліпс на екрані електронно-променевої трубки

Прикладена до пари вертикально відхиляючих пластин високочастотна напруга  $U$  розвертатиме електронний пучок на екрані у вертикальній площині (рис. 7.9 б). При цьому

$$y = y_m \sin \omega t . \quad (7.25)$$

Якщо напруга вертикально відхиляючих пластин – нуль, то прикладена до горизонтально відхиляючих пластин напруга розверне пучок у

горизонтальній площині у лінію (рис. 7.9 в). При цьому координата  $x$  коливатиметься за законом

$$x = x_m \sin \omega t . \quad (7.26)$$

Нехай тепер синусоїдальну напругу одночасно прикладено на обидві пари пластин:

$$U_y = U_m \sin \omega t , \quad (7.27)$$

$$U_x = U_m \sin \omega t .$$

Відлік часу  $t$  проведемо з моменту, коли фронт пучка електронів досягне вертикально відхиляючих пластин. Через те, що напруга на пластинах коливається за гармонічним законом (7.27), за таким же законом почнуть коливатися у вертикальній площині електрони пучка (7.25).

У момент часу  $t = 0$  між горизонтально відхиляючими пластинами пучка ще немає. Щоб долетіти до них, електронам потрібен час:

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{v} . \quad (7.28)$$

Через цей проміжок часу напруга горизонтально відхиляючих пластин стане:

$$U = U_m \sin \omega(t + \Delta t) . \quad (7.29)$$

Тому по горизонталі електрони пучка коливатимуться за законом:

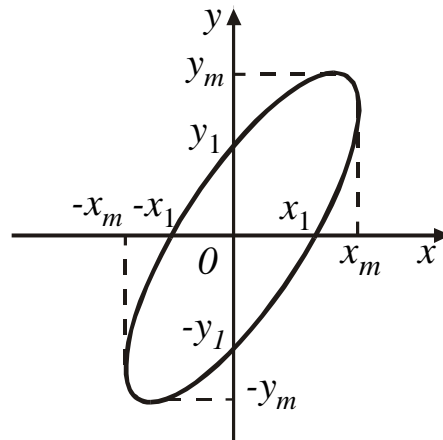
$$x = x_m \sin \omega(t + \Delta t) . \quad (7.30)$$

Слід пучка на екрані тепер буде результатом накладання двох взаємно перпендикулярних коливань (7.25) та (7.30). За час, що дорівнює періоду коливань  $T$ , промінь на екрані електронно-променевої трубки опише еліпс (рис. 7.9 з), рівняння якого матиме вигляд [206]:

$$\frac{x^2}{x_m^2} + \frac{y^2}{y_m^2} - \frac{2xy}{x_m y_m} \cos \omega \Delta t = \sin^2 \omega \Delta t . \quad (7.31)$$

### Знаходження швидкості електронів

Зобразимо отриманий еліпс (рис. 7.9 з) окремо (рис. 7.9) та застосуємо рівняння (7.31) для знаходження  $\Delta t$ .



**Рис. 7.10.** Аналіз еліпса дає змогу вийти на знаходження часу прольоту  $\Delta t$  відстані  $\Delta L$

Якщо електрони пройшли між вертикальними відхиляючими пластинами при  $U_y = 0$ , то вони не будуть мати вертикального відхилення ( $y = 0$ ). Їх горизонтальне відхилення  $x_1$  дорівнюватиме:

$$x_1 = \pm x_m \sin \omega \Delta t .$$

Аналогічно, вертикальне відхилення становить

$$y_1 = \pm y_m \sin \omega \Delta t .$$

у момент часу, коли напруга на горизонтально відхиляючих пластинах дорівнює нулю.

Значення  $\sin \omega \Delta t$  знаходимо як відношення віддалі  $x_1$  та  $y_1$  точок, у яких крива перетинає вісь  $x$  або  $y$ , до значення їх максимальних відхилень, відповідно,  $x_m$  та  $y_m$  (рис. 7.10):

$$\sin \omega \Delta t = \frac{x_1}{x_m} = \frac{y_1}{y_m} . \quad (7.32)$$

Звідки:

$$\Delta t = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{x_1}{x_m} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{y_1}{y_m} . \quad (7.33)$$

Отже, аналізуючи еліпс, можна знайти різницю фаз  $\omega\Delta t$ , де  $\Delta t$  є часом прольоту електрона між двома парами пластин 4.

Згідно з співвідношенням (7.28), швидкість руху електронів буде дорівнювати:

$$v = \frac{\omega\Delta L}{\arcsin \frac{x_1}{x_m}} = \frac{\omega\Delta L}{\arcsin \frac{y_1}{y_m}}. \quad (7.34)$$

## Лабораторна робота 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА

*Мета роботи:* на основі вивчення руху електронів у взаємно паралельних електричних полях, знайти швидкість світла  $c$ .

Дослідження проводять на реальній навчальній установці (рис. 7.5) та на її аналозі – модельній комп'ютерній установці (рис. 7.8 а). Комп'ютерний аналог дає змогу повністю відтворити експериментальне дослідження.

#### *Основні ідеї експерименту*

Пучок електронів, прискорений різницею потенціалів  $U_{np}$  до швидкості  $v$ , влітає у простір між плоско паралельними відхиляючими пластинами вздовж осі  $x$ , тобто паралельно до пластин та ще двох груп паралельних провідників, що симетрично розміщені над зовнішніми сторонами пластин. У кожену групу провідників входить по  $n = 20$  провідників. Довжина провідника дорівнює довжині відхиляючих пластин (рис. 7.6).

До пластин прикладають різницю потенціалів  $U_k$ , а через верхню та нижню групу провідників пропускають струми у протилежних напрямках. Через кожний провідник протікає струм  $I_0$ .

Під час руху електрона паралельно до провідника та пластин конденсатора на нього будуть діяти дві електричні сили (рис. 7.11).

Одна сила діє з боку заряджених плоско паралельних горизонтальних пластин (рис. 7.11 а), яку визначається рівнянням

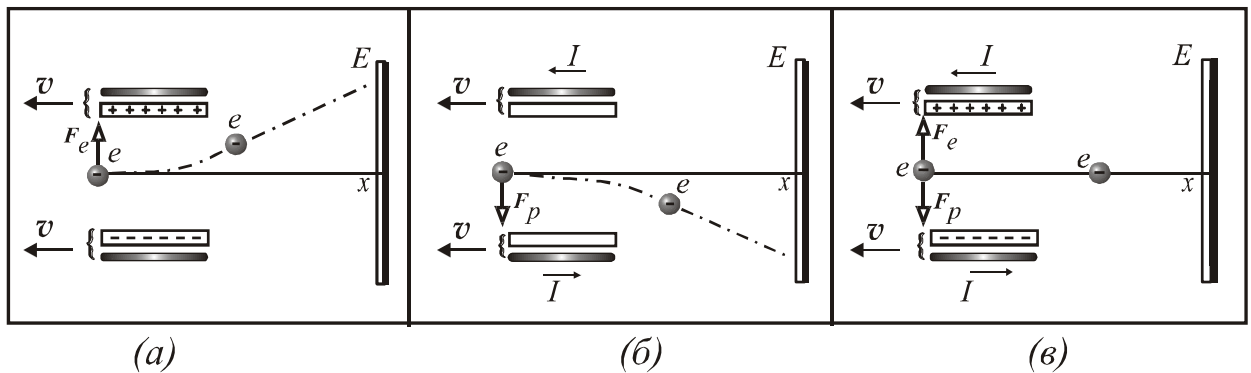
$$F_e = \frac{eU_k}{d}, \quad (7.35)$$

де  $U_k$  та  $d$  – відповідно напруга та відстань між пластинами.

Інша – з боку провідників зі струмом (рис. 7.11 б), яку описує рівняння (7.22):

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{2I}{r} qv,$$

де:  $I$  – сумарний струм двох груп провідників,  $r = \frac{D}{2}$  – відстань від провідників до осі.



**Рис. 7.11.** Ілюстрація основних ідей експерименту: (а) на електрон діє сила з боку пластин; (б) на електрон діє сила з боку провідника зі струмом; (в) сили діють одночасно

Підбираючи значення сили струму  $I$  у провідниках та напруги  $U_k$  на пластинах, можна зрівноважити дію цих сил на електрон (рис. 7.11 в), тобто:

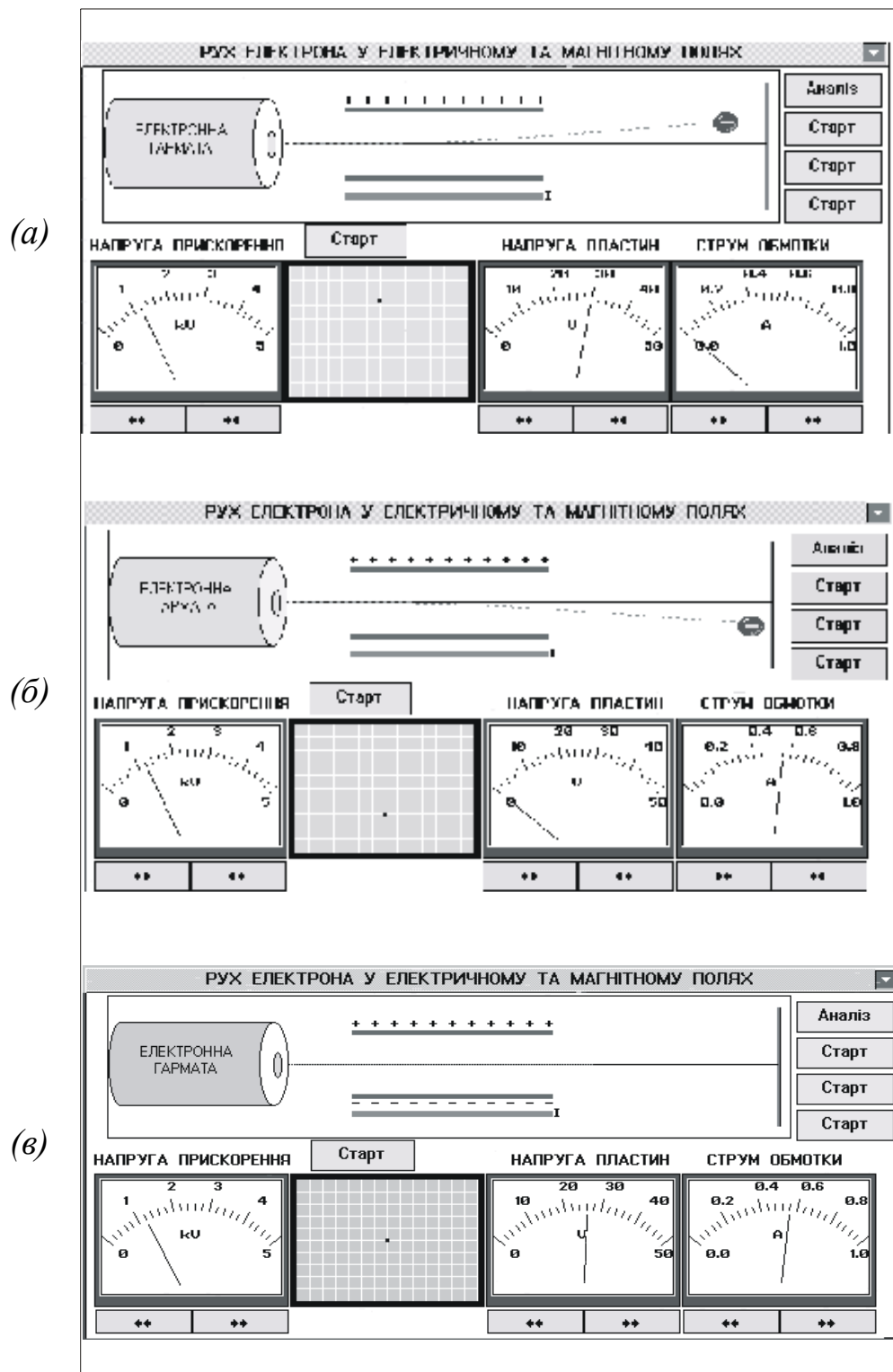
$$\frac{eU_k}{d} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{2I}{r} ev. \quad (7.36)$$

Звідки швидкість світла  $c$ :

$$c = \sqrt{\frac{2I}{4\pi\epsilon_0 r U_k} \frac{vd}{e}}. \quad (7.37)$$



Динаміка ходу дослідження для знаходження швидкості світла зображена на рис. 7.12.



**Рис. 7.12.** Динаміка ходу дослідження для знаходження швидкості світла: (а) електрон відхиляється електричним полем; (б) електрон відхиляється полем провідника зі струмом; (в) дії на електрон електричного поля та поля провідника компенсують одна одну

## Лабораторна робота 3

## ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА

*Мета роботи:* на основі досліджень руху електронів у взаємно перпендикулярних електричному та магнітному полях знайти питомий заряд електрона.

*Основні ідеї експерименту*

Дослідження проводять на реальній навчальній установці (рис. 7.5) та з допомогою її аналога – модельної комп'ютерної установки (рис. 7.8 а).

З рівняння (7.23), що випливає із закону збереження і перетворення енергії, можна знайти вираз для знаходження питомого заряду електрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{v^2}{2U_{np}}. \quad (7.38)$$

Як ми вже зауважували, скористатися цим виразом для визначення питомого заряду електрона можна у тому разі, коли швидкість електрона  $v$  знайдено методом, що не пов'язаний з величинами залежними від прискорювальної напруги  $U_{np}$ .

Нагадаємо, що у лабораторній роботі 1 ми знаходили швидкість  $v$  електронів на основі дослідження їх руху у високочастотних електричних полях. Зараз ми пропонуємо це зробити на основі дослідження руху електронів у взаємно перпендикулярних електричному та магнітному полях.

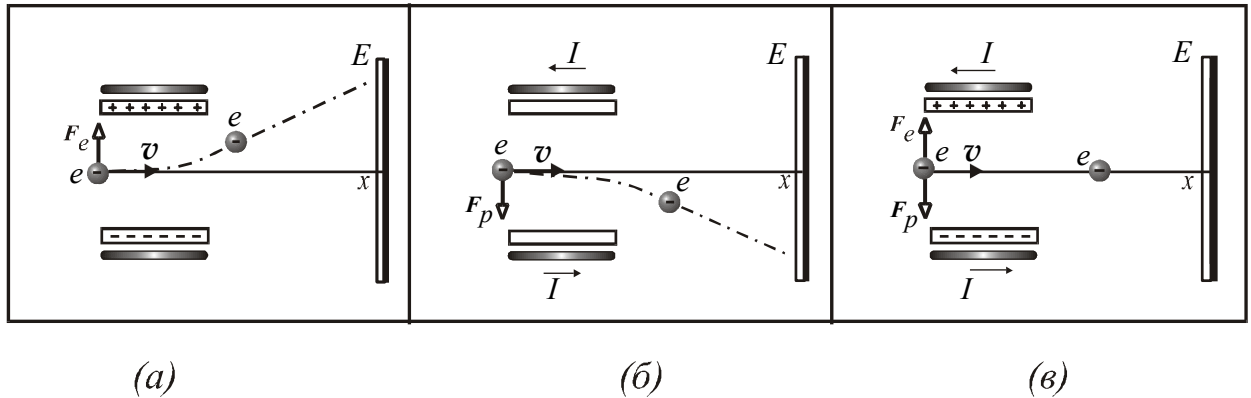
Так, якщо в області відхиляючих пластин одночасно існують взаємно перпендикулярні електричне та магнітне поле (рис. 7.13 в), то під час руху електрона паралельно до провідника та пластин конденсатора, на нього будуть діяти дві сили: – магнітна, яка має вигляд (7.3)

$$F_m = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r} ev,$$

електрична, яку можна записати як (7.5):

$$F_e = \frac{eU_k}{d},$$

де  $U_k$  та  $d$  – відповідно напруга та відстань між пластинами конденсатора.



**Рис. 7.13.** Електрон у взаємно перпендикулярних електричному (а) та магнітному (б) полях; (в) дія сил компенсує одна одну

Окремо дію кожної з них показано на рис. 7.13 а і б. Підбираючи значення сили струму  $I$  у провіднику й напруги  $U_k$ , можна досягнути компенсації дії цих сил на електрон (рис. 7.13 в), тобто:

$$\frac{eU_k}{d} = \frac{\mu\mu_0 d I}{2\pi r} ev. \quad (7.39)$$

Звідси швидкість  $v$  руху електрона:

$$v = \frac{2\pi r U_k}{\mu\mu_0 d I}. \quad (7.40)$$

Порядок проведення експерименту аналогічний наведеному в лабораторній роботі 2.

## 7.5. Методичне опрацювання практичних занять

Завданням практичних занять є вивчення закономірностей руху електрона в електричному та магнітному полях.

Тут досліджують рух електрона:

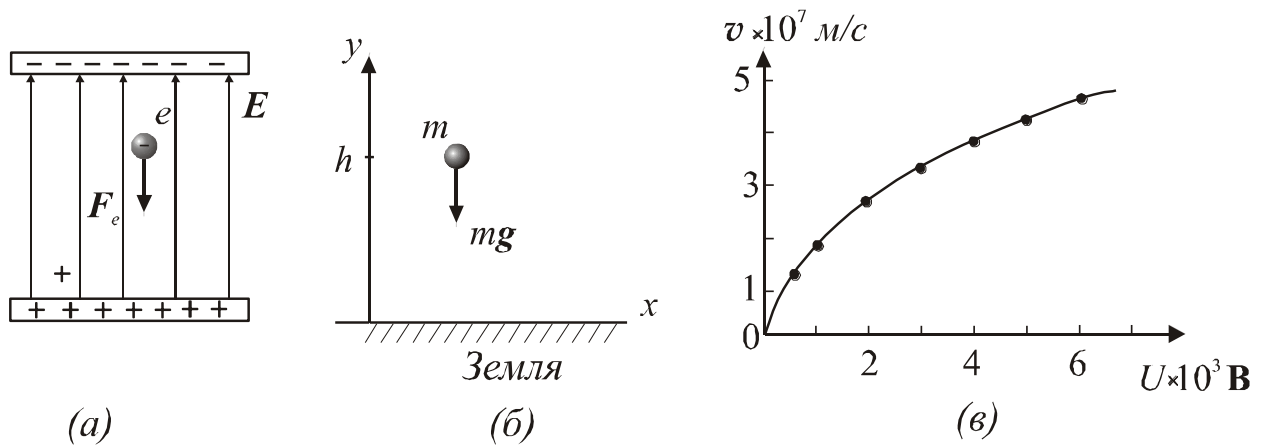
- в поздовжньому та поперечному електричному полях;
- уздовж провідника зі струмом;
- у високочастотному електричному полі;
- у взаємно перпендикулярних високочастотних електричних полях.

Це сприятиме засвоєнню основних понять електромагнетизму, дасть змогу згодом усвідомити запропоновані нами підходи до одного із можливих способів експериментального підтвердження релятивізму магнетизму в лабораторному практикумі.

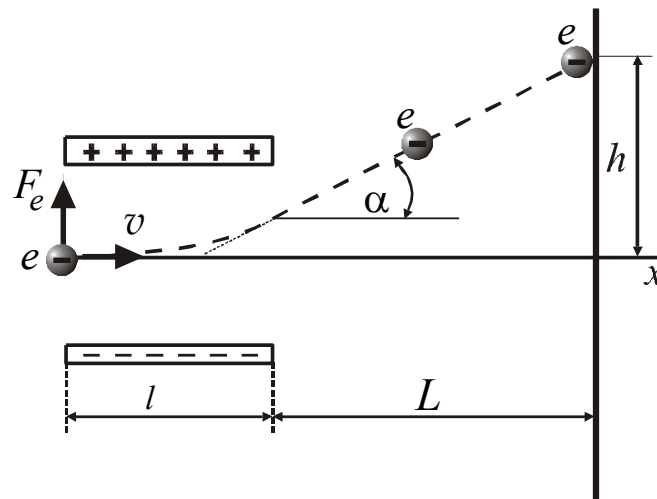
Для прикладу подаємо кілька задач.

1. Із від'ємно зарядженої пластини плоского конденсатора внаслідок термоемісії вилітають електрони. Їх початкова швидкість  $v_0$ , що у випадку *a*) дорівнює нулю (рис. 7.14 *a*), а у випадку *б*) дорівнює 1000 м/с і становить  $60^\circ$  до площини обкладки. Пластини знаходяться на відстані  $d=4$  см одна від одної. Різницю потенціалів  $U_{np}$  між ними можна змінювати у проміжку  $[0; 4]$  кВ. Проаналізуйте рух електрона в поздовжньому електричному полі конденсатора та побудуйте графік залежності швидкості  $v$  електрона від величини прискорювальної напруги  $U_{np}$  ( $v = f(U_{np})$ ).

2. Електрон з енергією  $W=2$  кеВ влітає у плоский конденсатор паралельно до його обкладок (уздовж осі  $Ox$ ) (рис. 7.15). Довжина пластин конденсатора  $l = 8$  см, відстань між ними  $d = 1$  см. Відстань  $L$  від пластин до екрана становить 24 см. До пластин конденсатора прикладена напруга  $U_k = 50$  В. Знайти величину сили, під дією якої відбувається відхилення електрона в поперечному електростатичному полі та оцінити величину відхилення.



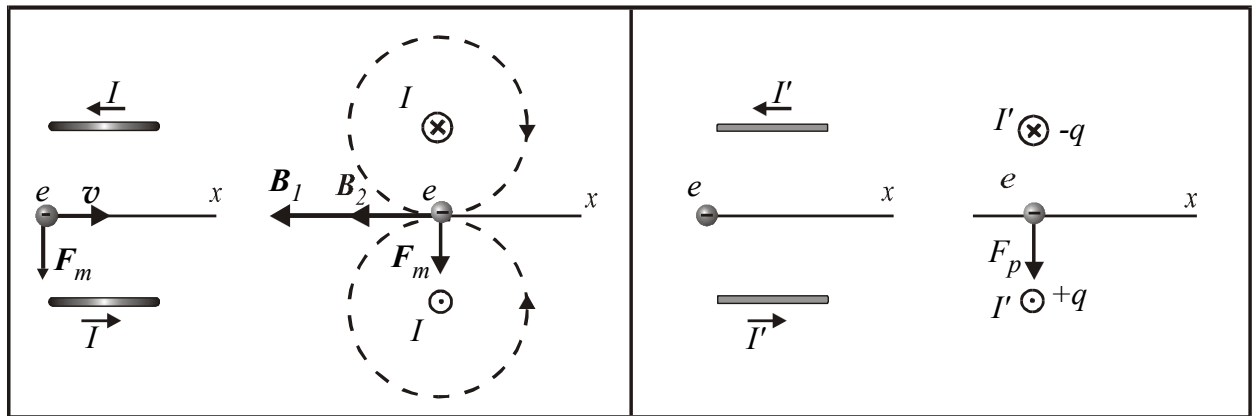
**Рис. 7.14.** (а) Електрон у поздовжньому електростатичному полі. (б) Тіло масою  $m$ , що вільно падає у гравітаційному полі Землі. (в) Графік залежності  $v$  від  $U_{np}$



**Рис. 7.15.** Рух електрона в поперечному електричному полі

3. Електрон рухається уздовж осі симетрії двох паралельних провідників (рис. 7.16). Відстань між провідниками  $D = 53$  мм. Знайти значення сили, що буде діяти на електрон, якщо по провідниках течуть у протилежних напрямках однакові за величиною струми  $I = 0,27$  А.

4. Уявіть, що нерухомий електрон знаходиться у центрі між вертикально відхиляючими пластинами плоского конденсатора (рис. 7.17 а), до яких прикладають синусоїдальну високочастотну напругу (7.24)  $U = U_m \sin \omega t$ , де  $\omega = 2\pi\nu$  ( $\nu = 10\,624\,000$  Гц),  $U_m = 50$  В.



(a)

(б)

**Рис. 7.16.** (а) Електрон рухається уздовж осі симетрії двох паралельних провідників, з якими пов'язана система координат  $K$ . (б) Лінії магнітної індукції, що створені струмами в провідниках (вигляд з торця). (в) У системі координат  $K$ , що пов'язана з електроном, рухаються провідники

Знайдіть рівняння руху електрона у синусоїдальному височастотному полі плоского конденсатора та вирахуйте амплітуду коливань.

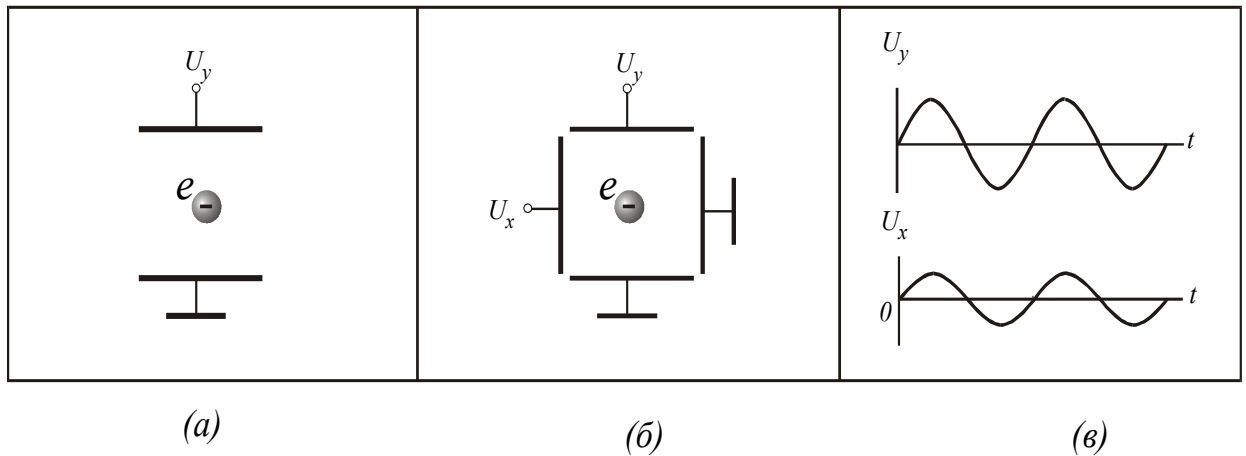
5. Нерухомий електрон (рис. 7.17 б) знаходиться між вертикально та горизонтально відхиляючими пластинами двох плоских конденсаторів. Напруга на обох конденсаторах змінюється за законом:

$$U_y = U_m \sin \omega t ,$$

$$U_x = U_m \sin \omega(t + \Delta t) .$$

Знайти вираз, що описує траєкторію руху електрона та розглянути випадки:  $\Delta t = 0$ ;  $\Delta t = \frac{T}{2}$ ;  $\Delta t = \frac{T}{4}$ ;  $\Delta t = \frac{T}{6}$ .

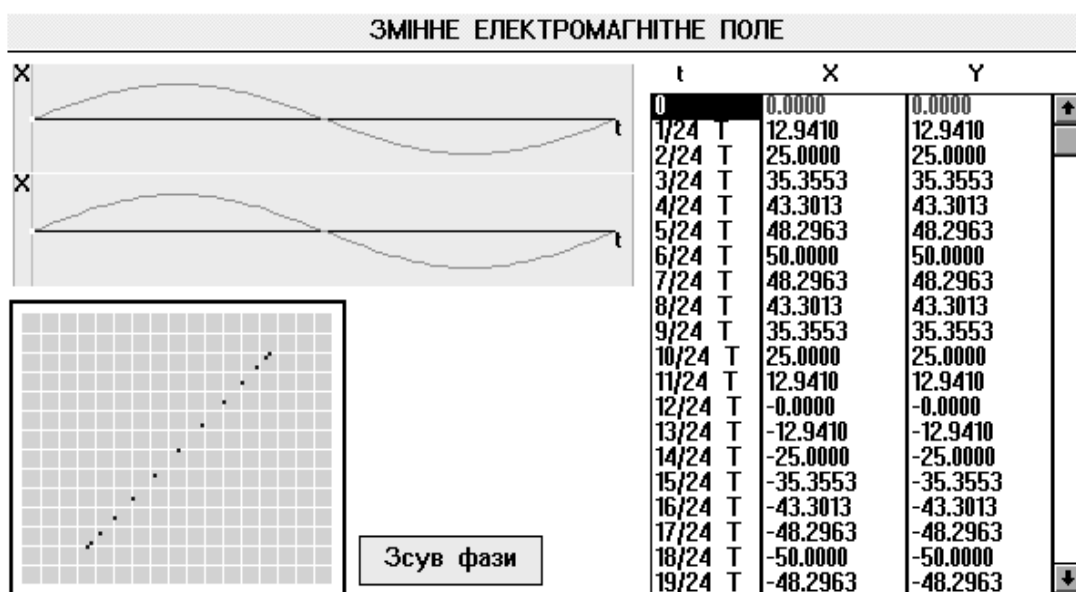
Застосування у практичних заняттях педагогічного програмного продукту технології навчання теми “Релятивізм магнетизму” унаочнює поставлені перед студентами завдання, що полегшує засвоєння матеріалу.



**Рис. 7.17.** (а) Електрон у височастотному полі вертикально відхиляючих пластин. (б) Електрон у взаємно перпендикулярних електричних полях. (в) Коливання напруги на пластинах конденсаторів

Для прикладу наведемо фрагмент програми, що стосується складання взаємно перпендикулярних коливань для випадку  $\Delta t = 0$ .

Наприкінці зауважимо, що запропонована технологія навчання теми “Релятивізм магнетизму” сприяє діяльнісному аспекту вивчення електромагнетизму, що [207] “полягає у розкритті предметних діяльностей з електромагнітним полем у різноманітних випадках і включення їх у навчальний курс як елементи змісту освіти”.



**Рис. 7.18.** Форма траєкторії електрона: для  $\Delta t = 0$  описує пряму

Важливо, що крім активного використання уявлень і понять апарату електромагнітної теорії Максвелла, додається використання уявлень і понять апарату спеціальної теорії відносності Ейнштейна.

### **Висновки до розділу 7**

1. Уперше розроблений спосіб та спроектований і виготовлений навчальний прилад (захищений двома авторськими свідоцтвами на винаходи) для дослідження руху електронів уздовж пластин зарядженого плоского конденсатора та прямого провідника зі струмом.

2. Розроблено низку інноваційних експериментальних завдань, які можна виконувати на ньому, та створено їх віртуальний аналог:

“Рух електронів в електричному та магнітному полях”;

“Високочастотні коливання напруги та швидкість руху електрона”;

“Накладання взаємно перпендикулярних гармонічних коливань”.

3. Розроблено засади побудови технології навчання комплексної теми “Релятивізм магнетизму”, в якій лекція, практичні та лабораторні заняття постають в єдиному навчальному руслі. У ній пізнання змісту теми досягається у процесі організації діяльнісного підходу, спрямованого на сприйняття та усвідомлення взаємозв'язків між поняттями, теоріями і законами електромагнетизму та спеціальної теорії відносності Ейнштейна і фізики коливань.

Це дає змогу для розв'язання проблемної ситуації, яка виникає під час аналізу результатів дослідження руху електронів вздовж провідника зі струмом, застосовувати положення спеціальної теорії відносності Ейнштейна та переконуватись у тому, що рівняння магнетизму впливають із рівнянь електростатики і цієї теорії.



## РОЗДІЛ 8

### НАУКОВІСТЬ, НАОЧНІСТЬ, НАСТУПНІСТЬ ТА ПРОБЛЕМНИЙ ПІДХІД – ЗАСАДИ ПЕРЕХОДУ ВІД КОНЦЕПЦІЙ КЛАСИЧНОЇ ФІЗИКИ ДО СУЧАСНОЇ

Цей розділ присвячено непростому як для викладання, так і для засвоєння студентами, підрозділу атомної фізики “Квантова механіка”. На нашу думку, технологія навчання цієї ділянки фізики вимагає істотних нововведень. Зміни в суспільстві, технології та фізиці як науці визначають створення адекватних соціально-педагогічних умов. Все гостріше постає проблема осмисленого реформування, проектування і впровадження нових моделей викладання цього розділу фізики. В цьому аспекті актуальним є завдання з відбору для розробок такого навчального матеріалу, зміст якого насамперед спрямований на засвоєння основних базових світоглядних положень фізики.

#### 8.1. Шлях удосконалення

##### *З проблеми наукової – у навчальну проблемну ситуацію*

Наші дослідження процесу навчання підрозділу атомної фізики “Квантова механіка” вказують, що йому властиві певні недоліки, що не сприяє усвідомленню студентом як досить непростих квантово-механічних принципів та положень, так і розуміння єдності цього розділу з іншими розділами фізики.

Ми переконались, що один із шляхів удосконалення його вивчення полягає у впровадженні в навчальний процес загальної фізики лабораторних досліджень, пов’язаних з квантовою механікою, у яких би:

- пояснення результатів досліджень вимагало застосування важливих понять і принципів квантової механіки;
- використовувались сучасні технічні засоби вимірювання, автоматизації та візуалізації експерименту.

Тоді намагались побудувати структуру навчання так, щоб спочатку у студентів формувалася фундамент і каркас фізичних знань. Дати їм можливість, не відволікаючись на дрібниці, зрозуміти та засвоїти основні важливі квантово-механічні поняття, їх місце та роль у системі фізичних знань.

Такий підхід розроблено та реалізовано нами у відповідній технології навчання комплексної теми “Електрон-хвиля та атоми аргону і криптону” [155, 208]. В її основі просте експериментальне дослідження руху електронів у поздовжньому електричному полі (0-10 В), з одного боку, у вакуумі або водні, з другого – у суміші аргону з криптоном. У порівнянні результатів дослідження, пошуку пояснень його особливостей та їх усвідомленні, полягає навчання і засвоєння студентами важливих понять квантової механіки і її взаємозв’язків з іншими розділами фізики.

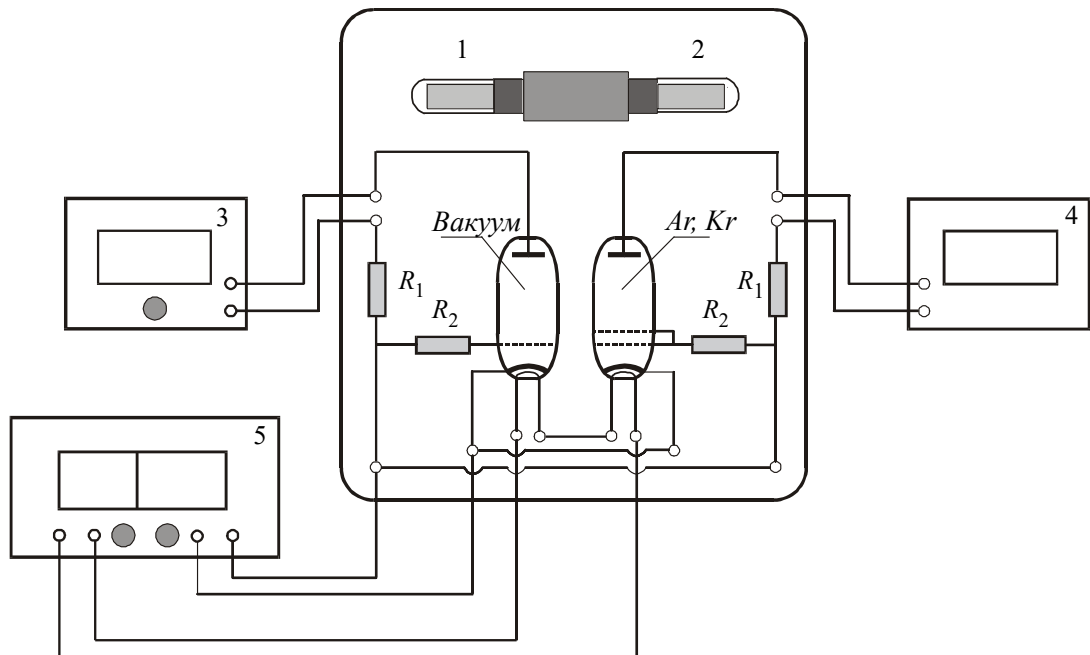
Тут, зокрема, важливо, що особливості вольт-амперних характеристик, отриманих в аргоні та криптоні, не можна пояснити, виходячи з класичних міркувань. Це можна здійснити так, як це запропонував зробити Бор для пояснення ефекту Рамзауера [209-213]: врахувавши хвильові властивості електронів та представляючи атоми аргону і криптону у вигляді прямокутної потенціальної ями.

Ефект Рамзауера впродовж довгого часу мав статус наукової проблеми. Щоб зрозуміти це явище, необхідно розглянути спосіб просвітлення оптики, що запропонував український фізик О. Смакула [213, 214]. Залучення студентів до логічного та осмисленого розв’язання цієї проблеми буде “школою” виховання мислення студентів. Тим паче, що наслідки цього ефекту можна легко відобразити в простому навчальному експерименті.

## 8.2. Навчальна лабораторна установка та результати експерименту

### Опис установки

Основним елементом установки є вакуумна лампа 6Н7С та наповнена сумішшю аргону та криптону лампа ТГ1-01-1,3 (тиратрон). На рис. 8.1 схематично показано вигляд передньої панелі блоку установки.



**Рис. 8.1.** Блок-схема установки та її передня панель:

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1 – вакуумна електронна лампа                 | 3, 4 – мікроамперметри;      |
| 2 – лампа, наповнена аргоном<br>та криптоном; | 5 – джерело живлення ВІП-10; |
|   | $R_1, R_2$ – резистори       |

Джерелом електронів в обох лампах є катод непрямого розжарення. Дослідження проводять, задаючи напругу  $U_r$  нитки розжарення катоду ламп у межах 1,5-3 В та змінюючи прискорювальну напругу  $U$  від 0 до 10 В.

Напруга на сітку ламп подається через опір  $R_2 = 100$  Ом, що забезпечує обмеження сіткового струму та зменшує різницю потенціалів між сіткою та анодом. Електрони, випромінені нагрітим катодом, прискорюються постійним електричним полем між катодом та сіткою ламп. Опір  $R_1 = 10$  Ом,

який є в анодному колі, призводить до зменшення потенціалу аноду відносно сітки. Тому між сіткою та анодом електрони рухаються у невеликому затримаючому полі, що дає змогу за зміною величини анодного струму зауважити можливі втрати енергії електроном під час зіткнень з атомами аргону та криптону.

Нами розроблено два режими використання установки: ручний та автоматичний.

У ручному режимі роботи напругу на електроди ламп подають від блоку живлення ВІП-10. Криву залежності анодного струму від напруги знімають по точках, поступово збільшуючи потенціометром прискорювальну напругу і вимірюючи мікроамперметром Ф195 струм в анодному колі.

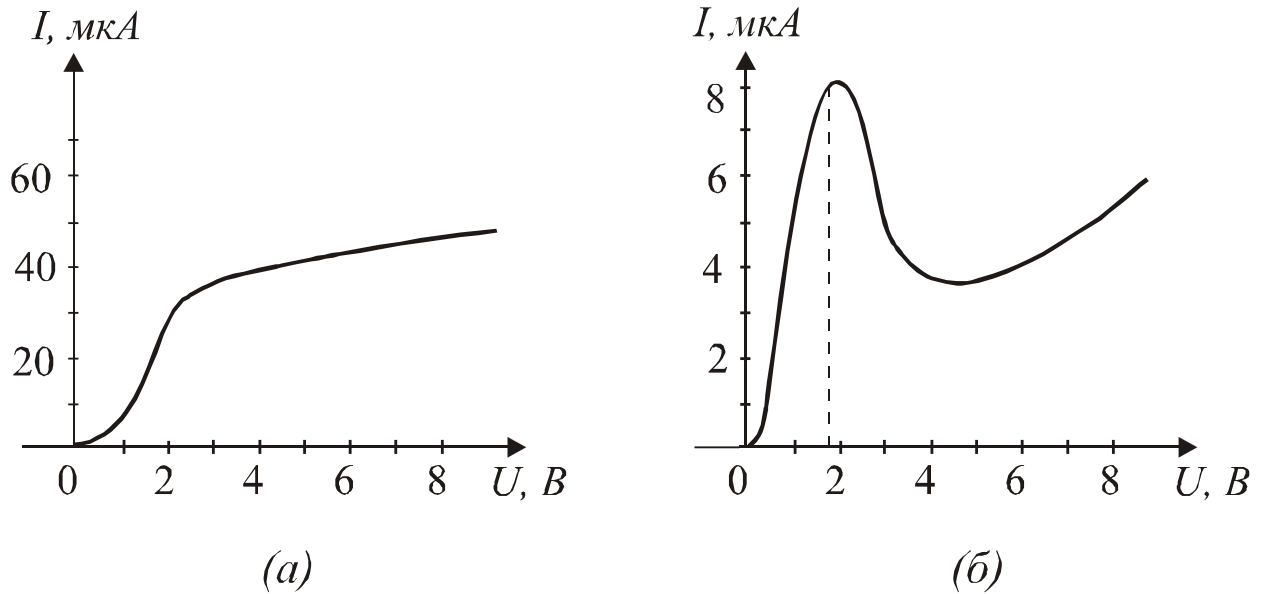
В автоматичному – комп'ютер забезпечує живлення, установки та візуалізацію експерименту. Для спряження установки з комп'ютером розроблено уніфікований інтерфейс на базі мікроконтролерів фірми “Microchip”.

### *Результати експерименту*

На рис. 8.2 представлено типові результати досліджень залежності струму  $I$  в лампах від величини анодної напруги  $U$  (напруга розжарення катода ламп  $U_r = 2$  В).

З одного боку, крива на рис. 8.2 *а* описує відому в літературі залежність термоелектронного струму від напруги.

З другого – крива на рис. 8.2 *б* – дещо незвична, з огляду на чітко виражений максимум в області 1,8 В. Зауважимо: якщо врахувати контактну різницю потенціалів між електродами лампи, то максимум кривої відповідатиме напрузі 1 В.



**Рис. 8.2.** Залежність струму від анодної напруги: (а) у вакуумній лампі; (б) у лампі з аргоном та криптоном

Причину появи максимуму на вольт-амперній характеристиці цієї лампи не можна пояснити виходячи зі звичних міркувань класичної фізики. Зрозуміло, що на хід кривої повинні впливати зіткнення електронів з атомами  $Ar$  і  $Kr$ , і тому розв'язання цієї проблеми ми почнемо із аналізу зіткнень.

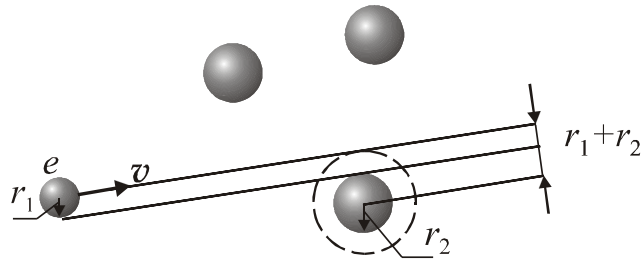
### 8.3. Взаємодія електронів з нейтральними атомами. Ефект Рамзауера

#### *Переріз зіткнення*

Виходячи з суто геометричних уявлень (рис. 8.3), зіткнення відбудеться, коли центри молекули та електрона наблизяться на відстань меншу

$$r = r_1 + r_2,$$

яку називають “ефективним радіусом”, а  $\pi r^2$  – ефективним перерізом зіткнення  $\sigma$ .



**Рис. 8.3.** Електрон зіткнеться з молекулою газу, якщо її центр буде на відстані  $(r_1 + r_2)$  від центру електрона

**Таблиця 8.1**

Радіуси та маси молекул деяких газів та електрона

	Радіус, м	Маса, кг
Водень	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$0,332 \cdot 10^{-26}$
Криптон	$1,98 \cdot 10^{-10}$	$13,8 \cdot 10^{-26}$
Аргон	$1,92 \cdot 10^{-10}$	$6,64 \cdot 10^{-26}$
Електрон	$2,82 \cdot 10^{-15}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$

Враховавши дані таблиці, величина ефективного перерізу зіткнення  $\sigma$  для електронів, розсіяних на молекулах  $Ar$  і  $Kr$ , у будь-якому разі не повинна бути меншою від

$$\sigma_0 = \pi r^2 = 3,14 \cdot (1,92)^2 \sim 10^{-19} \text{ м}^2.$$

### *Процес зіткнення*

Зіткнувшись з нейтральним атомом, електрон може:

- пружно розсіяти електрон, змінивши напрямок його швидкості і дещо свою енергію;
- перейти в збуджений стан, тобто підняти на більш високий рівень;
- втратити електрон і стати іоном.

Істотне те, що цей максимум на кривій рис. 8.2 б не можна пов'язати ні з непружними зіткненнями (збудженням та іонізацією газу), бо енергія

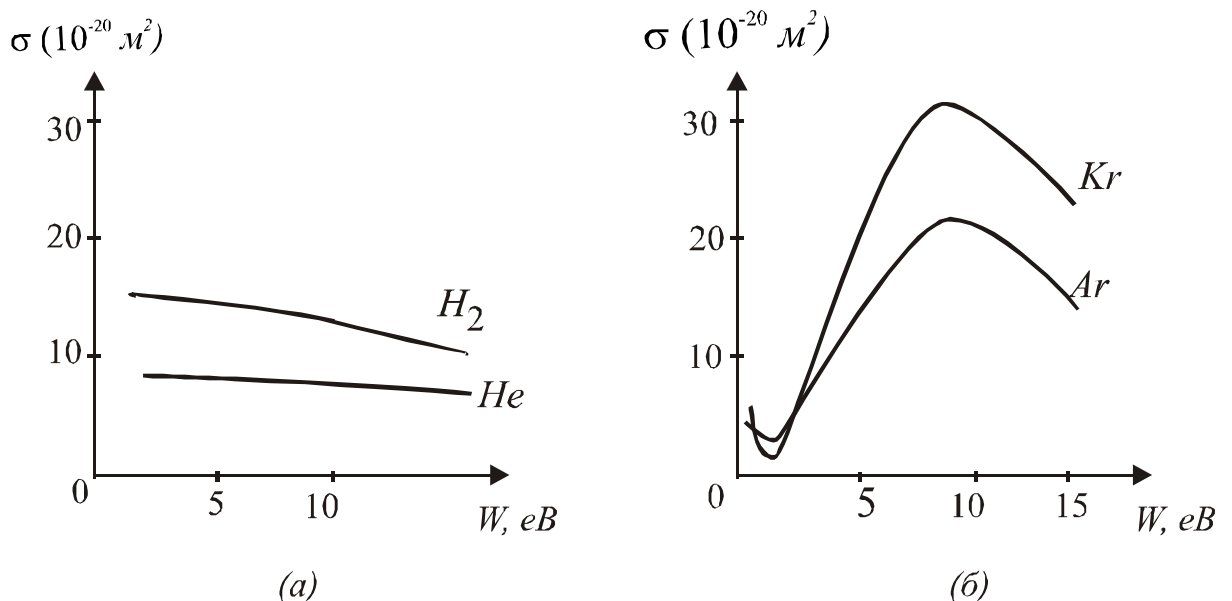
рухомого електрона (до 10 eV) недостатня для цього, ані з пружними зіткненнями, при яких електрони майже не втрачають енергії, через те, що їх маса в тисячі разів менша за масу атомів газу.

Як же пояснити причину появи такого дивного максимуму?

### Ефект Рамзауера

Цікаво, що особливості взаємодії електронів з атомами аргону та криптону спостерігав раніше Рамзауер. У 1921 р., досліджуючи вільний пробіг електронів у різних газах, він виявив надзвичайну прозорість атомів криптону, аргону та ксенону для пучка електронів з енергією, меншою від 1 eV. На кривих залежності ефективного поперечного перерізу зіткнення  $\sigma$  від енергії  $W$  електронів (рис. 8.4) це проявляється в наявності різко вираженого глибокого мінімуму, в якому:

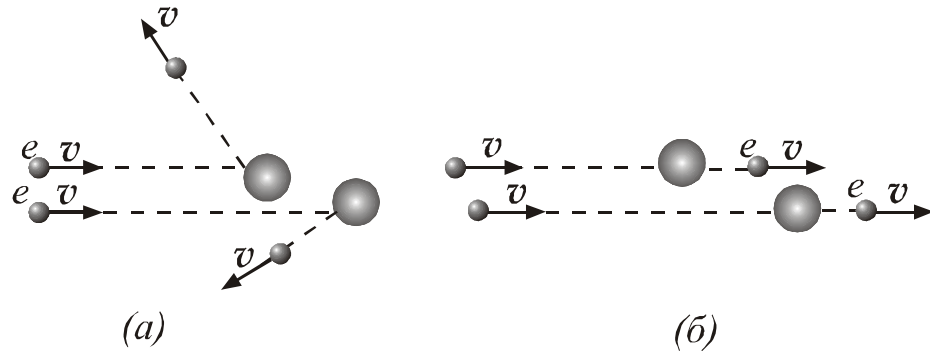
$$\sigma_{min} \sim 10^{-20} \text{ м}^2.$$



**Рис. 8.4.** (а) Ефективний переріз розсіяння для водню та гелію зменшується із ростом енергії. (б) Мінімуми перерізу розсіяння в області 1 eV для криптону та аргону

Це значення  $\sigma$  у 10 разів менше, ніж площа поперечного перерізу атомів  $Ar$  і  $Kr$ . Воно свідчить про те, що електрони з енергією близько 1 еВ проходять через ці атоми, майже не розсіюючись.

Отже, розсіяння електрона атомами цих газів залежить від енергії електрона (див. рис. 8.5).



**Рис. 8.5.** (а) Звичне розсіяння електрона атомом. (б) Проходження електрона через атом  $Ar$  і  $Kr$  ( $W_e = 1$  еВ)

Очевидно, максимум на кривій (рис. 8.2 б) у ділянці 1 еВ можна пов'язати з цією надзвичайною прозорістю  $Ar$  і  $Kr$ .

Які причини такої прозорості?

Ще раз підкреслимо, що пояснити цей ефект у межах класичної механіки неможливо. Це вдалося зробити з допомогою хвильової механіки, згідно з якою електрони, крім корпускулярних властивостей, мають ще хвильові властивості. Це було встановлено на початку 20-х років ХХ ст.

## 8.4. Світлові та електронні хвилі

### *Хвилі де Бройля*

У 1924 р. Луї де Бройль припустив, що всі частинки можна також характеризувати хвильовими властивостями, подібними до хвильових властивостей світла. Він увів кількісне співвідношення між довжиною хвилі  $\lambda$  та імпульсом  $p$  частинки:



$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (8.2)$$

де множник пропорційності  $h$  – це стала Планка.

Формула (8.1) безпосередньо та однозначно пов'язує хвильову характеристику у лівій частині з корпускулярною в правій. В існуванні такого певного взаємозв'язку між корпускулярними та хвильовими характеристиками будь-якої частинки (або хвилі) є суть корпускулярно-хвильового дуалізму. Його фізична інтерпретація полягає у тому, що окрему частинку представляють як хвилю, увівши для цього функцію  $\Psi(x, y, z, t)$ . Її називають хвильовою функцією або псі-функцією. Важливо, що фізичний зміст має тільки квадрат хвильової функції (інтенсивність хвилі). Він дає можливість знайти, з якою імовірністю  $d\omega$  частинка в даний момент часу  $t$  знаходиться в елементі об'єму  $dx dy dz$  простору:

$$d\omega = [\Psi]^2 dx dy dz. \quad (8.3)$$

Зрозуміло, що для одномірних рухів  $\Psi = \Psi(x, t)$ .

#### *Рівняння Шредінгера*

Співвідношення де Бройля (8.2) описує рух вільної частинки. Вона має постійний імпульс, отже і відповідну довжину хвилі та кінетичну енергію:

$$E = \frac{p^2}{2m}. \quad (8.4)$$

Дію сил на частинку можна характеризувати потенціальною енергією взаємодії  $U(x)$ .

Отже повна енергія частинки матиме вигляд:

$$W = \frac{p^2}{2m} + U(x). \quad (8.5)$$

Зміна потенціальної енергії  $U(x)$  буде супроводжуватися зміною імпульсу  $p$  і відповідно зміною довжини хвилі  $\lambda$ , бо повна енергія повинна бути постійною величиною.

Наприклад, зростання потенціальної енергії  $U(x)$  із зміною  $x$  буде супроводжуватись зменшенням імпульсу  $p$  і відповідно збільшенням довжини хвилі  $\lambda$ . Таким чином, хвильовій функції повинна відповідати більша довжина хвилі. Функціонально рух мікрочастинок у силовому потенціальному полі описує диференціальне рівняння:

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2m}{h^2}(W - U)\Psi = 0. \quad (8.6)$$

Це відоме стаціонарне рівняння Шредінгера для одного виміру. Розв'язавши його, можна знайти точний вигляд хвильової функції  $\Psi(x)$ , котра несе всю інформацію про положення частинки в просторі.

#### *Пропозиція Бора*

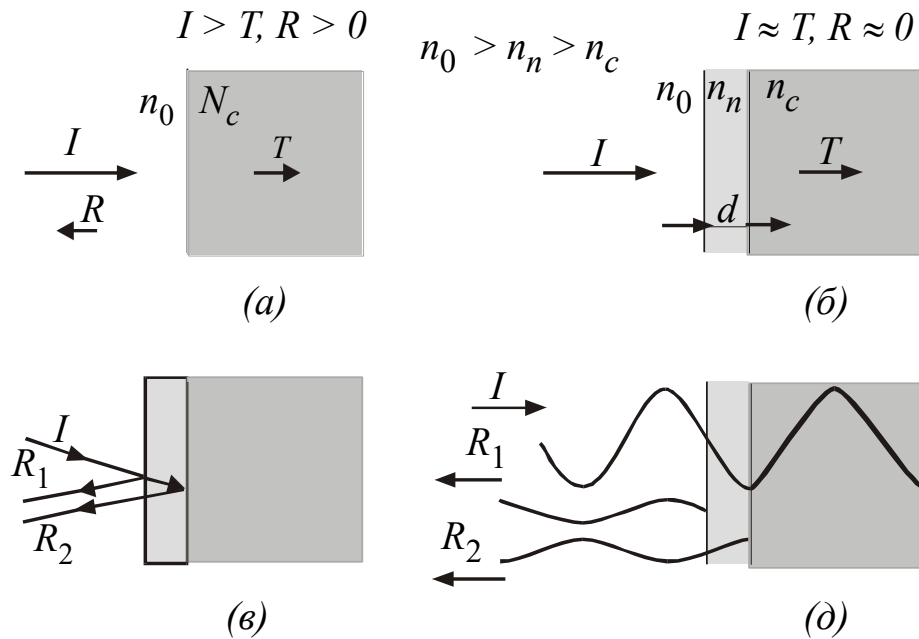
Враховуючи хвильові властивості електронів Н. Бор запропонував загальне пояснення цього ефекту. Воно полягає у такому.

Електрони в процесах взаємодії з атомами аргону та криптону поведуться як хвилі. Тому стають можливими явища, аналогічні тим інтерференційним ефектам, які можна спостерігати під час проходження світлових хвиль через тонкі шари речовини (рис. 8.6). Зокрема, такі, що ведуть до підвищення прозорості оптичних об'єктів [213, 214].

#### *Проходження світла через тонку плівку. Брак відбивання*

Світло інтенсивності  $I$  падає з повітря, показник заломлення  $n_0$ , на поверхню скла, показник заломлення якого  $n_c$ . Частина світла  $R$  буде відбита, а частина  $T$  пройде через поверхню скла (рис. 8.6 а).

Покриття скла тонкою (рис. 8.6 б) плівкою, товщина  $d$  якої сумірна з довжиною світлової хвилі (показник  $n_n$  заломлення плівки менший від показника заломлення скла), дещо змінює попередню картину.



**Рис. 8.6.** (а) Світло інтенсивності  $I$  падає зліва на скло,  $R$  – відбите світло і  $T$  – світло, що пройшло через поверхню скла. (б) Невідбиваюче покриття. (в) Плівка створює різницю ходу променів. (г) Відбиті від передньої і задньої поверхні плівки хвилі  $R_1$  і  $R_2$  є у протифазі

Істотним є те, що відбиті від передньої  $R_1$  і задньої  $R_2$  сторони плівки можуть інтерферувати між собою (рис. 8.6 в і г).

Чи можливе таке, щоб хвилі  $R_1$  і  $R_2$ , додаючись, гасили одна одну?

Щоб хвилі  $R_1$  і  $R_2$  послаблювали одна одну, різниця ходу має дорівнювати половині довжини хвилі у плівці:

$$2dn_n = \frac{\lambda}{2}. \quad (8.7)$$

Це знаменита формула українського фізика О. Смакули, що є основою явища, відомого як “просвітлення оптики”.

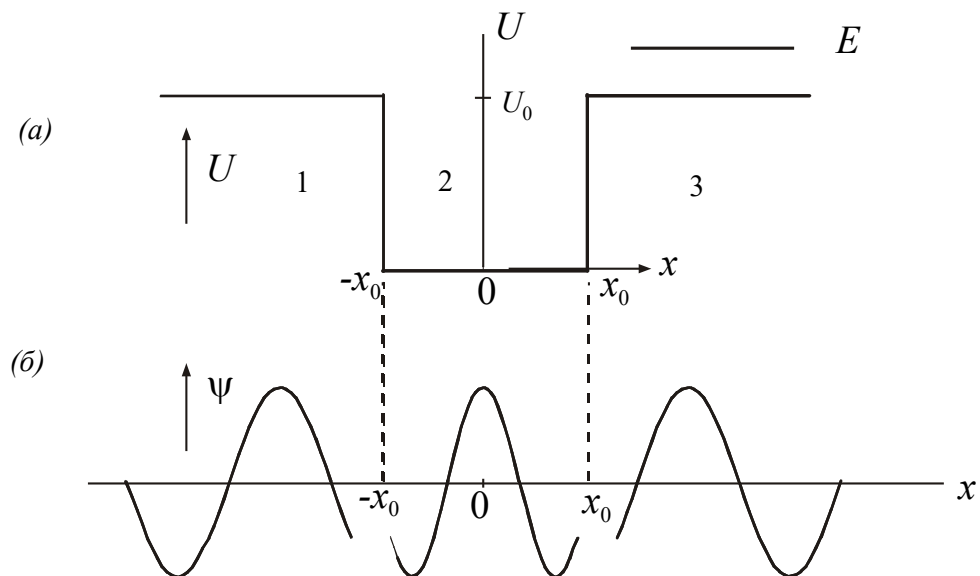
### 8.5. Проходження електронної хвилі через потенціальну яму

Електрони в атомі рухаються в потенціальному полі ядра та інших електронів цього атома. Наближено можна вважати рух електронів атома обмежено потенціальним бар'єром прямокутної форми з плоским дном, ширина якого відповідає розмірам атома, та стінками висотою  $U_0$  (рис. 8.7).

Така модель прямокутної потенціальної ями справедливіша для інертних газів, ніж для інших атомів. Це тому, що атоми інертних газів сферично симетричні і мають достатньо різку зовнішню границю.

Взаємодію електронної хвилі з атомом можна розглядати так.

Нехай вільний електрон, кінетична енергія якого  $E$  більша за  $U_0$ , падає на атом з потенціальною енергією у вигляді такої потенціальної ями (рис. 8.7 а). Описати рух електрона можна, скориставшись стаціонарним рівнянням Шредінгера для одновимірної задачі (8.6).



**Рис. 8.7.** (а) Вільні стани частинки в прямокутній потенціальній ямі. (б) У ділянці 2 хвильова функція має меншу довжину хвилі, ніж у ділянці 1 та 2

У всіх трьох ділянках 1-3, розв'язками рівняння (8.6) є синусоїдальні біжучі хвилі (рис. 8.7 б).

На ділянці 1 електрон може мати будь-яку повну енергію  $E > U_0$ . На ділянці ями 2 його кінетична енергія зростає, тому тут він буде мати меншу довжину хвилі. Покинувши ділянку ями, електрон знову набуде попереднього значення енергії і довжини хвилі. Отже, єдина відмінність між розв'язками, з одного боку, в ділянках 1 і 3, другого – в ділянці 2, полягає у різній довжині електронних хвиль.

Важливо знати, що розв'язки для різних ділянок повинні “зшиватися” при  $x = \pm x_0$ , забезпечуючи тим самим неперервність  $\Psi$  та  $d\Psi/dt$ . (На рис. 8.7 *a* амплітуди трьох розв'язків ще не підбрані таким чином, щоб  $\Psi$  та  $d\Psi/dt$  були неперервними.)

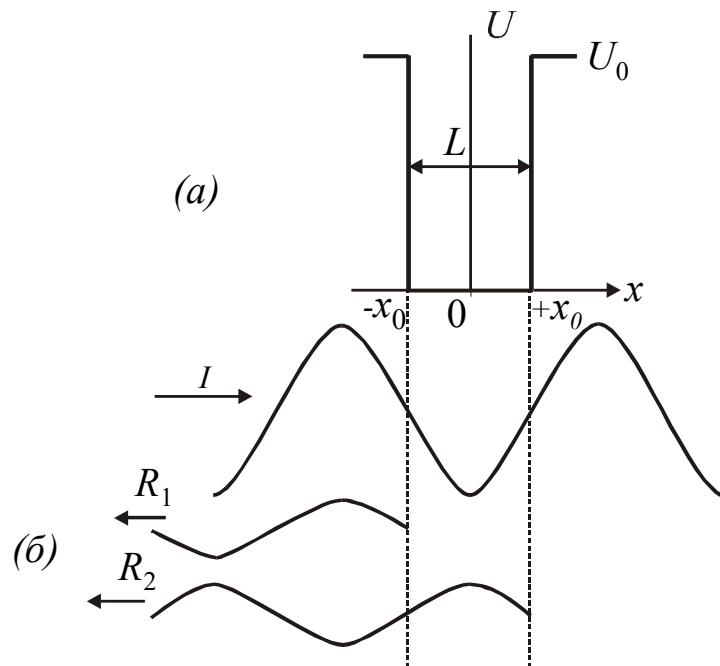
На двох сходинках потенціалу при  $x = \pm x_0$  відбувається часткове відбивання хвиль. Якщо хвиля падає зліва, то в ділянках 1 і 2 є хвилі, що біжать як наліво, так і направо, а в ділянці 3 тільки хвиля, що пройшла з 2 і біжить направо. Хвилі, що відбиті на зміні потенціалу при  $x = x_0$ , інтерферують з хвилями, відбитими від краю ями при  $x = -x_0$ .

Алгебраїчна структура загального розв'язку є досить складною. Ми не зупиняємось на цьому випадку. Нас тільки цікавить, у яких випадках атом буде прозорим для електрона.

Нехай час проходження хвилею від  $-x_0$  до  $x_0$  і зворотно до  $-x_0$  дорівнює одному періоду коливань електронної хвилі (рис. 8.8 *б*). Це можливе тоді, коли ширина потенціальної ями дорівнюватиме половині довжини падаючої електронної хвилі:

$$2x_0 = \frac{\lambda}{2}.$$

У цьому випадку, через те, що відбиті при  $x = \pm x_0$  хвилі, відповідно  $R_1$  і  $R_2$ , однакові за величиною, але відрізняються на  $180^\circ$  за фазою, вони гаситимуть одна одну (рис. 8.8 *б*).



**Рис. 8.8.** (а) Потенціальна яма, на яку падає електронна хвиля. (б) Відбивання  $R_1$  і  $R_2$  при  $x = \pm x_0$  рівні за величиною, але відрізняються за фазою на  $180^\circ$

Бо час проходження хвилею від  $-x_0$  до  $+x_0$  (де відбувається відбивання) і зворотно до  $-x_0$  дорівнює якраз одному періоду. Ця відбита хвиля складається алгебраїчно з хвилею, відбитою при  $-x_0$  і тому, що вони протилежні за фазою, відбувається їх взаємне гасіння.

Отже, коли кінетична енергія електрона така, що відповідна йому електронна хвиля дорівнює подвоєній ширині потенціальної ями, то в ділянці 1 не буде відбитої хвилі: електрони проходять так, якби ями не було зовсім.

Таким дифракційним явищем можна пояснити ефект Рамзауера. Повернемося тепер до пояснення результату нашого експерименту.

#### *Пояснення експерименту*

Нам залишилось відповісти на запитання:

“Максимум на кривій рис. 8.2 б – це результат інтерференції електронних хвиль на атомах аргону та криптону, чи ні?”

Для з’ясування цього треба підрахувати  $\lambda$  для електронів, енергія яких відповідає максимуму вольт-амперної характеристики (див. рис. 8.2 б). Це

буде довжина хвилі електронів поза потенціальною ямою, тобто вільних електронів. Вважатимемо (див. табл.), що діаметр атомів аргону чи криптону  $\sim 4 \cdot 10^{-10}$  м відповідає ширині потенціальної ями. (Це – груба модель атома.)

Щоб електрон пройшов через атом, іншими словами не було відбитої хвилі, довжина хвилі  $\lambda$ , що відповідає електрону, повинна дорівнювати подвоєній ширині  $L$  ями:

$$\lambda = 2L = 8 \times 10^{-10} \text{ м.}$$

Однак, енергії електронів 1 еВ у мінімумі прозорості, згідно з співвідношенням де Бройля (8.2), відповідає довжина хвилі

$$\lambda_e = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ м,}$$

яка є сумірною з подвоєною шириною потенціальної ями, але все ж таки дещо меншою за неї. Чому?

Це результат силової дії поля атома на електронну хвилю. За величиною різниці значень довжини електронної хвилі поза потенціальною ямою (вільний електрон) і у ній можна підрахувати її глибину.

Зважаючи на це, можна вважати, що створюються умови для безперешкодного проходження цієї хвилі (електрона) через атом.

Отже, в найпростішому варіанті для пояснення як особливостей вольт-амперних характеристик у нашому експерименті, так і ефекту Рамзауера, атоми *Ar* і *Kr* можна моделювати одномірною потенціальною ямою – потенціальним бар'єром прямокутної форми з плоским дном, ширина якої відповідає розмірам атома, та стінками висотою  $U_0$  (рис. 8.7 а). Якщо стінки ями високі, від них буде сильне відбивання хвиль де Бройля, якими описуються налітаючі електрони. Відбиті при  $x = \pm x_0$  хвилі однакові за величиною, але відрізняються на  $180^\circ$  за фазою.

На закінчення зауважимо, що впровадження в навчальний процес наведеної розробки полегшує засвоєння студентом атомної фізики та вступу до квантової механіки і сприяє усвідомленню єдності фізичного знання.

## **8.6. Педагогічний експеримент як важлива ланка на шляху вдосконалення методики навчання курсу загальної фізики**

Цей параграф дещо відрізняється від попередніх. У ньому висвітлено деякі особливості організації і проведення педагогічного експерименту. У процесі дослідження на підставі результатів експерименту було зроблено певні висновки, які стосувалися як недоліків у засвоєнні навчального матеріалу із загальної фізики за традиційними методиками навчання, так і виявлення головних чинників, впровадження яких могло б забезпечувати надійне оволодіння усіма студентами фізичними знаннями й уміннями на рівні проєктованих результатів.

Мета педагогічного експерименту полягала в організації і проведенні дослідної роботи у Національному лісотехнічному університеті України, пов'язаної з розв'язанням проблем навчання загальної фізики, зокрема, у визначенні і реалізації одного з можливих шляхів вдосконалення курсу загальної фізики засобами сучасного навчального фізичного експерименту.

Основними завданнями експерименту були: виявлення тих складових структури знань загальної фізики, ефективність формування яких у процесі навчання загальної фізики необхідно поліпшити; розроблення матеріалів, на основі яких можна було перевірити в навчальному процесі дидактичну цінність пропонованих нових навчальних лабораторних експериментів і засобів їх відтворення та технологій навчання інноваційних комплексних тем; проведення аналізу результатів експерименту; корекція теоретичних і практичних рекомендацій щодо формування знань студентів з фізики як результату їх діяльності у відповідно побудованому навчальному середовищі заданого змістом та структурою комплексної теми, її технологією і засобами навчання.

Оцінка ефективності та результативності системи методів, засобів і форм організації навчання, отримана у педагогічному експерименті, дала змогу



визначити і запропонувати інноваційний напрям розвитку методики навчання фізики.

Під час проведення педагогічного експерименту були використані методи: анкетування та бесіди, аналіз робочих програм із загальної фізики, спостереження та аналіз методики навчання загальної фізики тощо. Для діагностики рівня підготовки студентів використовувалося усне опитування, контрольні роботи, тести, екзаменаційні білети, при складанні яких виділялися різні елементи знань і добиралися завдання, які давали можливість перевірки стану сформованості знань, у студентів, відповідність їх вимогам навчальних програм.

Підкреслимо, що педагогічний експеримент не припинявся протягом усього періоду дослідження (1985–2005 рр.).

Під час констатуючого експерименту обґрунтовано актуальність теми дослідження, у якій розв'язання проблем у навчальному процесі курсу загальної фізики пов'язано з його удосконаленням засобами сучасного навчального експерименту.

Під час проведення перетворюючого (формуючого) експерименту цілеспрямовано досліджувались методи і засоби, форми і зміст навчання, які необхідні в навчальному процесі для покращення формування знань з фізики у студентів.

На етапах цього експерименту виконувались різні завдання:

- а) діагностичний – аналіз недоліків навчального процесу курсу фізики;
- б) прогностичний – ставились і розв'язувались завдання проектування нових навчальних експериментів, засобів і технологій навчання;
- в) складались програми експерименту, забезпечення умов реалізації, підготовка матеріальної бази тощо;
- г) практичний – констатувався стан досліджуваного явища, технології навчання;
- г) узагальнюючий – результати експерименту співставлялись з поставленими цілями і завданнями;

д) впроваджуючий – поширення та впровадження розробленого.

Зауважимо, поставлене у дослідженні завдання пов'язане з розробкою сучасного навчального фізичного експерименту та засобів його відтворення як невіддільного компонента технологій навчання інноваційних комплексних тем, є дуже складне і багатогранне. Його розв'язання вимагає врахування багатьох чинників. Результати їх врахування весь час перевірялись і уточнювались у педагогічному експерименті. Тому процес нашого дослідження весь час супроводжувався педагогічним експериментом, переходами від констатуючого експерименту до перетворюючого і від нього знову до констатуючого. Багатократні повторення цього циклу сприяли формуванню навчальних експериментів, засобів висвітлення їх змісту та структури комплексних тем, дали змогу сформуванню їх технологію навчання.

Можна констатувати, що якраз реалізація у дослідженні запропонованого підходу дала змогу отримати позитивні результати.

По-перше, розроблено засади інноваційного напрямку вдосконалення курсу загальної фізики, в якому інновації в методиці навчання є засобами його розвитку, а експеримент – засадничим чинником технологій навчання нових комплексних тем, що охоплюють ключові поняття, закони, теорії і є результатом системного врахування вимог дидактики і діалектики, науково-технічного прогресу, тенденцій освіти, зокрема, методики та фізики як науки.

По-друге, для ефективного вивчення ключових понять, законів і теорій курсу фізики та взаємозв'язків між ними розроблено нові експерименти і способи їх реалізації та спроектовано і створено відповідні засоби навчання: “Прилад для демонстрації закономірностей випадкових похибок”, “Прилад для дослідження швидкості обертання Землі навколо своєї осі”, “Установка для дослідження механічних коливань (фізичний маятник)”, “Прилад для демонстрації коливань пружинного маятника”, “Спосіб та прилад для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях”, “Спосіб дослідження властивостей світла” та “Установка для дослідження корпускулярних та хвильових властивостей електронів”. Більшість із них не

мають аналогів у вітчизняному та зарубіжному навчальному практикумі курсу загальної фізики. Їх новизна та актуальність підтверджена авторськими свідоцтвами на винаходи.

По-третє, зважаючи на принципи і методи дидактики та принципи діалектики, систематизовано і структуровано навчальний матеріал, що стосується ключових понять, законів і теорій курсу фізики, та подано його як об'єкт пізнання інноваційних комплексних тем “Вимірювання та їх похибки”, “Рівномірний рух точки по колу та гармонічні коливання”, “Пружинний маятник та заряд електрона”, “Релятивізм магнетизму”, “Електронна хвиля та атом аргону і криптону”.

По-четверте, для впровадження тем у навчальний процес, сформовано відповідні технології навчання, основою яких є розроблений навчальний експеримент.

Результати нашого дослідження впроваджені у навчальний процес курсу фізики Львівського національного університету імені Івана Франка та Національного лісотехнічного університету України. Вони чітко вказують на певні досягнення у розв'язанні проблем навчання курсу загальної фізики.

Однак ми вважаємо, що акцентування і рапортування у відсотках росту позитиву після впровадження нашого доробку у навчальний процес буде дещо недоречним і не дуже скромним з нашого боку. Зрозуміло, що тільки незалежний сторонній педагогічний експеримент визначатиме реальну цінність результатів нашого дослідження.

## **Висновки до розділу 8**

1. Вперше розроблено (і реалізовано у технології навчання інноваційної комплексної теми “Електронна хвиля та атоми аргону і криптону”) засади переходу від положень класичної фізики до сучасної як двох взаємопов'язаних складових курсу загальної фізики.

2. Основою технології навчання теми, її засадничим чинником, є розв'язання проблемної ситуації, яка виникає як результат неспроможності класичної фізики пояснити результати простого експериментального дослідження руху електронів у поздовжньому електричному полі в атмосфері суміші аргону з криптоном.

Це, з одного боку, відкриває шлях для введення у навчальний процес курсу загальної фізики важливих понять атомної фізики (де'Бройлівська хвиля, як характеристика вільного електрона, силова дія на яку описується рівнянням Шредінгера, та потенціальна яма, яка описує атом).

З другого – сприяє висвітленню взаємозв'язку оптики (зокрема, просвітлення оптики, яке описує відома формула О. Смакули) з атомною фізикою.

3. Висвітленню змісту теми сприяють навчальні експерименти, які проводять на відповідно розробленій для цього навчальній установці. Це дало змогу наочно показати і науково довести, що на результатах досліджень руху електронів у лампі, наповненій сумішшю аргону з криптоном, проявляється особливість (різкий максимум на ділянці вольт-амперній характеристики в околі напруги 1,8 В), яку, виходячи з класичних міркувань, неможливо пояснити. Її можна пояснити тільки уявивши електрони як електронні хвилі, а атоми аргону та криптону у вигляді прямокутних потенціальних ям та враховуючи інтерференційні ефекти.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Унаслідок реалізації системного підходу до врахування взаємозв'язку суспільства з освітою, освіти з фізикою, фізики з методикою навчання та методики навчання з об'єктом пізнання, його пізнавально-навчальними властивостями, виявлено певні закономірності і зроблено відповідні висновки. Це було враховано під час розробок нових навчальних експериментів як невіддільних компонентів технологій навчання комплексних тем курсу фізики, що охоплюють ключові поняття, закони, теорії та взаємозв'язки між ними.

1. Суперечності між вимогами і реальним рівнем знань з фізики у студентів закладено усталеною методикою навчання фізики. Вона не дає змоги реалізувати концепцію фізичної освіти, основою якої є зростання фундаментального, гуманітарного і технічного потенціалу. Ці протиріччя спричинені, зокрема:

– тим, що у наукових дослідженнях з методики навчання фізики її гуманітарна складова переважає природничо-наукову, що призводить до певного абстрагування досліджень та не сприяє висвітленню конкретного змісту курсу фізики;

– недоліками висвітлення ключових понять фізики та взаємозв'язків між ними засобами сучасного навчального експерименту;

– недостатнім врахуванням вимог сучасної освітньої парадигми.

2. Розроблено і реалізовано засади інноваційного напрямку вдосконалення курсу загальної фізики, в якому експеримент – засадничий чинник технологій навчання нових комплексних тем, що охоплюють ключові поняття, закони, теорії і є результатом системного врахування вимог дидактики і діалектики,

науково-технічного прогресу, тенденцій освіти, зокрема, методики та фізики як науки.

Висвітленню змісту тем повинні сприяти навчальні експериментальні дослідження, у яких:

- розв’язується завдання знаходження числового значення основних фізичних сталих;
- пошук розв’язку поставленого завдання стосується навчального матеріалу різних розділів фізики та охоплює взаємозв’язки між ними;
- розв’язок досягається у процесі послідовного виконання низки взаємопов’язаних експериментів.

3. Розкрито передумови впровадження технологій навчання інноваційних комплексних тем курсу загальної фізики, які полягають в тому, що технології сприяють підвищенню наочності та науковості викладання, висвітленню взаємозв’язків між матеріалом різних розділів фізики й усвідомленню єдності фізики, наступності у навчанні фізики від середньої до вищої школи, переходу від особистісно орієнтованого навчання до самостійного і дають змогу підвищити рівень організації навчального процесу, системність і цілісність керування ним.

4. Встановлено і реалізовано засади побудови технології навчання теми “Вимірювання та їх похибки”, у якій розкриваються деякі поняття теорії ймовірності та закладаються підвалини як для подальшого навчання фізики і розвитку професійних умінь та навичок, так і формування у студентів наукового світогляду (імовірнісного, стохастичного).

Зміст навчання теми представлено як концептуально ейдетичну та емпірично-теоретичну систему, структурні елементи якої мають чітко визначене навчальне призначення. Їх висвітлення здійснюється під час виконання навчальних експериментів.

Уперше розроблено, виготовлено й узгоджено з комп’ютером навчальну установку для дослідження випадкових похибок та її комп’ютерний аналог (предмет дослідження – прискорення сили земного тяжіння).

Процес пізнання відбувається шляхом реалізації діяльнісного підходу, спрямованого на усвідомлення змісту структурних елементів теми та взаємозв'язків між ними.

5. Встановлено засади покращення наступності переходу від підрозділу “Кінематика” до підрозділу “Гармонічні коливання”.

Навчальний матеріал систематизовано і структуровано навколо основних понять фізики коливань. Цей матеріал подано як об'єкт пізнання комплексної теми “Рівномірний рух точки по колу та гармонічні коливання”.

Висвітленню змісту теми сприяють навчальні експерименти, які здійснюються за допомогою розробленої, виготовленої та узгодженої з комп'ютером навчальної установки “Фізичний маятник”. Це дало можливість вперше у навчальному процесі досліджувати кінематичне рівняння руху фізичного маятника та демонструвати взаємоперетворення енергії, на основі яких знаходити числове значення прискорення сили земного тяжіння.

6. Розроблено комплексну тему “Пружинний маятник та заряд електрона” та її технологію навчання. Це – приклад розкриття і побудови інтегративної системи знань, яка пов'язує поняття і закономірності фізики коливань і електромагнетизму.

*По-перше*, розроблено, виготовлено та узгоджено з комп'ютером установку “Пружинний маятник”, яка не має аналогів у навчальній практиці. Створено її комп'ютерний модельний аналог. Розроблено методику проведення навчальних експериментів як реальних, так і віртуальних.

*По-друге*, встановлено співвідношення між параметрами коливальної системи (вертикальний пружинний маятник, коливальним тілом якого є постійний магніт, що здійснює коливання у каналі електричної котушки, витки якої закорочені) і параметрами коливань.

Воно полягає у тому, що коефіцієнт згасання  $\beta$  прямо пропорційний заряду електрона  $e$ , кількості витків  $n$  в обмотці електричної котушки і обернено пропорційний масі  $m$  коливального тіла та довжині  $l$  дроту обмотки електричної котушки.

*По-третє*, створено методологію знаходження заряду електрона. Це дало можливість у комплексній темі “Пружинний маятник та заряд електрона” об’єднати низку навчальних досліджень, які стосуються вільних механічних та вимушених гармонічних коливань, затухаючих механічних та електричних коливань, явища електромагнітної індукції та закону збереження і перетворення енергії. У процесі їх виконання демонструються взаємозв’язки між ключовими фізичними поняттями і закономірностями різних розділів фізики. За результатами експериментальних досліджень знаходиться числове значення заряду електрона.

7. На основі інтеграції, систематизації, структуризації понять, теорій і законів електромагнетизму, спеціальної теорії відносності Ейнштейна та фізики коливань сформовано комплексну тему “Релятивізм магнетизму”.

У її технології навчання існуючі взаємозв’язки між елементами структури знань теми постають у конкретизованих навчальних цілях та розкриваються в єдиному навчальному руслі у різних формах навчання (лекція, практичні та лабораторні заняття).

Експериментальні завдання виконуються на спеціально розробленому і виготовленому навчальному приладі для дослідження руху електронів в електричному та магнітному полях та його комп’ютерному модельному аналогу.

Зокрема, з одного боку, досліджується рух електронів крізь взаємно перпендикулярні високочастотні електричні поля рознесених у просторі двох систем відхиляючих пластин та за результатами експерименту знаходять швидкість їх руху, значення якої використовують у подальших дослідженнях.

З іншого – рух електронів вздовж пластин зарядженого плоского конденсатора та вздовж прямого провідника зі струмом, який симетрично розташований над ними. Це дає можливість для аналізу результатів експерименту і розв’язання проблемної ситуації, яка виникає, якщо аналізувати рух електрона у системі координат, що пов’язана з ним (і в якій він нерухомий), застосовувати положення спеціальної теорії відносності



Ейнштейна. Це дає можливість переконатись, що рівняння магнетизму впливають із рівнянь електростатики і теорії відносності, знайти швидкість розповсюдження електромагнітної взаємодії – швидкість світла у вакуумі.

8. Науковість і наочність, наступність та проблемний підхід як засади переходу від концепцій класичної фізики до сучасної реалізовано під час побудови змісту та структури комплексної теми “Електронна хвиля та атоми аргону і криптону”.

Основою технології навчання теми, її засадничим чинником, є розв’язання проблемної ситуації, яка виникає як результат неспроможності класичної фізики пояснити результати простого експериментального дослідження руху електронів у поздовжньому електричному полі в атмосфері суміші аргону з криптоном.

Це, з одного боку, відкриває шлях для введення у навчальний процес курсу загальної фізики важливих понять атомної фізики (де’Бройлівська хвиля, як характеристика вільного електрона, силова дія на яку описується рівнянням Шредінгера, та потенціальна яма, яка описує атом).

З другого – сприяє висвітленню взаємозв’язку оптики (зокрема, “просвітлення” оптики, яке описує відома формула О. Смакули) з атомною фізикою.

9. Розроблено новий метод дослідження руху тіл, який дає змогу демонструвати в навчальному лабораторному практикумі неінерціальність систем відліку, пов’язаних із Землею, та знаходити швидкість обертання Землі навколо своєї осі.

10. Доопрацьовано відомий класичний метод демонстрації хвильових властивостей світла – метод зон Френеля, та розповсюджено його на демонстрацію квантово-механічних особливостей поведінки мікрочастинок. Це сприяє усвідомленню, що причинність фізичних законів мікросвіту – не причинний зв’язок окремих подій, а потенціальна можливість їх спостереження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Долженко О., Янушкевич Ф. Новые методы и технологические средства в вузовской дидактике // Современная высшая школа. – 1982. – № 2(38). – С. 91-112.
2. Янушкевич Ф. О необходимости преобразований в высшем образовании (Польша в свете мировых образовательных систем) // Современная высшая школа. – 1988. – № 1(61). – С. 3-17.
3. Штепанович Р. Актуальные проблемы модернизации учебного процесса в высшей школе в условиях развитого социализма // Современная высшая школа. – 1977. – № 4. – С. 44-59.
4. Гершунский Б.С. Компьютеризация в сфере образования. Проблемы и перспективы. – М., 1987. – 364 с.
5. Ніколаєнко А. Перспективи загальної фізики // Вісник НАН України. – 2003. – № 11. – С. 23-27.
6. Ляшенко О.І. Взаємозв'язок теоретичного і емпіричного в навчанні фізики: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02.03 / Ін-т пед. і психол. профес. освіти АПН України. – К., 1996. – 50 с.
7. Будний Б.С. Теоретичні основи формування в учнів системи фундаментальних фізичних знань: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02 / Укр. пед. ун-т. – К., 1997. – 51 с.
8. Сусь Б.А. Дидактичні та методичні основи активізації самостійної діяльності студентів (курсантів) при різних формах занять з фізики: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02 / Нац. пед. ун-т. – К., 1998. – 36 с.

9. Величко С.П. Розвиток навчального фізичного експерименту в сучасній середній школі: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук:13.00.02 / Нац. пед. ун-т. – К., 1998. – 34 с.
10. Мартинюк М.Т. Науково-методичні засади навчання фізики в основній школі: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02.03 / Нац. пед. ун-т. – К., 1999. – 34 с.
11. Атаманчук П.С. Теорія і методика управління пізнавальною діяльністю старшокласників у навчанні фізики: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02.03 / Нац. пед. ун-т. – К., 2000. – 40 с.
12. Касперський А.В. Радіоелектроніка в системі формування фізичних і технічних знань у середніх загальноосвітніх школах та вищих педагогічних закладах: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02.03 / Нац. пед. ун-т. – К., 2003. – 39 с.
13. Жалдак М.І., Михалін Г.О. Елементи стохастичності з комп'ютерною підтримкою. – К., 2000. – 71 с.
14. Ятренко М.Й. Дещо про розвиток теорії ймовірностей // Математика в школі. – 2000. – №1. – 9 с.
15. Программа курса физики для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений. – М.: Высшая школа, 1975, 1982, 1988.
16. Марев И.В. Методические основы дидактики: Пер. с болгарского / Предисл. И.Я. Лернера. – М.: Педагогика, – 1987. – 224 с.
17. Гончаренко С.У. Про критерії оцінювання педагогічних досліджень / Шлях освіти. – 2004. – № X. – С. 2-6.
18. Гончаренко С.У. Принцип фундаменталізації освіти // Наукові записки. – Вип.55. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: КДПУ ім. В.Винниченка. –2004. – С.4–9.
19. Ермоловский В.А., Грищенко В.П. Ермоловская Л.П., Грищенко Л.В. Методологические основы фундаментализации высшего образования // Фундаменталізація вищої освіти – необхідна умова випуску

конкурентноспроможних фахівців: Матер. міжнар. наук.-методич. конф. – Харків: НПУ “ХП”, – 2001.– С. 159–162.

20. Сидоренко В., Білевич С. Фундаменталізація професійної підготовки як один з пріоритетних напрямів вищої освіти в Україні // Вища освіта в Україні. – 2004. – № 3. – С. 135-141.

21. Садовничий В.А. Высшая школа в России // Вестник высшей школы. – 2002. – № 12. – С. 7-13.

22. Нелін Є. Формування науково-технічного світогляду фахівця: Дисципліна “Концепції природознавства, техніки і технологій” // Вища освіта в Україні. – 2004. – № 3. – С. 187-189.

23. Орищин Ю.М. Теорія і практика вдосконалення курсу загальної фізики (сучасний навчальний експеримент). Монографія. – Львів: Видавничий дім “Панорама”, 2003. – 264 с.

24. Нечет В.І. Дидактичний аналіз структури фізичного знання // Фізика та астрономія в школі. – 1996. – № 1. – С. 14-17.

25. Нечет В.І. Модель фізичного пізнання як методологічна основа дидактики фізики // Наукові записки. Збірник наук. статей Нац. пед. ун-ту. – Вип. 43. – К.: НПУ.– 2001. – С.225–232.

26. Соловов А. Мифы и реалии дистанционного обучения // Высшее образование в России. – 2000. – № 3. – С. 116-120.

27. Модернізація вищої освіти України і Болонський процес / Уклад.: М.Ф.Степко, Я.Я.Болюбаш, К.М.Левківський, Ю.В.Сухаріков / Відп. ред. М.Ф.Степко. – К.: Освіта України, 2004. – 60 с.

28. Разумовский В.Г. Первое место в мире по образованию в области естествознания // Физика в школе. – 1992. – № 5-6. – С. 53-55.

29. Даниел Дж. Высшее образование на продажу. От редактора журнала “Education Today” // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2003. – № 4. – С. 29.

30. Ильин Г. В поисках подлинной реальности // Alma mater (Вестник высшей школы). – 1999. – № 12. – С. 3–7.

31. Розробка комплексу лабораторного приладдя для забезпечення навчального процесу курсу фізики. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. ун-т. № держреєстрації 0194v0320104. – Львів, 1994. – 43 с.

32. Розробка сучасного навчального приладдя для навчального процесу курсу фізики і створення на його основі нових інформаційних технологій навчання Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. ун-т. № держреєстрації 0194v0320104. – Львів, 1997. – 36 с.

33. Створення нових інформаційних технологій вивчення фізики і наочного представлення фізичних явищ у сучасних фізичних приладах. Звіт про НДР (кінцевий). Український держ. ун-т. № держреєстрації 0198v002979. – Львів, 2000. – 38 с.

34. Янушкевич Ф. Технология обучения в системе высшего образования: Пер. с польского. – М.: Высшая школа, 1986. – 135 с.

35. Делор Ж. Освіта – справжній скарб (ЮНЕСКО – 1996) // Шлях освіти / Пер. Н. Лавриненко. – 1997. – № 2. – С. 2-5.

36. Делор Ж. Освіта – справжній скарб (ЮНЕСКО – 1996) // Шлях освіти / Пер. Н. Лавриненко. – 1997. – № 3. – С. 2-5.

37. Высшее образование в XXI веке: подходы и практические меры (ЮНЕСКО, Париж, 5-9 октября 1998) // Alma mater (Вестник высшей школы). – 1998. – № 11. – С. 3-9.

38. Скотт Пітер. Струшуючи вежею зі слонівки // Кур'єр ЮНЕСКО. – 1998. – № 11. – С. 10-12.

39. Майор Федеріко. Прогрес для кого? // Кур'єр ЮНЕСКО. – 1998. – № 11. – С. 8.

40. Ескотет Мігель Анкель. У пошуках нових ідей для університетів // Кур'єр ЮНЕСКО. – 1998. – № 11. – С. 16-19.

41. Урсул А., Романович А. Всемирный саммит по устойчивому развитию: итоги, надежды, перспективы // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2003. – № 4. – С. 3-12.

42. Гроф С. Структура наукових революцій // Перехід – IV. – 2002. – Вип. 10 – С. 11-18.
43. Оленин С. Новые технологии и современный учитель // Мир Internet. – 1997. – № 9. – С. 30-33.
44. Ястребцева Е. Интернет – великий об'єдинитель // Комп'ютер в школі. – 2000. – № 5(19). – С. 20-24.
45. Соболева Н., Жданова П. Интернет технология для дистанционного образования // Мир Internet. – 1998. – № 7-8. – С. 32-37.
46. Филатов О.К. Информатизация современных технологий обучения в высшей школе: Монография. – Ростов-на-Дону: Мираж, 1997. – 213 с.
47. Носик А. Электронно-вычислительные университеты // Мир Internet. – 1998. – № 7-8. – С. 109-115.
48. Потеев Н. Что может обеспечить и что не может обеспечить дистанционное обучение // Мир Internet. – 1998. – № 7-8. – С. 116-119.
49. Мелихова Л. Одна планета – одна школа // Мир Internet. – 1998. – № 5. – С. 32-34.
50. Ачкасова Г. Об одной из ценностей современного образования // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2002. – № 7. – С. 6-10.
51. Смоляр С. Как получить диплом престижного университета не выходя из дома // Мир Internet. – 1998. – № 7-8. – С. 38-41.
52. Алхазешвили Д. Компьютерный учебник или медиатека // Комп'ютер в школі. – 2000. – № 4(18). – С. 17-19.
53. Підласий І., Трипольська С. Формування професійного потенціалу як мета підготовки вчителя // Рідна школа. – 1998. – № 1. – С. 3-8.
54. Гончаренко С. Методика як наука // Шлях освіти. – 2000. – № 1. – С. 2-6.
55. Гончаренко С. Методика як наука // Шлях освіти. – 2000. – № 2. – С. 1-5.
56. Сухаріков Ю.В. Концептуальна модель вищої школи України // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Вища освіта в

Україні. Реалії, концепції, перспективи розвитку”. – Част. II. – К., 1996. – С. 31-35.

57. Мадзігон В. Педагогічна наука: пошуки, здобутки, завдання // Педагогіка і психологія. – 2002. – № 1-2. – С. 34-41.

58. Рибак О.Б. Актуалізація вмінь майбутнього вчителя в аспекті формування самостійності школяра // Матер. 2 Всеукр. конф. “Проблеми удосконалення фундаментальної і професійної підготовки вчителів з фізики”. – К., 1996. – С. 128-131.

59. Алексюк А.И., Черний В.И. Методы обучения в современной буржуазной педагогике США (критический анализ). – К.: Рідна школа, 1983. – 140 с.

60. Быховский Б.Э. Дьюи Дж // БСЭ. 3-е изд. – М., 1972. – Т. 8. – С. 565.

61. Брунер Дж. Процесс обучения: / Пер. с англ. О.П. Тихомирова. Предисл. и общая ред. А.Р. Лурия. – М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР, 1962. – 84 с.

62. Брунер Дж. Психология познания (За пределами непосредственной информации) / Пер. с англ. К.И. Бабицкого / Предисл. и общая ред. А.Р. Лурия. – М.: Прогресс, 1977. – 412 с.

63. Георгиева Т.С. Высшая школа США на современном этапе. Монография. – М.: Высшая школа, 1989. – 144 с.

64. Бордовская Н.В., Реан А.А. Педагогика. Учебник для вузов (Серия “Учебник нового века”). – СПб.: Изд-во “Питер”, 2000. – 304 с.

65. Васильева Т.В. Новый облик британского образования // Научно-методический журнал. – 2000. – № 3. – С. 8-9.

66. Герцюк Д., Паздера Б.Й. Європейський вимір в освіті // Вісник Львівського університету. Серія педагогічна. – 1999. – Вип. 14. – С. 6-31.

67. Богомоллов В.И. Педагогическая технология: эволюция понятия // Советская педагогика. – 1991. – № 9. – С. 123-128.

68. Основи нових інформаційних технологій навчання. Посібник для вчителя / Ю.І. Машбиц, О.О. Полунь, М.І. Жалдак, О.Ю. Комісарова, Н.В. Морзе, М.А. Смульсон. За ред. Ю.І. Машбиця. – К.: ІЗМН, 1997. – 264 с.
69. Педагогічні технології: Навч. посібник / О.С. Падалка, А.М. Нісімчук, І.О. Смолюк, О.І. Шпак. – К.: Українська енциклопедія, 1995. – 253 с.
70. Кузибецкий А.Н. Технологический подход в обучении: эволюция основных понятий и особенности содержания // Химия в школе. – 1993. – № 5. – С. 20-25.
71. Семчук Н. О содержании курса “Технология обучения естествознанию” // Высшее образование в России. – 1997. – № 2. – С. 97-100.
72. Чернилевский Д.В., Филатов О.К. Технология обучения в высшей школе: Учебное пособие. – М.: Экспедитор, 1996. – 288 с.
73. Чошанов М.А. Гибкая технология проблемно-модульного обучения: Методическое пособие. – М.: Народное образование, 1996. – 160 с.
74. Лозинська Н. Особливості розвитку педагогічних технологій у вищій школі України // Вісник Львівського університету. Серія педагогічна. – 1999. – Вип. 14. – С. 208-213.
75. Іваницький О. Класифікація технологій навчання фізики // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 1. – С. 15-19.
76. Грязнов Ю. Технологія активного навчання фізики: розвивальна, проблемна, диференційована, модульна // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 6. – С. 13-18.
77. Образцов П. Професійно орієнтована технологія обучения // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2003. – № 10. – С. 14-17.
78. Васильева И.В. Модули самообразования// Alma mater (Вестник высшей школы). – 1997. – № 6. – С. 57-58.
79. Андронов В.М., Чолпан П.П. Про концепцію реформування вищої освіти в Україні у зв'язку з розробкою державних стандартів вищої освіти// Науковий вісник Миколаївського держ. пед. ун-ту. – 1997. – С. 19-22.



80. Панкратов Н., Хохлов В. Построение модели дистанционного образования на основе системной методологии // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2002. – № 3. – С. 85-95.
81. Гі Неав. Чотири стовпи мудрості // Кур'єр ЮНЕСКО. – 1998. – № 11. – С. 13.
82. Корсак К. Болонський процес // Науковий світ. – 2003. – № 12. – С. 8, 9.
83. Матвієнко П.В., Огієнко С.О. До питання про сучасні парадигми в системі вищої школи // Професійна освіта – 2002. – № 11. – С. 63-72.
84. Адоньев Є.О. Традиційна та гуманістична парадигма освіти в антропологічному вимірі // Пост методика. – 2002. – № 7–8 (45–45). – С. 12-15.
85. Гомулина Н. “Открытая физика 2.0” – новый шаг // Компьютер в школе. – 2000. – № 3(17). – С. 8-11.
86. Ступарик Б., Шапрух Й. Освіта в умовах трансформації суспільного устрою України // Вісник Львівського університету. Серія педагогічна. – 1999. – Вип. 14. – С. 6-15.
87. Архангельский С.И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. – М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.
88. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – Вып. 1-10.
89. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. Учеб. пособие для физ. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1979. – 320 с.
90. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие для физ. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 463 с.
91. Орир Дж. Физика. Пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – Т.1, 2.
92. Киттель Ч., Найт В., Рудеман М. Механика. (Берклеевский курс физики): Учеб. руков. Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 448 с.
93. Ландсберг Т.С. Очерки и воспоминания. – М.: Наука, 1993. – С. 226-227.

94. Ньютон Исаак. Сб. статей к 300-летию со дня рождения. – М.; Л., 1993. – С. 414-415.
95. Лернер И.Я. Процесс обучения и его закономерности. – М.: Знание, 1980. – 80 с.
96. Голин Г.М. Вопросы методологии физики в курсе средней школы. Кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1987. – 127 с.
97. Ляшенко О.І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи. – К.: Генеза, 1996. – 128 с.
98. Сусь Б.А., Шут М.І. Проблеми дидактики фізики у вищій школі. – К.: Просвіта, 2001. – 155 с.
99. Усова А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. – М.: Педагогика, 1986. – 176 с.
100. Зорина Л.Я. Дидактические основы формирования системных знаний старшеклассников. – М.: Педагогика, 1978. – 128 с.
101. Brush S.E. The role of the history of physics in physics education // Amer. J. Phys. – 1971. – N 27. – P. 848.
102. Разумовский В.Г. Физика в средней школе США. Основные направления в изменении содержания и методов обучения. – М.: Педагогика, 1973. – 159 с.
103. Лещинський О. Розвиток шкільного курсу фізики у США в другій половині ХХ ст. // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 6. – С. 47-51.
104. Физика / Пер. с англ. под ред. А.С. Ахматова. – М.: Наука, 1965. – 600 с.
105. Van Heuvelen A. Learning to think like a physicist. A review of research based instructional strategies // Amer. J. Phys. – 1991. – Vol. 59. – N 10. – P. 891-897.
106. Van Heuvelen A. Overview, case study physics // Amer. J. Phys. – 1991. – Vol. 59. – N 10. – P. 898–907.

107. Ушинский К.Д. Материалы к третьему тому “Педагогической антропологии”. Собрание сочинений. – М.-Л.: Изд-во АПН, 1950. – Т.10. – С. 422.

108. Капица П.А. Эксперимент, теория, практика. – М.: Наука, 1981. – С. 237.

109. Усова А.В., Мотовилов А.Ж. Роль демонстрационного эксперимента в формировании у студентов педагогических понятий // Методика использования физического эксперимента. Сб. научн. публ. – Свердловск, 1985. – С. 7-12.

110. Шаповаленко С.Г. Вопросы теории создания средств обучения и использования их в общеобразовательной школе // Вопросы теории и практики создания и использования средств наглядности для обучения учащихся: Сб. научн. трудов АПН СССР. – М., 1980. – С. 3-2.

111. Гайдук С.М. Науково-методичні засади створення та використання навчального комплексу з оптики / Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02.03 / Криворізький держ. пед. ун-т. – 2002. – 19 с.

112. Салмина Н.Г., Сорокин В.В., Барчук Е.И. Пути построения лабораторного практикума в вузе // Совр. высш. школа. – № 3(63). – 1988. – С. 71-79.

113. Шамало Т.Н. Полифункциональность физического эксперимента // Методика использования физического эксперимента. Сб. научн. публ. – Свердловск, 1985. – С. 5-7.

114. Анциферов Л.И. Оптимизация школьного физического эксперимента / Автореф. дис... д-ра пед. наук: 13.00.02 / Ленингр. гос. пед. ин-т. – М., 1986. – 48 с.

115. Гуржій А.Н., Величко С.П., Жук Ю.О. Фізичний експеримент у загальноосвітньому навчальному закладі. Навчальний посібник. – К.: ІЗНМ. – 1999. – 305 с.

116. Гуржій А.Н., Жук Ю.О., Костюкович Д.Я. Організація навчально-виховного процесу у кабінеті фізики загальноосвітнього навчального закладу. Навч. посібник. – К.: ІЗНМ, 1999. – 187 с.

117. Гуржій А.Н., Орлова І.В., Шут М.І., Самсонов В.В. Система педагогічних вимог до засобів навчання. Навч. посібник. – К.: НМЦ засобів навчання, 1999. – 131 с.

118. Портис А. Физическая лаборатория. Берклевский курс физики. – М.: Наука, 1978. – 319 с.

119. Кудрявцев Л.В. Роль наглядности в формировании учащихся научного понятия “Механическое движение” и “Вопросы теории и практики создания средств наглядности для обучения учащихся”. Сб. научн. трудов АПН СССР. – М., 1989. – С. 168.

120. Оспенникова Е. Методологические функции виртуального лабораторного эксперимента. Информатика и образование. – 2002. – № 11. – С. 83-90.

121. Базовый естественнонаучный практикум. Каталог. – М.: МИФИ, ВЛАДИС, 2001.

122. Физическое образование в вузах // Издательский Дом Московского Физического общества. – 2002. – Т. 8. – № 1. – 136 с.

123. Чернышев В.В., Лапина Л.Г. Модернизация лабораторной работы “Изучения явления поляризации электромагнитных волн” // Сб. тезисов докладов VI учебно-метод. конф. Стран Содружества. – Самара, – 2000. – С. 125-126; 96-97.

124. Алексеев Ю.И., Антипов С.Д., Белов Д.В. Лабораторные комплексы НТЦ ВЛАДИС в физпрактикуме университета // Сб. тезисов докладов VII учебно-метод. конф. Стран Содружества. – СПб., 2002. – С. 189.

125. Наукове і навчальне приладобудування в Україні // Вісник НАН України. – 2003. – № 6. – С. 5-7.

126. Гриценко В.Г. Нові статистичні закономірності при вивченні статистичних закономірностей при підготовці вчителів фізики / Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02; 13.00.04 / Нац. пед. ун-т. – К., 1999. – 20 с.

127. Желюк О.М. Удосконалення навчального фізичного експерименту засобами сучасної електронної техніки / Автореф. дис... канд. пед. наук.: 13.00.02 / Нац. пед. ун-т. – К., 1997. – 24 с.

128. Жук Ю.О. Розв'язування дослідних задач з фізики з застосуванням нових інформаційних технологій / Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Нац. пед. ун-т. – К., 1995. – 23 с.

129. Баштовий В.І. Використання мисленого експерименту як засобу вивчення квантової фізики в загальноосвітніх навчальних закладах / Автореф. дис. канд. пед. наук. – К., 1994. – 23 с.

130. Тищук В.І., Желюк О.М. Канонічний навчальний фізичний експеримент. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного ун-ту. Дидактика природничо-математичних дисциплін. – 1999. – Вип. 5. – С. 198-203.

131. Тищук В.І. Відображення наукового експериментування в сучасному навчальному фізичному експерименті // Матеріали 3 Всеукраїнської конференції “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики”. – К., – 1998. – Ч.1. – С. 42-46.

132. Орищин Ю.М. Елементи нових інформаційних технологій навчання в курсі фізики // Тези доп. II Міжн. конф. “Комп'ютерні програми учбового призначення”. – Донецьк, – 1994. – С. 11.

133. Орищин Ю.М. Проблемна побудова – невід'ємна компонента комп'ютерної технології навчання “Вільні механічні коливання” // Тези допов. III Міжн. конф. “Комп'ютерні програми учбового призначення”. – Донецьк, 1995; II Міжн. конф. “Комп'ютерні програми учбового призначення” – Донецьк, – 1995. – С. 25.

134. Вайданич В.І., Орищин Ю.М., Салапак В.М., Михальчук В.К. Організація комп'ютерної освіти в рамках виробничо-науково-навчальних

комплексів // Тези допов. конф. “Проблеми українізації комп’ютерів”. – Львів, 1993. – С. 22-23.

135. Вайданич В.І., Жеребецький С.К., Орищин Ю.М., Пенцак Г.М., Сорока Л.Я. Фундаментальна підготовка і магістратура // Тези доповідей Міжн. наук. конф. “Вища технічна освіта – проблеми магістратури”. – К., 1995. – С. 96-97.

136. Орищин Ю.М. Про проблеми в навчальному процесі курсу загальної фізики та пошук їх розв’язку // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції “Дидактичні проблеми дидактичної освіти в Україні”. – Чернігів, 1998. – С. 120-121.

137. Орищин Ю.М. Про традиційну технологію навчання курсу фізики в контексті сучасності // Науково-методичний збірник “Проблеми освіти”. – К.: ІЗМН, 1999. – Вип. 16. – С. 190-196.

138. Орищин Ю.М. Оновлення змісту курсу загальної фізики // Наукові записки. Збірник наукових статей нац. пед. ун-ту ім. М.П. Драгоманова. – К.: НПУ, 2001. – Вип. 39. – С. 111-116.

139. Орищин Ю.М. Про принципи побудови нової технології навчання фізики// Нові технології навчання: Наук-метод. зб. – К.: НМЦВО, 2000. – Вип. 27. – С. 159-169.

140. Орищин Ю.М. Проблеми формування знань з фізики у студентів // Наукові записки: Збірник наук. статей нац. пед. ун-ту ім. М.П. Драгоманова. – К.: НПУ, 2002. – Вип. 48. – С. 135-140.

141. Орищин Ю.М. Окремі тенденції розвитку освіти. Проблеми та шляхи розв’язку // Науково-методичний збірник “Проблеми освіти”. – К.: ІЗМН, 2003. – Вип. 33. – С. 139-146.

142. Орищин Ю.М. Сучасні навчальні технології в курсі загальної фізики// Наука і сучасність Збірник наукових праць. Національний пед. ун-ет ім. М.П. Драгоманова. – К.: Логос, 1999. – Вип. 2. – Ч.4. – С. 92-98.

143. Орищин Ю.М. Про розробку нових технологій навчання фізики. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського держун-ту. Серія педагогічна. – 2003. – Вип. 9. – С. 37-39.
144. Орищин Ю.М. Нові технології навчання як інваріанти навчального процесу// Тези .IX Всеукр. наук. конф. “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців фізики”. –Київ, 2004. – С. 51.
145. Недюха М. До питання про предмет методики викладання (Постнекласичні та синергетичні аспекти)/Теоретичний та науково-методичний збірник. –К., 2003.–№ 3(9). – С.63–69.
146. Орищин Ю.М. Про розробку нових технологій навчання фізики. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського держун-ту. Серія педагогічна. – 2003. – Вип. 9. – С. 37-40.
147. Учебный прибор по физике А.С. 1559372 СССР, МКУ G 09 23/18./ Орищин Ю.М., Савчин В.П., Злобин Г.Г., Ижнин И.И. (СССР). – № 43964222/31 – 12; заявлено 17. 03. 88, опубл. 23.04.90. Бюл. № 15. – 3 с.
148. Способ исследования движения тел А.С. 1818629 СССР, МКУ G 09 В 23/08./ Орищин Ю.М., Савчин В.П., Вайданич В.И. – № 4842005/12; заявлено 09. 04. 90; опубл. 30. 05. 93. Бюл. № 20. – 4 с.
149. Орищин Ю.М., Пірко І.Б. Дослідження швидкості обертання Землі навколо своєї осі в навчальному практикумі. Проблеми методики викладання фізики на сучасному етапі. Збірник статей. – Кіровоград, 2000. – С. 196-199.
150. Ляшенко О.І., Орищин Ю.М., Пірко І.Б. Нові навчальні дослідження при вивченні вільних механічних коливань // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного ун-ту. Дидактика природничо-математичних дисциплін. – 1999. – Вип. 5. – С. 163-167.
151. Учебный прибор по физике для демонстрации колебаний пружинного маятника. А.С. 1770972 СССР, МКУ G 09 В 23/18./ Орищин Ю.М., Савчин В.П., Стахира Й.М., Злобин Г.Г., Ижнин И.И. (СССР). – 4899813/12; заявлено 08.01. 91; опубл. 23. 10.92 92. Бюл. № 39. – 5 с.

152. Способ исследования движения электронов в электрическом и магнитном полях. А. С. 1472940 СССР, МКУ G 09В 23/18. / Орицин Ю.М., Савчин В.П., Вайданич В.И., Стахира Й.М. (СССР). – № 4220782/3112, заявлено 01.04.87, опубл. 15.04.89. Бюл.14. – 3 с.

153. Учебный прибор для исследования движения электронов в электрическом и магнитных полях. А. С. 1536431 СССР, МКУ G 09 В 23/18./ Орицин Ю.М., Савчин В.П., Вайданич В.И., Стахира Й.М. (СССР). – № 4267325/3112. заявлено 24.06.87, опубл. 15.01.90. Бюл. 2. – 3 с.

154. Способ исследования свойств света. А.С. 1805490 СССР, МКУ G 09 В 23/22. / Орицин Ю.М., Савчин В.П. (СССР). – № 4842006/12.; заявлено 09.04. 90; опубл. 30.03.93. Бюл. № 12. – 3 с.

155. Орицин Ю.М. Виявлення хвильових та корпускулярних властивостей електронів в навчальному експерименті. Наукові записки. Збірник наукових статей національного пед. ун-ту ім. М.П. Драгоманова. – К.: НПУ, 2001. – Вип. 43. – С. 258-266.

156. Мошель Н.В., Рогоза О.В.. Фізика і синергетика – нові погляди на структуру природи // Вісник Чернігівського держ. пед. ун-ту, 2004. – Вип. 23. – С.200–203.

157. Оспенникова Е.В. Методологические функции лабораторного эксперимента // Информация и образование.–2002. – № 11. – С. 83-87.

158. Мангазеев Б., Мангазеев В. Закономерность в случайном // Компьютер в школе. – 2000. – № 2(16). – С. 15-19.

159. Орицин Ю.М., Савчин В.П., Злобін Т.Г., Іжнін І.І. Дослідження розподілу випадкових похибок // Тези республіканської науково-методичної конференції “Методичні основи технічних засобів навчання та обчислювальної техніки у вищій школі”. – Івано-Франківськ, 1991. – С. 91.

160. Oryshchyn Yu. M., Savchin V.P. New demonstrational physics experiments // Proc. Contributed Paper International Conference Physics in Ukraine. – К., 1993. – P. 177-180.



161. Орищин Ю.М., Пилипович О.А. Про комп'ютерну технологію навчання з фізики: “Похибки. Елементарні оцінки похибок вимірювання” // Тези доповідей Всеукр. конф. “Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі вищих та середніх навчальних закладів”. – Львів, 1996. – С. 31.

162. Орищин Ю.М., Вайданич В.І., Пилипович О.А., Теличин І.М. Елементи комп'ютерної технології навчання фізики при вивченні теми “Елементарні оцінки похибок вимірювання” // Тези доповідей науково-метод. конф. “Комп'ютерні технології в організації та проведенні навчального процесу в технічному вузі”. – К., 1995. – С. 81.

163. Orishchin Yu.M., Pylypovych O., Savchin V. The new educational technology of preliminary studies for laboratory lessons in physics // Book of Abstracts First European Conference on Physics Teaching in Engineering Education. – Copenhagen, 1997 – P. 29.

164. Орищин Ю.М. Про розробку методики навчання теми “Вимірювання. Елементарні оцінки похибок вимірювання” // Вісник Чернівецького ун-ту. Педагогіка і психологія. –2004. –Вип. 208. –С. 137-143.

165. Орищин Ю.М. Реальний та модельний комп'ютерний експеримент – основа нової технології навчання “Вимірювання. Елементарні оцінки похибок вимірювання” // Вісник Чернігівського держ. пед. ун-ту. –2004. –Вип. 23. – С.272–279.

166. Орищин Ю.М. Технологія навчання теми “Вимірювання та їх похибки. Розробка та впровадження” // Збірник науково-методичних праць Рівненського пед. ун-ту “Теорія і практика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін”. – Рівне: РДГУ, 2003. – Вип. 5. – С. 82-84.

167. Орищин Ю.М. Про нову технологію вивчення теми “Елементарні похибки вимірювання” // Матеріали науково-практичної конф. “Актуальні проблеми викладання фізики”. – Львів, 1996. – С. 23-24.

168. Лабораторный практикум по физике/ Б.Ф. Алексеев, К.А. Барсуков, А. Войцеховская и др. Под ред. К.А. Барсукова, Ю.И. Уханова. – М.: Высшая школа, 1988. – 351 с.

169. Руководство к лабораторным занятиям по физике / Л.Л. Гольдин, Ф.Ф. Илюшин, С.М. Козел и др. Под ред. Л.Л. Гольдина. – М.: Наука, 1973. – С. 36-43.

170. Лабораторный практикум по физике/ Ю.А. Кравцов, А.Н. Мансуров, Н.Г. Птицина и др. Под ред. Е.М. Гершензона, Н.Н. Малова. – М.: Просвещение, 1985. – С. 528.

171. Лабораторные занятия по физике / Л.Л. Гольдин, Ф.Ф. Илюшин, С.М. Козел. Под ред. Л.Л. Гольдина. – М.: Наука, 1985 – С. 40-52.

172. Каленков С.Г., Соломахо Г.И. Практикум по физике. Механика: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1990, – С. 23-31.

173. Загальна фізика: Лабораторний практикум / В.М. Барановський, П.В. Бережний, І.Т. Горбачук та ін. / За заг. ред. І.Т. Горбачука. – К.: Вища шк., 1992. – 509 с.

174. Лабораторный практикум по физике. Часть первая/ В.А. Базакуца, Л.Г. Войнова, Н.И. Гнидаш и др. Под общ. ред. В.А. Базакуцы. – Изд-во Харьков. ун-та, 1964. – 244 с.

175. Лабораторный практикум по физике. А.С. Ахматов, В.Н. Андреевский, А.И. Кулаков. Под ред. А.С. Ахматова. – М.: Высш. шк., 1980. – 360.

176. Сквайрс Дж. Практическая физика. Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 246 с.

177. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. – Л.: Наука, 1974. – 96 с.

178. Орицин Ю.М. Про нову технологію вивчення теми “Елементарні оцінки похибок вимірювання” // Матеріали науково-практичної конф. “Актуальні проблеми викладання фізики”. – Львів, 1996. – С. 23-24.

179. Орищин Ю.М. Шляхи покращення наочності при викладанні теми “Вільні механічні коливання” // Матер. науково-практичної конф. “Актуальні проблеми викладання фізики”. – Львів, 1996. – С. 35-36.

180. Вайданич В.І., Орищин Ю.М., Волошин Л.І. Елементи нових інформаційних технологій навчання при вивченні фізики// Нові інформаційні технології навчання в учбових закладах України. Статті за матер. науково-методичної конф. – Одеса, 1997. – С. 112-114.

181. Ляшенко О.І., Орищин Ю.М. Шляхи вдосконалення вивчення вільних механічних коливань // Матеріали 3 Всеукраїнської конференції “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики”. – К., 1998. – С. 23-27.

182. Ляшенко О.І., Орищин Ю.М., Пірко І.Б. Нові навчальні дослідження при вивченні вільних механічних коливань // Збірник праць Кам’янець-Подільського державного пед. ун-ту. Серія педагогічна. – 1999. – Вип. 5. – С. 163-167.

183. Орищин Ю.М., Пірко І.Б. Нові навчальні дослідження при вивченні вільних механічних коливань // Науковий вісник Миколаївського державного пед. ун-ту. – 1999. – Вип. 1 – С. 78-84.

184. Орищин Ю.М. Методика навчання кінематичних динамічних та енергетичних закономірностей коливальних рухів маятника // Наукові записки. – Вип. 55. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: КДПУ ім. В. Винниченка. – 2004. – С. 82–89.

185. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Ч.2 / Усова В.П., Орехов В.П., Каменский С.Е. и др. – М.: Просвещение, 1980. – С. 186.

186. Орир Дж. Популярная физика. Пер. с англ. – М.: Мир. – С. 92.

187. Овсянов В.М., Солодовников В.М. Простая и эффективная лабораторная установка для изучения колебаний физического маятника // Сборн. тезисов докладов VI-й учебно-методической конфер. Стран

Содружества “Современный физический практикум”. – Изд-ий дом, 2000. – С. 118-119.

188. Кононенко С.Р., Колешнікова Т.О. Удосконалення шкільного фізичного експерименту при вивченні механічних коливань. Проблеми методики викладання фізики на сучасному етапі. Збірник статей. – Кіровоград, 2000. – С. 190-196.

189. Орищин Ю.М., Савчин В.П., Вайданич В.І., Стахіра Й.М. Новий лабораторний експеримент з електромагнетизму // Тези республіканської науково-методичної конференції “Методичні основи технічних засобів навчання та обчислювальної техніки у вищій школі”. – Івано-Франківськ, 1991. – С. 92.

190. Орищин Ю.М., Вайданич В.І., Савчин В.П. Про комп'ютерну навчальну програму на основі багатопрофільної установки “Пружинний маятник” // Тези допов. III Міжн. конф. “Комп'ютерні програми учбового призначення”. – Донецьк, 1995; II Міжн. конф. “Комп'ютерні програми учбового призначення” – Донецьк, 1995. – С. 31.

191. Orishchin Ou. M. Multiprofile training device // Abstracts 10 th General conference if the European physical society. – Sevilla, 1996. – P. 161.

192. Орищин Ю.М., Теличин І.М. Підвищення професійного рівня вчителів на основі застосування сучасних навчальних приладів // Матер. 2 Всеукр. конф. “Проблеми удосконалення фундаментальної і професійної підготовки вчителів з фізики”. – К., 1996. – С. 101-104.

193. Orishchin Ou. M. Spring pendulum vibrations and electron charge // Book of Abstracts Fist European Conference on Physics Teaching in Engineering Education. – Copenhagen, 1997. – P. 30.

194. Orishchin Ou. M. Development of new laboratory experiments the basis of modern educational technologies // 4 Intern. Seminar “Experiments and measurements in engineering physics education”. – Brno (Czech Republic), 1998. – P.12-15.

195. Орищин Ю.М., Яремик Р.Я. Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі вищих та середніх навчальних закладів // Тези доповідей V Всеукр. науково-метод. конф. “Використання персональних ЕОМ у навчальному процесі”. – Львів, 1997. – С. 54-55.

196. Орищин Ю.М., Войтко М.В. Деякі аспекти побудови нової технології навчання “Пружинний маятник та заряд електрона”. Наукові записки. Збірник наукових статей національного пед. ун-ту ім. М.П. Драгоманова. – К.: НПУ, 2002. – Вип. 49. – С. 100-106.

197. Кабасов Ю.К. К методике экспериментального изучения индукционного электрического поля в курсе физики // Сборн. тезисов и докладов VI-й учебно-методической конфер. Стран Содружества “Современный физический практикум”. – Изд-ий дом Московского физ. общества. – 2002. – С. 128-129.

198. Королева Д.В., Журавлева Н.И., Заварикина Л.Н., Королев М.Ю. Об учебно-методическом обеспечении дисциплины “Физика” для естественно-математических специальностей педвуза в рамках ГОС ВПО второго поколения // Физическое образование в вузах. – Изд-ий дом Московск. физ. общества. – 2002. – С. 28-34.

199. Орищин Ю.М. Про релятивізм магнетизму в лабораторному практикумі з фізики // Фізичний збірник Наукового товариства ім. Шевченка. – Львів, 1993. – Т.1. – С. 360-370.

200. Орищин Ю.М. Про впровадження елементів нової технології навчання в лабораторному практикумі з електромагнетизму // Науково-практ. семінар “Створення і використання електронних приладів в лабораторному практикумі з електрики і магнетизму”. Збірник наук. праць. – Житомир, 1994. – С. 30-33.

201. Орищин Ю.М. Окремі аспекти побудови нових технологій навчання з фізики // “Тези доповідей II Всеукраїн. конф. “Шляхи удосконалення фундаментальної і професійної підготовки вчителів фізики”. – К., 1995. – С. 17.

202. Орищин Ю.М. Окремі аспекти побудови нових технологій навчання з фізики // Матеріали 2 Всеукр. конф. “Проблеми удосконалення фундаментальної і професійної підготовки вчителів фізики”. – К., 1996. – С. 68-71.

203. Орищин Ю.М. Про фундаментальний принцип відносності та спеціальну теорію відносності // Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі. Науково-методичний збірник. – Кіровоград, 1998. – Р.2. – С. 147-49.

204. Орищин Ю.М., Пірко І.Б. До питання про комп’ютерно орієнтоване навчальне дослідження з електромагнетизму // Зб. наук. праць “Комп’ютерно орієнтовані технології навчання”. – К.: НПУ ім. Драгоманова, 2001. – Вип. 3. – С. 218-228.

205. Орищин Ю.М. Тема “Релятивізм магнетизму” в курсі загальної фізики. Фрагмент розробки// Збірник наук.-метод. праць Рівненського пед. ун-ту “Теорія і практика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін”. – Рівне: РДГУ, 2001. – Вип. 2. – С. 109-116.

206. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс фізики. Учебн. пособ. для втузов. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 303-310.

207. Купавцев А.В. Изучение электромагнетизма на основе предметной деятельности в электродинамике // Физическое образование в вузах. – Изд-ий дом Московского физ. общества, 2002. – С. 35-47.

208. Orishchin Ou. N., Yaremyk R. Experiment investion of electron motion as basis teaching in quantum mechanics // Intern. Seminar on “Engineering aspects in physics education”. – Smolenice (Slovak Republic), 1999. – P. 92-96.

209. Спроул Р. Современная физика. Пер. с англ. – 2е изд. – М.: Наука, 1974. – С. 160-162.

210. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазм. – М.: Атомиздат, 1969. – С. 71-74.

211. Перкальскис Б.М. Волновые явления и демонстрации по курсу физики. – Томск: Гос. ун-т, 1984. – 216 с.

212. Месси Г., Берхот Е. Электронные и ионные столкновения: пер. с англ. – М.: Иностран. лит., 1988. – С. 932.

213. Smakula A. Verfahren zur Erhöhung der Lichtdurchlässigkeit optischer Teile durch Erniedrigung des Brechungsindex an den Grenzflächen dieser optischen Teile. Patentschrift № 685767, Klasse 42 h, Gruppe 101.

214. Біланюк О. Протидбивний шар: дарунок Олександра Смакули людству // Фізичний збірник НТШ. – Львів, 1996. – Т. 2. – С. 21.