

ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ НА УРОКАХ ФІЗИКИ: ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ PHYSICS LAB AR ЗА УМОВ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ

Ольга СЛОБОДЯНИК ✉

Інститут цифровізації освіти

Національної академії педагогічних наук України, Україна

Oslobodyanyk84@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3504-2684>

AUGMENTED REALITY IN PHYSICS LESSONS: EXPERIENCE USING PHYSICS LAB AR IN BLENDED LEARNING

Olha SLOBODIANYK ✉

Institute of Digitalization of Education

of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, Ukraine

Oslobodyanyk84@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3504-2684>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Зміни у світі технологій, зокрема в галузі доповненої, віртуальної реальності, прорив у сфері штучного інтелекту, а також перехід на змішану форму навчання, змушують заклади освіти змінювати методи та підходи до освітнього процесу. Сучасні дослідження показують, що використання доповненої реальності (AR) у навчанні має багато переваг, які позитивно впливають на процес освіти.

Матеріали і методи. Для реалізації мети дослідження нами було використано комплекс методів, а саме: аналіз, систематизація, узагальнення наукових джерел, аналіз наукових публікацій вітчизняних і закордонних вчених, нормативно-правових документів, узагальнення власного досвіду, а саме опитування учнів щодо використання технологій доповненої реальності в освітньому процесі та аналіз навчальних досягнень суб'єктів навчання «до» та «після» дослідження.

Результати. Змішане навчання є сучасною педагогічною моделлю, у якій поєднуються класно-урочна форма з цифровими технологіями, що дозволяє учням самостійно опрацьовувати матеріал у зручний для них час. За такої форми навчання легко поєднувати традиційні методи з інтерактивними інструментами, освітній процес набуває гнучкості, учні працюють у власному темпі, рівень самостійності зростає. Для дисциплін природничо-математичного циклу ключовим аспектом навчання є проведення експериментів. В умовах змішаного навчання це стає можливим завдяки технологіям доповненої реальності та інтерактивним симуляціям, особливо для учнів, які не мають можливості відвідувати очні заняття з різних причин.

Висновки. Завдяки AR навчання стає більш інтерактивним та сприяє підвищенню інтересу та мотивації учнів до освітнього процесу, візуалізація дає можливість краще зрозуміти складні процеси; враховуються індивідуальні особливості кожного учня та надається можливість працювати у власному темпі. Проте не слід забувати, що сучасна молодь має залежність від цифрових засобів, з метою уникнення негативного впливу на розвиток інших навичок та соціальних вмінь використання AR, VR має бути дозованим.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: доповнена реальність; змішане навчання; фізика; освітній процес.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Слободяник О. Доповнена реальність на уроках фізики: досвід використання Physics Lab AR за умов змішаного навчання. *Фізико-математична освіта*, 2025. Том 40. № 5. С. 61-67. <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-08>.

ABSTRACT

Formulation of the problem. Changes in the world of technology, particularly in the fields of augmented and virtual reality, breakthroughs in artificial intelligence, and the transition to blended learning, are forcing educational institutions to adapt their methods and approaches to the educational process. Recent studies have demonstrated that the application of augmented reality (AR) in education presents numerous advantages that positively influence the educational process.

Materials and methods. A set of methods was employed, including analysis, systematization, and synthesis of scholarly sources; a review of scientific publications by both domestic and international researchers; examination of regulatory and policy documents; and reflection on our own professional experience. In particular, a student survey was conducted regarding the application of AR technologies in the educational process, complemented by an analysis of learners' academic performance before and after the implementation of the study.

Results. Blended learning is a modern pedagogical model that combines classroom teaching with digital technologies, allowing students to study material independently at a time convenient for them. This form of learning facilitates the integration of traditional methods with interactive tools, making the educational process more flexible and allowing students to work at their own pace, thereby increasing their level of independence. For natural science and mathematics subjects, conducting experiments is a key aspect of learning. In blended learning, this is made possible by augmented reality technologies and interactive simulations, particularly for students who are unable to attend face-to-face classes due to various reasons.

Conclusions. The integration of AR into education fosters interactivity, increases learner motivation, and stimulates interest in the learning process. Visualization tools enhance comprehension of complex phenomena, while personalized pathways allow students to work at a pace aligned with their individual needs. Nevertheless, it must be acknowledged that modern students often display a strong dependency on digital devices. To mitigate potential negative impacts on the development of essential soft skills and social competencies, the use of AR and VR should be carefully balanced and applied in moderation.

KEYWORDS: augmented reality; blended learning; physics; educational process.

FOR CITATION: Slobodanyk, O. (2025). Augmented reality in physics lessons: experience using Physics Lab AR in blended learning. *Physical and Mathematical Education*, 40(5), 61-67. <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i5-08>.

ВСТУП

Постановка проблеми. Сучасний освітній процес постійно еволюціонує під впливом нових технологій, зокрема доповнена реальність (AR) є однією із найзатребуваніших інновацій, що активно трансформують процес навчання. Впровадження AR у навчальні середовища пропонує унікальні можливості для інтерактивного навчання, стимулювання зацікавленості учнів та поглиблення їхнього розуміння складних процесів. Завдяки синергії фізичного і віртуального світів, доповнена реальність дозволяє створювати контекстуальні навчальні ситуації, де теоретичні знання набувають практичного значення.

На сьогодні основним завданням ЗЗСО є підготовка дитини до реального життя: навчити взаємодіяти в інформаційному полі, аналізувати, робити висновки, критично мислити. Як зазначено в Концепції Нової Української школи, запам'ятовування великих обсягів інформації не є ефективним, потрібне опанування учнем умінь, навичок та компетентностей, актуальних на ринку праці, тому у НУШ важливе місце відводиться питанню створення творчого середовища, у якому акценти на мобільних робочих зонах, оснащених сучасними технологіями. (*Концепція Нової Української школи, 2016*) Організація такого простору потребує широкого використання мультимедійних засобів, ІТ-технологій, сучасних лабораторних баз та бібліотек, що на даний момент є проблематичним у зв'язку з економічними причинами. Тому, пропонуємо як альтернативу використовувати імерсивні технології (VR, AR, MR, XR), а також ШІ. Звісно вони не замінять традиційних методів навчання, але можуть стати якісним доповненням освітнього процесу, зробити його практико-орієнтованим, цікавим, насиченим.

Аналіз актуальних досліджень. Дослідження вітчизняних та зарубіжних науковців показують, що використання AR-технологій у навчанні сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу, підвищує мотивацію учнів та розвиває їхні критичні навички мислення.

Серед вітчизняних науковців, які досліджували проблему використання впровадження AR-технології у навчальний процес Н. Сороко у своїй статті характеризує функції доповненої реальності для підтримки STEAM освіти в ЗЗСО (Сороко, 2021), а Л.Шкляр розглядає імерсивні технології як один із напрямів STEM-освіти (Шкляр, 2023). С. Литвинова, О.Буров, С.Семеріков у спільному дослідженні обґрунтували концептуальну модель використання AR в освітньому процесі та визначили її основні складники. Автори також обґрунтували принципи та підходи використання AR технологій у освітньому процесі, описали педагогічні умови, охарактеризували переваги та недоліки активного використання ІТ в освіті (Lytvynova et al., 2020). У роботі О.Гриб'юк представлено результати експериментального дослідження, зокрема вивчено результати впливу можливостей використання імерсивної освітньої системи на когнітивні процеси навчання учнів (Гриб'юк, 2022) Як зазначає Ю.Ботузова, застосування VR та AR дозволяє візуалізувати абстрактні математичні ідеї, роблячи їх більш доступними для розуміння учнів. Це особливо корисно для засвоєння абстрактних понять, формування чітких уявлень про просторові фігури. Загалом інтеграція імерсивних технологій у навчання математики є інноваційним кроком, що дозволяє вчителям та учням відкривати нові можливості для вивчення предмету та підвищувати ефективність навчання. (Ботузова, 2024).

Зарубіжні дослідники Cevikbas M., Bulut N., Kaiser G. здійснили систематичний огляд літератури з проблематики імерсивних технологій в освіті, зокрема в навчанні математики та дійшли висновків, що застосування AR/VR технологій перетворює математику на більш доступну та привабливу науку для тих, хто має труднощі з навчанням або особливі освітні потреби. Автори рекомендують вчителям математики для ефективної інтеграції технології AR/VR у свою практику викладання, пройти відповідне навчання, а також налагоджувати співпрацю з колегами та ділитися кращими практиками в своїй математичній освітній спільноті (Cevikbas et al., 2023).

Fromm, J., Radianti, J., у своїх працях досліджують можливості емпіричного навчання засобами віртуальної реальності та доповненої реальності (Fromm & Radianti, 2021); Baptista De Lima, C., Walton, S., & Owen, T. (2022) у своєму дослідженні зазначають, що технології доповненої реальності мають великий потенціал в освіті, проте не правильне їх застосування може призвести до погіршення результатів навчання. Bower, M., Howe, C., McCredie, N., зазначають, що доповнена реальність сприяє розвитку аналітичного та критичного мислення (Bower et al., 2020).

AR це відносно новий тренд серед технологій в освіті, що відкриває нові можливості в області досліджень не способом заміни реального обладнання, а через доповнення, розширення, урізноманітнення освітнього процесу засобами навчання. Насправді імерсивні технології забезпечують рівність в освіті. Для сучасних учнів важливим є момент візуалізації абстрактних понять, об'єктів та явищ. Не завжди в навчальному закладі є необхідне обладнання для практичних і лабораторних робіт або ж за реальних умов дослідити явище чи процес неможливо, то в такому випадку доцільно використовувати симуляції або імерсивні технології (IT) (Salnyk & Fomenko, 2023). Наприклад, у вивченні фізики ІТ варто поставити на друге місце після експерименту з реальним обладнанням, але якщо такий не можливий, то й на перше. Наразі в Google Play і в AppStore є великий вибір додатків, які можна використовувати на заняттях. Зокрема, для використання на уроках фізики можна запропонувати Arloora, Merge EDU Platform, MEL VR Science Simulations VR Chosen Physics, Physics Lab AR та ін.. Більшість з них мають англійський інтерфейс, що створює певні незручності для вчителів, які не володіють мовою. Серед вітчизняних розробок можна виокремити BookVAR та ARSchool.Chemie, вони мають українськомовний інтерфейс та досить зручні у використанні.

Метою дослідження проаналізувати педагогічні можливості використання засобу доповненої реальності *Physics Lab AR* у процесі навчання фізики за умов змішаного навчання, дослідити його вплив на формування навчальних досягнень учнів, мотивацію та активізацію пізнавальної діяльності, а також визначити ефективні підходи до інтеграції цієї технології у шкільну практику.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для реалізації мети дослідження нами було використано комплекс методів, а саме: аналіз, систематизація, узагальнення наукових джерел, аналіз наукових публікацій вітчизняних і закордонних вчених, нормативно-правових

документів, узагальнення власного досвіду, а також перевірка ефективності AR технологій, зокрема, Physics Lab AR в освітньому процесі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У сучасних умовах поширення змішаного навчання, яке поєднує очні заняття з дистанційними технологіями, особливої уваги заслуговують цифрові інструменти, що дозволяють організувати віртуальні експерименти. Одним із таких рішень є мобільний застосунок Physics Lab AR, що використовує технологію доповненої реальності (AR) для моделювання фізичних явищ.

Змішане навчання є сучасною педагогічною моделлю, яка поєднує традиційні очні заняття з цифровими технологіями, що дозволяє учням самостійно опрацьовувати матеріал у зручний для них час. Воно має такі характеристики:

- Гнучкість навчального процесу (учні можуть вивчати матеріал у власному темпі).
- Можливість використання інтерактивних інструментів, таких як AR і VR.
- Підвищення рівня самостійності учнів.

У контексті фізики одним із ключових аспектів навчання є проведення експериментів. В умовах змішаного навчання постає питання доступності таких досліджень для всіх учнів. Саме тому технології доповненої реальності можуть стати ефективним рішенням.

Physics Lab AR  – це мобільний застосунок, що дозволяє проводити фізичні експерименти у доповненій реальності. А саме: віртуальні лабораторні роботи з механіки, електрики, оптики, термодинаміки тощо; інтерактивне моделювання фізичних процесів із можливістю зміни параметрів (маса, швидкість, напруга тощо); збирати та аналізувати дані у цифровому форматі; створювати власні експерименти та тестувати їх. Додаток дозволяє створювати віртуальні експерименти без потреби у фізичному обладнанні, що робить його особливо корисним у дистанційному та змішаному навчанні.



Рис. 1. Лабораторія електрики в Physics Lab AR

Джерело: авторська розробка.

Перед початком роботи з додатком, учні мають можливість за допомогою посібника ознайомитися з набором інструментів для побудови кола (рис.1а), потім додаток може самостійно побудувати схему до створеного електричного кола, тобто перемикаючись між вкладками можна змінювати вид подачі.

Наведемо декілька прикладів індивідуальних завдань, які учні виконують з використанням додатку.

1. **Практичне завдання.** У середовищі Physics Lab AR зберіть просте електричне коло з батарейкою, лампочкою та перемикачем:

- а) Увімкніть та вимкніть перемикач. Зроби висновок: яка роль перемикача в електричному колі?
- б) Додайте другу лампочку послідовно. Як змінилася яскравість лампочок?
- в) Поміркуйте чи можливо додати в коло ще одну лампочку? Якщо так, то якої потужності?

Перевірте свої припущення на практиці.

2. **Творче завдання.** Використай Physics Lab AR, щоб змоделювати будь-який дослід із курсу 7 класу на власний розсуд (наприклад: закон Паскаля, закон відбиття світла, сила тертя).

- а) Опиши хід дослідів.
- б) Зроби скріншот/замальовку результату.
- в) Поясни, яке фізичне явище ти дослідив.

3. **Дослідницьке завдання** а) Відкрийте Physics Lab AR, виберіть симуляцію «Point Charges» або «Electrostatics». Встановіть один позитивний заряд $+Q$ на позицію А (наприклад, координати $x=0$). Розмістіть другий заряд В на 3 різних відстанях від А (наприклад: 2 см, 5 см, 8 см) і для кожної відстані виконайте дослід два рази (випадок 1: $B = +q$ однойменні заряди; випадок 2: $B = -q$ різнойменні заряди) Використовуйте однакову величину $|q|$ (наприклад, 1 умовна одиниця заряду) для всіх експериментів.

б) Для кожної конфігурації увімкніть індикатор сили або подивіться величину сили взаємодії (можна використовувати відображення векторів та числові значення). Запишіть напрями (притягання чи відштовхування) і величину сили в таблицю.

в) Увімкни показ силових ліній для пари зарядів у кожній конфігурації. Малюй (або зроби скріншоти) схеми силових ліній для випадку однойменних і різнойменних зарядів.

г) Змініть величину одного заряду (наприклад, збільшій, а потім зменшій у 2 рази) та повторіть вимірювання для фіксованої відстані. Запишіть, як змінилася сила.

Переміщуючи інструменти, на робоче поле, учні мають можливість експериментувати, створювати, аналізувати, проводити віртуальні експерименти, змінюючи параметри (наприклад, масу об'єкта, швидкість або величину сили) та спостерігаючи результати в реальному часі. Це дозволяє їм отримати практичний досвід без ризику для безпеки.

На рис.2 можемо спостерігати взаємодію зарядів, кожен учень може самостійно додавати чи видаляти потрібний заряд та спостерігати як змінюється поле між ними.

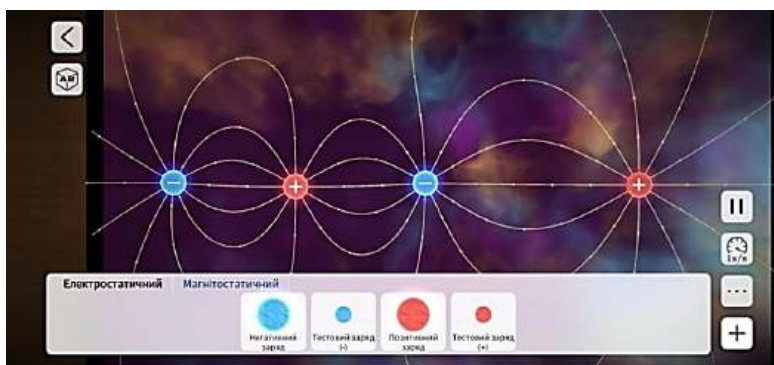


Рис. 2. Дослідження взаємодії зарядів у Physics Lab AR

Джерело: авторська розробка.

На рис. 3 показано можливості дослідження сонячної системи з додаванням інших планет, при чому у верхньому правому куті одразу відображаються основні характеристики швидкість, маса, радіус, тощо. Кожен користувач має можливість поділитися своїм проектом, зберегти на диск, опублікувати для загального огляду.

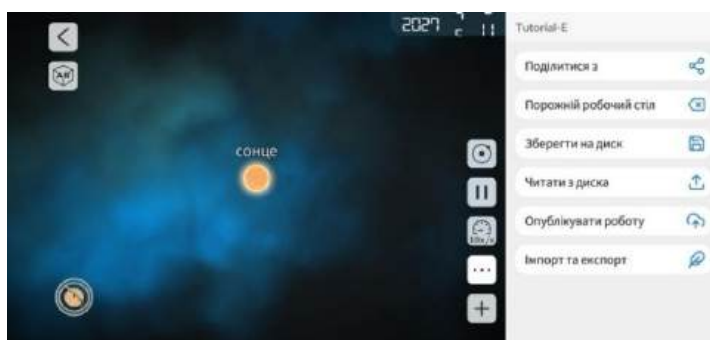


Рис. 3. Дослідження сонячної системи у Physics Lab AR

Джерело: авторська розробка.

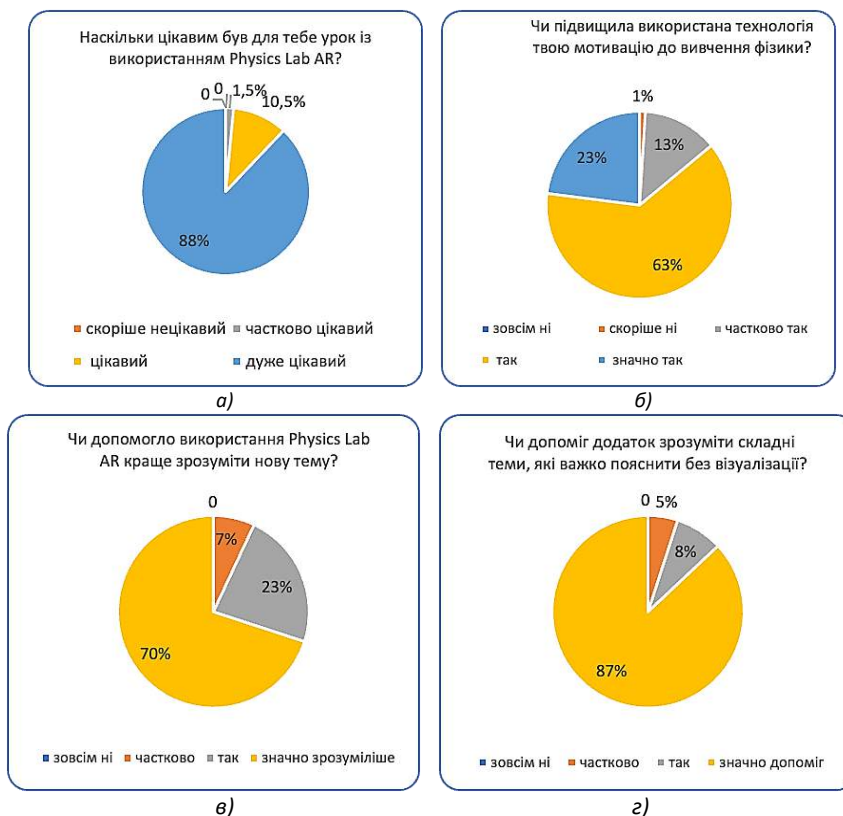


Рис. 4. Результати опитування учнів щодо доцільності використання AR додатку на уроках фізики

Джерело: авторська розробка.

У дослідженні взяло участь 132 учні 7-8 класів школи №1 міста Києва, 23 з них перебувають на сімейній формі навчання. На початку дослідження нами було проаналізовано рівень навчальних досягнень здобувачів до застосування технологій доповненої реальності та після (рис.5).

Після використання доповненої реальності на уроках, нами було проведено опитування учнів, результати наведено на діаграмах (рис. 4, а-г). Бачимо, що рівень зацікавленості зростає, підвищується мотивація до навчання, складні речі стають зрозумілішими і простішими у сприйнятті.

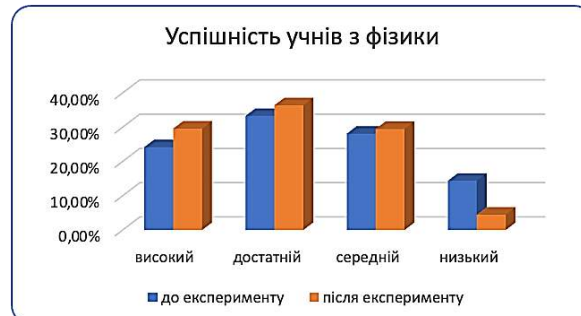


Рис. 5. Динаміка успішності учнів з фізики після використання AR в освітньому процесі (Physics Lab AR)

Джерело: авторська розробка.

На діаграмі відображено динаміку навчальної діяльності з використанням імерсивних технологій. Проаналізувавши більш детально результати опитування та контингент учнів, що покращили рівень навчальних досягнень, виявили, що це переважно учні, які навчаються на сімейній формі навчання і не мають змоги повноцінно відвідувати очні заняття. Тому, застосування засобів доповненої реальності, зокрема Physics Lab AR за умов змішаного навчання, має ряд переваг для реалізації компонентів навчання.

1. **Практичний компонент.** Доступність експериментів (навіть якщо лабораторне обладнання відсутнє у школі або вдома); *безпека* (можна виконувати експерименти без ризику отримання травм); можливість *самостійного вивчення* фізики (з'являється можливість виконувати експерименти у зручний час, а також надавати додаткові ресурси та пояснення, наприклад, при наведенні на об'єкт може з'явитися додаткова інформація або відео з поясненням явища); *розширення можливостей дослідження* (можна моделювати складні явища, які важко або неможливо відтворити у звичайних умовах (наприклад, рух планет, магнітне поле Землі тощо,)) збір та аналіз даних експериментів може бути полегшено за допомогою AR. Учні зможуть легко взаємодіяти з даними, проводити графічний аналіз і бачити результати в режимі реального часу, що є важливим для майбутнього моделювання явища чи процесу.

2. **Мотиваційний компонент.** Інтерактивність, елементи гейміфікації заохочують учнів до активної діяльності, сприяють підвищенню інтересу до предмета, формуванню внутрішньої мотивації та розвитку пізнавальної активності. Учні демонструють більш високий рівень залученості у процес вивчення складного матеріалу. Особливої уваги заслуговує використання технологій доповненої реальності (AR) у *проектній діяльності*, а саме у віртуальних фізичних лабораторіях, що може значно «збагатити» навчальний процес та підвищити зацікавленість учнів, сприяти груповим проектам, де учні можуть спільно працювати над експериментами чи ескізами, обговорюючи та вивчаючи фізичні принципи.

3. **Соціально-комунікативний компонент.** AR-платформи підтримують колаборативні форми роботи (групові дослідження, спільні проекти), що розвиває комунікативні навички та вміння працювати в команді. Вчитель *на уроці може* використати мобільний застосунок для демонстрації експериментів або ж запропонувати групову роботу учнів із віртуальними експериментами чи виконати самостійні дослідження з подальшим обговоренням результатів.

4. **Результативний компонент.** За даними емпіричних досліджень (Radianti et al., 2021; Bower et al., 2020), використання AR підвищує середні бали учнів на 15–25% у порівнянні з традиційними методами навчання, особливо у галузях STEM. Завдяки AR учні можуть отримати доступ до великої кількості віртуальних ресурсів і матеріалів, які можуть бути недоступні в звичайному класному середовищі.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений аналіз засвідчив, що використання засобу доповненої реальності Physics Lab AR у процесі навчання фізики за умов змішаного навчання має суттєвий педагогічний потенціал. Технологія забезпечує наочність і доступність складних абстрактних понять, сприяє формуванню цілісного уявлення про фізичні процеси та підвищенню рівня навчальних досягнень учнів. Вона позитивно впливає на мотиваційну сферу, активізує пізнавальну діяльність, створює умови для розвитку дослідницьких умінь і критичного мислення.

Ефективність упровадження Physics Lab AR залежить від продуманих педагогічних стратегій: поєднання традиційних і цифрових методів навчання, інтеграції елементів гейміфікації, персоналізації завдань, а також організації групової взаємодії в AR-середовищі. Доцільним є поступове розширення практики використання цієї технології у школі, що дозволить не лише підвищити якість засвоєння навчального матеріалу, а й сформувати в учнів уміння застосовувати знання в реальних і змодельованих умовах.

Отже, Physics Lab AR може стати ефективним інструментом підтримки змішаного навчання фізики, здатним інтегрувати інноваційні технології з традиційною методикою, забезпечуючи новий рівень взаємодії учня з навчальним контентом. Перспективи подальших досліджень вбачаємо в дослідженні методичних підходів у підготовці вчителів фізики

до використання доповненої реальності, розробці моделі інтеграції AR у навчальні програми та оцінці впливу на освітні результати у довготривалій перспективі.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори підтверджують відсутність фінансових, особистих чи інших інтересів, що можуть розглядатися як потенційний конфлікт інтересів щодо публікації цієї статті.

ФІНАНСУВАННЯ

Робота виконана за відсутності фінансової підтримки з боку будь-яких організацій..

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це теоретичне дослідження не передбачає використання додаткових наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Інструменти штучного інтелекту не використовувались при написанні цієї роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ботузова, Ю. В. (2024). Можливості використання імерсивних технологій у навчанні математики. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*, (212), 14-19. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-14-19>
2. Гриб'юк, О. (2022). Педагогічне проектування компонентів віртуальної і доповненої реальності КОМСДН у процесі дослідницького навчання учнів предметів природничо-математичного циклу у закладах загальної середньої освіти. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*, 83, 78-93.
3. Концепція Нової Української школи. (2016). URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf>
4. Литвинова, С.Г., Буров, О.Ю., & Семеріков, С.О. (2020). Концептуальні підходи до використання засобів доповненої реальності в освітньому процесі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*: збірник наукових праць. Вінниця: ТОВ «Друк плюс», 55, 46-62.
5. Сальник, І., & Фоменко, О. (2023). Імерсивні технології в умовах дистанційного та змішаного навчання. *Фізика та освітні технології*, (2), 36-44. <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-5>
6. Сороко, Н.В. (2021). Функції доповненої реальності для підтримки STEAM освіти в закладах загальної освіти. *Фізико-математична освіта*, 29(3), 24-30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-004>
7. Шкляр, Л. (2023). Імерсивні технології: новий напрям STEM-освіти. *Педагогічний вісник Поділля*, 3, 24-26.
8. Baptista De Lima, C., Walton, S., & Owen, T. (2022). A critical outlook at augmented reality and its adoption in education. *Computers and Education Open*, 3, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100103>
9. Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2020). Augmented Reality in education—cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1-15.
10. Cen, L., Ruta, D., Al Qassem, L. M. M. S., & Ng, J. (2019). Augmented immersive reality (AIR) for improved learning performance: a quantitative evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(2), 283-296.
11. Evikbas, M., Bulut, N., & Kaiser, G. (2023) Exploring the Benefits and Drawbacks of AR and VR Technologies for Learners of Mathematics: Recent Developments. *Systems*, 11(244), 1-23.
12. Fromm, J., Radianti, J., Wehking, C., Stieglitz, S., Majchrzak, T. A., & vom Brocke, J. (2021). More than experience? On the unique opportunities of virtual reality to afford a holistic experiential learning cycle. *The Internet and Higher Education*, 50, 100804. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2021.100804>
13. Lytvynova, S. G. (2020). Conceptual approaches to the use of augmented reality tools in the educational process. *Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems*, 55, 4662. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mitimpt_2020_55_8
14. Sarigoz, O. (2019). Augmented reality, virtual reality and digital games: a research on teacher candidates. *Educational Policy Analysis and Strategic Research*, 14(3), 41-63.

REFERENCES (TRANSLATED AND transliterated)

1. Botuzova, Yu. V. (2024). Mozhyvosti vykorystannia imersyvnykh tekhnolohii u navchanni matematyky [Possibilities of using immersive technologies in teaching mathematics]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedagogichni nauky – Scientific notes. Series: Pedagogical sciences*, (212), 14-19. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-14-19> (in Ukrainian)
2. Hryb'uk, O. (2022). Pedagogichne proektuvannia komponentiv virtualnoi i dopovnenoї realnosti KOMSDN u protsesi doslidnytskoho navchannia uchniv predmetiv pryrodnycho-matematychnoho tsyklu u zakladykh zahalnoi serednoi osvity [Pedagogical design of virtual and augmented reality components of KOMSDN in the process of research teaching of students of natural science and mathematics subjects in secondary education institutions]. *Pedagogika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh - Pedagogy of the formation of a creative personality in higher and general education schools*, 83, 78-93. (in Ukrainian)
3. Kontseptsiiia Novoi Ukrainskoi shkoly [Concept of the New Ukrainian School]. (2016) URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf> (in Ukrainian)
4. Lytvynova, S.H., Burov, O.Yu., & Semerikov, S.O. (2020). Kontseptualni pidkhody do vykorystannia zasobiv dopovnenoї realnosti v osvithomu protsesi [Conceptual approaches to the use of augmented reality tools in the educational process]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia u pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy: zbirnyk naukovykh prats – Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems: collection of scientific papers*. Vinnytsia: TOV «Druk plus», 55, 46-62. (in Ukrainian)
5. Salyk, I., & Fomenko, O. (2023). Imersyvni tekhnolohii v umovakh dystantsiinoho ta zmishanoho navchannia [Immersive technologies in conditions of distance and blended learning]. *Fizyka ta osvithni tekhnolohii – Physics and educational technologies*, 2, 36-44. <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-5> (in Ukrainian)

6. Soroko, N. (2021). The augmented reality functions to support the steam education at general education institutions. *Physical and Mathematical Education*, 29(3), 24–30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-004> (in Ukrainian)
7. Shkliar, L. (2023). Imersywni tekhnologii: novyi napriam STEM-osvity [Immersive technologies: a new direction in STEM education]. *Pedahohichnyi visnyk Podillia – Pedagogical Bulletin of Podillia*, 3, 24-26. (in Ukrainian)
8. Baptista De Lima, C., Walton, S., & Owen, T. (2022). A critical outlook at augmented reality and its adoption in education. *Computers and Education Open*, 3, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100103>
9. Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2020). Augmented Reality in education—cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1-15.
10. Cen, L., Ruta, D., Al Qassem, L. M. M. S., & Ng, J. (2019). Augmented immersive reality (AIR) for improved learning performance: a quantitative evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(2), 283-296.
11. Cevikbas, M., Bulut, N., & Kaiser, G. (2023) Exploring the Benefits and Drawbacks of AR and VR Technologies for Learners of Mathematics: Recent Developments. *Systems*, 11(244), 1-23.
12. Fromm, J., Radianti, J., Wehking, C., Stieglitz, S., Majchrzak, T. A., & vom Brocke, J. (2021). More than experience? On the unique opportunities of virtual reality to afford a holistic experiential learning cycle. *The Internet and Higher Education*, 50, 100804. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2021.100804>
13. Lytvynova, S. G. (2020). Conceptual approaches to the use of augmented reality tools in the educational process. *Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems*, 55, 4662. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mitimpt_2020_55_8
14. Sarigoz, O. (2019). Augmented reality, virtual reality and digital games: a research on teacher candidates. *Educational Policy Analysis and Strategic Research*, 14(3), 41-63.

| Матеріал надійшов до редакції: 10.08.2025 р. | Прийнято до друку: 29.09.2025 р. | Опубліковано: 28.11.2025 р. |

