УДК 37.091.3:004:53
DOI: 10.31499/2307-4906.2.2026.362968

ЕФЕКТИВНІСТЬ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДНИЦЬКОМУ НАВЧАННІ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ: ДОСВІД РОБОТИ З ПЛАТФОРМОЮ LABSTER

Юлія Решітник, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри математики, фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський національний університет.
ORCID: 0000-0002-7937-2880
E-mail: dikhtiarenko_iu@udpu.edu.ua
Катерина Ільніцька, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри математики, фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський національний університет.
ORCID: 0000-0002-6179-5543
E-mail: e-ilnitskaja@udpu.edu.ua

У статті обґрунтовано дидактичні можливості імерсивної освітньої платформи Labster для організації дослідницького навчання з фізики та астрономії. Здійснено теоретичний аналіз підходів до використання віртуальних лабораторій та узагальнено практику їх впровадження в освітній процес. Проаналізовано функціональні можливості платформи та розкрито її дослідницький потенціал (на прикладі симуляції фотоелектричного ефекту). Запропоновано методику організації дослідницького навчання, що охоплює основні етапи наукового пізнання, а також окреслено ефективні моделі використання платформи.
Ключові слова: *Labster; віртуальні лабораторії; дослідницьке навчання; фізика; астрономія; імерсивні технології; цифрові освітні технології; фотоелектричний ефект; квантова механіка; симуляції.*

EFFECTIVENESS OF IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN INQUIRY-BASED LEARNING OF PHYSICS AND ASTRONOMY: EXPERIENCE OF USING THE LABSTER PLATFORM

Yuliia Reshitnyk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Integrative Technologies of Teaching Natural Sciences, Uman National University.
ORCID: 0000-0002-7937-2880
E-mail: dikhtiarenko_iu@udpu.edu.ua
Kateryna Ilnitska, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Integrative Technologies of Teaching Natural Sciences, Uman National University.
ORCID: 0000-0002-6179-5543
E-mail: e-ilnitskaja@udpu.edu.ua

The article substantiates the didactic possibilities of the immersive educational platform Labster for organizing research-based learning in physics and astronomy. The purpose of the study is to identify and substantiate the didactic potential of the Labster platform for implementing a research-based approach in teaching the natural sciences. The work employs theoretical analysis of scientific literature on digital education and research-based learning, systematization of experience in implementing virtual laboratories in the educational process, pedagogical modeling, and generalization of the practice of using the Labster platform in educational institutions. The structure and functionality of Labster virtual laboratories are analyzed, and their research potential is revealed. A detailed example of the photoelectric effect simulation is examined as a model for implementing the historical-scientific approach to teaching quantum physics. The methodology for organizing research-based learning on the platform is substantiated and comprises seven stages: problem statement, hypothesis formulation, research planning, experimentation, data analysis, conclusion formulation, and reflection. Four main scenarios for using Labster in the educational process are proposed: flipped classroom, station learning, research project, and blended learning. The advantages of virtual simulations for teaching physics and astronomy are identified: the safety of experiments, access to expensive equipment, the ability to visualize micro- and macro-processes, and individualized learning. Possible challenges of platform implementation and ways to overcome them are considered. The research results indicate that the Labster platform is an effective tool for developing students' research competencies, fostering scientific thinking, and deepening their understanding of physical phenomena and processes.
Keywords: *Labster; virtual laboratories; research-based learning; physics; astronomy; immersive technologies; digital educational technologies; photoelectric effect; quantum mechanics; simulations.*

Сучасна освітня система перебуває в стані трансформації, зумовленої стрімким розвитком цифрових технологій та змінами в суспільних запитах до компетентностей випускників. Особливої актуальності набуває проблема формування в здобувачів освіти дослідницьких компетентностей, критичного мислення та здатності застосовувати наукові знання для розв’язання практичних завдань. Традиційна модель навчання, яка ґрунтується на передачі готових знань, виявляється недостатньою для підготовки підростаючого покоління до викликів XXI століття.

У природничих дисциплінах, зокрема у фізиці та астрономії, дослідницьке навчання має особливе значення, оскільки саме експериментальний метод становить основу наукового пізнання в цих галузях. Однак реалізація дослідницького підходу в закладах освіти стикається з низкою об’єктивних перешкод: обмежене матеріально-технічне забезпечення, брак сучасного лабораторного обладнання, питання безпеки під час проведення окремих експериментів, неможливість спостереження за певними фізичними процесами та астрономічними явищами в умовах реальної лабораторії.

Одним із перспективних напрямів розв’язання зазначених проблем є використання імерсивних освітніх технологій – віртуальних середовищ та симуляцій, які дозволяють проводити повноцінні дослідження без матеріальних і фізичних обмежень реального світу. Імерсивність (від англ. immersion – занурення) передбачає створення ефекту повного занурення користувача в цифрове середовище, що забезпечує високий рівень залученості та інтерактивності [2]. Платформа Labster, що містить понад 300 інтерактивних віртуальних лабораторій, є прикладом імерсивного інструменту для організації дослідницького навчання. З листопада 2022 року українські заклади освіти отримали безкоштовний доступ до цієї платформи завдяки угоді Міністерства освіти і науки України з компанією Labster. Це створює унікальні можливості для модернізації природничої освіти та впровадження сучасних педагогічних підходів у практику українських закладів освіти.

Проблема ефективного використання імерсивних віртуальних лабораторій в освітньому процесі тісно пов'язана з важливими науковими завданнями сучасної дидактики: розробкою методик організації дослідницького навчання в імерсивному цифровому середовищі, визначенням оптимального співвідношення віртуальних і реальних експериментів, організації різних форм навчальної діяльності. Ці завдання вимагають ґрунтовного теоретичного обґрунтування та практичної апробації.

Проблематика дослідницького навчання в природничих дисциплінах активно розробляється в сучасній педагогічній науці. Фундаментальні основи дослідницького підходу в освіті закладено в працях Дж. Дьюї (J. Dewey), який обґрунтував необхідність організації навчання через діяльність і самостійне розв'язання проблем [3].

Розвиток концепції inquiry-based learning знайшов відображення в дослідженнях багатьох науковців, проте однією із найважливіших сучасних узагальнень вважається робота Маргуса Педасте (Margus Pedaste) та його колег [12]. У своїй фундаментальній статті "Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle" (2015) вони систематизували етапи наукового дослідження в освітньому процесі.

Зарубіжні дослідження ефективності віртуальних лабораторій демонструють позитивні результати. В. Потконяк (V. Potkonjak) і співавтори на основі теоретичного аналізу 56 джерел виявили, що віртуальні лабораторії сприяють кращому розумінню наукових концепцій порівняно з традиційними методами навчання [13]. Дослідження Б. Далґарно (B. Dalgarno) показало, що тривимірні віртуальні середовища особливо ефективні для візуалізації абстрактних понять у фізиці [9].

Специфіка платформи Labster як освітнього інструменту досліджується в міжнародних наукових публікаціях. Фундаментальне дослідження М. Т. Бонде (M. T. Bonde), Г. Макранского (G. Makransky) та співавторів продемонструвало, що гейміфіковані лабораторні симуляції Labster значно підвищують як результати навчання, так і мотивацію здобувачів освіти порівняно з традиційними методами викладання [7]. Г. Макранский та Г. Б. Петерсен (G. B. Petersen) досліджували освітній процес з використанням віртуальної реальності Labster, встановивши два шляхи, якими віртуальна реальність підвищує ефективність навчання: через афективний компонент (мотивація та самоефективність) та через когнітивну присутність [10].

Важливі висновки щодо дизайну імерсивних віртуальних лабораторій отримано в дослідженні Г. Макранского, Т. С. Теркільдсена (T. S. Terkildsen) та Р. Е. Маєра (R. E. Mayer), які з'ясували, що віртуальна реальність в наукових симуляціях підвищує відчуття присутності, але може знижувати результати навчання через надмірне когнітивне навантаження [11]. Це дослідження підкреслює важливість продуманого педагогічного дизайну імерсивних лабораторій.

С. К. Коулман (S. K. Coleman) та К. Л. Сміт (C.L. Smith) вивчали використання платформи Labster як інструменту для підготовки до реальних лабораторних робіт і виявили, що віртуальні симуляції покращили розуміння матеріалу здобувачами освіти, причому цей ефект зберігався протягом року після завершення курсу [8].

Вітчизняні дослідження використання Labster у навчанні фізики представлені роботами Н. Подопригори; Т. Колечинцевої та О. Гулай, В. Шемет, І. Мороз та М. Шевчук. Зокрема, Н. Подопригора розглядає цю платформу як інструмент для адаптації освітньої діяльності та формування емпіричного і теоретичного знання в умовах цифрової трансформації [5]. Дослідження Т. Колечинцевої висвітлює досвід

впровадження симуляцій Labster для візуалізації складних фізичних процесів у майбутніх судноводіїв [4]. О. Гулай, В. Шемет, І. Мороз та М. Шевчук акцентували увагу на можливостях персоніфікованого навчання та безпекових перевагах платформи в умовах воєнного стану [1].

Попри наявність ґрунтовних теоретичних напрацювань у сфері дослідницького навчання та цифровізації освіти, низка аспектів потребує подальшого вивчення. Зокрема, актуальною є систематизація досвіду використання різних організаційних форм роботи з віртуальними лабораторіями – від індивідуальних завдань до групових проєктів, від перевернутого класу до змішаного навчання. Потребує обґрунтування й система критеріїв вибору оптимальної моделі використання платформи Labster з урахуванням дидактичної мети, рівня підготовки здобувачів освіти та матеріально-технічних умов закладу освіти. Водночас недостатньо розкрито дослідницький потенціал конкретних симуляцій Labster з фізики та астрономії. Важливо показати, як віртуальні експерименти сприяють не лише засвоєнню знань, а й розвитку наукового мислення, умінь формулювати гіпотези, планувати дослідження, аналізувати результати та робити обґрунтовані висновки. Особливої уваги потребує методика роботи з історико-науковим матеріалом у віртуальних лабораторіях, що дає змогу відтворити логіку наукового відкриття.

Мета статті полягає в обґрунтуванні дидактичних можливостей імерсивної платформи Labster для організації дослідницького навчання з фізики та астрономії в закладах освіти.

Платформа Labster є світовим лідером у розробленні імерсивних віртуальних навчальних симуляторів, що надає можливість проводити повноцінні лабораторні роботи в тривимірному цифровому середовищі.

Дослідницький потенціал Labster для викладання фізики та астрономії визначається кількома ключовими факторами. Передусім йдеться про безпеку та доступність: імерсивні віртуальні лабораторії дають змогу виконувати експерименти з екстремальними умовами без ризику для здоров’я здобувачів освіти, усуваючи потребу в дорогому обладнанні. Це відкриває можливість проведення дослідів, які складно або неможливо реалізувати в лабораторних умовах. Важливою перевагою є також здатність платформи візуалізувати складні процеси на різних масштабних рівнях – від атомного до космічного. Завдяки цьому абстрактні явища, зокрема з квантової механіки, стають доступнішими для розуміння через наочне відтворення поведінки частинок і взаємодії випромінювання з речовиною. Крім того, Labster забезпечує умови для індивідуалізації навчання: здобувачі освіти можуть працювати у власному темпі, багаторазово відтворювати експерименти та поєднувати навчання в аудиторії з самостійною роботою поза її межами.

Кожна симуляція в Labster побудована за чіткою структурою, яка максимально сприяє реалізації дослідницького підходу до навчання. Структура включає чотири основні компоненти: вступна відеоінструкція, теоретичні відомості, інтерактивні вправи та контрольні запитання (рис. 1).

Відеоінструкція симуляції демонструє обладнання, хід проведення експерименту, техніку безпеки та очікувані результати. Теоретичні відомості містять фізичні закони та формули, історичний контекст їх відкриття, сучасні застосування цих законів у науці та техніці. Центральна частина – інтерактивні вправи, де здобувачі

освіти працюють у тривимірній лабораторії, самостійно збирають дані, проводять вимірювання та аналізують результати. Завершується робота з контрольними запитаннями для перевірки розуміння матеріалу, закріплення знань та автоматичного оцінювання.

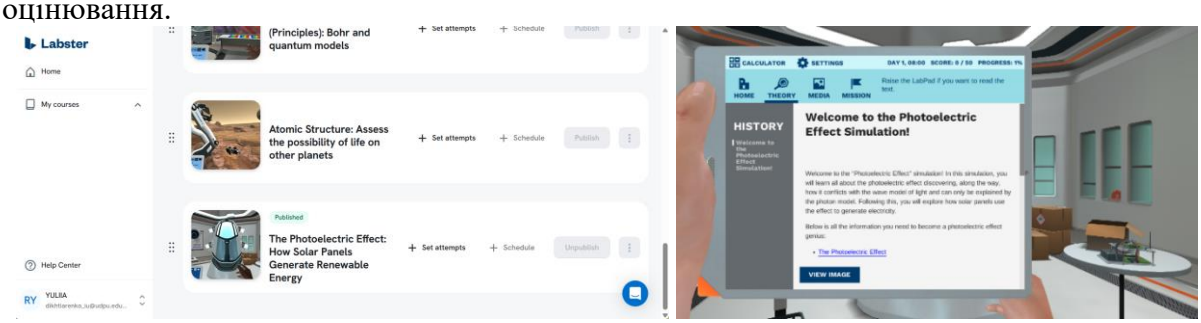

Рис. 1. Структура віртуальної лабораторії Labster

Важливо підкреслити, що ця структура не є жорсткою послідовністю дій. Навпаки, вона створює простір для справжнього дослідження, де здобувачі освіти можуть висувати гіпотези, експериментувати з різними параметрами, помилятися і робити висновки самостійно. Саме така організація освітнього процесу відповідає суті дослідницького підходу, коли здобувач освіти не пасивно отримує інформацію, а активно конструює знання через власну діяльність [6].

Розглянемо детально, як саме реалізується дослідницький підхід на прикладі симуляції фотоелектричного ефекту – одного з ключових експериментів, що довів квантову природу світла і за який Альберт Ейнштейн отримав Нобелівську премію в 1921 році.

Рис. 2. Вступний екран симуляції «Фотоелектричний ефект»

Навчальний сюжет симуляції побудовано на основі наративного підходу: здобувачі освіти потрапляють у лабораторію, де їх зустрічає сам Ейнштейн, який прибув із минулого на машині часу (рис. 2). Батарея машини розрядилася, і єдиний спосіб зарядити її – використати сонячні панелі, що працюють на основі фотоелектричного ефекту. Щоб допомогти Ейнштейну повернутися в свій час, здобувачі освіти повинні зрозуміти цей складний фізичний процес і застосувати знання

на практиці. Така гейміфікація створює потужну мотивацію для дослідження і робить навчання емоційно насиченим.

У віртуальній лабораторії здобувачі освіти бачать експериментальну установку: металеву пластину, джерело монохроматичного світла та пристрій для вимірювання струму фотоелектронів (рис. 3). Здобувачі освіти починають освітлювати металеву пластину і спостерігають дивовижне явище – з металу вибиваються електрони. Симуляція дозволяє змінювати три ключові параметри і спостерігати результати в реальному часі: частоту або довжину хвилі падаючого світла (від ультрафіолетового до червоного спектру), інтенсивність світла та тип металу.

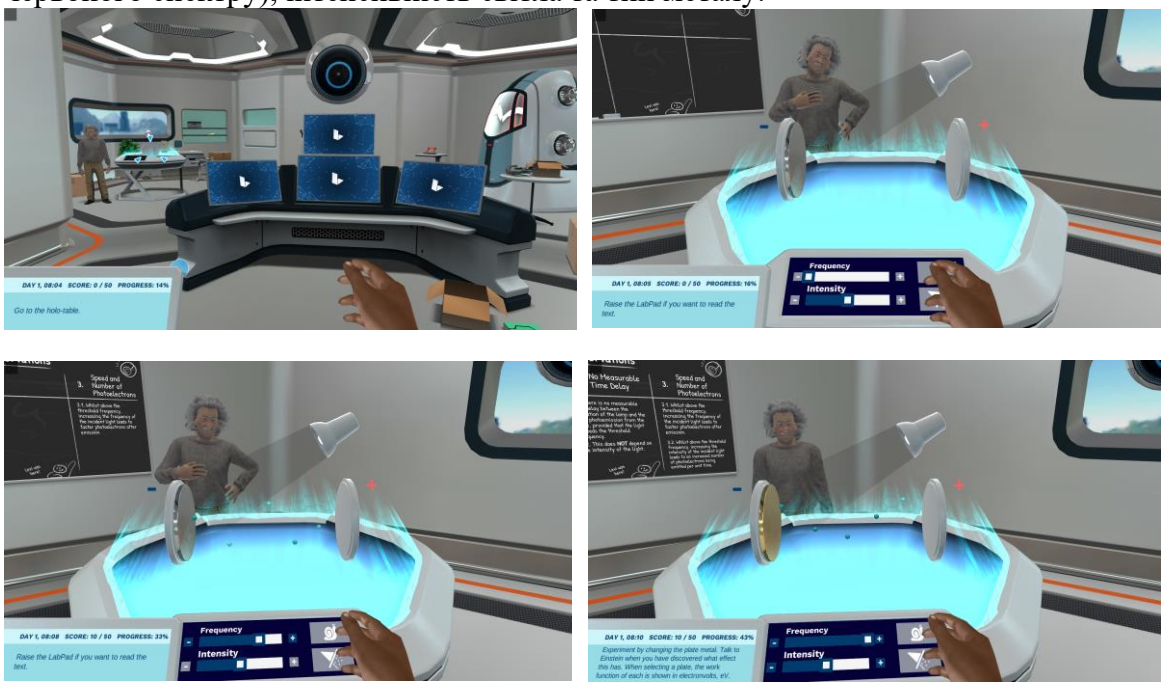

Рис. 3. Експериментальна установка для дослідження фотоелектричного ефекту

Під керівництвом віртуального Ейнштейна здобувачі освіти роблять серію критично важливих спостережень, які суперечать класичній хвильовій моделі світла. Здобувачі освіти виявляють, що існує мінімальна частота світла (порогова частота), нижче якої електрони взагалі не вибиваються з металу, незалежно від яскравості світла. Вони помічають, що ефект виникає миттєво, без будь-якої затримки. Найбільш несподіване відкриття: підвищення інтенсивності світла не впливає на швидкість вибитих електронів, а лише на їх кількість. Натомість підвищення частоти світла призводить до збільшення кінетичної енергії електронів.

На кожному етапі Ейнштейн запитує здобувачів освіти: «Що ми очікували побачити, якби світло було хвилею?» і «Що ми насправді бачимо?». Він допомагає здобувачам освіти усвідомити глибину розбіжностей між теорією і експериментом. Лише після того, як здобувачі освіти переконалися в неспроможності хвильової моделі пояснити спостережувані явища, Ейнштейн пропонує революційну ідею: світло поводиться не як хвиля, а як потік частинок – фотонів, кожен з яких має енергію $E = hf$, де h – стала Планка, а f – частота світла. Така організація освітнього процесу відтворює

логіку реального наукового відкриття і формує в здобувачів освіти розуміння суті наукового методу.

Після розуміння теорії здобувачі освіти переходять до практичного застосування знань – вони мають налаштувати сонячну ферму для генерації електроенергії (рис. 4). Це завдання демонструє зв'язок фундаментальної науки з сучасними технологіями і показує, що відкриття, зроблені понад сто років тому, сьогодні лежать в основі відновлювальної енергетики. Здобувачі освіти оптимізують кут нахилу панелей, розуміючи, що більша площа опромінення означає більше фотонів, а отже більший фотострум. Вони аналізують, чому сонячні панелі найефективніші для певного діапазону довжин хвиль, усвідомлюючи роль роботи виходу матеріалу.

Рис. 4. Практичне завдання з налаштування сонячної ферми в симуляції Labster

На основі аналізу дослідницького потенціалу платформи Labster можна запропонувати семиетапну структуру заняття, яка максимально сприяє реалізації дослідницького підходу (табл. 1).

Таблиця 1

Структура заняттття з використанням платформи Labster

№	Назва етапу	Зміст діяльності	Роль викладача	Роль здобувачів освіти
1	**Постановка проблеми**	Вступ до навчального сюжету, формулювання проблемного запитання (явище фотоефекту: чому світло вибиває електрони з металу і від чого це залежить)	Створює мотиваційний контекст, підводить до формулювання проблеми	Залучаються до обговорення, висловлюють припущення
2	**Висунення гіпотез**	Обговорення ідей у парах або групах, фіксація усіх гіпотез (навіть помилкових) (фотоефект: залежність від інтенсивності світла, частоти, типу металу)	Модерує обговорення, підтримує різні думки	Висувають гіпотези, прогнозують результати
3	**Планування дослідження**	Визначення змінних і планування експерименту (фотоефект: частота/довжина хвилі, інтенсивність світла, матеріал; фотострум, енергія електронів)	Спрямовує до виділення змінних, допомагає структурувати план	Планують експеримент, визначають змінні
4	**Проведення експерименту в Labster**	Робота в симуляції симуляції, спостереження результатів (фотоефект: зміна параметрів і фіксація виникнення явища)	Консультує, ставить евристичні запитання	Досліджують, змінюють параметри, фіксують результати

№	Назва етапу	Зміст діяльності	Роль викладача	Роль здобувачів освіти
5	**Аналіз даних**	Опрацювання результатів, виявлення закономірностей, побудова графіків (фотоефект: порогова частота, миттєвість, залежність енергії від частоти)	Спрямовує мислення питаннями, підводить до висновків	Аналізують результати, порівнюють очікування і реальні дані, роблять висновки
6	**Формулювання висновків**	Узагальнення результатів, перевірка гіпотез (фотоефект: пояснення явища з позицій квантової теорії)	Узагальнює, допомагає систематизувати результати	Формулюють висновки, ставлять нові запитання
7	**Рефлексія**	Осмислення отриманих знань (фотоефект: значення для науки і техніки)	Організовує рефлексію	Оцінюють власну діяльність, діляться враженнями

Платформа Labster може бути впроваджена в освітній процес різними способами, залежно від дидактичної мети, організаційних можливостей та рівня підготовки здобувачів освіти. Розглянемо чотири основні моделі використання (рис. 5).

Перша модель – перевернутий клас (flipped classroom). У цій моделі здобувачі освіти вдома переглядають теоретичний матеріал у Labster та знайомляться з обладнанням віртуальної лабораторії. На занятті лише коротке обговорення найскладніших моментів, а основний час присвячений дослідницькому експерименту в групах. У кінці – презентація результатів і висновки. Перевага цієї моделі в тому, що максимум часу на уроці присвячений практиці та дослідженню, а теоретична підготовка виноситься на самостійну роботу.

Друга модель – станційне навчання (station learning). Це особливо корисно, коли в аудиторії обмежена кількість пристроїв або потрібно урізноманітнити види діяльності. Організовують 4–5 станцій, формують групи по 4–5 здобувачів освіти, кожна група проводить певну кількість часу на кожній станції. Станції можуть включати: теоретичну (опрацювання матеріалу з Labster), практичну (реальний експеримент), віртуальну (робота з симуляцією), аналітичну (розв’язування задач) і творчу (підготовка презентації). Перевага цього підходу – різноманітність видів діяльності і можливість роботи за умов обмеженої кількості пристроїв.

Третя модель – дослідницький проєкт (research project), що передбачає поетапну організацію діяльності: постановку проблеми, планування дослідження та проведення експериментів із подальшим їх доопрацюванням у позааудиторний час. Наступним етапом є продовження експериментальної роботи, аналіз отриманих даних і підготовка результатів до представлення. Завершальним етапом виступають презентація та обговорення результатів дослідження. Такий підхід найефективніший для розвитку дослідницьких компетентностей і глибокого розуміння теми.

Четверта модель – змішане навчання (blended learning), коли поєднують віртуальний експеримент у Labster з реальним експериментом у лабораторії. Спочатку здобувачі освіти проводять експеримент у Labster в ідеальних умовах, потім повторюють його в реальній лабораторії, де є опір повітря, похибки вимірювань, недосконаліть обладнання. Порівнюючи результати, аналізують похибки та

обмеження моделей. Така робота допомагає зрозуміти різницю між ідеальною фізичною моделлю та реальністю, що є важливою частиною наукової грамотності.

Рис. 5. Схема чотирьох основних моделей використання платформи Labster (схема створена за допомогою ChatGPT)

Попри низку переваг, використання платформи Labster в освітньому процесі супроводжується певними викликами, які потребують врахування для забезпечення її ефективного впровадження.

Перший із них – технічні обмеження: нестабільний інтернет, недостатня продуктивність пристроїв, проблеми сумісності з різними операційними системами. Розв'язанням може бути наявність альтернативного плану роботи, використання симуляцій із нижчими технічними вимогами, а також можливість завантаження окремих матеріалів для офлайн-доступу.

Другий виклик пов'язаний із мовним бар'єром, адже інтерфейс платформи є англомовним. У цьому випадку доцільним є використання вбудованих перекладачів браузерів, підготовка глосаріїв базової термінології та поступове формування англомовної наукової компетентності здобувачів освіти.

Третій виклик – різний темп роботи здобувачів освіти. Для його подолання ефективними є диференціація завдань за рівнем складності, підготовка додаткових матеріалів для тих, хто працює швидше, а також організація взаємодопомоги в групах.

Четвертий виклик стосується обмеженої кількості технічних засобів у класі. У такому разі доцільно застосовувати станційне навчання, організовувати роботу в парах або переносити частину діяльності в позааудиторний формат.

П'ятий виклик полягає в ризику сприйняття віртуального експерименту як гри, а не як повноцінної навчальної діяльності. Це потребує чіткого формулювання

навчальних цілей і критеріїв оцінювання, встановлення зв'язку із реальними науковими проблемами, а також організації обґрунтування дій і представлення результатів дослідження.

За результатами опитування здобувачів освіти щодо використання платформи Labster встановлено, що переважна більшість респондентів (≈90%) позитивно оцінює її використання в освітньому процесі. Зокрема, близько 85% зазначили підвищення інтересу до вивчення фізики, а 78% відзначили краще розуміння складних фізичних явищ завдяки візуалізації процесів. Також приблизно 70% студентів вказали на зручність роботи у віртуальних лабораторіях порівняно з традиційними умовами та відзначили підвищення власної активності під час виконання дослідницьких завдань. Водночас близько 30% респондентів зауважили наявність технічних труднощів або необхідність додаткового часу для адаптації до інтерфейсу платформи, що підтверджує актуальність методичного супроводу її використання.

Проведене дослідження засвідчує, що платформа Labster є ефективним інструментом для організації дослідницького навчання з фізики та астрономії.

Віртуальні лабораторії забезпечують реалізацію основних етапів наукового дослідження та сприяють розвитку наукового мислення здобувачів освіти.

Аналіз симуляцій, зокрема з вивчення фотоелектричного ефекту, показав можливість моделювання не лише експериментів, а й історії наукових відкриттів, що поглиблює розуміння природи наукового знання.

Запропонована семиетапна методика організації дослідницького навчання забезпечує системний розвиток дослідницьких компетентностей, а її ефективність залежить від обраної моделі навчання (перевернутий клас, станційне навчання, дослідницький проєкт, змішане навчання).

Переваги платформи (безпека, доступність, візуалізація, індивідуалізація) роблять її доцільною для використання в умовах обмежених ресурсів, а виявлені виклики можуть бути подолані за належної методичної організації.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою методичних рекомендацій, емпіричною перевіркою ефективності різних моделей використання, поєднанням Labster з іншими цифровими інструментами.

Конфлікт інтересів. Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування дослідження. Дослідження виконано без залучення зовнішнього фінансування.

Доступність даних. Дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

Використання інструментів штучного інтелекту. Під час підготовки цієї статті інструменти штучного інтелекту (ChatGPT) використовувалися при створенні схеми чотирьох основних моделей використання Labster (рис. 5).

Авторський внесок. Автори (Юлія Решітник та Катерина Ільніцька) зробили рівноцінний внесок у написання статті (по 50% кожен). Обидва автори брали участь у плануванні дослідження, аналізі даних та підготовці рукопису.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гулай О., Шемет В., Мороз І., Шевчук М. Віртуальна лабораторія Labster: переваги і перешкоди використання. *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук в*

контексті вимог Нової української школи : зб. тез доповідей VI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Тернопіль, 23–24 трав. 2024 р.). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2024. С. 133–135.

2. Димова І. Імерсивний підхід в системі університетської освіти. *Актуальні питання гуманітарних наук :* міжвуз. зб. наук. праць молодих вчених Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. Дрогобич : Вид. дім «Гельветика», 2022. Вип. 48. Т. 1. С. 289 – 293. DOI: 10.24919/2308-4863/48-1-45.
3. Енциклопедія освіти / за ред. В. Г. Кременя. 2-ге вид., допов. та перероб. Київ: Юрінком Інтер, 2021. 1144 с.
4. Колечинцева Т. О. Використання англомовних симуляційних моделей платформи Labster під час дистанційного навчання фізики. *Наукові інновації та передові технології*. 2023. № 6(20). С. 458–467.
5. Подопригора Н. В. Використання платформи Labster у навчанні природничих наук. *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук в контексті вимог Нової української школи :* зб. тез доповідей VI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Тернопіль, 23–24 трав. 2024 р.). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2024. С. 141–144.
6. Решітник Ю., Ільніцька К. Використання платформи Go-Lab для організації дослідницько-орієнтованого навчання з фізики. *Проблеми підготовки сучасного вчителя*. 2022. Вип. 1 (25). С. 49–59. DOI: 10.31499/2307-4914.1.2022.258471.
7. Bonde M. T., Makransky G., Wandall J., Larsen M. V., Morsing M., Jarmer H., Sommer M. O. A. Improving biotech education through gamified laboratory simulations. *Nature Biotechnology.* 2014. Vol. 32. No. 7. P. 694–697. DOI: 10.1038/nbt.2955.
8. Coleman S. K., Smith C. L. Evaluating the benefits of virtual training for bioscience students. *Higher Education Pedagogies*. 2019. Vol. 4 (1). P. 287–299. DOI: 10.1080/23752696.2019.1599689.
9. Dalgarno B., Lee M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*. 2010. Vol. 41(1), P. 167–180. DOI: 10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x.
10. Makransky G., Petersen G. B. Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach. *Computers & Education.* 2019. Vol. 134. P. 15–30. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.02.002.
11. Makransky G., Terkildsen T. S., Mayer R. E. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction.* 2019. Vol. 60. P. 225–236. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.
12. Margus Pedaste, Mario Mäeots, Leo A. Siiman, Ton de Jong, Siswa A. N. van Riesen, Ellen T. Kamp, Constantinos C. Manoli, Zacharias C. Zacharia, Eleftheria Tsourlidaki. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*. 2015. Vol. 14. P. 47–61. DOI: 10.1016/j.edurev.2015.02.003.
13. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V. M., Jovanović K. 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.

REFERENCES

1. Hulay, O., Shemet, V., Moroz, I., & Shevchuk, M. (2024). Virtualna laboratoriia Labster: perevahy i pereshkody vykorystannia [Virtual laboratory Labster: advantages and obstacles of use]. *Pidhotovka maibutnikh uchyteliv fizyky, khimii, biolohii ta pryrodnychykh nauk v konteksti vymoh Novoi ukrainskoi shkoly: zb. tez dopovidei VI Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (pp. 133–135). Ternopil: TNPU im. V. Hnatiuka.
2. Dymova, I. (2022). Imersyvnyi pidkhid v systemi universytetskoi osvity [Immersive approach in the system of university education]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk, 48(1), 289–293*. DOI: https://doi.org/10.24919/2308-4863/48-1-45.
3. Kremen, V. H. (Ed.). (2021). *Entsyklopediia osvity* [Encyclopedia of education] (2nd ed.). Kyiv: Yurinkom Inter.
4. Kolechyntseva, T. O. (2023). Vykorystannia anhlomovnykh symuliatsiinykh modelei platformy Labster pid chas dystantsiinoho navchannia fizyky [Using English-language simulation models of the Labster

platform during distance learning of physics]. *Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnolohii, 6(20), 458–467*.

5. Podopryhora, N. V. (2024). Vykorystannia platformy Labster u navchanni pryrodnychykh nauk [Using the Labster platform in teaching natural sciences]. *Pidhotovka maibutnikh uchyteliv fizyky, khimii, biolohii ta pryrodnychykh nauk v konteksti vymoh Novoi ukrainskoi shkoly: zb. tez dopovidei VI Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (pp. 141–144). Ternopil: TNPU im. V. Hnatiuka.
6. Reshitnyk, Yu., & Ilnitska, K. (2022). Vykorystannia platformy Go-Lab dlia orhanizatsii doslidnytsko-oriientovanoho navchannia z fizyky [Using the Go-Lab platform for organizing inquiry-based physics learning]. *Problemy pidhotovky suchasnoho vchytelia, 1(25), 49–59*. DOI: https://doi.org/10.31499/2307-4914.1.2022.258471.
7. Bonde, M. T., Makransky, G., Wandall, J., Larsen, M. V., Morsing, M., Jarmer, H., & Sommer, M O. A. (2014). Improving biotech education through gamified laboratory simulations. *Nature Biotechnology, 32(7), 694–697*. DOI: https://doi.org/10.1038/nbt.2955.
8. Coleman, S. K., & Smith, C. L. (2019). Evaluating the benefits of virtual training for bioscience students. *Higher Education Pedagogies, 4(1), 287–299*. DOI: https://doi.org/10.1080/23752696.2019.1599689.
9. Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology, 41(1), 167–180*. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x.
10. Makransky, G., & Petersen, G. B. (2019). Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach. *Computers & Education, 134, 15–30*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.02.002.
11. Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction, 60, 225–236*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.
12. Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review, 14, 47–61*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003.
13. Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education, 95, 309–327*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002.

Стаття надійшла до редакції 23.04.2026 р.
Прийнята до друку 23.05.2026 р.
Опубліковано 27.05.2026 р.

This work is licensed under a Creative Commons License Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-4.0).