

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Фізико-математичний факультет
Кафедра фізики та методики її навчання**

**ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗАДАЧ ДЛЯ
ПОГЛИБЛЕНОГО ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ В СЕРЕДНІЙ ШКОЛІ**

Кваліфікаційна робота
студента групи ФМм-24
ступінь вищої освіти магістр
спеціальності 014.08 Середня освіта
(Фізика та астрономія)
Садикова Тимофія Тимуровича

Керівник:
доктор фізико-математичних наук,
професор
Білинський Ігор Васильович

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Теоретичні основи використання експериментальних задач у навчанні фізики	6
1.1. Історичний розвиток підходу до розв’язування експериментальних задач у шкільній фізиці	6
1.2. Сутність та значення експериментальних задач у навчанні фізики	12
1.3. Класифікація експериментальних задач з фізики	21
Висновки до розділу 1	27
Розділ 2. Методика використання експериментальних задач для поглибленого вивчення фізики	28
2.1. Критерії відбору експериментальних задач для поглибленого вивчення фізики	28
2.2. Аналіз навчальних програм з фізики для закладів загальної середньої освіти	29
2.3. Методика організації та проведення експериментальних завдань на уроках фізики	33
Висновки до розділу 2.....	37
Розділ 3. Методичні розробки лабораторно-експериментальних робіт для поглибленого вивчення фізики	39
3.1. Практична реалізація методичних принципів.....	39
3.2. Методична розробка лабораторно-експериментально роботи №1	40
3.3. Методична розробка лабораторно-експериментально роботи №2	48
Висновки до розділу 3.....	57
Загальні висновки.....	58
Список використаної літератури.....	60

ВСТУП

У сучасній українській школі питання розвитку дослідницьких умінь учнів набуває особливої ваги. Фізика, яка за своєю природою спирається на експеримент, має всі інструменти, щоб стати базою для формування наукового мислення, проте шкільна практика часто свідчить про інше: лабораторні роботи виконуються формально, демонстрації сприймаються пасивно, а експериментальні задачі застосовуються рідко. Ця суперечність між потенціалом експерименту та реальною практикою навчання й визначає актуальність теми даної роботи.

У вітчизняній та зарубіжній методичній літературі експериментальні задачі розглядають як важливий інструмент для розвитку аналітичного мислення, формування практичних умінь, уміння працювати з невизначеними даними, робити висновки на основі реальних вимірювань. Проте більшість наукових праць зосереджуються або на класифікації таких задач, або на описі окремих прикладів їх використання.

Комплексні дослідження, які поєднують історичний аналіз, методичні основи, критерії відбору й практичні розробки, зустрічаються значно рідше. У цьому й полягає прогалина, яка зумовлює необхідність більш ґрунтовного дослідження експериментальних задач саме в контексті поглибленого вивчення фізики.

Розроблення ефективної системи використання експериментальних задач потребує не лише перегляду існуючих методичних підходів, а й створення нових матеріалів, адаптованих до умов шкільної лабораторії та можливостей сучасних цифрових інструментів. У програмах профільного навчання задекларовано формування дослідницьких компетентностей, проте механізми реалізації цього положення залишаються недостатньо прописаними, що ще більше підсилює потребу у комплексному методичному дослідженні.

Мета дослідження.

Обґрунтоване створення та впровадження методичної системи використання експериментальних задач для поглибленого вивчення фізики, що сприяє розвитку дослідницьких умінь учнів і підвищує результативність засвоєння теоретичного матеріалу.

Завдання дослідження.

- 1) Проаналізувати історію становлення експериментального підходу в навчанні фізики.
- 2) Узагальнити сучасні науково-методичні підходи до визначення сутності й структури експериментальних задач.
- 3) Описати критерії відбору експериментальних задач.
- 4) Встановити можливості інтеграції таких задач у чинні навчальні програми.
- 5) Розробити методичні матеріали, що демонструють практичні шляхи реалізації отриманих теоретичних положень.

Об'єкт дослідження.

Процес навчання фізики в закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження.

Методика використання експериментальних задач у класах з поглибленим вивченням фізики.

Матеріал дослідження.

Вітчизняні та зарубіжні методичні джерела, чинні програми з фізики для базового й профільного рівнів, а також практичні дані, отримані в ході розроблення авторських лабораторно-експериментальних робіт.

Методи дослідження.

Теоретичний аналіз наукової літератури для уточнення ключових понять; порівняльний аналіз навчальних програм для визначення можливостей застосування експериментальних задач; моделювання під час створення навчальних ситуацій та експериментальних установок; практичні вимірювання, спостереження й аналіз експериментальних даних для перевірки ефективності запропонованих методичних розробок.

Практичне значення отриманих результатів.

Розробити дві повноцінні лабораторно-експериментальні роботи з акустики, придатні для використання в реальному навчальному процесі профільної школи. Запропоновані матеріали спрямовані на розвиток самостійності учнів, уміння планувати експеримент, аналізувати похибки та працювати з реальними вимірюваннями. Результати дослідження можуть доповнювати методичне забезпечення вчителя та слугувати основою для подальшого створення експериментальних задач з інших розділів курсу фізики.

Опис структури роботи.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел, три додатки.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗАДАЧ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ

1.1. Історичний розвиток підходу до розв'язування експериментальних задач у шкільній фізиці

Експериментальний підхід у навчанні фізики не виник миттєво – він формувався протягом століть, паралельно з розвитком самої науки та педагогічної думки. Проте цікаво, що навіть сьогодні багато вчителів сприймають експеримент у школі як щось самоочевидне, не замислюючись: а як взагалі з'явилася ідея давати учням не просто розв'язувати задачі на папері, а фізично маніпулювати приладами?

Традиційно вважається, що античні філософи обмежувалися чистим умоглядним міркуванням. Проте це спрощення. Аристотель у трактаті "Фізика" (IV ст. до н.е.) неодноразово посилався на спостереження за падінням тіл, рухом небесних світил, поведінкою рідин [1]. Інша справа, що ці спостереження не були систематизованими експериментами – скоріше, це була фіксація очевидного.

Учні Лікею отримували знання через слухання лекцій та спостереження за природою під час прогулянок, але ніхто не ставив перед ними завдання: "Візьміть два каміння різної ваги і встановіть, який впаде швидше" [2]. Філософія того часу орієнтувалася на розуміння причин, а не на емпіричну перевірку гіпотез через контрольований експеримент.

Справжній поворот до експериментального методу стався у добу Відродження. Леонардо да Вінчі у своїх записах фіксував не просто спостереження, а результати цілеспрямованих дослідів з гідравлікою, механікою, оптикою. Його знамените: «Досвід ніколи не помиляється – помиляються лише ваші судження» [3] можна вважати першим педагогічним маніфестом експериментального методу. Проте ці записи залишалися

приватними, не перетворившись на навчальну систему. Вони були радше інженерними нотатками геніального самоука, ніж основою для організованого педагогічного процесу.

Після революції XVII століття відбувається перехід від демонстрації до задачі. Галілео Галілей здійснив те, що можна назвати першою спробою переходу до навчального експерименту. У "Бесідах про дві нові науки" він не просто описував свої досліди з падінням тіл та коченням куль по похилій площині, а будував діалог між трьома персонажами, один з яких виконував роль учня, що помиляється [4]. Це був революційний підхід: експеримент подавався не як незаперечний доказ, а як відправна точка для міркувань, джерело запитань.

Ще цікавіша педагогічна інновація Галілея – "уявні експерименти" (*esperimenti mentali*). Наприклад, його аргументація проти аристотелівської теорії падіння будувалася так: якщо важче тіло падає швидше, що станеться, коли ми з'єднаємо важке і легке? Легке має гальмувати важке, але разом вони важчі за будь-яке окремо, отже мають падати ще швидше – суперечність! Це була задача без приладів, але з чіткою експериментальною логікою, що вимагала від учня не пасивного сприйняття, а активного мислення [5; 6].

Ньютон у Кембриджі вже регулярно демонстрував студентам досліди з оптики, використовуючи призми та дзеркала. Проте це все ще були демонстрації професора, а не самостійна робота учнів [7]. Михайло Ломоносов у Санкт-Петербурзькій академії пішов далі, обладнавши першу в Росії навчальну хімічну лабораторію, де студенти самі проводили синтези. Саме тут вперше з'являється ідея: студент – не глядач, а дослідник.

Справжня інституціоналізація експериментальних задач у школі відбулася лише у XIX столітті з появою масової середньої освіти.

Німецький педагог Адольф Дістервег у 1835 році запровадив у пруських гімназіях "*Naturwissenschaftliche Praktika*" – практикуми з природничих наук. Це вже були не епізодичні демонстрації, а регулярні заняття, де учні самостійно виконували прості досліди з гідростатики,

електрики, теплоти. Цікаво, що Дістервег обґрунтовував це не стільки науково, скільки політично: нова індустріальна Пруссія потребувала інженерів і техніків, які вміють працювати руками, а не лише міркувати абстрактно. Тобто експериментальні задачі спочатку мали утилітарну мету – готувати робітників для заводів. Освітня філософія того часу бачила у практичних навичках не стільки засіб пізнання світу, скільки підготовку до виробничої діяльності, що суттєво відрізняється від сучасного розуміння ролі експерименту як способу формування наукового мислення [8].

В українських землях, що тоді входили до Австро-Угорщини та Російської імперії, ці ідеї приходили з запізненням. Іван Пулюй, викладаючи у Празькій політехніці та Віденському університеті, розробив у 1880-х роках перші українськомовні посібники з лабораторних робіт. Аналіз цих посібників показує цікаву особливість: Пулюй намагався поєднати німецьку ретельність у вимірюваннях з французькою схильністю до якісних демонстраційних дослідів [9]. Цей синтез двох педагогічних традицій створював унікальну методику, що, на жаль, не отримала широкого розповсюдження через історичні обставини початку XX століття.

Представлена в таблиці 1.1 типологія свідчить про розширення дидактичних цілей експерименту: від підтвердження теорії через професійну підготовку до загальноосвітніх цілей. Географічний аналіз виявляє розповсюдження педагогічних інновацій з Італії та Англії до Європи та України.

Таблиця 1.1. Порівняння підходів до експерименту (на основі [1-9])

Період	Географія	Тип експерименту	Роль учня	Дидактична мета
XVII ст.	Італія, Англія	Професорська демонстрація	Пасивний спостерігач	Підтвердження теорії
Поч. XVIII ст.	Росія, Німеччина	Лабораторна робота	Виконавець інструкцій	Набуття пр. навичок
Сер. XIX ст.	Пруссія	Шкільний практикум	Самостійний дослідник	Підготовка до професії

Кін. XIX ст.	Україна	Змішаний тип	Учень-помічник	Загальна освіта
--------------	---------	--------------	----------------	-----------------

XX століття в українській освіті – це історія драматичних розривів та суперечностей. З одного боку, радянська система створила безпрецедентну матеріальну базу для шкільного експерименту [10]. У 1960-1970-х роках практично кожна школа отримала типовий кабінет фізики з комплектами лабораторного обладнання (ФПМ – "фізичний практикум механіка", ФПЕ – "електрика" тощо). Це був колосальний прорив порівняно з довоєнним часом.

З іншого боку, ідеологічний диктат призвів до стандартизації та алгоритмізації експериментальних робіт. Типова інструкція до лабораторної роботи 1970-х років виглядала як виробнича технологічна карта: встановіть прилад згідно малюнка, зніміть п'ять показань через кожні десять секунд, занесіть дані до таблиці, обчисліть за формулою, зробіть висновок про справедливість закону. Жодного простору для творчості, жодної альтернативи, жодного "А що, якщо спробувати інакше?". Висновок, до речі, був уже сформульований в інструкції – учню залишалося лише переписати його.

Це ілюструє тезу методиста В.Ф. Савченка про те, що «демонстраційний експеримент перетворився на ілюстрацію до вчительських слів, а не на джерело пізнання» [11]. Парадокс полягає в тому, що саме у радянський період було написано найбільше методичних праць про творче використання експерименту, але реальна шкільна практика залишалася формалізованою. Причина проста: творчий експеримент непередбачуваний, а радянська школа потребувала контрольованості та однаковості результатів. Учитель не міг дозволити ситуацію, коли одна група учнів отримала один результат, а інша – протилежний, адже це вимагало б складної дискусії про похибки, методи та інтерпретацію даних, на що не було ні часу, ні методичної підготовки.

Останні двадцять-двадцять п'ять років позначені кількома революційними змінами. Цифровізація вимірювань через програми типу

Logger Pro, Tracker, PhET Simulations дозволила учням працювати з великими масивами даних, будувати графіки в реальному часі, моделювати недоступні для шкільної лабораторії явища – ядерні реакції, космологічні процеси, квантові ефекти [12]. STEM-інтеграція змінила саму природу експериментальних задач. Вони перестали бути суто фізичними. Наприклад, дослідження енергоефективності шкільного будинку поєднує фізику (теплопередача), математику (статистична обробка), технології (використання теплових камер), екологію (аналіз впливу на довкілля). Такі міждисциплінарні проєкти ближчі до реальної наукової роботи, де проблеми рідко вкладаються в рамки однієї дисципліни.

Повернення inquiry-based підходу змінило філософію експерименту. Європейська концепція IBSE (Inquiry-Based Science Education) наголошує: експеримент має починатися не з інструкції, а з питання учня [13]. Звична послідовність змінюється: замість "Теорія → Лабораторна робота → Підтвердження теорії" маємо "Спостереження парадоксу → Формулювання гіпотез → Експериментальна перевірка → Побудова теоретичної моделі".

Системний огляд англomовної літератури за 2009-2019 роки показує глобальну тенденцію до використання віртуальних лабораторій у навчанні природничих наук [14; 15]. Проте дослідження також виявили проблему: віртуальні експерименти ефективні для формування концептуального розуміння, але не замінюють досвіду роботи з реальним обладнанням, його недосконаlostями, несподіваними похибками та необхідністю адаптувати метод до реальних умов.

Як демонструє схема 1.1, еволюція функцій експериментальних задач пройшла шлях від ілюстрації теорії через демонстрацію та формування професійних навичок у практикумах до сучасного розуміння експерименту як засобу генерації знань через дослідницьку та проєктну діяльність. Ця трансформація відображає зміну парадигми від репродуктивного навчання до дослідницького підходу.

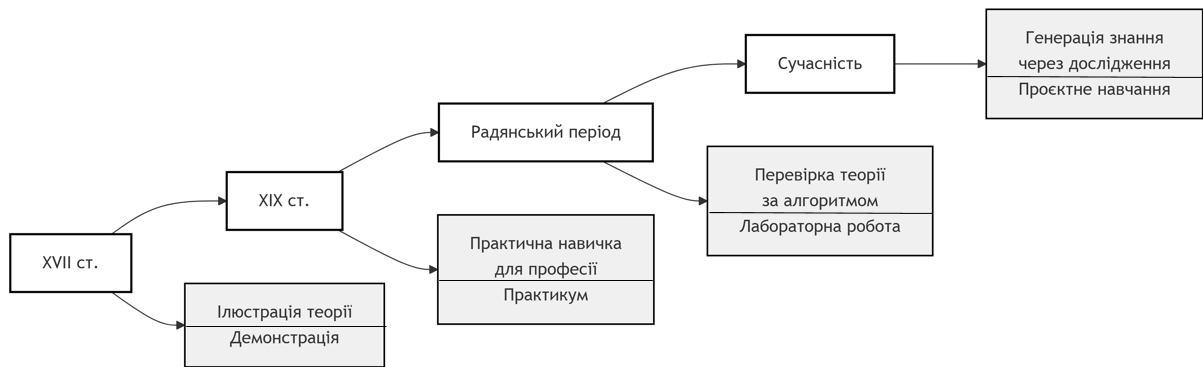


Схема 1.1. Еволюція функцій експериментальних задач (на основі [15])

Аналіз історичного розвитку експериментальних задач виявляє кілька стійких дидактичних дилем, які досі не мають однозначного розв'язання.

Дилема 1 стосується протиріччя між масштабом та індивідуалізацією: як забезпечити кожному учню доступ до обладнання, коли у класі тридцять осіб, а приладів – комплект на п'ятнадцять? Радянська система вирішувала це фронтальними роботами у парах, але це знижувало особисту залученість. Сучасні спроби використовувати змінний графік, коли різні групи працюють у різний час, наштовхуються на жорсткий розклад та брак вільних годин у вчителів.

Дилема 2 підкреслює, що повноцінне дослідження вимагає часу, але програма перевантажена теоретичним матеріалом [16]. Учителі змушені вибирати: або поверхнево "пробігти" експеримент, або не встигнути освоїти програму.

Дилема 3 балансує між безпекою та відкритістю. Справжній експеримент передбачає право на помилку, на несподіваний результат, на можливість "зламати" прилад через необережність. Але шкільна адміністрація вимагає контролю та безпеки, що обмежує експериментування списками дозволених дій та суворими протоколами, які перетворюють дослідження на ритуал.

Перспективним напрямком може стати поєднання реального та віртуального експерименту. Дослідження показують, що комбінований підхід, коли учні спочатку працюють з віртуальними моделями для розуміння принципу, а потім перевіряють результати на реальному обладнанні, дає кращі результати, ніж використання лише одного типу лабораторій. Також актуальним є розвиток домашніх експериментальних задач з побутовими предметами – це знімає проблему дефіциту шкільного обладнання та дозволяє продовжити навчання за межами класної кімнати.

Отже, історія експериментальних задач – це не лінійний прогрес від примітивного до досконалого, а циклічний рух між полюсами алгоритмічності та творчості, між масовістю та індивідуалізацією. Сучасна українська школа перебуває на етапі пошуку балансу між кращими традиціями радянської системності та європейським дослідницьким підходом. Успішність цього пошуку залежить не стільки від підручників та програм, скільки від готовності конкретного вчителя перетворити експеримент з обов'язкової формальності на захоплюючу інтелектуальну роботу.

1.2. Сутність та значення експериментальних задач у навчанні фізики

Експериментальні задачі займають особливе місце у методичній системі викладання фізики, адже саме вони найефективніше реалізують ключову ідею: фізика – це не абстрактна математична конструкція, а наука про реальний світ, що пізнається через взаємодію з матеріальними об'єктами. Проте дивно, що у багатьох підручниках та методичних посібниках експериментальні задачі згадуються побіжно, як щось допоміжне до справжнього навчання – лекцій та розв'язування текстових задач [17].

Перш за все, вияснимо питання, що насправді є експериментальною задачею? У методичній літературі існує кілька визначень поняття

"експериментальна задача", які на перший погляд здаються схожими, але насправді розкривають різні аспекти цього явища. Одні автори наголошують на функціональному аспекті: експеримент як засіб отримання даних для розрахунків. Інші підкреслюють процесуальний бік: експеримент як діяльність учня, що виконується безпосередньо перед його очима або його власними руками. Проаналізувавши різні підходи, можна запропонувати синтетичне визначення: експериментальна задача – це навчальна ситуація, у якій учень самостійно або під керівництвом вчителя здобуває емпіричні дані через фізичну взаємодію з приладами та об'єктами, а потім використовує ці дані для побудови пояснень, перевірки гіпотез або розрахунків фізичних величин.

Ключовими ознаками експериментальної задачі є активна роль учня (не пасивне спостереження демонстрації вчителя), невизначеність даних (числові значення не задані в умові, а мають бути виміряні), цілеспрямованість (експеримент відповідає на конкретне запитання) та рефлексивність (обов'язковий аналіз отриманих результатів). Важливо розуміти, що експериментальна задача – це не заміна традиційної лабораторної роботи, а її альтернативна форма з іншими дидактичними акцентами.

У лабораторній роботі головна мета полягає у відпрацюванні техніки вимірювань та навчанні користуватися приладами (табл. 1.2), тоді як в експериментальній задачі ці навички вже застосовуються для розв'язання проблеми. Лабораторна робота зазвичай має детальну покрокову інструкцію, яка гарантує передбачуваний результат – підтвердження відомого закону [18]. Експериментальна задача навпаки передбачає мінімальну інструкцію або її відсутність, що стимулює учня самостійно планувати послідовність дій, обирати прилади, аналізувати можливі джерела похибок.

Таблиця 1.2. Порівняння лабораторної та експериментальної задачі

Параметр	Лабораторна робота	Експериментальна задача
----------	--------------------	-------------------------

Мета	Накопичення експериментальних навичок	Застосування навичок для розв'язання проблеми
Інструкція	Детальна покрокова	Мінімальна або відсутня
Результат	Передбачуваний (підтвердження закону)	Може бути несподіваним
Час виконання	20-45 хвилин	5-15 хвилин
Обладнання	Спеціалізоване лабораторне	Часто підручне, нестандартне
Творчість	Обмежена алгоритмом	Вибір методу розв'язання
Місце у навчанні	Формування базових умінь	Інтеграція знань та вмінь

Наступним кроком в дослідженні необхідно розглянути типологію експериментальних задач. Найпростіший поділ експериментальних задач здійснюється на кількісні та якісні. Кількісні передбачають вимірювання величин та обчислення за формулами, наприклад: "Визначте густину невідомого металу, маючи зразок, терези та мірний циліндр". Якісні орієнтовані на пояснення явищ без детальних розрахунків: "Чому дзеркало запотіває після душі і як це пов'язано з температурою?" [14; 18]. Проте така дихотомія занадто спрощена. Насправді існує континуум складності від простих спостережень до складних досліджень з множиною змінних.

Градація рівнів складності експериментальних задач може бути представлена від спостереження за демонстрацією (коли учень не маніпулює приладами, але активно інтерпретує побачене) через пряме вимірювання (самостійне вимірювання однієї величини приладом) та непряме вимірювання (вимірювання кількох величин з подальшим обчисленням шуканої за формулою) до вибору методу (коли надано кілька приладів і учень має обрати, які використати) та відкритого дослідження (проблема сформульована, але метод розв'язання не заданий). Ця градація корисна для побудови системи завдань від простих до складних протягом навчального року.

Типова помилка вчителів полягає у тому, що вони відразу дають складні задачі верхніх рівнів, не пройшовши попередні етапи, внаслідок чого учні, які

не вміють навіть правильно зняти покази приладу, виявляються неспроможними планувати дослідження.



Схема 1.2. Градація рівнів складності експериментальних задач (на основі [19])

Методична література традиційно виділяє кілька функцій експериментальних задач: розвиток пізнавальної активності, формування логічного мислення, зв'язок теорії з практикою, підготовка до професійної діяльності [18; 19]. Проте це лише верхівка айсберга. Детальний аналіз виявляє принаймні п'ять груп функцій, які можна систематизувати у вигляді схеми 1.2 взаємозв'язків.

Когнітивні функції пов'язані з процесом пізнання. Конкретизація абстрактних понять відбувається тоді, коли учень не просто читає у підручнику про силу Архімеда, а занурює різні тіла у воду і відчуває рукою виштовхувальну силу на динамометрі, внаслідок чого поняття стає конкретним, втіленим. Виявлення причинно-наслідкових зв'язків через експеримент принципово відрізняється від формального пошуку формули у довіднику.

Коли учень нагріває провідник і вимірює зміну опору, він бачить реальність цього зв'язку, а не лише його математичну можливість. Формування критичного мислення стимулюється тим, що експеримент не завжди дає "правильний" результат з підручника – виміряне прискорення вільного падіння може виявитися дев'ять цілих три десятих метра за секунду в квадраті, а не дев'ять цілих вісім десятих, що стимулює запитання: помилка експерименту чи методу, як оцінити похибку, чи можна довіряти одному вимірюванню.

Праксеологічні функції (схема 1.3) стосуються формування специфічних експериментальних умінь. Уміння спостерігати включає фокусування уваги на релевантних деталях (не всі зміни важливі), ігнорування побічних факторів (вібрація столу під час вимірювань), повторюваність спостережень для перевірки та фіксацію результатів у систематизованій формі. Уміння вимірювати конкретизується як вибір приладу з відповідною точністю, визначення ціни поділки та межі вимірювань, мінімізація впливу самого вимірювання на об'єкт (наприклад, амперметр змінює струм у колі) та оцінка похибки [20].

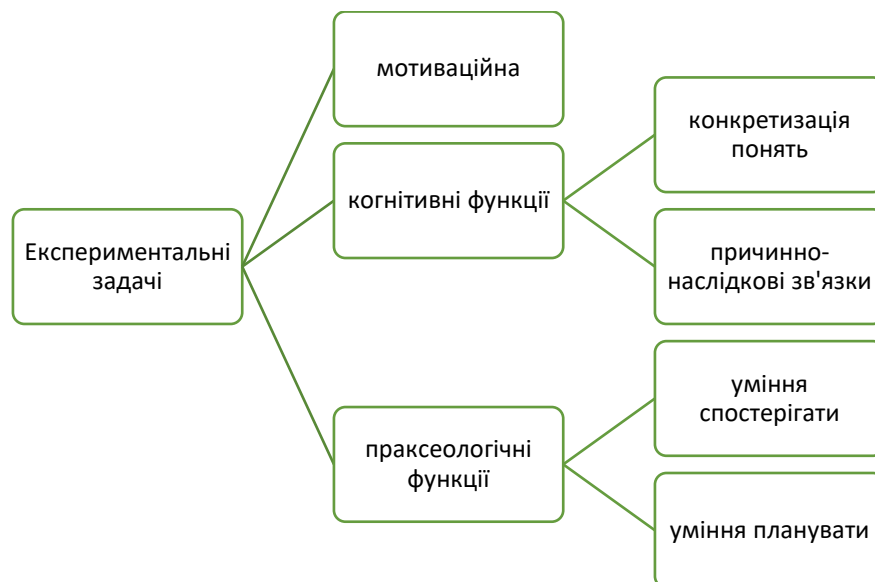


Схема 1.3. Система дидактичних функцій експериментальних задач

Уміння планувати експеримент є найвищою формою експериментальної компетентності і включає операціоналізацію питання (як перетворити абстрактне "залежність" на конкретні вимірювання), контроль змінних (змінювати лише один параметр, інші фіксувати), передбачення можливих проблем та раціональне використання часу і ресурсів.

Мотиваційні та світоглядні функції часто недооцінюються, хоча саме вони визначають довгострокову ефективність навчання. Експеримент додає несподіваність у навчальний процес – коли учень бачить, що дві кулі (важка та легка) падають одночасно, виникає когнітивний дисонанс, що стимулює до пошуку пояснення, адже це суперечить інтуїції. Текстова задача не може створити такого емоційного ефекту.

Систематична робота з експериментальними задачами формує наукову картину світу: розуміння, що природа підкоряється законам, які можна перевірити; що теорія має передбачувану силу; що експеримент є арбітром у суперечках. Це важливіше за конкретні знання про закон Ома чи формулу густини, адже саме світоглядна основа визначає, чи стане учень людиною, здатною до критичного мислення та раціонального прийняття рішень.

Більшість методичних посібників пропонує універсальний алгоритм розв'язування експериментальних задач, який включає послідовність кроків від усвідомлення умови через складання плану, теоретичні розрахунки, практичні вимірювання та оцінку похибок до формулювання висновку [20]. Це розумний підхід для навчання початківців, але він має недоліки. По-перше, реальна наукова діяльність рідко йде лінійно від першого до останнього кроку – частіше це ітеративний процес з поверненнями назад, коли несподіваний результат змушує переглянути метод чи навіть саме формулювання проблеми. По-друге, такий алгоритм не залишає простору для евристик – творчих прийомів, які відрізняють досвідченого експериментатора від новачка.

Альтернативний підхід, який можна назвати проблемно-орієнтованою методикою, передбачає початок не з умови, а зі створення проблемної ситуації (демонстрація парадоксального явища), після чого учні висувують гіпотези

пояснення, планують експеримент для перевірки гіпотез (а не для "підтвердження теорії"), інтерпретують результати та можуть коригувати гіпотези у разі невідповідності.

Який підхід кращий (табл. 1.3)? Це залежить від мети конкретного уроку: для формування базових навичок доцільніший алгоритмічний підхід, для розвитку дослідницької компетентності – проблемний [21]. Найефективнішою є поступова трансформація від першого до другого протягом навчального року, коли учні спочатку опановують техніку роботи за інструкцією, а потім поступово отримують більше свободи у виборі методів та інтерпретації результатів.

Таблиця 1.3. Порівняння алгоритмічного та проблемного підходів до експериментальних задач

Критерій	Алгоритмічний підхід	Проблемний підхід
Початок роботи	Умова задачі	Проблемна ситуація
Роль теорії	Дана наперед (виведення формули)	Будується у процесі
Послідовність дій	Лінійна, фіксована	Ітеративна, циклічна
Можливість помилки	Небажана, мінімізується	Природна частина пізнання
Висновок	Підтвердження відомого закону	Відкриття нового для учня
Час виконання	Передбачуваний (15-20 хв)	Варіативний (може бути довшим)
Оптимальна аудиторія	Початківці, базовий рівень	Просунуті учні, профільний рівень

Вияснимо, чому експеримент «не працює»? Парадокс полягає у тому, що у радянській школі була розвинена система навчального експерименту, але учні часто демонстрували формальне засвоєння знань – вони могли провести лабораторну роботу за інструкцією, але не розуміли фізичної суті явищ.

Аналіз причин цього парадоксу виявляє три основні проблеми. Перша причина пов'язана з відривом експерименту від теорії: коли лабораторна робота проводиться у кінці розділу як "перевірка" вже вивченого матеріалу,

учень знає відповідь заздалегідь, і експеримент стає формальністю. Друга причина – це шаблонність: одна й та сама послідовність дій для всіх задач призводить до того, що учень вчиться не фізиці, а "проходженню лабораторних робіт". Третя причина – ігнорування "неправильних" результатів: якщо виміряне значення не збігається з табличним, учень замість аналізу причин розбіжності просто "підганяє" дані під очікуваний результат, що руйнує саму суть наукового методу.

Експериментальні задачі можуть протидіяти формалізму через різноманітність методів та обладнання, через невизначеність (у задачі немає "правильної відповіді", є обґрунтована оцінка з аналізом похибок) та через практичну значущість – використання задач з реальними об'єктами, а не абстрактними тілами. Дослідження ефективності практичної роботи у шкільному навчанні науки показали (схема 1.4), що найбільший навчальний ефект досягається тоді, коли учні не просто виконують маніпуляції, а усвідомлюють мету експерименту, активно думають про зв'язок між діями та результатами, рефлексують над отриманими даними [19-21].

Навчальний процес		
Лекції	Розв'язування задач	Експериментальна діяльність
↑	↑	↑
<i>формування понятійної бази</i>	<i>застосування алгоритмів</i>	<i>емпірична перевірка</i>

Схема 1.4. Місце експериментальних задач у структурі навчального процесу (на основі[19-21])

Сучасні експериментальні дослідження вимагають та висувають нові виклики та різні можливості. Цифрові технології створили якісно нові

можливості для експериментальних задач. Віртуальні лабораторії (PhET, Algodoo) дозволяють експериментувати з явищами, недоступними у шкільній лабораторії: ядерні реакції, космологічні процеси, наноструктури.

Проте існує обґрунтована критика такого підходу: віртуальний експеримент не формує "тілесного знання", взаємодії з реальними об'єктами, не дає досвіду роботи з реальною апаратурою та її недосконаlostями, з несподіваними похибками, які виникають через вологість повітря, температурні коливання, механічний знос обладнання. Датчикові системи (Logger Pro, Vernier) забезпечують точність та швидкість вимірювань, недосяжні для традиційних приладів, дозволяючи реєструвати швидкоплинні процеси, будувати графіки в реальному часі, обробляти великі масиви даних.

Домашні експерименти з смартфоном – використання вбудованих акселерометра, гіроскопа, світлового датчика для фізичних вимірювань – знімають проблему дефіциту шкільного обладнання і дозволяють продовжити навчання за межами класу.

Проте виникає нова проблема, яку можна назвати технофілією – захоплення гаджетами заради гаджетів. Датчик дає красиві графіки, але чи розуміє учень фізику процесу, чи може він пояснити форму кривої, чи усвідомлює обмеження методу? Цифрові інструменти мають підсилювати експериментальне мислення, а не замінювати його автоматизованою обробкою даних без розуміння. Порівняльні дослідження показують, що найкращі результати навчання досягаються при комбінованому використанні реальних і віртуальних лабораторій, коли кожен тип експерименту використовується для тих цілей, для яких він найбільш придатний [22].

Бачимо, що експериментальні задачі – це не допоміжний елемент навчання фізики, а його смисловий центр, де перетинаються теорія і практика, абстрактне і конкретне, репродуктивне і творче. Вони виконують значно ширший спектр функцій, ніж традиційно вважається: від формування елементарних вимірювальних навичок до становлення наукового світогляду.

Проте ефективність експериментальних задач не є автоматичною – вона залежить від методично грамотної організації, різноманітності форм, інтеграції з теоретичним матеріалом. Головний виклик сучасної методики полягає у необхідності перетворити експеримент з ритуальної "перевірки закону" на справжнє дослідження, де учень виступає не виконавцем інструкції, а мислячим суб'єктом пізнання.

1.3. Класифікація експериментальних задач з фізики

Класифікація експериментальних задач становить важливу методологічну основу для їх ефективного застосування у навчальному процесі. Різноманітні підходи до типології дозволяють викладачам обирати оптимальні форми роботи залежно від конкретних дидактичних цілей та рівня підготовки учнів [22].

Найпоширенішим підходом є поділ задач за методами їх розв'язання. Перший тип включає задачі, що потребують одного методу визначення фізичної величини – такі задачі мають чітку послідовність дій та однозначний алгоритм виконання, що робить їх придатними для відпрацювання конкретних навичок.

Другий тип охоплює задачі, які допускають використання кількох методів визначення однієї величини, що вимагає від учнів глибшого розуміння фізичних законів, здатності аналізувати різні підходи та обирати найоптимальніший [19]. Наприклад, для визначення коефіцієнта тертя ковзання можна використати пряме вимірювання сили за допомогою динамометра, можна застосувати метод похилої площини з вимірюванням кута, можна навіть використати кінематичний підхід, вимірюючи час руху та прискорення. Кожен метод має свої переваги та обмеження, і вибір залежить від наявного обладнання, точності, яку потрібно досягти, та рівня теоретичної підготовки учнів.

Вчителі-практики часто використовують інший поділ [23]. Перший вид формулюється як завдання підібрати прилади для визначення певної фізичної величини з набору, розташованого на демонстраційному столі – такі задачі розвивають аналітичне мислення та вміння планувати експеримент. Другий вид передбачає роботу з конкретними приладами, що знаходяться на учнівських столах, для визначення заданої величини. Цей тип є більш структурованим і має низку переваг: однозначність розв'язку, мінімальне число приладів, конкретність поставленої мети, виключення випадковості чи формальності розв'язання, глибоке дослідження явища та активне втручання учня в його протікання.

За видом вимірювання фізичних величин розрізняють прямі вимірювання (безпосереднє визначення шуканої величини), посередні (визначення через інші безпосередньо вимірювані величини), сукупні (одночасне вимірювання декількох однойменних величин) та спільні вимірювання (одночасне вимірювання декількох різнойменних величин).

За змістом експериментальні задачі поділяються на дві основні категорії. Перша категорія охоплює дослідження фізичних властивостей речовин і полів, що включає визначення густини, електропровідності, магнітних властивостей тощо [24]. Друга категорія стосується дослідження фізичних явищ і процесів, як природних, так і лабораторних, фокусуючись на вивченні закономірностей механічного руху, теплообміну, електромагнітних явищ та інших процесів.

За своєю специфікою задачі традиційно поділяють на якісні та кількісні – якісні спрямовані на виявлення сутності фізичних явищ без детальних кількісних вимірювань, тоді як кількісні потребують точних вимірювань та розрахунків [24]. За рівнем абстрагування дослідження можна розділити на абстрактні (робота з ідеалізованими моделями) та конкретні (орієнтація на реальні об'єкти та процеси).

Представлена в табл. 1.4 типологія виокремлює три рівні складності умов проведення експерименту, кожен з яких реалізує власну дидактичну мету. Прогресуючи від формування базових навичок до розвитку аналітичного

та, нарешті, дослідницького мислення, ця система забезпечує послідовне нарощування експериментальної компетентності учня.

Таблиця 1.4. Типологія експериментальних задач за умовами проведення (систематизація на основі [22; 24])

Тип за умовами	Характеристика	Дидактична мета
Із заданими приладами	Прилади визначені наперед	Формування базових навичок роботи
Із передбаченням вибору	Вибір із запропонованих варіантів	Розвиток аналітичного мислення
Із вільним вибором	Самостійний підбір обладнання	Формування дослідницької компетентності

Особливу групу складають дослідницькі задачі на підтвердження основних теоретичних положень. Вони включають задачі-оцінки (оцінювання порядку фізичних величин), задачі-доведення (експериментальне доведення теоретичних положень), задачі-пояснення або прогнози, задачі на визначення фундаментальних фізичних констант та задачі на перевірку і виведення фізичних законів.

Наприклад, задача-оцінка може звучати так: "Оцініть потужність, яку ви розвиваєте, піднімаючись сходами на третій поверх". Учень має самостійно визначити, які величини потрібно виміряти (масу тіла, висоту підйому, час), провести вимірювання і розрахувати результат, після чого порівняти отримане значення з типовими показниками для людини, що дозволяє сформувати інтуїтивне відчуття порядку величин у реальних ситуаціях.

За метою використання експериментальні задачі розподіляються на ті, що слугують закріпленню вивченого матеріалу, та ті, що орієнтовані на використання фізичних знань у життєвих ситуаціях. Перші дозволяють учням застосувати теоретичні знання на практиці та розвинути навички експериментування в контрольованих умовах класу. Другі сприяють формуванню практичних компетенцій та демонструють зв'язок фізики з

повсякденним життям, що особливо важливо для підвищення мотивації учнів, які часто запитують: "Навіщо мені це у житті?".

Не завжди в задачах задано умовою конкретний прилад, через те, за використанням приладів виділяють три типи задач: звичні задачі розв'язуються за допомогою конкретних приладів і є найбільш структурованими, спрямованими на розвиток базових експериментальних навичок; творчі задачі вимагають підібрати устаткування із наявного і розвивають творче мислення та вміння планувати експеримент; дослідницькі задачі потребують врахування всіх можливих факторів визначення фізичної величини і є найбільш складними, наближеними до реальної наукової діяльності.

За програмним обсягом задачі розподіляються відповідно до навчальної програми за темами та розділами курсу фізики. За формою організації навчальної діяльності розрізняють групові (виконуються колективно) та індивідуальні (виконуються самостійно кожним учнем) задачі [25].

В залежності від характеру пізнавальної діяльності виділяють проблемні (створюють проблемну ситуацію), передбачувальні (націлені на прогнозування результатів), задачі для підтвердження правильності теорії та задачі для закріплення матеріалу. Особливе місце посідають домашні експериментальні задачі, які виконуються учнями самостійно з використанням побутових предметів та приладів – такі задачі розширюють можливості навчання за межами класу та формують уміння застосовувати фізичні знання у повсякденному житті.

Представлена в таблиці 1.5 класифікація розкриває зв'язок між специфікою задач та їх навчальним ефектом. Кожен із чотирьох типів завдань – «чорні ящики», парадокси, софізми та ігри – має унікальний механізм впливу на розумову діяльність учня, цілеспрямовано розвиваючи окремі сторони його пізнавальної сфери: від евристичного і критичного мислення до логічної культури та внутрішньої мотивації.

Таблиця 1.5. Класифікація за способом підвищення пізнавального інтересу (розробка на основі [25])

Тип задачі	Сутність	Навчальний ефект
Чорні ящики	Дослідження невідомого об'єкта	Розвиток евристичного мислення
Парадокси	Суперечність між очікуваним та реальним	Стимулювання критичного аналізу
Софізми	Виявлення логічних помилок	Формування логічної культури
Ігри та кросворди	Задачі в ігровій формі	Підвищення мотивації навчання

Вимогою задач першого типу є отримання реального ефекту відповідно до даної абстрактної моделі (закону, формули, графіка). Задачі другого типу вимагають пояснення незнайомого явища на основі адекватної абстрактної моделі з теорії фізики. Запропоновані класифікації дають змогу вчителю конструювати нові моделі уроків фізики та добирати експериментальні задачі, які забезпечать формування багатоваріантності мислення учнів і зростання їхнього інтересу до експериментування [26]. Використання різних типів експериментальних задач дозволяє застосовувати всю множину методів їх розв'язування, наближаючи учнів до розуміння важливості експериментального методу науки та формуючи сучасний науковий тип мислення.

Важливо, що класифікація – це не самоціль, а інструмент для свідомого планування навчального процесу, коли вчитель розуміє, яку саме компетентність формує кожна конкретна задача і як вона вписується у загальну логіку курсу.

Класифікація експериментальних задач є практичним інструментом для ефективної організації навчального процесу з фізики. Різноманітність типів задач за методом розв'язання, змістом, складністю та метою використання дозволяє урізноманітнити підходи до їх застосування, що суттєво підвищує якість знань учнів та інтерес до предмета. Систематичне використання задач

різних типів вимагає від учителя глибокого розуміння методики їх застосування, врахування індивідуальних особливостей учнів та мети конкретного уроку. Головне завдання полягає не у механічному переборі всіх можливих типів задач, а у свідомому виборі тих форм експериментальної роботи, які найкраще відповідають актуальним навчальним цілям та можливостям конкретного класу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Узагальнюючи історичний розвиток експериментальних задач, можна побачити, що становлення цього підходу не було прямолінійним. Еволюція тривала від античних спостережень до систематизованих дослідів Нового часу. Експеримент поступово перестає бути лише ілюстрацією до теорії а починає виступати інструментом мислення. Саме тому сучасна школа намагається відмовитися від формалізму минулого та повернути експерименту його дослідницьку сутність.

Розглядаючи поняття та функції експериментальних задач, стає очевидним, що вони стають засобом розвитку критичного мислення та формування наукового світогляду. Їхня сила полягає у тому, що вони інтегрують пізнавальну, практичну та мотиваційну складові навчання, створюють умови для переходу з відтворення знань до самостійного відкриття закономірностей. Успішність цього переходу залежить від того, наскільки вчитель здатен організувати експеримент так, щоб він не перетворювався на формальність, а ставав інструментом для осмислення.

Розглянуті в третьому підрозділі класифікації експериментальних задач демонструють, що їх різноманітність є практичним механізмом диференціації навчання. Кожен тип задач виконує власну дидактичну функцію. Вони дозволяють поступово знайти підхід до зростання учня: від опанування техніки вимірювань до здатності самостійно планувати дослідження, обирати оптимальний метод, оцінювати похибки та інтерпретувати результати. Завдяки цьому експериментальні задачі стають гнучким інструментом, який може адаптуватися під рівень класу та цілі уроку.

Отже, увесь перший розділ засвідчує, що експериментальні задачі займають центральне місце у сучасній методиці навчання фізики. Вони є фундаментом формування наукового мислення, засобом розвитку пізнавальної ініціативи та способом оживлення теоретичного матеріалу.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПОГЛИБЛЕНОГО ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ

2.1. Критерії відбору експериментальних задач для поглибленого вивчення фізики

Теоретичний аналіз сутності та класифікації експериментальних задач, проведений у першому розділі, створює необхідне підґрунтя для переходу до практичних аспектів їх використання у навчальному процесі. Проте знання про різноманітність типів задач саме по собі не гарантує їхньої ефективності – потрібна чітка система критеріїв, за якими вчитель може обирати конкретні завдання для конкретних дидактичних цілей.

Перший критерій стосується відповідності задачі рівню підготовки учнів. Задача не повинна бути ні занадто простою (що призводить до втрати інтересу), ні непосильно складною (що викликає фрустрацію та відмову від спроб розв'язання). Поглиблене вивчення фізики передбачає роботу з учнями, які вже мають базові експериментальні навички, тому задачі мають бути орієнтовані на рівні від трьох до п'яти за п'ятибальною градацією складності, запропонованою у підрозділі 1.2. Другий критерій – наявність проблемності та нестандартності. Якщо задача розв'язується простою підстановкою у формулу або механічним повторенням відомого алгоритму, вона не сприяє поглибленню знань [27]. Ефективні задачі містять елемент несподіванки, вимагають аналізу ситуації, вибору методу з кількох можливих варіантів.

Третій критерій – методична доцільність та інтеграція з теоретичним матеріалом. Експериментальна задача не повинна бути ізольованою від курсу – вона має органічно вписуватися у логіку вивчення теми, або попереджаючи теорію (створюючи проблемну ситуацію), або закріплюючи її (надаючи можливість застосування знань у новій ситуації). Четвертий критерій

стосується реалістичності виконання в умовах конкретної школи: чи є необхідне обладнання, чи вистачить часу на уроці, чи безпечне виконання експерименту [28]. Найкраща теоретично задача стає марною, якщо для неї потрібен прилад, якого немає у шкільному кабінеті, або якщо на її виконання потрібна ціла година замість запланованих п'ятнадцяти хвилин.

П'ятий критерій – потенціал для розвитку критичного мислення та рефлексії [29]. Хороша експериментальна задача стимулює учня не просто отримати числовий результат, а задуматися: чому вийшло саме таке значення, які фактори могли вплинути на результат, наскільки точний цей метод, чи можна було зробити інакше. Такі задачі часто не мають однозначної "правильної відповіді" – натомість є обґрунтована оцінка з аналізом похибок та обмежень методу.

2.2. Аналіз навчальних програм з фізики для закладів загальної середньої освіти

Ефективне використання експериментальних задач для поглибленого вивчення фізики вимагає розуміння того, як вони інтегруються у чинні навчальні програми. В Україні діють кілька варіантів програм для різних рівнів навчання та профілів класів, що створює як можливості, так і певні обмеження для вчителя.

Базова навчальна програма з фізики для 7-9 класів закладів загальної середньої освіти, затверджена у 2017 році з оновленнями 2023 року, передбачає формування предметних компетентностей через діяльнісний підхід. Програма виділяє експериментування як одну з ключових складових навчання фізики, проте конкретні вимоги до типів та кількості експериментальних задач залишаються досить загальними [30]. Для базового рівня старшої школи (10-11 класи) програма акцентує увагу на практичній спрямованості навчання, пропонуючи перелік обов'язкових лабораторних

робіт, але експериментальні задачі як окрема форма роботи згадуються лише опосередковано через рекомендації щодо "використання різноманітних методів та форм організації навчання" [31].

Профільна програма для класів природничо-математичного спрямування (рівень стандарту та академічний рівень) надає значно більше свободи для впровадження експериментальних задач (таблиця 2.1). Зокрема, програма рекомендує виділяти до 30% навчального часу на практичну діяльність учнів, що включає не лише традиційні лабораторні роботи, а й розв'язування експериментальних задач, виконання навчальних проєктів, проведення демонстраційних дослідів [31]. Проте аналіз розподілу годин показує, що за умови виконання всіх обов'язкових лабораторних робіт на експериментальні задачі залишається всього 8-12 годин на рік, що вимагає від вчителя особливо ретельного відбору завдань.

Таблиця 2.1. Порівняння можливостей для впровадження експериментальних задач у різних програмах (на основі [30; 31])

Параметр	Базовий рівень (7-9 кл.) уроків/рік	Базовий рівень (10-11 кл.) уроків/рік	Профільний рівень (10-11 кл.) уроків/рік
Годин на практичну роботу	14-16	18-20	35-40
Обов'язкові лабораторні роботи	8-10	10-12	12-15
Вільний час для експериментальні завдання	4-6	6-8	20-25
Згадка експериментальні завдання у програмі	Опосередкована	Рекомендована	Обов'язкова
Можливість варіювання змісту	Обмежена	Середня	Висока

Аналіз змістових ліній програм виявляє нерівномірність можливостей для впровадження експериментальних задач за різними темами. Найбільший потенціал має розділ "Механіка" – тут практично до кожної теми можна

підібрати експериментальні задачі з використанням простого і доступного обладнання: лінійки, секундоміра, динамометра, важків. Розділ "Молекулярна фізика та термодинаміка" також дає широкі можливості, особливо для якісних експериментальних задач та домашніх дослідів з побутовими предметами.

Натомість розділ "Електродинаміка" вимагає спеціалізованого обладнання (джерела струму, амперметри, вольтметри, набори резисторів), яке є не у всіх школах в достатній кількості для фронтальної роботи [30].

Ще складніша ситуація з розділами "Коливання та хвилі" і особливо "Оптика" та "Квантова фізика", де багато явищ взагалі важко продемонструвати в умовах шкільної лабораторії без спеціального обладнання. Це створює об'єктивні обмеження для рівномірного використання експериментальних задач протягом усього курсу. Проте саме тут виникає можливість для творчого підходу: використання віртуальних лабораторій для недоступних експериментів, залучення смартфонів як вимірювальних приладів для дослідження коливань та звуку, конструювання простих оптичних приладів з підручних матеріалів [31].

Оновлені програми 2023 року посилили акцент на компетентнісному підході, що передбачає не просто засвоєння знань, а формування здатності застосовувати їх у реальних життєвих ситуаціях. Серед ключових предметних компетентностей виділяється "дослідницька компетентність", яка безпосередньо пов'язана з умінням планувати і проводити експерименти, аналізувати результати, робити обґрунтовані висновки [31].

Експериментальні задачі є одним з найефективніших засобів формування цієї компетентності, оскільки, на відміну від традиційних лабораторних робіт за інструкцією, вони вимагають від учня самостійного прийняття рішень на всіх етапах дослідження.

Згідно з моделлю, представленою на схемі 2.1, предметні компетентності з фізики сформовані не як набір ізольованих знань, а як інтегрована здатність учня мобілізувати їх для розв'язання конкретних проблем.



Схема 2.1. Структура предметних компетентностей (на основі [32])

Програми також наголошують на необхідності інтеграції змісту навчання з повсякденним досвідом учнів. Це означає, що експериментальні задачі мають по можливості базуватися на знайомих учням явищах і об'єктах: чому запотівають окуляри при вході з морозу в тепле приміщення, як працює термос, чому гальмівний шлях автомобіля залежить від швидкості руху. Такі задачі не лише мотивують учнів (адже вони бачать практичну цінність фізики), але й сприяють формуванню наукової грамотності – здатності застосовувати наукові знання для розуміння і пояснення явищ навколишнього світу [32].

Попри декларативну підтримку експериментального підходу, навчальні програми мають кілька проблемних моментів. Перевантаженість теоретичним матеріалом залишає обмаль часу для повноцінної експериментальної роботи. Вчителі змушені "проходити програму", жертвуючи саме практичною складовою як менш критичною для здачі НМТ.

Оцінювання результатів експериментальної діяльності залишається слабким місцем: програми не дають чітких критеріїв, як оцінювати не стільки правильність отриманого числового результату, скільки процес планування експерименту, обґрунтованість вибору методу, якість аналізу похибок.

Програми практично не враховують можливості цифрових технологій для експериментальної роботи. Віртуальні лабораторії, датчикові системи, використання смартфонів згадуються лише у загальних рекомендаціях, без конкретних прикладів інтеграції у зміст навчання [33]. Це призводить до того, що інноваційні інструменти використовуються епізодично, за ініціативою окремих ентузіастів-вчителів, а не системно. Можливим шляхом розв'язання цих проблем є розробка методичних рекомендацій з конкретними прикладами експериментальних задач до кожної теми програми, з чітким зазначенням необхідного обладнання, часу виконання, критеріїв оцінювання та варіантів диференціації за рівнями складності.

2.3. Методика організації та проведення експериментальних завдань на уроках фізики

Відбір експериментальних завдань за критеріями є лише першим кроком. Наступний, не менш важливий, виникає у створенні ефективної методичної системи їх використання на уроках. Парадокс виникає тоді, коли вчитель має ідеальну задачу, але не розуміє, на якому етапі уроку її реалізувати або як організувати роботу учнів так, щоб експеримент став інструментом пізнання, а не формальним виконанням інструкції.

На відміну від традиційної лабораторної роботи, де учень слідує готовому алгоритму, експериментальне завдання звершується наступністю етапів, кожен з яких має власну дидактичну мету. Етап проблематизації часто випадає з поля зору вчителя, хоча саме тут закладається мотивація до дослідження [33]. Учні бачать наявність: чому кулька, опущена у воду, спливає, а в гліцерин - тоне? Створення такого когнітивного дисонансу можливо через демонстраційний експеримент, відео або навіть провокативне запитання.

Планування експерименту вимагає від учнів сформулювати гіпотезу та звернути метод її перевірки. Роль вчителя на цьому етапі - не виправляти помилки відразу, а через систему навідних запитань допомогти учням самим виявити логічні прогалини у своїх міркуваннях [33; 34].

Виконання експерименту та фіксація даних - це найбільш видимий етап, але невизначений. Учні вимірюють, записують результати в таблиці, будують графіки. Проте навіть тут є методичні тонкощі: якщо дати учням готову таблицю для заповнення, це спрощує організацію, але не дає їм досвіду самостійного структурування даних. Можна надати зразок таблиці для слабких учнів і дозволити сильнішим створити власну форму запису.

Аналіз результатів та формулювання висновків часто перетворюється на формальне переписування з дошки фрази на кшталт "закон підтверджено". Натомість учні мають відповісти на запитання: чи збігся результат з гіпотезою? Якщо ні, то чому? Які фактори могли вплинути на точність? Саме тут формується критичне мислення та наукова чесність - уміння визнавати обмеження методу та похибки вимірювань [35]. Рефлексія та застосування - взагалі відсутній через брак часу, проте саме він дає відповідь на запитання «навіщо?»: де в реальному житті можна отримати отримані знання?

Вибір між фронтальною, груповою та індивідуальною формами роботи - не просто питання наявності обладнання, а свідомо методична стратегія. Фронтальна форма ефективна на етапі первинного ознайомлення з експериментальною методикою або коли потрібна чітка координація дій у всьому класі. Наприклад, вимірювання атмосферного тиску за допомогою барометра-анероїда краще провести фронтально, щоб усі учні одночасно побачили показники залежності від погодних умов.

Групова робота має найбільший потенціал для розвитку комунікативних навичок та проблем колективного вирішення. Цікаво, що оптимальний склад групи залежить від складності завдань [36]: для завдань рівня 3 (за класифікацією з розділу 1.2) достатньо пари учнів, для рівня 5 - краще троє-четверо, щоб розподілити ролі. Головна небезпека групової роботи - ефект

«безкоштовного проходження», коли активний учень виконує всю роботу, а решта просто переписує.

Індивідуальна форма доцільна для домашніх експериментів, де учень самостійно планує та реалізує дослідження з підручних матеріалів [37]. Наприклад, дослідження теплопровідності різних матеріалів через вимірювання швидкості досягнення гарячої води у склянках, обгорнутих ефективними тканинами. такі експерименти лише розвивають самостійність, але й показують практичну цінність фізичних знань у побуті.

Традиційна модель, коли вчитель демонструє експеримент, а потім діти його повторюють, працює для формування технічних навичок, але не розвиває дослідницького мислення. Перехід до експериментальних завдань вимагає зміни позиції вчителя: замість того, щоб дати готові відповіді, він ставить запитання, які підштовхують учнів до самостійних висновків.

На початковому етапі вчитель ще активно інструктує: «взьміть лінійку, виміряйте довжину, запишіть результат». До дев'ятого класу його роль трансформується: "який прилад вам знадобитися для перевірки вашої гіпотези?" [38; 39]. Учень сам вибирає інструментарій, а вчитель лише коригує очевидні помилки техніки безпеки. Така еволюція ролі не відбувається сама собою - вона потребує свідомого методичного планування через поступове зменшення рівня підтримки від задачі до задачі.

Проблемний експеримент відрізняється від ілюстративного тим, що результат невідомий учням заздалегідь, а іноді - навіть парадоксальний. Методика створення проста: взяти звичне явище та показати його у незвичних умовах. Класичний приклад - "картопляна батарейка": учні знають про хімічні джерела струму з підручника, але коли бачать, як картоплина живить світлодіод, виявляють здивування та бажання з'ясувати причину [40].

Ще один прийом - експеримент з контр інтуїтивним результатом: важка та легка кулі, кинути горизонтально з однієї висоти, падають одночасно, всупереч очікуванню кількості учнів. такі експерименти руйнують "наївні теорії" та змушують переглядати усталені уявлення.

Усі три аналізовані програми містять цифрові технології, проте не конкретизують методики їх використання. Між тим, смартфон перетворюється на універсальну лабораторію: добавки на кшталт Phyphox не дозволяють вимірювати прискорення, частоту звуку, освітленість, магнітне поле [41]. Це відкриває можливості для експериментів, неможливих з традиційним обладнанням: дослідити зміну прискорення під час руху підйомом, виміряти частоту власного коливального мосту, на якому стоїть, проаналізувати спектр звуку голосу.

Віртуальні лабораторії не замінюють реальний експеримент, але доповнюють його там, де справне обладнання недоступне: моделювання радіоактивного розпаду, робота з високою напругою, космічні експерименти.

Аналіз уроків показує декілька систематичних помилок. Перезавантажте інструкцію: учень отримує детальну покрокову інструкцію, яка не залишає місця для власних рішень. Недооцінка часу на обговорення: експеримент проведено, але на аналіз результатів залишилося дві-три хвилини, і клас просто фіксує "закон підтверджено". Ігнорування негативних результатів: якщо в експерименті учень "не вийшов", вчитель швидко виправляє та показує правильну процедуру, створюючи можливість проаналізувати причини невдачі [42]. Формальне оцінювання: вчитель оцінює лише правильність числового результату, ігноруючи якість планування, обґрунтованість висновків, творчість підходу. Натомість варто оцінювати процес: наскільки логічно учень обра метод? чи врахував джерела похибок? чи зміг пояснити розбіжність теорії та практики?

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Проведений аналіз чинних навчальних програм та методичних підходів з використанням експериментальних завдань дозволяє сформулювати низку важливих висновків для практики поглибленого вивчення фізики. Система критеріїв відбору експериментальних завдань створює необхідний фільтр, який дозволяє вчителю свідомо та обґрунтовано вибрати завдання для конкретних дидактичних цілей. Без таких критеріїв вибір залишається інтуїтивним і часто причиною використання завдань, які або занадто прості, або непосильно складні.

Аналіз трьох дієвих модельних навчальних програм з фізики для 7-9 класів показав, що всі вони декларативно підтримують підхід, наголошують на важливості експериментальної роботи, проте конкретні механізми реалізації експериментальних завдань як окремі форми навчання залишаються недостатньо розробленими. Програми пропонують орієнтовні переліки лабораторних робіт, згадують можливість проекту діяльності, але системного підходу до використання експериментальних завдань не представляють. Виявлено суттєву нерівномірність можливостей для впровадження експериментальних завдань за різними розділами курсу: механіка та молекулярна фізика надають широкі можливості через доступність обладнання, тоді як електродинаміка, а особливо оптика та квантова фізика, вимагають спеціалізованого обладнання, яке часто бракує в школах.

Розроблена методика організації та проведення експериментальних завдань на уроках забезпечує чітку етапність, свідомий вибір організаційних форм залежно від дидактичної мети, еволюцію ролі вчителя від інструктора до посередника в міру дорослішання учнів. Ключовим є розуміння, що експериментальна задача - це не спрощена лабораторна робота, а якісно інший тип навчальної діяльності, що вимагає від учня самостійності на всіх етапах дослідження. Типові методичні помилки є системними та потребують цілеспрямованої методичної роботи для їх подолання. Особливо ефективно є

формування культури роботи з похибками та невдалими експериментами як цінним джерелом навчання, а не приводом для розчарування.

Загалом, результати другого розділу показують, що створення ефективної системи використання експериментальних завдань для поглибленого вивчення фізики вимагає не стільки додаткових ресурсів, скільки змінює методичне мислення вчителя: від трансляції готових знань до організації дослідницької діяльності учнів, від контролю правильності відповідей до оцінки якості мислення та аргументації. Конкретну реалізацію цих принципів буде представлено в третьому розділі через розробку методичних матеріалів до вибраних тем курсу фізики.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ ДЛЯ ПОГЛИБЛЕНОГО ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ

3.1. Практична реалізація методичних принципів

Теоретичні основи використання експериментальних завдань, викладених у попередніх розділах, вимагають конкретизації через методичні матеріали, які вчитель може замінити у практиці поглибленого вивчення фізики. Створення таких розробок вимагає врахування всіх критеріїв відбору завдань (підрозділ 2.1), методичних принципів їх організації (підрозділ 2.3) та реальних можливостей шкільного обладнання.

Ключовою особливістю представлених розробок є їхня орієнтація на високий рівень самостійності учнів та дослідницький характер діяльності [43; 44]. Це не традиційні лабораторні роботи з детальною інструкцією, а експериментальні завдання, які вимагають від учнів планування експерименту, вибір методів вимірювання, аналізу помилок та формулювання обґрунтованих висновків. Кожна розробка супроводжується методичним коментарем для вчителя, який допомагає передбачити типові труднощі учнів та організувати ефективне обговорення результатів.

Вибір конкретних тем для розробок зумовлених кількома чинниками. Акустичні явища (труба Рейке та труба Рубенса) належать до розділу "Механічні коливання та хвилі" [45], проте їх складність та міждисциплінарний характер (поєднання механіки, термодинаміки та акустики) роблять їх ідеальними для поглибленого вивчення. Ці експерименти демонструють явища, які учні, зазвичай, не зустрічають у повсякденному житті, що створює мотивацію до дослідження. Водночас вони вимагають складної експериментальної техніки та остаточного аналізу результатів, що відповідають рівням 4-5 за класифікацією з підрозділу 1.2.

Важливою особливістю обох розробок є використання сучасних цифрових інструментів для реєстрації та аналізу даних. Смартфон із відповідними додатками перетворюється на повноцінну вимірювальну лабораторію, що робить складні акустичні дослідження доступними для шкільної практики. Це узгоджується з рекомендаціями всіх трьох проаналізованих програм щодо використання цифрових технологій у навчальному експерименті [46].

Структура кожної методичної розробки теоретичної інформації включає теоретичні відомості, опис установки, порядок виконання роботи, контрольні запитання та вимоги до висновків. Теоретична частина не є простим переказом підручника, бо вона містить проблемні моменти, парадокси, історичні відомості, що стимулюють критичне мислення. Контрольні запитання спрямовані не на стільки відтворення інформації, як на застосування знань до нестандартних ситуацій, прогнозування результатів та пояснення спостережуваних явищ.

3.2. Методична розробка лабораторно-експериментально роботи №1

Тема: Дослідження залежності інтенсивності коливань у трубці Рейке від положення джерела тепла.

Клас: 11.

Мета роботи: Експериментально дослідити залежність інтенсивності акустичних коливань у трубці Рейке від положення джерела тепла та порівняти з теоретичними прогнозами.

Прилади і матеріали: металева трубка довжиною 1 м, дротяна сітка, газовий пальник, мікрофон (можна блютуз-навушник), смартфон із додатком забезпеченням для спектрального аналізу (наприклад, Audacity, Spectrum Lab), рулетка для вимірювання, вогнегасник.

Теоретичні відомості

Трубка Рейке є прикладом термоакустичного генератора – пристрою, в якому теплова енергія перетворюється на енергію акустичних коливань. Явище виникає в відкритій з обох кінців трубці, через яку пропускається потік повітря, при наявності всередині неї джерела тепла (нагрівача).

Механізм виникнення коливань ґрунтується на ефекті Рейлі: якщо тепло додається до газу в момент його максимального стиснення (або відбирається в момент розрідження), це посилює акустичні коливання.

Трубка Рейке демонструє термоакустичні коливання, що виникають за рахунок зворотного зв'язку між потоком повітря та джерелом тепла. Розглянемо фізичні основи цього явища.

Умова резонансу в трубці. Для трубки з обома відкритими кінцями умова утворення стоячої хвилі має вигляд:

$$L = n \cdot 2\lambda$$

Швидкість звуку пов'язана з довжиною хвилі та частотою співвідношенням:

$$v = \lambda \cdot f$$

Швидкість звуку в ідеальному газі визначається формулою:

$$v = \gamma \cdot R \cdot T$$

Згідно з критерієм Рейлі, максимальне посилення коливань відбувається, коли тепло додається в фазі зі стисненням газу. Для основної моди ($n=1$) в трубці з обома відкритими кінцями розподіл тиску описується:

$$p(x) = p_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

Швидкість зміни тиску вздовж трубки:

$$\frac{dp}{dx} = p_0 \cdot \frac{\pi}{L} \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

Максимум похідної досягається при:

$$\cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) = 1 \Rightarrow \frac{\pi x}{L} = 0$$

Переконалися в цьому можна, знайшовши розв'язки (рис. 3.1) за допомогою Wolfram Matematica, які можна знайти в додатку 1:

<https://drive.google.com/file/d/1AKDoh5mUQsK2nDXoxN5Ee9XtUbVHqcKa/view?usp=sharing>

```

p[x_, t_] := p0 * Cos[k * x] * Cos[omega * t]; (*Акустичний тиск*)
               |_косинус      |_косинус
u[x_, t_] := (p0 / (rho0 * c)) * Sin[k * x] * Sin[omega * t]; (*Акустична швидкість*)
               |_синус      |_синус
(*Похідна тиску по координаті*)
dpdx[x_, t_] = D[p[x, t], x];
               |_диференціювати

```

Рис. 3.1. Аналітичні вирази для акустичних полів

Однак для термоакустичного підсилення важлива робота, що виконується над газом, яка пропорційна інтегралу:

$$W \sim \int p \cdot \dot{q} dt, \text{ де } \dot{q} - \text{швидкість тепловіддачі.}$$

Максимум цього інтеграла досягається, коли джерело тепла розташоване в точці, де зсув фаз між коливаннями тиску та швидкості становить $\pi/2$. Для основної моди це відповідає положенню:

$$x_{max} = \frac{L}{4}$$

Після низки послідовних обчислень, ми отримали такі результати (рис. 3.2):

```

Теоретичне оптимальне положення: x = L/4 = 0.25 м
Максимальна робота при x = L/4: 0.00122549 Дж
Робота при x = L/2: 1.50079 × 10-19 Дж
Робота при x = 0: 0. Дж
Похідна роботи при x = L/4: 4.71488 × 10-19
Перші 5 резонансних частот: {170., 340., 510., 680., 850.} Гц

```

Рис. 3.2. Результати розрахунків

Якщо теоретично дослідити як залежить робота за цикл від зміни положення нагрітого елемента, то можна побудувати графік, зображений на рис. 3.3.

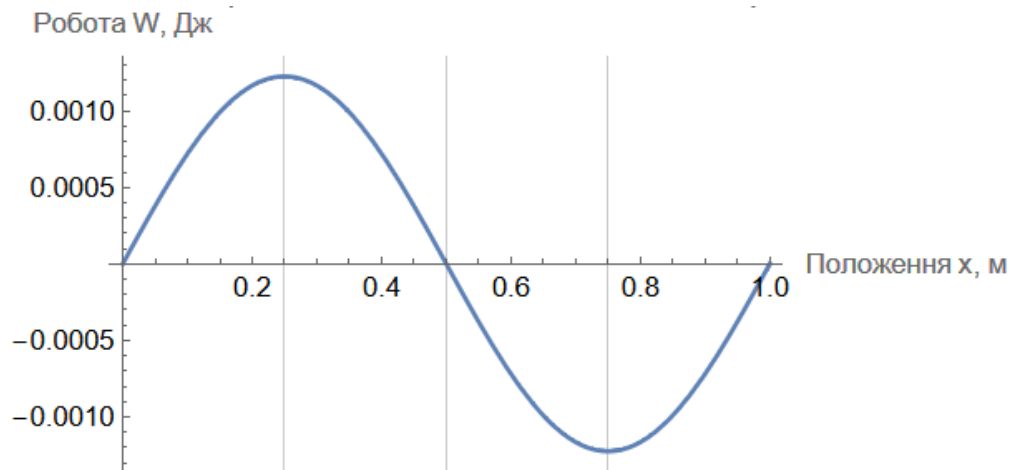


Рис. 3.3. Залежність роботи за цикл від положення нагрітого тіла

У трубці Рейке потік повітря періодично нагрівається, що призводить до створення стоячої хвилі, частота якої визначається довжиною трубки та швидкістю звуку:

$$f = \frac{nv}{2L},$$

де: f – частота звуку [Гц], n – номер моди коливань ($n=1, 2, 3\dots$), v – швидкість звуку в повітрі [м/с], L – довжина трубки [м].

Інтенсивність цих коливань різко залежить від положення джерела тепла вздовж трубки. Теоретично, максимальна інтенсивність досягається, коли джерело тепла розташоване в області максимальної швидкості зміни тиску для основної моди коливань. Для основної моди ($n=1$) стоячої хвилі в трубці з обома відкритими кінцями, ця точка знаходиться на відстані приблизно $L/4$ від нижнього (холодного) кінця трубки.

Опис установки

Складові елементи експериментальної установки наведені на рис. 3.4 (а, б, в).



Рис. 3.4 а. Металічна труба



Рис. 3.4 б. Дротяна сітка



Рис. 3.4 в. Газовий пальник

1. Внутрь металічної труби поміщаємо дротяну сітку.
2. Газовий пальник нагріває дротяну металеву сітку, яка може переміщатися вздовж трубки. Її положення x вимірюється від нижнього кінця трубки.
3. Трубка Рейке встановлюється вертикально.
4. Мікрофон телефона розташовується біля верхнього кінця трубки для реєстрації звуку.
5. Сигнал подається на мікрофон, під'єднаний до телефона за допомогою , де програмне забезпечення відображає спектр коливань та вимірює їх інтенсивність (амплітуду звукового тиску).

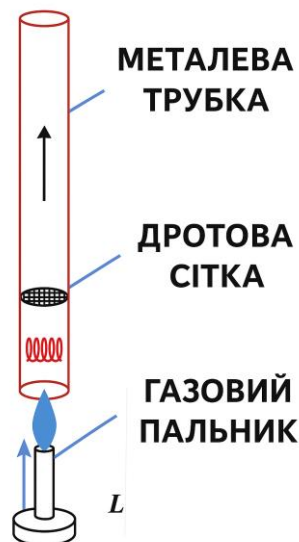


Рис. 3.5. Схема експериментальної установки

Порядок виконання роботи

1. Зберіть установку згідно зі схемою на рис. 3.5.
2. Встановіть нагрівач у крайнє нижнє положення (біля входу повітря).
3. Починаючи з 5 см (вимірюємо і переміщуємо сітку за допомогою рулетки) переміщайте нагрівач угору, через кожні 10 см, вздовж трубки.
Для кожного положення x :
 - Запустіть запис звуку.
 - За допомогою спектрального аналізу визначте основну частоту коливань f та зафіксуйте амплітуду звукового тиску A як міру інтенсивності коливань.
 - Внесіть значення x , f та A у таблицю 1.
4. Виконайте пункти 2-3 ще 2 рази і занесіть відповідні значення в таблицю. Знайдіть середньоарифметичні значення для цих трьох дослідів.

Відео виконаного експерименту можна побачити в додатку 2 за наступним посиланням: <https://drive.google.com/file/d/1lsoSmwYcgyG9vO-zafqSOtxAlQaFJwpE/view?usp=sharing>

Таблиця 1. Результати вимірювань

Положення нагрівача, x [см]	Амплітуда коливань, A [а.о./дБ]	Частота, f [Гц]	Примітки (наявність коливань)
5			
15			
25			
35			
45			
55			
65			
75			
85			
95			

- Побудуйте графік в Excel залежності інтенсивності коливань A від положення нагрівача x : $A = f(x)$.
- За графіком визначте положення $x_{\max}$, при якому спостерігається максимальна інтенсивність коливань.
- Порівняйте експериментальне значення $x_{\max}$ з теоретичним прогнозом ($L/4$). Обчисліть відносну похибку:

$$\delta = \frac{|x_{\text{експ}} - x_{\text{теор}}|}{x_{\text{теор}}} \cdot 100\%.$$

Контрольні запитання

- Поясніть фізичну сутність ефекту Рейлі. Як він пов'язаний з виникненням коливань у трубці Рейке?
- Чому трубка Рейке генерує саме стоячу хвилю? Яка мода коливань є найбільш поширеною і чому?

3. Чому інтенсивність коливань різко падає, коли нагрівач знаходиться надто близько до верхнього або нижнього кінця трубки?
4. Як би змінилася картина, якби потік повітря був спрямований зверху вниз?
5. Чому змінюється частота коливань при переміщенні нагрівача?
(Підказка: подумайте про зміну температури повітря в трубці).

Завдання по написанню висновків

У висновку необхідно:

1. Сформулювати мету роботи.
2. Охарактеризувати отриману експериментальну залежність $A=f(x)$.
3. Вказати експериментально знайдене положення максимальної інтенсивності та порівняти його з теоретичним прогнозом, проаналізувавши можливі розбіжності.
4. Зробити загальний висновок про підтвердження теоретичних положень експериментом.

3.3. Методична розробка лабораторно-експериментально роботи №2

Тема: Дослідження акустичних резонансів та стоячих хвиль у трубі Рубенса.

Клас: 11.

Мета роботи: Експериментально дослідити умови виникнення стоячих хвиль у газовому середовищі, визначити швидкість звуку та встановити її залежність від температури повітря методом візуалізації через полум'я.

Прилади і матеріали: Труба Рубенса (металева труба з перфорованими отворами), джерело газу (пропан або метан), динамік потужністю 5 Вт, генератор частоти (або смартфон із додатком Function Generator), цифровий термометр, рулетка, захисні окуляри, вогнегасник.

Теоретичні відомості

Труба Рубенса – це елегантний приклад того, як невидиме стає видимим. Німецький фізик Генріх Рубенс запропонував у 1904 році метод візуалізації звукових хвиль через танець полум'я, і цей метод досі вражає своєю наочністю. Парадокс полягає в тому, що ми "бачимо" звук не безпосередньо, а через його вплив на тиск газу, який горить.

Коли звукова хвиля поширюється трубкою, заповненою горючим газом, вона створює періодичні коливання тиску. У місцях підвищеного тиску (пучності стоячої хвилі) полум'я над отворами стає вищим через інтенсивніший витік газу, а у вузлах тиску – нижчим. Цікаво, що саме *стояча* хвиля, а не біжуча, дає стабільну картину, яку можна спостерігати.

Для труби з обома відкритими кінцями умова утворення стоячої хвилі має вигляд:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2},$$

де L – довжина трубки, n – номер моди коливань (1, 2, 3...), λ – довжина хвилі. Іншими словами, у трубці "вміщується" ціле число напівхвиль.

Швидкість звуку пов'язана з довжиною хвилі та частотою фундаментальним співвідношенням:

$$v = \lambda \cdot f = \left(\frac{2L}{n}\right) \cdot f_n$$

Швидкість звуку в ідеальному газі визначається його температурою та молярною масою:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

де γ – показник адіабати (для повітря $\gamma \approx 1,4$), R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура, M – молярна маса газу. Для практичних розрахунків у повітрі зручніше використовувати емпіричну формулу:

$$v_{\text{теор}} = 331,4 + 0,6 \cdot T,$$

Ця формула є наслідком кореня квадратного з температури в теоретичній залежності, але лінеаризована для діапазону звичайних температур.

Розподіл тиску у стоячій хвилі зображений на рис 3.6 для основної моди ($n = 1$) описується синусоїдальною функцією:

$$p(x) = p_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

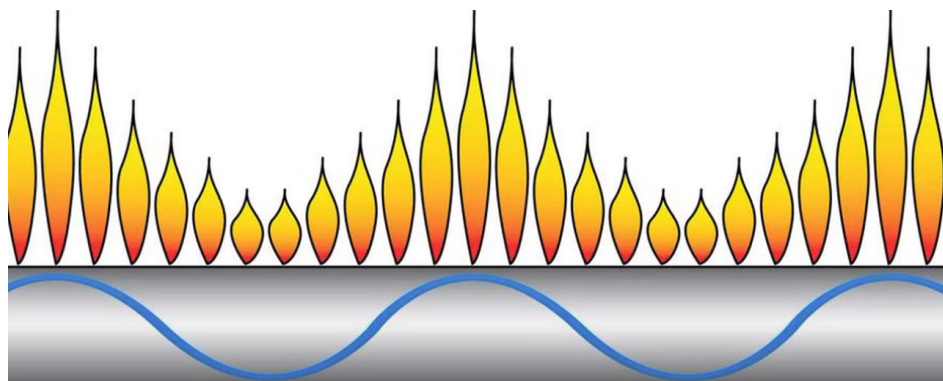


Рис 3.6. Розподіл тиску у стоячій хвилі.

Максимуми тиску (пучності) розташовані при $x = L/2$, мінімуми (вузли) – на кінцях трубки при $x = 0$ та $x = L$. Верхівка айсберга цього явища –

візуальна картина, але під нею лежить складна взаємодія акустичної хвилі з газодинамікою витоку через отвори.

Опис установки

Експериментальна установка складається з горизонтальної металевої трубки (рис. 3.7) довжиною $L = 1,05$ м, вздовж якої просвердлені отвори діаметром 2 мм з кроком 2 см.



Рис. 3.7. Металева перфорована труба

Один кінець трубки (рис. 3.8) з'єднаний із джерелом газу через редуктор тиску, другий (рис. 3.9) – з'єднаний через резинову мембрану із Bluetooth-колонкою, яка під'єднана до смартфона через Bluetooth-з'єднання.



Рис. 3.8. Кінець трубки, з'єднаний із джерелом газу



Рис. 3.9. Кінець трубки, з'єднаний Bluetooth-колонкою

Газ (пропан) надходить у трубку через шланг (рис. 3.10) під контрольованим тиском, витікає через отвори та запалюється, утворюючи рівномірний ряд невеликих язиків полум'я висотою 5–10 см.



Рис. 3.10. Газовий балон з шлангом

Динамік створює звукові коливання, які поширюються трубкою. Коли частота генератора збігається з резонансною частотою трубки, у ній формується стояча хвиля, і картина полум'я різко змінюється: з'являються чергування високих і низьких язиків, що візуалізують пучності та вузли тиску. Цікаво, що між вузлом і пучністю відстань дорівнює чверті довжини хвилі ($\lambda/4$), тому підрахувавши кількість "горбів" полум'я, можна оцінити довжину хвилі.

Техніка безпеки вимагає наявності вогнегасника, провітрюваного приміщення та готовності швидко перекрити подачу газу у разі нештатної ситуації. Схема експериментальної установки для дослідження стоячих хвиль у трубці Рубенса зображена на рис. 3.11.

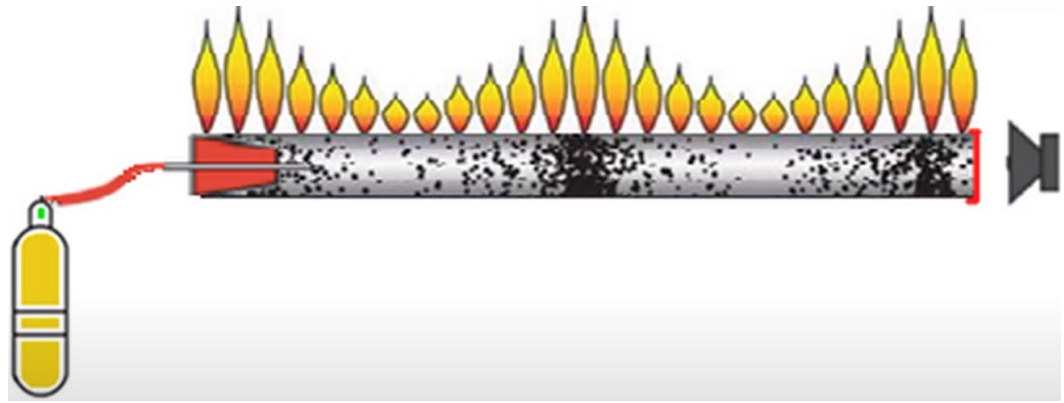


Рис. 3.11. Схема експериментальної установки

Хід роботи

Частина 1. Демонстрація стоячих хвиль та визначення швидкості звуку

В додатку 3 міститься відео двох фрагментів виконаного експерименту:

[https://drive.google.com/file/d/1lViT3Gt7KeiNfiMm0i-](https://drive.google.com/file/d/1lViT3Gt7KeiNfiMm0i-Du6qaXWJoJAY7/view?usp=sharing)

[Du6qaXWJoJAY7/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1lViT3Gt7KeiNfiMm0i-Du6qaXWJoJAY7/view?usp=sharing)

[https://drive.google.com/file/d/1V_CBzwVBfKbdk50dhYUHPpVCu8_mlZa](https://drive.google.com/file/d/1V_CBzwVBfKbdk50dhYUHPpVCu8_mlZaI/view?usp=sharing)

[I/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1V_CBzwVBfKbdk50dhYUHPpVCu8_mlZaI/view?usp=sharing)

Перший етап роботи присвячений пошуку резонансних частот трубки та визначенню швидкості звуку. Розпочинаємо з підготовки установки: підключаємо джерело газу, запалюємо отвори та регулюємо тиск так, щоб полум'я було рівномірним по всій довжині трубки. Висота язиків має бути приблизно однаковою (рис. 3.12), що свідчить про стабільний витік газу.

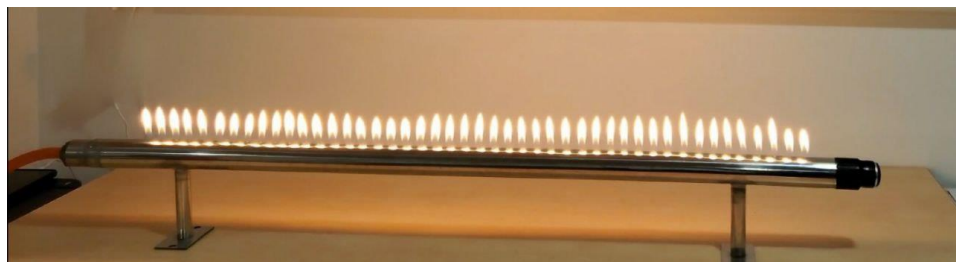


Рис. 3.12. Зібрана експериментальна установка

Увімкнувши генератор частоти, поступово збільшуємо частоту від 100 Гц до 1000 Гц, уважно спостерігаючи за поведінкою полум'я. При певних частотах картина раптово змінюється: полум'я формує стійкий візерунок із

чергуванням високих і низьких ділянок. Це резонансні частоти, при яких у трубці встановлюється стояча хвиля. Фіксуємо значення частот f_1, f_2, f_3 для перших трьох мод та підраховуємо кількість пучностей (високих "горбів") у кожному випадку.

Вимірюємо рулеткою довжину трубки L від мембрани динаміка до протилежного кінця. Для кожної моди номер n дорівнює кількості напівхвиль, що вміщуються в трубці, або кількості пучностей тиску. Довжина хвилі розраховується за формулою:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n},$$

а швидкість звуку – як:

$$v_n = f_n \cdot \lambda_n$$

Заносимо дані у таблицю 1.

Таблиця 1. Результати вимірювань резонансних частот

Мода, n	Частота, f_n (Гц)	Довжина хвилі, λ_n (м)	Швидкість звуку, v_n (м/с)	Примітки
1				Основна мода
2				Перший обертон
3				Другий обертон

Обчислюємо середнє значення швидкості звуку $v_{\text{експ}}$ та порівнюємо його з теоретичним значенням:

$$v_{\text{теор}} = 331,4 + 0,6 \cdot T$$

де T – виміряна температура повітря у $^{\circ}\text{C}$. Відносна похибка визначається як:

$$\delta = \frac{|v_{\text{експ}} - v_{\text{теор}}|}{v_{\text{теор}}} \cdot 100\%$$

Парадокс часто полягає в тому, що експериментальне значення виявляється дещо вищим за теоретичне через нагрівання повітря поблизу полум'я, навіть якщо термометр показує кімнатну температуру.

Частина 2. Дослідження впливу температури на швидкість звуку

Другий етап – це перевірка фундаментальної залежності швидкості звуку від температури. Виконавши вимірювання при кімнатній температурі (приблизно 20–22°C), змінюємо температуру повітря в трубці. Для нагрівання можна обережно спрямувати потік теплого повітря від теплової гармати в один із кінців трубки (не на полум'я!), для охолодження – використати вентилятор із льодом або струмінь холодного повітря. Дуже важливо не створювати надмірних потоків, які б загасили полум'я або порушили його рівномірність.

Після зміни температури витримуємо декілька хвилин для термічної рівноваги, вимірюємо нову температуру T термометром та повторюємо процедуру знаходження резонансних частот. Обчислюємо швидкість звуку для нової температури. Оптимально виконати вимірювання для трьох-чотирьох різних температур у діапазоні 15–35°C.

Таблиця 2. Залежність швидкості звуку від температури

Температура, T (°C)	Середня частота f_1 (Гц)	Швидкість звуку $v_{\text{експ}}$ (м/с)	Теор. швидкість $v_{\text{теор}}$ (м/с)	Похибка, δ (%)

Будуємо графік залежності експериментальної швидкості звуку $v_{\text{експ}}$ від температури T та накладаємо на нього теоретичну пряму $v_{\text{теор}} = 331,4 + 0,6 \cdot T$. Ідеально, якщо експериментальні точки лягають близько до теоретичної лінії з невеликим розкидом. Аналізуємо можливі причини відхилень: нерівномірність температури по довжині трубки, вплив полум'я на локальний нагрів, похибки вимірювання частоти та довжини.

Частина 3. Візуалізація складних хвильових форм

Третя, найбільш вражаюча частина роботи демонструє принцип суперпозиції хвиль. Замість чистого тону (синусоїдального сигналу) подаємо

на динамік складний звук: музичний фрагмент, білий шум або суму двох синусоїд із близькими частотами. Картина полум'я різко змінюється: замість стійкого візерунка спостерігаємо динамічну, мінливу картину, що відображає складну інтерференцію різних частотних компонент.

Особливо ефектно виглядає явище биття. Якщо подати одночасно дві частоти, наприклад, $f_1 = 400$ Гц і $f_2 = 410$ Гц, виникає биття з частотою:

$$f_{\text{биття}} = |f_1 - f_2| = 10 \text{ Гц}$$

Візуально це виглядає як повільне "перекочування" хвилі по трубці: пучності полум'я повільно зміщуються вздовж труби з періодом близько 0,1 с. Це наочна ілюстрація того, як дві хвилі з близькими частотами, складаючись, утворюють амплітудно-модульований сигнал.

Спостерігаємо та фіксуємо смартфоном відеозапис цього явища. Підраховуємо період биття (час, за який картина повертається до початкового вигляду) та порівнюємо його з розрахунковим значенням:

$$T_{\text{биття}} = \frac{1}{f_{\text{биття}}}$$

Цей експеримент підкреслює, що будь-який складний звук є суперпозицією простих гармонічних коливань, кожне з яких вносить свій внесок у результуючу картину.

Контрольні запитання

1. Поясніть, чому стояча хвиля утворюється лише при певних резонансних частотах. Що відбувається при частотах між резонансами?
2. Чому експериментальне значення швидкості звуку часто виявляється вищим за теоретичне? Які фактори вносять найбільшу похибку?
3. Поясніть фізичний механізм виникнення биття. Чому при биттях інтенсивність звуку періодично змінюється?
4. Як би змінилися резонансні частоти, якщо довжину трубки збільшили вдвічі? Відповідь обґрунтуйте формулами.
5. Чи можна застосувати метод трубки Рубенса для дослідження ультразвуку? Які обмеження накладає конструкція установки?

Завдання по написанню висновків

У висновку необхідно сформулювати отримані результати та узагальнити їхнє значення. По-перше, вказати експериментально визначене середнє значення швидкості звуку у повітрі та порівняти його з теоретичним для виміряної температури, проаналізувавши причини розбіжностей. По-друге, охарактеризувати отриману залежність швидкості звуку від температури: чи підтверджується лінійний характер цієї залежності експериментальними даними, наскільки експериментальні точки узгоджуються з теоретичною прямою.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Розроблені методичні матеріали демонструють практичну реалізацію теоретичних положень, викладених у попередніх розділах роботи. Вони показують, як експериментальні задачі високого рівня складності можуть органічно інтегруватися в процес поглибленого вивчення фізики, забезпечуючи розвиток дослідницьких компетентностей учнів.

Представлені розробки з усіма критеріями відбору експериментальних завдань, сформульованими в підрозділі 2.1. Вони адекватні рівню підготовки учнів дев'ятого класу профільних класів, складають значну проблемність через необхідність самостійного планування експерименту та аналізу результатів, методично доцільні як засіб поглиблення розуміння хвильових процесів, реалістичні для виконання в умовах добре забезпеченого кабінету фізики та мають високий потенціал для розвитку критичного мислення, аналіз через похибок і порівняння з теоретичними прогнозами.

Обидві лабораторні роботи реалізують принцип наростання самостійності: якщо труба Рейке передбачає дещо більше структурування (чітко вказані параметри для вимірювання), то труба Рубенса дає учням більшу свободу при виборі методів дослідження та інтерпретації результатів

Контрольні запитання, включені до розробок, забезпечують подвійну функцію: вони стимулюють учнів до глибшого осмислення експерименту та водночас служать інструментом діагностики рівня розуміння.

Загалом, представлені методичні розробки підтверджують, що експериментальні завдання високого рівня складності доступні для використання в практиці поглибленого вивчення фізики за умов остаточної методичної підготовки, наявності базового обладнання та готовності вчителя до організації дослідницької діяльності учнів. Вони можуть служити зразком для створення аналогічних розробок до інших тем шкільного курсу фізики.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведене дослідження методики використання експериментальних завдань для поглибленого вивчення фізики в середній школі підтвердило актуальність експериментального підходу та показало його значний потенціал для розвитку дослідницьких компетентностей учнів. Історичний аналіз засвідчив, що еволюція шкільного фізичного експерименту була тривалою й нерівномірною: від перших спостережень до сучасної інтеграції цифрових технологій. Після етапу формалізації в радянській школі сьогодні спостерігається повернення до справжнього дослідження та підсилення пізнавальної активності учнів.

Теоретичне опрацювання сутності експериментальних задач дозволило визначити їх дидактичні функції та відмінності від традиційних лабораторних робіт. Запропонована класифікація та різнорівнева система складності створюють практичну основу для диференційованого навчання й поступового зростання самостійності учнів. Аналіз чинних навчальних програм виявив розрив між задекларованою увагою до експерименту та недостатністю чітких механізмів його втілення, що обумовлює потребу у творчому використанні сучасних інструментів, зокрема цифрових технологій.

Розроблена система критеріїв добору експериментальних завдань та методика їх організації забезпечують логічну послідовність роботи - від постановки проблеми до рефлексії. При цьому роль учителя трансформується в роль фасилітатора, який спрямовує й підтримує пізнавальну діяльність учнів.

Центральним практичним результатом дослідження стали дві авторські лабораторно-експериментальні роботи з акустики, які демонструють реалізацію теоретичних положень на практиці. Розробка установки на трубці Рейке та комплексна робота з трубою Рубенса забезпечують не лише вимірювання, а й осмислення результатів, порівняння їх із теоретичними моделями, аналіз похибок та побудову узагальнень. Використання системи комп'ютерної математики і смартфонів як вимірювальних комплексів

наближає навчальний експеримент до сучасної наукової практики та робить його доступним для кожної школи.

Методичні матеріали забезпечені рекомендаціями щодо організації роботи, диференціації, типових помилок, безпеки та критеріїв оцінювання. Контрольні запитання спрямовані на глибоке осмислення фізичних явищ, міждисциплінарні зв'язки та розвиток критичного мислення.

Практична цінність розробок полягає в їхній готовності до впровадження в профільні класи та використання як зразка для створення аналогічних матеріалів з інших розділів фізики. Перспективами подальших досліджень є розширення банку експериментальних задач, інтеграція реальних і віртуальних лабораторій, удосконалення системи оцінювання дослідницьких умінь та вивчення впливу експериментальної діяльності на професійне становлення старшокласників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мартинюк М. Т., Благодаренко Л. Ю. Роль і місце фізичного експерименту у навчальному процесі. Сучасні проблеми природничих наук. 2020. № 3. С. 112–118.
2. Кудрявцев П. С. Історія фізики та техніки: Просвітництво, 1988. 463 с.
3. Лящук О. М. Формування дослідницьких умінь учнів основної школи при вивченні фізики : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Лящук Оксана Михайлівна ; Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка. Тернопіль, 2021. 257 с. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/29826/1/Liashchuk_Fedchyshyn.pdf (дата звернення: 04.09.2025).
4. Бордонська Л. А., Горобець Ю. В. Багатометодні експериментальні задачі як засіб розвитку творчого мислення. Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. 2020. Вип. 174. С. 34–38.
5. Бугайов О. І. Експериментальні задачі з фізики [Електронний ресурс]. Педагогічний альманах. 2022. № 1. С. 45–52. URL: <http://pedalmanac.site/index.php/main/article/view/257> (дата звернення: 12.08.2025).
6. Величко С. П., Жаркова Н. І. Роль експериментальних задач у процесі вивчення фізики. Фізико-математична освіта. 2021. Вип. 2(28). С. 34–39.
7. Гончаренко С. У., Коршак Є. В. Дидактичні функції навчального експерименту на уроках фізики. Київ : Педагогічна думка, 2018. 168 с.
8. Дидактичні функції навчального експерименту на уроках фізики [Електронний ресурс]. Студентам.net.ua. URL: <https://studentam.net.ua/content/view/7749/97/> (дата звернення: 25.08.2025).
9. Заболотний В. Ф., Головка М. В. Розв'язування експериментальних задач з фізики як засіб формування дослідницької компетентності. Фізика та астрономія в рідній школі. 2023. № 2. С. 18–23.

- 10.Іваницький О. І. Дослідницькі задачі на підтвердження фізичних законів. Фізика в школах України. 2022. № 4. С. 12–16.
- 11.Савченко В. Ф., Коршак Є. В., Ляшенко О. І. Методика навчання фізики в середній школі. Київ : Вища школа, 2017. 327 с.
- 12.Полетило С. А. Використання експериментальних задач з фізики у профільній школі [Електронний ресурс]. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. Вип. 15. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. С. 120–124. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/4076/1/Poletylo%20S.%20A..pdf> (дата звернення: 17.09.2025).
- 13.Abrahams I., Millar R. Does practical work really work? International Journal of Science Education. 2008. Vol. 30, № 14. P. 1945–1969. DOI: 10.1080/09500690701749305
- 14.Hofstein A., Mamlok-Naaman R. The laboratory in science education: the state of the art. Chemistry Education Research and Practice. 2007. Vol. 8, № 2. P. 105–107. DOI: 10.1039/B7RP90003A
- 15.Kapici H. O., Akcay H., de Jong T. Using hands-on and virtual laboratories alone or together. Journal of Science Education and Technology. 2019. Vol. 28, № 3. P. 231–250. DOI: 10.1007/s10956-018-9762-0
- 16.Підласий І. П. Продуктивний педагог: настільна книга вчителя. Харків : Основа, 2018. 360 с.
- 17.Роль експериментальних задач у вивченні фізики [Електронний ресурс]. Сайт учителя фізики та інформатики. URL: <https://sites.google.com/site/physicsinformatics/fizika/roleksperimentalnihzadacprivivcennifiziki> (дата звернення: 29.09.2025).
- 18.Роль і місце фізичного експерименту у навчальному процесі [Електронний ресурс]. На Урок. 2020. URL: <https://naurok.com.ua/rol-i-misce-fizichnogo-eksperimentu-u-navchalnomu-procesi-15696.html> (дата звернення: 08.10.2025).

19. Розв'язування експериментальних задач з фізики [Електронний ресурс]. На Урок. 2023. URL: <https://naurok.com.ua/rozv-yazuvannya-eksperimentalnih-zadach-z-fiziki-217681.html> (дата звернення: 29.09.2025).
20. Роль експериментальних задач у процесі вивчення фізики [Електронний ресурс]. Vseosvita. 2021. URL: <https://vseosvita.ua/blogs/rol-eksperymentalnykh-zadach-v-protsehi-vyvchennya-fizyky-36688.html> (дата звернення: 07.10.2025).
21. Сергієнко В. П., Благодаренко Л. Ю. Творчі експериментальні задачі у навчанні фізики. Харків : Основа, 2019. 112 с.
22. Соколюк В. В. Методика використання експериментальних задач у процесі навчання фізики в середній школі [Електронний ресурс]. Вісник КНУБА. 2019. Вип. 15. С. 163–167. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/6665711e-54ff-4449-9f9e-e75586f8ca6a/download> (дата звернення: 14.10.2025).
23. Чернецький І. С. Проблемні експериментальні задачі як засіб активізації пізнавальної діяльності. Фізико-математична освіта. 2019. Вип. 3(21). С. 142–147.
24. Шарко В. Д. Роль експериментальних задач у навчанні фізики. Наукові записки Малої академії наук України. 2019. Вип. 12. С. 89–96.
25. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V. та ін. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. Computers & Education. 2016. Vol. 95. P. 309–327. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.02.002
26. Reeves S., Crippen K. J. Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. Journal of Science Education and Technology. 2021. Vol. 30, № 1. P. 16–30. DOI: 10.1007/s10956-020-09866-0
27. Величко С. П., Кравчук О. П. Методичні рекомендації до вивчення розділу «Механіка». Київ : Педагогічна думка, 2022. 128 с.

28. Сиротюк В. Д., Мацюк В. М. Проблеми реалізації діяльнісного підходу у навчанні фізики. Наукові записки Тернопільського НПУ. Серія: Педагогіка. 2020. № 2. С. 124–131.
29. Теплицький О. І. Проблемне навчання фізики в контексті компетентнісного підходу. Фізика та астрономія в рідній школі. 2019. № 3. С. 8–12.
30. Фізика. 7–9 класи : навчальна програма... Київ : МОН України, 2017 (оновлення 2023). URL: <https://mon.gov.ua/> (дата звернення: 21.10.2025).
31. Фізика. 10–11 класи... Київ : МОН України, 2018 (оновлення 2023). URL: <https://mon.gov.ua/>... (дата звернення: 13.11.2025).
32. Модельна навчальна програма «Фізика. 7–9 класи» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/>... (дата звернення: 20.11.2025).
33. Мендерецький В. В. Формування критичного мислення учнів засобами навчального фізичного експерименту. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. 2019. № 4(88). С. 156–167.
34. Коршак Є. В., Литовченко Д. В. Матеріально-технічне забезпечення кабінету фізики. Фізика в школах України. 2021. № 3. С. 8–14.
35. Сиротюк В. Д., Подопригора Н. В. Навчальний фізичний експеримент як засіб формування дослідницької компетентності. Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної освіти. 2018. Вип. 12, ч. 2. С. 134–139.
36. Величко С. П. Організація групової роботи учнів під час експериментальних завдань. Фізика та астрономія в школі. 2020. № 2. С. 18–23.
37. Іваницький О. І. Дидактичні особливості організації колективної діяльності учнів. Вісник Чернігівського НПУ. Серія: Педагогічні науки. 2017. Вип. 144. С. 78–82.
38. Мартинюк О. В. Домашній експеримент з фізики як засіб самостійності учнів. Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова. Серія 5. 2018. Вип. 61. С. 112–116.

39. Заболотний В. Ф. Учитель фізики як фасилітатор дослідницької діяльності. Імідж сучасного педагога. 2019. № 7(190). С. 45–49.
40. Шарко В. Д. Поетапне формування дослідницьких умінь. Педагогічний дискурс. 2020. Вип. 28. С. 134–140.
41. Сальник І. В. Парадоксальні експерименти як засіб активізації діяльності. Наукові записки МАН України. 2018. Вип. 10. С. 89–96.
42. Гуменюк Т., Слободянюк О. Використання мобільних додатків у фізичному експерименті. Фізика та астрономія в школі. 2020. № 4. С. 32–38.
43. Теплова К. С. Термоакустичні явища в навчальному експерименті. Фізика та астрономія в рідній школі. 2021. № 1. С. 34–39.
44. Волошинов О. М., Мірошник С. І. Візуалізація звукових хвиль у шкільному експерименті. Наукові записки. 2019. Вип. 13, ч. 1. С. 89–95.
45. Крячко І. П. Дослідницькі завдання з акустики для профільної школи. Фізика та астрономія в школі. 2020. № 3. С. 28–34.
46. Сіпій В. В. Формування експериментальних умінь учнів у процесі лабораторних робіт. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. 2018. № 7(81). С. 178–189.