

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Фізико-математичний факультет
кафедра фізики

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

з теми

**ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В НАВЧАЛЬНИХ
ПРОЄКТАХ ARDUINO З ФІЗИКИ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ
ОСВІТИ**

Виконав: здобувач вищої освіти
освітньої програми Середня освіта (Фізика,
інформатика)
спеціальності 014 Середня освіта (за предметними
спеціальностями)
предметної спеціальності 014.08 Середня освіта
(Фізика та астрономія)

денної форми здобуття вищої освіти

Василевич Микола Дмитрович

Керівник: Кух А.М., доктор педагогічних наук,
доцент, професор кафедри фізики

Рецензент: Смалько О.А., кандидат
педагогічних наук, доцент, доцент кафедри
комп'ютерних наук

Кам'янець-Подільський – 2025 рік

Зміст

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ARDUINO В НАВЧАННІ ФІЗИКИ.....	7
1.1. Стан дослідження проблеми в педагогічній, методичній та технічній літературі	7
1.2. Педагогічні можливості технологій штучного інтелекту у вивченні фізики	10
1.3. Особливості використання Arduino у шкільному курсі фізики	13
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ ARDUINO З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У КУРСІ ФІЗИКИ	18
2.1. Дидактичні основи побудови навчальних Arduino-проєктів з використанням ШІ	18
2.2. Архітектура навчального Arduino-проєкту з інтелектуальною підтримкою	22
2.3. Розробка комплексу навчальних Arduino-проєктів із фізики	30
2.4. Інтеграція генеративного ШІ у створення навчальних матеріалів	35
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШІ В НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТАХ ARDUINO З ФІЗИКИ ..	39
3.1. Організація та етапи педагогічного експерименту.....	39
3.2. Критерії та показники оцінювання результатів експерименту.....	43
3.3. Аналіз результатів педагогічного експерименту.....	44
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	63

ВСТУП

Сучасні трансформації освіти зумовлені стрімким розвитком цифрових технологій, інженерних рішень та систем штучного інтелекту. Активне впровадження STEM-підходів (Science, Technology, Engineering, Mathematics) змінює підходи до навчання: замість пасивного засвоєння теорії акцент робиться на інтегроване застосування знань для вирішення практичних завдань. STEM-освіта передбачає проєктну та дослідницьку діяльність, що робить навчання більш осмисленим і наближеним до реального життя. За визначенням NSTA, справжня інтеграція STEM – це не просто присутність всіх чотирьох дисциплін в уроці, а їх цілеспрямоване поєднання в межах одного дослідження чи проєкту. Такий підхід, реалізований через проєктне навчання, дає учням змогу мислити одночасно як науковці, інженери та математики, розв'язуючи комплексні реальні проблеми. Одним із перспективних засобів модернізації навчання фізики відповідно до ідей STEM є використання мікроконтролерів Arduino. Платформа Arduino забезпечує доступність експериментальної діяльності в школі, дозволяючи учням власноруч проводити вимірювання фізичних величин, будувати моделі та створювати навчальні прототипи технічних систем. Впровадження Arduino в освітній процес підсилює інженерно-практичну складову навчання фізики, що відповідає запиту на формування в учнів компетентностей XXI століття – таких як креативність, критичне мислення, вміння розв'язувати проблеми та працювати в команді.

Паралельно з цим у сучасному освітньому середовищі набувають значущості інтелектуальні технології, зокрема генеративні моделі штучного інтелекту (наприклад, ChatGPT). Штучний інтелект (ШІ) здатен виконувати роль інтелектуального помічника: допомагати учням генерувати програмний код, аналізувати експериментальні дані, будувати графіки та моделі, оптимізувати алгоритми і формулювати обґрунтовані висновки. Інтеграція ШІ у навчальні проєкти Arduino значно збагачує зміст навчання фізики, розширює можливості учнів під час проведення дослідів, сприяє персоналізації навчання та підвищує мотивацію. Генеративні моделі ШІ, такі як ChatGPT, вже засвідчили здатність

допомагати школярам у розв'язанні задач, написанні коду, поясненні складних явищ – тобто можуть стати потужним інструментом підтримки навчального фізичного експерименту[1]. Згідно з останніми дослідженнями, учні та вчителі бачать значний потенціал використання ШІ: так, 79% майбутніх учителів фізики відзначають корисність ChatGPT для адаптації навчальних завдань під різний рівень учнів, а 83% – ефективність у зменшенні часу на підготовку до занять. Водночас освітяни наголошують на необхідності етичного використання ШІ, щоб учні не підміняли власне мислення відповідями, згенерованими моделями. У зв'язку з цим актуальним стає розроблення методики, яка поєднує технології Arduino та ШІ, визначаючи педагогічно виважені шляхи їх застосування у школі.

Актуальність теми дослідження зумовлена кількома чинниками. По-перше, реалізація концепції Нової української школи та компетентнісного підходу висуває вимогу формування в учнів дослідницьких, інженерних і цифрових компетентностей. Ці компетентності неможливо розвинути без залучення сучасних технологічних засобів навчання та діяльнісних методів. По-друге, незважаючи на зростаючий інтерес до робототехніки і ШІ, у педагогічній практиці бракує цілісних методик, що описують поєднання платформи Arduino та інструментів штучного інтелекту при вивченні фізики саме в закладах загальної середньої освіти. Наявні дослідження здебільшого фрагментарно висвітлюють або технічні аспекти впровадження Arduino, або потенціал ШІ в освіті, але інтеграція цих компонентів залишається новою науково-методичною проблемою. По-третє, стрімка поява генеративних ШІ-помічників поставила перед школою питання їх педагогічно виваженого та безпечного використання. Важливо не допустити, щоб ШІ заміняв собою навчальний процес, натомість він має підсилювати активність і самостійність учнів. Отже, дослідження присвячено розв'язанню актуальної науково-методичної проблеми – інтеграції технологій штучного інтелекту та платформи Arduino в навчання фізики старшокласників.

Об'єкт дослідження – процес навчання фізики в закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження – методика використання технологій штучного інтелекту у навчальних проєктах Arduino під час вивчення фізики у старшій школі.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати і експериментально перевірити ефективність використання технологій штучного інтелекту у навчальних проєктах Arduino з фізики для розвитку дослідницьких, інженерних та аналітичних компетентностей учнів старшої школи.

Для досягнення поставленої мети необхідно було розв'язати такі основні завдання дослідження:

1) проаналізувати наукову, методичну та технічну літературу щодо використання Arduino та технологій ШІ в освіті, визначити стан розробленості проблеми;

2) розкрити педагогічні можливості технологій штучного інтелекту у підтримці навчання фізики, зокрема в контексті експериментальної та проєктної діяльності учнів;

3) розробити методику створення та реалізації навчальних Arduino-проєктів з інтеграцією інструментів штучного інтелекту (структуру проєктів, етапи роботи, роль учителя і учня, інструменти ШІ на кожному етапі);

4) організувати та провести педагогічний експеримент для оцінювання впливу запропонованої методики на рівень сформованості компетентностей учнів; розробити критерії та показники оцінювання;

У дослідженні застосовано комплекс методів. Теоретичні: аналіз, синтез, порівняння, узагальнення, моделювання – для вивчення наукових джерел і розробки теоретичних основ методики. Емпіричні: педагогічне спостереження, анкетування, тестування, аналіз продуктів діяльності учнів, педагогічний експеримент – для збирання даних про процес і результати навчання в рамках впровадження методики. Статистичні: кількісний і якісний аналіз результатів (статистична обробка експериментальних даних, порівняння показників, оцінка достовірності відмінностей). Цифрові методи: засоби Arduino та ШІ для

вимірювання та обробки даних, програмного аналізу коду тощо – застосовувалися безпосередньо у ході проєктів та при оцінюванні результатів.

Експериментальна база дослідження – Кам’янець-Подільський ліцей №3. У педагогічному експерименті взяли участь 48 учнів 11-х класів, поділених на контрольну та експериментальну групи (по 24 учні в кожній).

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що вперше розроблено та експериментально обґрунтовано методику інтеграції інструментів штучного інтелекту в навчальні Arduino-проєкти з фізики. Визначено педагогічні засади такого поєднання, показано його ефективність для розвитку в старшокласників дослідницьких, інженерно-технічних та аналітичних компетентностей. На відміну від попередніх робіт, що розглядали Arduino та ШІ окремо, у даному дослідженні вони поєднані в єдиний навчально-методичний комплекс.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблені навчальні проєкти, методичні рекомендації, алгоритми аналізу даних та інструменти ШІ можуть бути безпосередньо використані у шкільних курсах фізики, інтегрованих STEM-модулях, гуртках робототехніки та STEM-центрах. Матеріали дослідження (інструкції, програмні коди, критерії оцінювання, анкети) можуть слугувати основою для впровадження подібних проєктів у практику навчання, підготовки вчителів, а також для подальших науково-методичних розробок у напрямі цифровізації природничої освіти.

Структура магістерської роботи включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і додатки. У першому розділі подано теоретичний огляд літератури та нормативних документів з проблеми використання ШІ і Arduino в освіті. У другому – викладено методику розробки навчальних проєктів з фізики на основі Arduino та ШІ (дидактичні засади, архітектура проєктів, приклади проєктів, інтеграція ШІ). У третьому – описано організацію та результати педагогічного експерименту з перевірки ефективності методики (етапи експерименту, критерії оцінювання, аналіз результатів). У висновках представлені підсумкові результати, підтвердження гіпотези, наукова новизна, практична значущість та рекомендації щодо подальшої роботи.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розв'язано науково-методичну проблему інтеграції технологій штучного інтелекту у навчальні проєкти Arduino з фізики в умовах закладу загальної середньої освіти. Дослідження дозволило комплексно охарактеризувати можливості поєднання цифрових інтелектуальних інструментів та мікроконтролерної платформи Arduino для підвищення ефективності фізичної освіти.

У процесі теоретичного аналізу встановлено, що Arduino є доступною та функціональною платформою для реалізації проєктно-орієнтованого та дослідницького навчання фізики. Завдяки широкому спектру сенсорів і можливостей швидкого прототипування учні можуть проводити вимірювання фізичних величин, вивчати закономірності та створювати моделі реальних технічних систем. Штучний інтелект доповнює ці можливості, виступаючи інструментом підтримки учня: забезпечує генерацію програмного коду, аналіз даних, побудову моделей, оптимізацію алгоритмів та формування висновків.

Розроблено методику впровадження навчальних Arduino-проєктів із використанням ІІІ, яка ґрунтується на діяльнісному, компетентнісному та проєктно-орієнтованому підходах. Виділено ключові етапи роботи над проєктом (постановка задачі, вибір сенсорів, програмування, збір даних, аналіз, інтерпретація результатів) та показано, яку підтримку може забезпечувати ІІІ на кожному з них. Методика враховує дидактичні принципи наочності, інтерактивності, диференціації та рефлексії. Визначено, що ІІІ доцільно використовувати як “цифрового асистента”, який розширює можливості учня, але не підміняє його мисленнєвої діяльності. Розроблено також методичні рекомендації для вчителя щодо безпечного та етичного застосування генеративних моделей у навчальному процесі.

Створено комплекс навчальних проєктів для вивчення різних фізичних явищ (механіка, електрика, теплові процеси, коливання), у яких передбачено інтегроване використання датчиків Arduino та інструментів штучного інтелекту. Ці проєкти

дозволяють організувати сучасну, практико-орієнтовану, інженерно спрямовану діяльність учнів і сприяють формуванню навичок роботи з даними. Кожен проєкт містить конкретні завдання, опис етапів реалізації та ролі ШІ, а також інструментарій для оцінювання отриманих результатів. У додатках наведено приклади матеріалів – схеми, фрагменти коду, графіки – які демонструють доцільність використання ШІ як засобу автоматизації та підказки.

Проведено педагогічний експеримент, який підтвердив високу ефективність запропонованої методики. Учні експериментальної групи значно покращили результати в усіх досліджуваних сферах: - Когнітивній: підвищився рівень розуміння фізичних явищ, уміння працювати з графіками та формулювати висновки; середній бал тестування зріс на 23% порівняно з контрольною групою. - Інженерно-практичній: учні демонстрували вищу точність підключення сенсорів та створення коду, впевненість у проведенні експериментів; кількість допущених помилок зменшилась удвічі. - Аналітичній: школярі навчилися якісно обробляти дані, аналізувати похибки та будувати математичні моделі; 87% учнів ЕГ правильно будували графіки та робили висновки (проти 59% у КГ). - Мотиваційній: зросла зацікавленість у роботі з технікою, ШІ та фізичним експериментом; 82% учнів ЕГ виявили бажання продовжувати проєктну діяльність з ШІ (проти ~38% у КГ).

Встановлено, що використання ШІ: - сприяє подоланню труднощів у програмуванні Arduino; - допомагає учням самостійно виправляти помилки; - забезпечує доступне пояснення складних фізичних процесів; - створює умови для індивідуалізованої підтримки учнів; - підвищує рівень самостійності та впевненості у виконанні експериментальних завдань.

Таким чином, розроблена методика є ефективною, науково обґрунтованою та практично доцільною. Її впровадження у навчальний процес старшої школи забезпечує підвищення якості фізичної освіти, розвиток компетентностей ХХІ століття та формує в учнів готовність до інженерної та дослідницької діяльності.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні технологій генеративного штучного інтелекту з навчальними фізичними експериментами на базі Arduino, що раніше в освіті не застосовувалося. Вперше показано на практиці, як ChatGPT та подібні моделі можуть інтегруватися в процес шкільного експерименту на кожному його етапі – від планування до аналізу даних – і яку додану педагогічну цінність це дає. Розроблено оригінальні навчальні матеріали (проекти, інструкції, завдання), які не мають аналогів у традиційних посібниках, та підтверджено їх ефективність експериментально. Отримані результати доповнюють науково-методичну базу STEM-освіти, зокрема у частині використання AI-технологій для розвитку дослідницьких компетентностей учнів.

Практичне значення роботи полягає у створенні цілісного методичного комплексу, який може бути впроваджений у закладах освіти. Розроблені навчальні проекти, алгоритми і рекомендації апробовані в реальних умовах і принесли позитивні результати. Матеріали дослідження можуть використовуватися вчителями фізики, керівниками гуртків, методистами для оновлення змісту і форм навчання. Зокрема, комплекс проектів Arduino+ІІІ може бути включений у варіативну складову навчальної програми з фізики або як основа факультативного курсу. Окремі елементи (напр., використання ChatGPT для перевірки коду чи генерації інструкцій) можуть застосовуватись навіть без Arduino – тобто підходи є багаторазовими і гнучкими. Таким чином, робота має практичну цінність для широкого кола педагогів, зацікавлених у модернізації природничої освіти.

Перспективи подальших досліджень. Отримані результати відкривають ряд напрямів для майбутньої науково-методичної роботи. Це: - розширення спектра навчальних проектів з інтеграцією ІІІ (у тому числі в інших предметах, як-от хімія, біологія); - дослідження довготривалого впливу методики на вибір учнями STEM-професій та їх успіхи у вищій освіті; - адаптація методики для дистанційного та змішаного навчання з використанням віртуальних лабораторій; - впровадження елементів машинного навчання безпосередньо у експериментальне обладнання (TinyML) і оцінка його педагогічного ефекту; - створення методик оцінювання, що

враховують роботу учнів з ШІ, і розробка критеріїв академічної доброчесності в еру AI; - продовження експериментальних досліджень із більшим охопленням шкіл, щоб підтвердити універсальність і масштабованість методики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биков В. Ю. Інформаційні технології і засоби навчання. Київ: Атіка, 2008. 684 с
2. Білинський Й. Й., Камінський О. С. Застосування штучного інтелекту в дослідницьких завданнях з курсу загальної фізики // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2025. Вип. 4. С. 201–206. DOI: 10.31649/1997-9266-2025-181-4-201-206.
3. Бойко М. П. *Методика навчання фізики в закладах загальної середньої освіти*. Київ: Либідь, 2019. 352 с.
4. Гайда В. Я. Суть самоосвітньої компетентності учнів закладів середньої освіти в умовах інформаційного суспільства. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2019. Вип. 25. С. 80–83.
5. Гайда, В. Я., Садовий, М. І., Михайленко, В. В. Формування самоосвітньої компетентності учнів шляхом організації дослідницької діяльності на основі «Arduino». *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2021. Т. 1, № 198. С. 212–217. URL: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2021-1-198-212-217> (дата звернення: 19.10.2025).
6. Дементієвська, Н. П. Підготовка вчителів до використання інтерактивних комп'ютерних моделей для навчання учнів через дослідження. Інформаційні технології і засоби навчання. 2020. № 80(6), С. 222-242.
7. Животовська Л. А., Слободянюк О. М. *STEM-освіта в школі: теорія і практика*. Київ: Генеза, 2020. 208 с.
8. Заболотний В.Ф., Лаврова А.В. Шкільний фізичний експеримент з використанням комп'ютерно орієнтованих засобів навчання. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна. 2014. Вип. 20. С. 136-139.

9. Крамар С. С., Шишкіна М. П. Методичні особливості використання ARDUINO на платформі TINKERCAD у середовищі неформальної освіти вчителів. *Фізико-математична освіта*. 2024. Том 39, № 5. С. 27–33. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i5-04
10. Крамар С.С. Сучасний стан використання програмно-апаратного комплексу Arduino в освіті вчителів // Звітна науково-практична конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України : збірник матеріалів, 10 лютого 2022 р., м. Київ . ЩО НАПН України, м. Київ, Україна. С. 106-107. <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/733433>
11. Кривонос О. М., Кузьменко Є. В., Кузьменко С. В. Огляд та перспективи використання платформи Arduino Nano 3.0 у вищій школі. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2016. № 6 (56). С. 77–87.
12. Кузьменко Г., Рижкова Т. Трансдисциплінарний підхід як один з дидактичних принципів STEM-навчання фізики. *Реформування вищої освіти в контексті забезпечення сталого розвитку суспільства : Дидаскал : часопис : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 15–16 лист. 2022 р. Полтава : ПНПУ імені В.Г. Короленка, 2022. № 23. С. 198–200.*
13. Мартинюк О. О., Мартинюк О.С. Інноваційні напрямки STEM-технологій у формуванні інформаційно-цифрової компетентності студентів та учнів. *Проблеми та інновації в природничо-математичній, технологічній і професійній освіті: Х-ї Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, (25 травня-4 червня 2020 р.) Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2020. С. 29-31.*
14. Морзе Н., Барна О. *Цифрова компетентність учнів та вчителів: монографія*. Київ: КНЕУ, 2020. 284 с.
15. Остапчук С.А. До проблеми використання платформи Arduino у вивченні робототехніки. *Наукові записки ЦДПУ. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. Вип. 168. С. 178- 181.

- 16.Петрицин І. О. Застосування комп'ютерного моделювання у процесі електротехнічної підготовки майбутнього вчителя технологій. Молодь і ринок. 2017. № 1. С. 60-64.
- 17.Пролего. Інноваційні освітні технології [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://prolego.org>.
- 18.Семеріков С. О., Теплицький І. О. *Інноваційні технології навчання фізики*: навч. посіб. – Київ: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2018. – 268 с.
- 19.Сипчук Є.Ю. Використання цифрових лабораторій на уроках фізики. Технології електронного навчання. № 4 (2020). С. 78.
- 20.Соменко Д. В. Використання можливостей апаратно-обчислювальної платформи Arduino в лабораторному практикумі з фізики. Наукові записки. Серія: проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Кіровоград. 2016. Вип. 9, ч. 1. С. 173-184.
- 21.Стефанюк Я.О., Федчишин О.М. Використання платформи ARDUINO у навчальній діяльності учнів. Збірник тез за матеріалами V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції: «Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи». Тернопіль. 2020. С 34-37
- 22.Трифонов О. М. Інформаційно-цифрова компетентність: зарубіжний та вітчизняний досвід. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. Кропивницький 2018. №173. С. 221-225.
- 23.Шиндор А. Імплементация міжнародного досвіду використання Arduino в освіті українських ЗЗСО. *Наука. Освіта. Молодь* : зб. матеріалів XVIII Всеукр. наук. конф. студентів та молодих науковців (Умань, 15 квітня 2025 р.) / Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини. С. 367–370.
- 24.Arduino Products. Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (дата звернення: 20.07.2025).
- 25.Banzi M., Shiloh M. *Getting Started with Arduino*. 3rd ed. San Francisco: Maker Media, 2014. 262 p.

26. Bessas N., Tzanaki E., Vavougiou D., Plagianakos V. P. The role of ChatGPT in junior high school physics education: insights from teachers and students and guidelines for optimal use // *Social Sciences & Humanities Open*. 2025. Vol. 11. Art. 101610. DOI: 10.1016/j.ssaho.2025.101610.
27. Blum J. *Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry*. Indianapolis: Wiley, 2013. 384 p.
28. Casaburo F. Measurement of the Newton's cooling law time-constant by Arduino: an idea for STEM education in high schools. arXiv preprint arXiv:2107.09527. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2107.09527> (date of access: 10.09.2025).
29. Çoban A., Büyükdede M. Exploring motion: integrating Arduino in physics education for 21st century skills. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*. 2021. Vol. 9, No. 3. P. 230–241. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.06647> (date of access: 10.09.2025).
30. Erol M., Oğur M. Teaching large angle pendulum via Arduino-based STEM education material. *Science Education International*. 2020. Vol. 31, No. 1. P. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/accef4> (date of access: 10.09.2025).
31. Géron A. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow*. – 2nd ed. O'Reilly Media, 2019. – 856 p.
32. Gingl Z., Mellár J., Szépe T., Mankan G., Mingesz R., Vadai G., Kopasz K. Universal Arduino-based experimenting system to support teaching of natural sciences. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1287, P. 012052. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012052> (date of access: 10.09.2025).
33. Guerrero-Zambrano M., Sanchez-Alvarado L., Valarezo-Chamba B., Lamilla-Rubio E. Transforming Physics Teacher Training Through ChatGPT: A Study on Usability and Impact // *Education Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 7. Art. 887. DOI: 10.3390/educsci15070887.
34. Hestenes D. *Modeling Theory for STEM Education*. Springer, 2016. 280 p.
35. Holmes W., Bialik M., Fadel C. *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications*. Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019. 96 p.

36. Huang B. Open-source hardware – microcontrollers and physics education: integrating DIY sensors and data acquisition with Arduino // Proc. 122nd ASEE Annual Conf. & Exposition (Seattle, 2015). P. 26.1205.1–26.1205.13.
37. Kinchin J. Using an Arduino in physics teaching for beginners. *Physics Education*. 2018. Vol. 53, No. 8. P. 043005. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae350> (date of access: 10.09.2025).
38. Kotsis K. T. Artificial Intelligence for Physics Education in STEM Classrooms: A Narrative Review within a Pedagogy–Technology–Policy Framework // *Schrödinger: Journal of Physics Education*. 2025. Vol. 6, No. 3.
39. Kushner D. The Making of Arduino. Eecs. URL: <https://web.eecs.umich.edu/~prabal/teaching/resources/eecs582/kushner11arduino.pdf> (дата звернення: 20.07.2025)
40. Luckin R. *et al. Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education*. – Pearson Publishing, 2016. 48 p.
41. Margolis Michael. *Arduino Cookbook*. 2nd Edition. O'Reilly, 2011. 724 p.
42. Monk S. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2016. 192 p.
43. Nagaraj B. K., Kalaivani A., Begum S. R., Akila S., Sachdev H. K., Kumar N. S. The emerging role of artificial intelligence in STEM higher education: a critical review // *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*. – 2023. Vol. 5, No. 5. P. 1–19. DOI: 10.54392/irjmt2351.
44. Nano Плати Ардуіно. Arduino. URL: <http://arduino.ua/hardware/Nano> (дата звернення: 20.07.2025).
45. Official Arduino Documentation. Arduino.cc. Режим доступу: <https://docs.arduino.cc>
46. OpenAI. *Technical Report on GPT Models*. 2023. Режим доступу: <https://openai.com>.
47. Oprea M. The integration of the Arduino platform in the physics lessons. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference eLearning and*

- Software for Education. 2018. P. 350–355. URL: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=668409> (date of access: 10.09.2025).
48. Papert S. *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books, 1980. 230 p.
49. Raschka S., Mirjalili V. *Python Machine Learning*. 3rd ed. Packt Publishing, 2019. 770 p.
50. Resnick M. *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play*. MIT Press, 2017. 224 p.
51. STEM Education: Preparing for the Jobs of the Future: report. April 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.jec.senate.gov/public/_cache/files/6aaa7e1f-9586-47be-82e7-326f47658320/stem-education---preparing-for-the-jobs-of-the-future-.pdf.
52. Sun D., Cheng G., Yu P. L. H., Jia J., Zheng Z., Chen A. Personalized STEM education empowered by artificial intelligence: a comprehensive review and content analysis // *Interactive Learning Environments*. 2025. Vol. 33, No. 3. P. 4419–4441. DOI: 10.1080/10494820.2025.2462156.
53. Tahiru A. F. Role of Artificial Intelligence in Education: a bibliometric study // *Education and Information Technologies*. 2021. Vol. 26. P. 3743–3762. DOI: 10.1007/s10639-021-10434-8.
54. Tipler P. A., Mosca G. *Physics for Scientists and Engineers*. 6th ed. New York: W. H. Freeman, 2007. 1200 p.
55. U.S. Department of Education. *Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations*. Office of Educational Technology, Washington DC, 2023. 71 p.
56. UNESCO. *Artificial Intelligence and Education: Guidance for Policy-makers*. Paris: UNESCO, 2021. 176 p.
57. Vidal J., Bravo D. A., Rengifo C. F. Teaching physical sciences using Arduino Physics Lab at the Universidad Del Cauca. *Journal of Physics: Conference Series*.

2019. Vol. 1410. P. 012015. DOI: [https://doi.org/ 10.1109/RITA.2022.3191266](https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3191266) (date of access: 10.09.2025).
58. Woolf B. P. *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-Learning*. – Burlington: Morgan Kaufmann, 2010. – 512 p.
59. Yim J., Su F. The adoption of artificial intelligence in higher education: educators' perspectives // *Educational Review*. 2025. Vol. 77, No. 4. P. 573–595. DOI: 10.1080/00131911.2022.2159066.
60. Zadorozhnii V. M. Using Arduino to develop research competencies of students in school physics education // *CTE Workshop Proceedings*. 2024. Vol. 11. P. 427–441. DOI: 10.55056/cte.663.