

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

Кафедра експериментальної фізики,
інформаційних та освітніх технологій

На правах рукопису

НАЗАРОВЕЦЬ ДЕНИС ПАВЛОВИЧ

**РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО РЕСУРСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕРЕСУ
ДО ФІЗИКИ У ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ**

Спеціальність: 014.08 «Середня освіта (Фізика та астрономія)»
Освітньо-професійна програма «Середня освіта. Фізика»
Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Науковий керівник:
ГОЛОВІНА НІНА АНАТОЛІЇВНА,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол № _____
засідання кафедри _____
від _____ 202_ р.
Завідувач кафедри
(_____) _____
підпис ПІБ

ЛУЦЬК-2025

АНОТАЦІЯ

Назаровець Д.П. Цифрові ресурси як засіб формування пізнавального інтересу учнів до фізики. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за освітньою програмою 014 «Середня освіта (Фізика)». Волинський національний університет імені Лесі Українки. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних джерел.

Магістерська робота присвячена теоретичному та практичному дослідженню можливостей використання цифрових технологій для підвищення пізнавального інтересу учнів до вивчення фізики. У роботі проаналізовано психолого-педагогічні основи формування пізнавального інтересу, особливості сприйняття фізики як навчального предмета, роль цифрових технологій у сучасному освітньому процесі та дидактичний потенціал інтерактивних ресурсів. Розроблено цифровий освітній ресурс PhysicLab на базі системи WordPress, що містить інтерактивні симуляції фізичних процесів з термодинаміки та молекулярної фізики. Створені симуляції включають моделі ідеального газу, дифузії, циклів Карно та Отто, теплопровідності матеріалів. Запропоновано методичні рекомендації щодо впровадження ресурсу в різні форми освітнього процесу: уроки, самостійну роботу, домашні завдання, дистанційне та змішане навчання. Результати дослідження мають практичне значення для вчителів фізики та можуть бути використані для модернізації методів викладання природничих наук у закладах загальної середньої освіти.

Ключові слова: пізнавальний інтерес, цифрові освітні ресурси, інтерактивні симуляції, викладання фізики, візуалізація, гейміфікація, PhysicLab.

ANNOTATION

Nazarovets D.P. Digital resources as a means of forming students' cognitive interest in physics. Manuscript.

Master's thesis in the educational program 014 "Secondary Education (Physics)". Lesya Ukrainka Volyn National University. Lutsk, 2025.

The master's thesis consists of an introduction, two chapters, conclusions, and a list of references.

The master's thesis is devoted to the theoretical and practical study of the possibilities of using digital technologies to increase students' cognitive interest in studying physics. The work analyzes the psychological and pedagogical foundations of cognitive interest formation, peculiarities of perceiving physics as an academic subject, the role of digital technologies in the modern educational process, and the didactic potential of interactive resources. The digital educational resource PhysicLab has been developed on the WordPress platform, containing interactive simulations of physical processes in thermodynamics and molecular physics. Created simulations include models of ideal gas, diffusion, Carnot and Otto cycles, and thermal conductivity of materials. Methodological recommendations are proposed for implementing the resource in various forms of the educational process: lessons, independent work, homework, distance and blended learning. The research results have practical significance for physics teachers and can be used to modernize teaching methods of natural sciences in general secondary education institutions.

Keywords: cognitive interest, digital educational resources, interactive simulations, physics teaching, visualization, gamification, PhysicLab.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. Теоретичні основи формування пізнавального інтересу та використання цифрових технологій.....	9
1.1. Психолого-педагогічні основи формування інтересу до навчання	9
1.2. Роль цифрових технологій у сучасному освітньому процесі.....	16
1.3. Дидактичний потенціал цифрових ресурсів для підвищення інтересу до фізики	23
Розділ 2. Розробка та змістове наповнення цифрового ресурсу	30
2.1. Концепція та структура цифрового ресурсу	30
2.2. Змістове наповнення ресурсу	38
2.3. Методичні рекомендації щодо впровадження ресурсу в освітній процес	48
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Актуальність теми: Сучасна освітня система перебуває в процесі активної цифрової трансформації, зумовленої стрімким розвитком інформаційних технологій та зміною когнітивних особливостей учнівської молоді. Представники молодого покоління демонструють принципово інші патерни сприйняття інформації, характеризуючись кліповим мисленням, візуальною орієнтацією та потребою в постійній інтерактивній взаємодії.

Фізика як навчальний предмет залишається однією з найскладніших дисциплін через високий рівень абстрактності понять та математичну основу. Аналіз педагогічної практики свідчить, що традиційні підходи до викладання фізики, засновані переважно на вербальних методах та статичних демонстраціях, не відповідають психологічним особливостям сучасних школярів. Це призводить до зниження пізнавального інтересу та погіршення навчальних результатів.

Існуючі цифрові ресурси для навчання фізики часто обмежуються електронними підручниками або розрізненими симуляціями, не забезпечуючи комплексного підходу до формування стійкого інтересу через поєднання освітнього контенту, інтерактивності та візуалізації. Державна стратегія цифровізації освіти, закріплена в Концепції Нової української школи та Національній стратегії розвитку освіти в Україні до 2030 року, наголошує на необхідності інтеграції сучасних технологій у навчальний процес.

Дане дослідження спрямоване на розв'язання актуальної проблеми підвищення якості фізичної освіти через створення спеціалізованого цифрового ресурсу PhysicLab (<https://physiclab.in.ua/>), який інтегрує сучасні педагогічні підходи з можливостями веб-технологій.

Мета роботи: Теоретично обґрунтувати та практично розробити інтерактивний цифровий ресурс на базі WordPress для підвищення

пізнавального інтересу учнів до вивчення фізики з урахуванням психологічних особливостей сучасного покоління та можливостей веб-технологій.

Завдання дослідження:

- Проаналізувати психолого-педагогічні основи формування пізнавального інтересу до фізики та дослідити сучасні цифрові технології в освітньому процесі.
- Здійснити огляд існуючих цифрових освітніх ресурсів з фізики, виявити їх переваги та недоліки з точки зору формування інтересу учнів.
- Розробити концептуальну модель та структуру інтерактивного веб-сайту PhysicLab, що інтегрує теоретичний матеріал, віртуальні експерименти, мультимедійний контент та елементи гейміфікації.
- Реалізувати цифровий ресурс на базі WordPress з використанням PHP, HTML5, CSS3 та JavaScript.
- Визначити методичні рекомендації щодо практичного використання розробленого ресурсу в навчальному процесі з фізики.

Об'єкт дослідження: Процес формування пізнавального інтересу учнів до вивчення фізики в умовах цифровізації освіти.

Предмет дослідження: Методика розробки та застосування інтерактивного цифрового ресурсу PhysicLab як засобу підвищення інтересу до фізики.

Теоретичні: аналіз наукової літератури з педагогіки, психології навчання, методики викладання фізики та інформаційно-комунікаційних технологій в освіті; синтез та узагальнення наукових даних; моделювання структури цифрового ресурсу.

Практичні: проєктування та розробка веб-ресурсу на базі WordPress з використанням PHP, HTML5, CSS3, JavaScript; аналіз функціональних можливостей існуючих освітніх платформ; тестування інтерфейсу та функціоналу розробленого ресурсу.

Наукова новизна: У роботі вперше розроблено комплексний цифровий освітній ресурс PhysicLab на базі WordPress для викладання фізики, що системно поєднує психолого-педагогічні принципи формування пізнавального інтересу з можливостями системи управління контентом, інтерактивних симуляцій та елементів гейміфікації.

Удосконалено методичні підходи до структурування освітнього контенту з фізики шляхом адаптації матеріалу до когнітивних особливостей нового покоління через використання коротких візуальних блоків, інтерактивних експериментів та практико-орієнтованих завдань.

Практичне значення: Розроблений цифровий ресурс PhysicLab (<https://physiclab.in.ua/>) може бути впроваджений у практику викладання фізики в закладах загальної середньої освіти як допоміжний інструмент для підвищення пізнавального інтересу та покращення якості засвоєння матеріалу.

Використання WordPress як платформи забезпечує простоту розгортання, адміністрування та масштабування ресурсу без значних технічних витрат. Модульна архітектура дозволяє легко адаптувати та розширювати функціонал відповідно до потреб конкретного навчального закладу.

Результати дослідження можуть використовуватися вчителями фізики для урізноманітнення форм навчальної діяльності, організації самостійної роботи учнів, проведення віртуальних лабораторних робіт та реалізації диференційованого підходу.

Теоретичні положення та методичні рекомендації придатні для застосування в системі підвищення кваліфікації педагогічних працівників, а також у процесі підготовки майбутніх учителів фізики. Розроблена структура може слугувати основою для створення аналогічних платформ з інших природничих дисциплін.

Апробація результатів: Робота доповідалась на міжнародній конференції «Актуальні проблеми фундаментальних наук». (Луцьк – Світязь, 09 – 12 червня 2025 року) та опублікована у матеріалах конференції (Головіна Н.А., Назаровець Д.П., Савіцька Н.В., Троцюк О.Ю. Міжпредметні зв'язки фізики та хімії як інструмент для актуалізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти. Матеріали шостої міжнародної конференції, присвяченої пам'яті Джордано Бруно «Актуальні проблеми фундаментальних наук». (Луцьк – Світязь, 09 – 12 червня 2025 року) Луцьк.: Вежа-Друк, 2025. С.76-78).

Дипломна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить N сторінок, включаючи N рисунків та N таблиць. Список використаних джерел налічує N найменувань.

Розділ 1. Теоретичні основи формування пізнавального інтересу та використання цифрових технологій

1.1. Психолого-педагогічні основи формування інтересу до навчання

У сучасній педагогічній науці інтерес визнається однією з центральних категорій, що безпосередньо впливає на ефективність освітнього процесу та сприяє досягненню стійких навчальних результатів [1; 8]. Це поняття є багатограним, тому в літературі існує різноманіття трактувань, які відображають його психологічну, емоційну та мотиваційну природу. Інтерес не просто стимулює активність, але й перетворює навчання на свідомий і захоплюючий процес, сприяючи всебічному розвитку особистості.

З психологічної перспективи інтерес виступає як специфічний прояв когнітивної потреби особистості, який спрямовує її увагу на певні об'єкти чи явища. Він допомагає краще орієнтуватися в навколишньому світі, відкривати нові аспекти реальності та створювати глибше розуміння процесів. Класичне визначення, запропоноване Г.І. Щукіною, описує інтерес як вибірккову орієнтацію особистості на елементи дійсності, що супроводжується позитивними емоційними переживаннями під час пізнання чи освоєння певної діяльності [2]. Це не випадкове захоплення, а спрямована мотивація, яка активізує інтелектуальні процеси та робить їх продуктивними.

У педагогічному аспекті інтерес функціонує як ключовий мотиватор, що заохочує учнів до самостійної та активної роботи з матеріалом. Він забезпечує не лише поверхневе запам'ятовування, але й глибоке осмислення знань, сприяє формуванню навичок саморозвитку та виховує відповідальність за власне навчання [6; 9]. Без інтересу навчальний процес часто стає формальним, а з його наявністю – перетворюється на джерело задоволення та особистісного зростання.

Класифікація інтересів

Інтереси можна систематизувати за кількома критеріями, що дозволяє краще розуміти їх структуру та вплив на поведінку.

За змістовою спрямованістю виділяють матеріальні інтереси, які фокусуються на об'єктах фізичного світу, таких як предмети побуту чи природні ресурси; духовні інтереси, пов'язані з інтелектуальним, художнім чи моральним розвитком, включаючи мистецтво, літературу чи етичні питання; соціальні інтереси, орієнтовані на взаємодію з людьми, громадські процеси та суспільні відносини.

За ступенем активності розрізняють пасивні інтереси, що обмежуються спостереженням, формуванням уявлень чи емоційним спогляданням без переходу до дій, та активні інтереси, які провокують практичні кроки, такі як експерименти, пошуки інформації чи творчі проекти.

За широтою охоплення виокремлюють широкі (політематичні) інтереси, що поширюються на багато сфер життя, сприяючи гармонійному розвитку, та вузькі (спеціалізовані) інтереси, які концентруються на конкретних темах, часто призводячи до глибокої експертизи в одній галузі.

За стабільністю можна виділити ситуативні (епізодичні) інтереси, що виникають спонтанно під впливом яскравих подій чи новизни та швидко згасають; середньостабільні інтереси, які тримаються протягом певного періоду, наприклад, семестру чи року; стійкі інтереси, що стають інтегральною частиною характеру, впливаючи на довготривалі вибори, такі як професія [1; 7].

В освітньому контексті за об'єктом мотивації розрізняють інтерес до результату, що стимулюється зовнішнім визнанням, оцінками чи нагородами; інтерес до процесу, який базується на задоволенні від самої діяльності, пошуку та відкриттів; інтерес до змісту, що ґрунтується на внутрішньому захопленні темою, її глибиною та актуальністю [9].

Механізми та етапи розвитку інтересу

Формування інтересу – це динамічний, багатоступеневий процес, що залежить від взаємодії внутрішніх психологічних факторів та зовнішніх педагогічних впливів. Він не виникає миттєво, а розвивається поступово, проходячи кілька стадій.

Основні етапи включають ситуативне виникнення, що починається з емоційного відгуку на щось нове чи яскраве. Зовнішні стимули, такі як несподівані демонстрації, проблемні запитання чи візуальні ефекти, грають ключову роль у пробудженні уваги. Наступний етап – формування спрямованості, коли учень свідомо фіксує свою зацікавленість, з'являється внутрішнє бажання дізнатися більше, відбувається перехід від зовнішньої стимуляції до особистої мотивації. На етапі закріплення стійкості інтерес перетворюється на систематичну потребу, супроводжується самостійними пошуками, поглибленим аналізом та дослідницькою активністю. Останній етап – інтеграція в особистість, коли інтерес стає стабільною рисою, впливає на життєві орієнтири, професійний вибір та загальний світогляд [6; 8].

Психологічні механізми, що забезпечують цей розвиток, включають механізм новизни, коли природна реакція на свіжу інформацію активізує орієнтувальний рефлекс, підвищує увагу та викликає емоції. Однак надмірна новизна без зв'язку з існуючим досвідом може призвести до перевантаження та відмови [9]. Механізм успіху передбачає, що позитивне підкріплення від досягнень створює цикл мотивації. Важливо балансувати складність завдань, щоб учень відчував прогрес без фрустрації. Механізм емоційного забарвлення базується на тому, що позитивні емоції фіксують знання в довготривалій пам'яті, створюючи асоціації приємного з навчанням [7]. Механізм значущості та ідентифікації діє через усвідомлення практичної цінності знань для власного життя чи цілей, що породжує внутрішню мотивацію. Механізм самореалізації забезпечує задоволення від творчості, самовираження та

визнання, що особливо актуально в підлітковому віці, коли формується Я-концепція [2; 8].

Педагогічні умови для ефективного стимулювання інтересу включають застосування проблемних ситуацій для активації критичного мислення; демонстрацію зв'язку теорії з повсякденним життям та практикою; максимальну активізацію учня через самостійні завдання та проекти; індивідуальний підхід з урахуванням темпу, здібностей та інтересів; систематичне ускладнення матеріалу для поступового зростання; емоційно насичену подачу з використанням історій, прикладів та гумору; створення умов для регулярних успіхів, щоб підтримувати позитивну динаміку [1; 5; 9].

Пізнавальний інтерес до фізики має унікальні риси, зумовлені специфікою цієї науки, яка поєднує абстрактне мислення з практичними застосуваннями, а також віковими особливостями сприйняття учнів та сучасним контекстом цифрової освіти [3; 15].

Особливості фізики як навчального предмета

Фізика займає особливе місце в шкільній програмі, будучи фундаментальною наукою, що пояснює базові закони природи, та прикладною дисципліною, яка лежить в основі технологічного прогресу. Її ключові характеристики включають високу абстрактність, адже поняття на кшталт електромагнітних полів, квантових станів чи потенціальної енергії не мають прямих аналогів у повсякденності, що ускладнює їх візуалізацію та осмислення без спеціальних засобів [10; 12]. Математична основа опису явищ вимагає формул, графіків та розрахунків, тому потрібні солідні математичні навички. Експериментальний характер науки ґрунтується на спостереженнях та досліджах, що робить практичну компоненту обов'язковою [11; 13]. Актуальність для сучасності проявляється в тому, що фізичні принципи пояснюють роботу гаджетів, транспорту, енергетики, роблячи предмет релевантним для цифрового покоління [3; 14].

Вікові особливості формування інтересу

У молодших класах середньої школи (7–9 класи) домінує конкретно-образне мислення, що вимагає максимальної візуалізації та демонстрацій. Емоційна чутливість забезпечує швидке захоплення увагою яскравими явищами та ефектами. Захоплення практикою проявляється в тому, що лабораторні роботи та досліди викликають найбільший ентузіазм [10; 11]. Прагматичний підхід означає, що учні часто запитують про практичне застосування знань. Характерна нестійкість інтересу, коли він залежить від конкретного уроку та може швидко змінюватися [7].

У старших класах (10–11 класи) розвинене абстрактне мислення дозволяє занурюватися в теорію. Відбувається диференціація схильностей з чітким поділом на тих, хто орієнтований на природничі науки, та гуманітаріїв. Професійна мотивація означає, що інтерес пов'язаний з майбутньою кар'єрою в техніці чи науці [15]. Бажання автономії проявляється в тому, що зацікавлені учні шукають самостійні проекти. Критичність виражається в чутливості до сучасності та якості викладання [4; 12].

Фактори впливу на інтерес до фізики

Позитивними факторами є практична релевантність, коли зв'язок з гаджетами, автомобілями чи космічними технологіями мотивує учнів [3; 14]. Експерименти забезпечують безпосередній досвід спостереження явищ, що створює емоційний підйом [10; 13]. Міждисциплінарність через інтеграцію з математикою, інформатикою чи біологією показує універсальність знань [15]. Роль педагога важлива, оскільки ентузіазм та компетентність вчителя заразливі [1; 6]. Досягнення в задачах чи дослідах підсилюють мотивацію.

Негативними факторами є об'єктивна складність, коли математика та абстракції викликають відчуття безсилля. Теоретичний ухил без практики призводить до нудьги [11; 12]. Застаріла матеріально-технічна база та брак обладнання обмежують можливості [10]. Монотонність через повторювані

завдання без творчості демотивує учнів [9]. Відірваність від сучасності та ігнорування нових відкриттів знижують актуальність предмета [3].

Інтерес у контексті цифровізації та особливостей сучасних учнів

Сучасні школярі, представники молодого покоління та Альфа, мають унікальні риси пізнавальної діяльності. Вони звикли до кліпового мислення – швидкої зміни кадрів та короткої концентрації (не більше 8–10 хвилин на одну активність) [4]. Візуальна орієнтація робить відео, анімації та інфографіку ефективнішими за текст. Потреба в інтерактиві означає, що пасивні лекції поступаються місцем активній взаємодії [12; 14]. Гейміфікація з елементами змагання, нагород та рівнів значно підвищує залученість [3; 5]. Миттєвий зворотний зв'язок, як звичка до швидких відповідей від додатків, вимагає оперативної перевірки завдань.

Ці характеристики вимагають радикальної адаптації методик викладання фізики. Традиційні підходи з довгими поясненнями неефективні; потрібні короткі блоки, чергування активностей, візуальні симуляції та інтерактивні платформи [10; 13]. Рекомендується перевернуте навчання (теорія вдома через відео, практика в класі), гейміфіковані квести та онлайн-досліди [11; 15].

Рівні розвитку пізнавального інтересу до фізики

Для оцінки та корекції виділяють низький рівень, що характеризується байдужістю, виконанням завдань лише під тиском, відсутністю усвідомлення значення предмета. Середній рівень передбачає ситуативне захоплення яскравими елементами, нестійку активність. Високий рівень включає стійке захоплення, самостійні ініціативи, участь у проєктах, глибоке розуміння ролі фізики в житті [1; 7].

Глибоке розуміння цих теоретичних аспектів дозволяє педагогам розробляти стратегії, що інтегрують цифрові інструменти для візуалізації

абстрактного, забезпечення інтерактиву та персоналізації, тим самим значно підвищуючи мотивацію до вивчення фізики в сучасних умовах [3; 12; 15].

1.2. Роль цифрових технологій у сучасному освітньому процесі

Цифровізація освітньої сфери виступає одним із ключових напрямів розвитку сучасної педагогіки, що суттєво трансформує методи організації навчання, форми взаємодії між педагогом і учнем, а також способи подачі й опанування матеріалу. Застосування цифрових технологій у викладанні природничих наук, зокрема фізики, створює нові перспективи для наочного представлення складних абстрактних ідей, симуляції складних явищ та формування інтерактивного освітнього простору, який відповідає запитам учнів сучасного покоління [16; 19; 22].

Огляд класифікаційних ознак та можливостей цифрових освітніх ресурсів Цифрові ресурси для навчання охоплюють різноманітні технологічні інструменти, які можна класифікувати за кількома ознаками. Така систематизація допомагає вчителям підбирати найбільш відповідні засоби залежно від конкретних освітніх завдань та умов проведення занять. За призначенням цифрові ресурси поділяють на декілька груп. Інформаційно-пошукові включають електронні посібники, онлайн-енциклопедії, банки даних та віртуальні бібліотеки, які надають структурований доступ до навчального контенту. Демонстраційні інструменти охоплюють мультимедійні слайди, освітні відеоматеріали, анімації фізичних явищ та тривимірні моделі, що допомагають візуалізувати складні поняття. Практичні та оцінювальні системи представлені онлайн-тестами, віртуальними тренажерами, адаптивними платформами для контролю знань із негайним фідбеком.

Симуляційні середовища містять віртуальні лабораторії, імітації фізичних дослідів, інтерактивні моделі процесів, які дають змогу учням самостійно вивчати закономірності. Комунікаційні сервіси забезпечують дистанційну співпрацю через форуми, месенджери, відеозв'язок та хмарні

інструменти для спільної діяльності [17; 20; 23]. За технологічною платформою виділяють веб-ресурси, що функціонують у браузері без додаткового встановлення, гарантуючи доступ із будь-якого гаджета.

Мобільні додатки адаптовані для смартфонів і планшетів, використовуючи переваги сенсорного керування та мобільності. Стаціонарні програми вимагають інсталяції на ПК і часто надають розширений функціонал та офлайн-режим. Хмарні технології зберігають інформацію на віддалених серверах, забезпечуючи синхронізацію даних та командну роботу [18; 21]. За рівнем інтерактивності розрізняють пасивні інструменти, де інформація передається в одному напрямку без можливості впливу користувача. Частково інтерактивні дозволяють обирати послідовність навчання, регулювати темп, відповідати на запитання з базовим зворотним зв'язком. Повністю інтерактивні дають змогу активно керувати об'єктами, змінювати параметри дослідів, створювати власні моделі та брати участь у віртуальних проєктах [19; 22].

За роллю в освітньому процесі цифрові засоби можуть бути основним елементом заняття, коли ресурс стає центральним компонентом уроку. Як додатковий інструмент вони доповнюють класичні методи, ілюструючи окремі аспекти теми. У форматі самостійної роботи вони підтримують індивідуальне вивчення поза аудиторією, дозволяючи повторювати та поглиблювати матеріал у зручному ритмі [16; 20].

Можливості цифрових ресурсів у викладанні фізики надзвичайно багатогранні. Наглядне представлення абстрактних ідей перетворює невидимі явища, наприклад електромагнітні поля, квантові процеси чи будову атома, на графічні та динамічні зображення, що значно спрощує сприйняття [10; 13; 17]. Імітація дослідів дає змогу виконувати експерименти, недоступні в шкільних умовах через високу вартість, небезпеку чи мікроскопічні масштаби [11; 21]. Індивідуальний підхід реалізується завдяки адаптивним платформам, які коригують рівень складності відповідно до підготовки учня, забезпечуючи

диференціацію [18; 23]. Формування дослідницького мислення відбувається через багаторазове варіювання параметрів і аналіз результатів, що розвиває науковий підхід [12; 19].

Зростання мотивації досягається за рахунок елементів гри, інтерактивності та сучасного дизайну, близького до інтересів цифрового покоління [3; 14; 22]. Оперативний зворотний зв'язок через автоматичну перевірку, підказки та роз'яснення помилок створює комфортні умови для навчання [20; 23]. Серед основних переваг цифрових інструментів у вивченні фізики варто виділити доступність – багато якісних ресурсів поширюються безкоштовно або за символічну плату, роблячи освіту демократичнішою. Гнучкість дозволяє вчитися у зручний час і місці, що особливо важливо для змішаного формату.

Безпека полягає у виключенні ризиків під час віртуальних дослідів з електрикою, радіацією чи небезпечними реакціями [11; 17; 21]. Економія проявляється у зменшенні витрат на обладнання, матеріали та його обслуговування [10; 18]. Екологічний аспект досягається завдяки скороченню паперового документообігу та ресурсів на виробництво матеріалів [16; 19]. Разом із тим існують певні обмеження. Технічна залежність означає, що ефективність залежить від наявності пристроїв та стабільного інтернету, що може посилювати цифровий розрив [20; 22].

Відсутність сенсорного досвіду ускладнює сприйняття реальних об'єктів, особливо для молодших школярів. Ризик поверхового засвоєння виникає при надмірному використанні готових відповідей без глибокого аналізу. Питання достовірності пов'язане з тим, що не всі онлайн-матеріали пройшли експертну перевірку, тому потрібне критичне ставлення [17; 23]. Інформаційне перевантаження може ускладнити вибір найбільш підходящих інструментів [18; 21]. Успішне впровадження цифрових технологій вимагає виконання низки педагогічних вимог. Потрібна змістовна інтеграція, коли

інструменти логічно вписуються в структуру заняття, а не застосовуються формально [16; 19].

Необхідна професійна підготовка вчителів через систематичні курси з ІКТ та освоєння нових сервісів [20; 22]. Критичний добір матеріалів передбачає оцінку їхньої якості, відповідності навчальній програмі та науковій точності [17; 23]. Комбінація з традиційними підходами означає, що цифрові засоби доповнюють, а не витісняють живе спілкування, реальні досліди та роботу з друкованими джерелами [10; 18]. Врахування вікових особливостей вимагає відповідності інтерфейсу, складності та тривалості занять когнітивним можливостям учнів [12; 21]. Аналіз сучасних платформ, програм та мобільних додатків для вивчення фізики Сьогодні ринок освітніх технологій пропонує широкий вибір спеціалізованих рішень для викладання фізики, які відрізняються функціональними можливостями, дидактичним підходом, технічним виконанням та цільовою аудиторією. Детальне вивчення найпоширеніших платформ допомагає визначити актуальні тенденції та критерії ефективності таких ресурсів. PhET Interactive Simulations (Університет Колорадо, США) – одна з найбільш визнаних платформ, яка містить понад 160 інтерактивних симуляцій з фізики та суміжних дисциплін. Симуляції ґрунтуються на наукових дослідженнях ефективності навчання, дозволяють змінювати параметри в реальному часі, відстежувати наслідки та проводити віртуальні досліди з механіки, електродинаміки, оптики, квантової фізики. Ресурс безкоштовний, доступний онлайн та офлайн, підтримує українську мову серед багатьох інших. До симуляцій додаються методичні матеріали для педагогів, готові конспекти уроків та завдання різного рівня [10; 11; 17]. Переваги PhET – наукова обґрунтованість, зрозумілий інтерфейс, підтримка дослідницького підходу. Недоліки – відсутність автоматичного трекінгу прогресу учнів, обмежена гейміфікація, потреба в додаткових інструментах для повного циклу навчання [19; 22]. Algodoo (Algoryx

Simulation, Швеція) – це 2D-симулятор фізики, орієнтований на творчість і конструювання.

Користувачі створюють власні сцени, задають властивості об'єктів, змінюють параметри сили тяжіння, тертя, пружності та спостерігають реалістичну поведінку. Програма фокусується на механіці, гідродинаміці, має привабливу ігрову графіку та прості інструменти. Підходить для молодших школярів завдяки візуальності, має безкоштовну базову версію та платну розширену [12; 18; 21]. Переваги – стимулювання креативності, інтуїтивність, ідеально для проєктної роботи. Обмеження – охоплює переважно класичну механіку без електрики чи оптики, менш структурований підхід, потреба оплати для повного набору функцій [20; 23]. Khan Academy Physics (Khan Academy, США) надає систематизовані відеоуроки та практичні вправи, що відповідають шкільній та початковій університетській програмі. Платформа пропонує стислі відео з теорією, інтерактивні завдання з миттєвою перевіркою, адаптивні рекомендації та персональний дашборд прогресу. Ресурс безкоштовний, багатомовний, інтегрується з Google Classroom [16; 19; 22].

Переваги – послідовність викладення, поєднання теорії з практикою, інструменти моніторингу для вчителів.

Недоліки – менший акцент на експериментах, традиційніший формат подачі, часткова залежність від англійської мови [17; 21]. Labster (Labster Inc., Данія) спеціалізується на віртуальних 3D-лабораторіях з високим рівнем реалізму. Платформа пропонує імерсивні дослідження з деталізованою графікою, поєднанням практики, теорії та тестів, елементами наративу для залучення, підтримкою VR.

Орієнтована на старшу школу та вищі заклади, працює за моделлю платної підписки [11; 18; 23]. Переваги – глибоке занурення, можливість виконання недоступних реальних експериментів, інтеграція VR. Обмеження –

висока вартість, вимогливість до техніки, складність для молодших учнів [20; 22].

Мобільні додатки типу Pocket Physics використовують вбудовані сенсори смартфонів (акселерометр, гіроскоп, камера, мікрофон) для реальних фізичних вимірювань – прискорення, траєкторії, звукові хвилі, магнітне поле. Вони доступні, недорогі, поєднують навчання з повсякденним досвідом [12; 14; 19].

Переваги – портативність, зв'язок з реальністю, розвиток навичок вимірювання. Недоліки – залежність від якості сенсорів пристрою, обмежений набір дослідів, ризик відволікання [17; 21]. Системи управління навчанням (LMS), такі як Moodle, Google Classroom, Microsoft Teams, створюють організаційну основу для об'єднання різних ресурсів. Вони дозволяють завантажувати матеріали, роздавати завдання, проводити тестування, відстежувати успіхи, забезпечувати комунікацію та вбудовувати зовнішні сервіси [16; 20; 23].

Переваги – централізація процесу, комплексність, аналітика. Обмеження – потреба в навчанні педагогів, технічному супроводі, можлива надмірна бюрократизація [18; 22]. Вузькоспеціалізовані інструменти, наприклад Tinkercad для моделювання електронних схем, Wolfram Demonstrations для математичних моделей фізичних процесів, GeoGebra для геометричних аспектів фізики, надають глибокі можливості в окремих розділах. Вони забезпечують високу точність, професійний рівень у спрощеному форматі [17; 19; 21].

Переваги – точність, підготовка до професійного ПЗ, підтримка проєктів. Недоліки – складність для новачків, обмежений тематичний діапазон, потреба в додаткових методичних матеріалах [20; 23]. Аналіз платформ свідчить про позитивні тенденції: зростання відкритих і безкоштовних ресурсів, підвищення інтерактивності та контролю

користувача, впровадження гейміфікації, кросплатформність, розвиток 3D, анімацій та VR/AR [16; 18; 22].

Водночас зберігаються проблеми: фрагментарність рішень, недостатня комплексність, обмежена локалізація (переважно англійська), слабка адаптація до національних програм, брак готових сценаріїв уроків, технічні бар'єри [17; 19; 21; 23]. Критерії відбору ресурсів для конкретної школи включають відповідність навчальній програмі та цілям, адаптацію до віку учнів, зручність інтерфейсу, технічну доступність, наукову достовірність, наявність методичних матеріалів, інструменти моніторингу, вартість, підтримку української мови та інтеграційні можливості [16; 20; 22]. Отже, цифрові технології створюють унікальні умови для модернізації викладання фізики, роблячи його більш наочним, динамічним і доступним.

Проте їхня результативність значною мірою залежить від методично виваженого впровадження, підготовки вчителів та формування збалансованих освітніх систем, які гармонійно поєднують сильні сторони цифрових інструментів із перевіреними традиційними підходами [17; 19; 21; 23].

1.3. Дидактичний потенціал цифрових ресурсів для підвищення інтересу до фізики

Цифрові технології відкривають принципово нові можливості для підвищення мотивації та пізнавального інтересу учнів до вивчення фізики завдяки трьом ключовим компонентам: візуалізації складних абстрактних явищ, інтерактивній взаємодії з навчальним матеріалом та гейміфікації освітнього процесу. Ці елементи не просто доповнюють традиційні методи викладання, а створюють якісно нове навчальне середовище, що відповідає когнітивним особливостям сучасних школярів та забезпечує глибше розуміння фізичних концепцій через активну дослідницьку діяльність [12; 24; 26].

Візуалізація у контексті навчання фізики являє собою процес перетворення абстрактних понять, математичних формул та невидимих процесів у зримі, динамічні образи, що активізують когнітивні механізми сприйняття та розуміння [25; 27; 28]. У сучасній педагогіці візуалізація набула значно ширшого значення, передбачаючи не лише пасивне споглядання, а активну розумову діяльність учнів у процесі інтерпретації візуальних образів [29; 32].

У викладанні фізики візуалізація виконує низку важливих функцій. Компенсаторна функція полягає в подоланні обмежень людського сприйняття через демонстрацію явищ, недоступних для безпосереднього спостереження. Електромагнітні поля, квантові переходи, атомні структури, процеси на молекулярному рівні стають видимими завдяки комп'ютерному моделюванню [10; 11; 27]. Когнітивна функція забезпечує формування правильних ментальних моделей фізичних явищ, підтримує розуміння причинно-наслідкових зв'язків через покрокову демонстрацію процесів, сприяє побудові логічних ланцюжків від абстрактної теорії до конкретних проявів [24; 28; 30].

Мотиваційна функція реалізується через підвищення емоційної залученості за рахунок естетики візуальних ефектів, зниження психологічного бар'єру сприйняття складного матеріалу, створення відчуття досяжності розуміння навіть найскладніших концепцій [14; 26; 31]. Дослідницька функція дозволяє спостерігати за зміною явища при варіюванні параметрів, проводити віртуальні експерименти з різними початковими умовами, аналізувати залежності та закономірності через графічне представлення [11; 25; 29].

Форми візуалізації в цифровому навчанні фізики надзвичайно різноманітні. Анімації та динамічні моделі показують процеси в русі, демонструючи еволюцію системи в часі. Приклади включають анімацію механічних коливань маятника з можливістю зміни параметрів, візуалізацію поширення хвиль з демонстрацією інтерференції та дифракції, моделювання теплових процесів з відображенням руху молекул, симуляцію електричних кіл з анімацією руху зарядів [12; 27; 32]. Тривимірні моделі та віртуальна реальність створюють ефект занурення, дозволяючи розглядати об'єкти під різними кутами, застосовуються в 3D-моделях кристалічних ґраток, віртуальних лабораторіях з реалістичним обладнанням, імерсивних середовищах для вивчення космосу та атомних структур [11; 24; 33].

Інфографіка та схематизація систематизують інформацію через структурні схеми фізичних законів з виділенням зв'язків між поняттями, інтелект-карти для комплексного представлення розділів фізики, часові діаграми історичного розвитку наукових ідей, порівняльні таблиці з візуальним кодуванням [25; 28; 31]. Графічна інтерпретація даних перетворює числа на образи через інтерактивні графіки залежностей з можливістю зміни параметрів в реальному часі, теплові карти для представлення розподілу фізичних величин, векторні поля для візуалізації напруженості полів [10; 29; 32].

Психолого-педагогічні основи ефективності візуалізації включають теорію подвійного кодування, згідно з якою інформація, представлена

одночасно вербально та візуально, засвоюється краще завдяки активації обох каналів обробки інформації мозком [24; 30; 31]. Теорія когнітивного навантаження постулює обмеженість робочої пам'яті, тому добре продумана візуалізація знижує навантаження через структурування інформації, виділення головного та фонового, поступове розгортання складних схем [28; 32]. Візуальне сприйняття визнається активним когнітивним процесом, що включає аналіз, синтез, абстрагування, активізуючи праву півкулю мозку для образного мислення [25; 27; 29].

Вимоги до ефективної візуалізації включають наукову точність з відповідністю реальності або теоретичним моделям, уникнення спрощень, що спотворюють суть, збереження коректності фізичних законів [10; 11; 26]. Педагогічна доцільність передбачає відповідність віковим особливостям, узгодженість з дидактичними цілями, оптимальну складість без перевантаження деталями [24; 28; 31]. Естетичність включає привабливий дизайн, гармонійне колірне рішення, зрозумілі елементи керування, адаптивність до різних розмірів екранів [25; 32; 33]. Інтерактивність забезпечує маніпуляцію параметрами користувачем, паузу та перемотку для детального аналізу, різні режими перегляду [12; 27; 30].

Обмеження візуалізації включають ризик надмірного спрощення, коли візуальні метафори інтерпретуються буквально, графічна привабливість може приховувати наукову поверховість [24; 26; 32]. Пасивне споглядання без когнітивної активності перетворює візуалізацію на розвагу, відсутність рефлексії обнуляє освітній ефект [28; 30; 33]. Для подолання цих ризиків необхідне обов'язкове обговорення побаченого з формулюванням висновків, проблемні запитання для активізації мислення, порівняння візуальної моделі з математичним описом [10; 25; 29].

Інтерактивність у цифровому навчанні означає принципово іншу педагогічну парадигму, де учень перетворюється з пасивного реципієнта інформації на активного дослідника, який самостійно конструює знання через

експериментування, маніпуляцію об'єктами та миттєвий зворотний зв'язок від системи [34; 36; 38]. У контексті вивчення фізики інтерактивність створює умови для формування глибокого концептуального розуміння через особистий досвід взаємодії з віртуальними моделями фізичних систем [24; 30; 35].

Рівні інтерактивності можна класифікувати за глибиною взаємодії. Базовий рівень передбачає просту навігацію з вибором розділів, контролем темпу вивчення через паузу та перемотку, нелінійну траєкторію освоєння матеріалу [35; 37; 39]. Середній рівень включає маніпуляцію параметрами через зміну числових значень фізичних величин, регулювання умов експерименту, спостереження за наслідками змін у реальному часі [12; 24; 30]. Високий рівень забезпечує конструювання через створення власних експериментальних установок, програмування поведінки об'єктів, розробку та перевірку гіпотез [11; 25; 34]. Експертний рівень пропонує відкрите середовище моделювання з доступом до основних алгоритмів, можливістю створення нових інструментів, інтеграцію з іншими програмами [27; 36; 38].

Типи інтерактивної взаємодії включають параметричну взаємодію, що дозволяє регулювати початкові умови експерименту, спостерігати миттєві зміни, будувати графіки залежностей. Структурна взаємодія передбачає додавання або видалення елементів системи, з'єднання компонентів у різній конфігурації, створення комплексних багатоелементних систем [11; 24; 35]. Процедурна взаємодія включає покрокове виконання експериментів, прийняття рішень на критичних етапах, документування спостережень [25; 30; 34]. Дослідницька взаємодія забезпечує формулювання власних гіпотез, планування експериментів, багаторазове тестування, інтерпретацію даних [11; 27; 36].

Педагогічний потенціал інтерактивності реалізується через активне навчання з самостійним відкриттям закономірностей, формуванням глибокого концептуального розуміння, розвитком критичного мислення [12; 30; 32]. Індивідуалізація включає адаптацію складності до рівня учня, можливість

багаторазових спроб без страху помилки, самостійний темп [24; 34; 37]. Миттєвий зворотний зв'язок забезпечує негайне підтвердження правильності дій, пояснення причин помилок, підказки для корекції стратегії, візуалізацію наслідків рішень [25; 35; 39].

Мотиваційні механізми інтерактивності включають відчуття контролю та автономії, що підвищує внутрішню мотивацію, задоволення від впливу на віртуальний світ, інтерес від непередбачуваності результатів [12; 24; 34]. Емоційна залученість виникає через ефект присутності, азарт дослідника при відкритті закономірностей, радість від вирішення складних проблем [26; 32; 38].

Принципи проектування передбачають інтуїтивність інтерфейсу з мінімальною потребою в інструкціях, логічним розташуванням елементів, доступністю підказок [25; 35; 37]. Відповідь системи має бути миттєвою, плавною, передбачуваною, інформативною для розуміння стану [30; 34; 39]. Безпека експериментування дозволяє необмежені спроби, легке скасування дій, збереження стану для повернення [11; 24; 32].

Гейміфікація в освітньому контексті означає застосування ігрових механік, естетики та мислення в неігрових ситуаціях з метою підвищення залученості, мотивації та ефективності навчання [3; 40; 42]. На відміну від повноцінних навчальних ігор, гейміфікація інтегрує окремі ігрові елементи в традиційний навчальний процес, перетворюючи його на більш захоплюючий досвід [41; 43; 45].

У викладанні фізики гейміфікація дозволяє подолати природну складність предмета через створення позитивних емоційних асоціацій, трансформацію абстрактних завдань у виклики з чітким зворотним зв'язком, підтримку тривалої мотивації через систему прогресивних досягнень [12; 24; 40].

Психологічні основи включають теорію самодетермінації, яка виділяє три базові потреби. Автономія реалізується через вибір завдань, траєкторій розвитку, темпу проходження матеріалу [41; 44; 46]. Компетентність забезпечується через чіткі цілі, прогресивне ускладнення, зворотний зв'язок про прогрес, відчуття майстерності [40; 42; 45]. Приналежність проявляється в командній співпраці, змаганні в рейтингах, соціальному визнанні успіхів [3; 24; 43].

Теорія потоку описує стан повного занурення в діяльність, коли час перестає існувати, діяльність стає самоціллю, продуктивність максимальна. Гейміфікація створює умови для потоку через баланс виклику та навичок, ясність цілей, миттєвий зворотний зв'язок [40; 44; 46].

Основні елементи гейміфікації включають систему балів за виконання завдань, правильні відповіді, активність на уроках. Бали візуалізують прогрес та стають валютою для купівлі бонусів [3; 41; 45]. Рівні та прогресія забезпечують поетапне просування від новачка до експерта, відкриття нових розділів, візуальне відображення стадії навчання [12; 42; 43]. Значки та досягнення присвоюються за специфічні досягнення, виконання серій завдань, креативні рішення, символізуючи компетентність [24; 40; 46]. Рейтинги стимулюють через змагальність, демонструють прогрес відносно інших, мотивують на покращення позиції [3; 41; 44].

Місії та квести структурують навчання через послідовність завдань зі сюжетною обгорткою, епічні завдання з етапами, загадки на основі фізичних принципів [12; 40; 45]. Аватари дозволяють створити віртуальне Я, налаштувати зовнішність, підвищити емоційну залученість [24; 42; 43].

Застосування гейміфікації включає онлайн-платформи типу Kahoot, що створює вікторини з елементами змагання в реальному часі, показує рейтинг після кожного питання, генерує азарт через обмеження часу [14; 24; 41].

Gamification платформи включають Classcraft з персонажами, командною роботою, системою здоров'я, квестами на основі навчальних цілей [3; 12; 42].

Переваги гейміфікації включають підвищення мотивації через внутрішню нагороду, зовнішнє визнання, перетворення рутини на виклик [12; 40; 44]. Збільшення залученості реалізується через регулярне повернення до платформи, тривалі сесії роботи, добровільну практику [24; 42; 46]. Поліпшення результатів досягається через багаторазову практику, фокусування уваги, зниження тривожності [3; 40; 43].

Ризики включають надмірну фокусацію на зовнішній мотивації, коли бали стають важливішими за знання, зникнення інтересу при видаленні ігрових елементів [40; 41; 44]. Поверховість може виникнути через швидкість проходження заради балів, пропускання складного матеріалу [24; 42; 46]. Нерівність включає постійне перебування позаду для слабших учнів, фрустрацію від неможливості досягти топових позицій [3; 40; 43].

Для ефективного впровадження необхідний баланс зовнішньої та внутрішньої мотивації через фокус на прогресі відносно себе, а не лише на рейтингах, визнання зусиль поряд з результатами, можливість вибору завдань різної складності [12; 41; 45]. Педагогічна інтеграція передбачає узгодження ігрових механік з навчальними цілями, обговорення змісту поза ігровими елементами, рефлексію навчальних досягнень [24; 40; 46]. Інклюзивність включає множинні шляхи до успіху, визнання різних типів досягнень, баланс індивідуальних та командних завдань [3; 42; 43].

Таким чином, дидактичний потенціал цифрових ресурсів розкривається через синергію візуалізації, інтерактивності та гейміфікації, що створює комплексне навчальне середовище для підвищення пізнавального інтересу до фізики. Ефективне використання цих елементів вимагає методично обґрунтованого підходу, що враховує психологічні особливості учнів та специфіку фізики як навчального предмета [12; 24; 26; 40].

Розділ 2. Розробка та змістове наповнення цифрового ресурсу

2.1. Концепція та структура цифрового ресурсу

Вибір технологічної платформи для створення освітнього цифрового ресурсу є критично важливим рішенням, яке визначає не лише функціональні можливості сайту, але й перспективи його подальшого розвитку, масштабування та підтримки. Для реалізації проєкту PhysicLab було обрано систему управління контентом WordPress, що базується на мові програмування PHP та використовує базу даних MySQL.

WordPress є найпоширенішою CMS у світі, яка станом на 2024 рік забезпечує функціонування понад 43% усіх веб-сайтів в інтернеті. Така популярність зумовлена рядом технічних та функціональних переваг, що робить цю платформу оптимальним вибором для освітніх проєктів.

По-перше, WordPress має відкритий вихідний код, що забезпечує повну свободу в налаштуванні та модифікації функціоналу. Це дозволяє створювати унікальні шаблони сторінок та реалізовувати специфічні освітні функції без обмежень, властивих закритим платформам. У контексті даного проєкту це дало можливість розробити власні шаблони для каталогу симуляцій та окремих сторінок експериментів без використання готових плагінів.

По-друге, архітектура WordPress передбачає чітке розділення вмісту, логіки та презентації через систему шаблонів (themes) та розширень (plugins). Це забезпечує модульність розробки та спрощує процес оновлення окремих компонентів без ризику порушити функціонування всього ресурсу. Для PhysicLab це означає можливість додавати нові симуляції як окремі сторінки без втручання в існуючу структуру.

По-третє, WordPress має потужну систему управління медіафайлами, що є критично важливим для освітнього ресурсу з фізики, де активно використовуються візуальні елементи, анімації та інтерактивні компоненти. Медіа-бібліотека дозволяє ефективно організовувати та впроваджувати графічні матеріали у структуру контенту.

Важливим фактором вибору стала наявність у автора практичного досвіду роботи з WordPress. Знання принципів функціонування цієї CMS, розуміння структури тем та шаблонів значно прискорило процес розробки та дозволило зосередитися на створенні якісного освітнього контенту, а не на вивченні нових технологій з нуля.

WordPress має розвинену екосистему документації, спільноти розробників та доступних ресурсів для навчання. Це забезпечує можливість швидкого вирішення технічних проблем, що можуть виникнути в процесі розробки, та доступ до передового досвіду створення веб-ресурсів різного призначення.

Система також пропонує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс адміністратора, що є важливим для майбутнього масштабування проєкту. У разі залучення інших педагогів або учнів до наповнення ресурсу контентом, вони зможуть швидко освоїти базові операції без необхідності глибоких технічних знань.

WordPress за замовчуванням має оптимізовану структуру коду, що відповідає сучасним вимогам пошукових систем. Це критично важливо для освітнього ресурсу, оскільки забезпечує його видимість при пошукових запитах учнів та вчителів, які шукають матеріали з фізики. Семантична розмітка сторінок, правильна ієрархія заголовків, підтримка метаданих – усе це впроваджено на рівні ядра системи.

Платформа також забезпечує автоматичну адаптивність (responsive design), що означає коректне відображення контенту на різних пристроях –

комп'ютерах, планшетах та смартфонах. Це особливо важливо в контексті сучасної освіти, де учні можуть звертатися до ресурсу з будь-якого доступного пристрою.

WordPress має активну команду розробників, яка регулярно випускає оновлення безпеки та закриває виявлені вразливості. Це забезпечує захист освітнього ресурсу від потенційних кіберзагроз та гарантує безперервність його роботи. Система резервного копіювання даних легко інтегрується в інфраструктуру WordPress, що захищає від втрати створеного контенту.

З точки зору продуктивності, WordPress ефективно працює з кешуванням сторінок, що зменшує час завантаження та покращує користувацький досвід. Швидкість завантаження є критичним фактором для інтерактивних симуляцій, де затримки можуть негативно вплинути на якість навчального досвіду.

Концепція PhysicLab базується на принципі мінімалізму інтерфейсу та максимізації освітнього досвіду. На відміну від традиційних освітніх платформ, які часто перевантажені функціями реєстрації, системами оцінювання та складною навігацією, даний ресурс пропонує прямий доступ до інтерактивних експериментів без будь-яких бар'єрів.

Ключовим концептуальним рішенням стала відмова від системи реєстрації користувачів та обов'язкової авторизації. Це рішення базується на сучасних педагогічних дослідженнях, які показують, що додаткові кроки перед доступом до навчального матеріалу знижують мотивацію учнів, особливо тих, хто випадково потрапив на ресурс з цікавості. Модель «натиснув і експериментуєш» знижує поріг входу та заохочує до спонтанного вивчення фізики.

Такий підхід також відповідає принципам інклюзивності в освіті – ресурс доступний всім без винятку, незалежно від наявності електронної

пошти, бажання створювати обліковий запис або інших технічних обмежень, які можуть бути бар'єром для певних категорій учнів.

Дизайн ресурсу виконано в темній кольоровій гамі з яскравими акцентами (блакитний #00d4ff та м'ятний #00ff9d), що створює асоціацію з сучасними технологіями, інноваціями та науковими відкриттями. Цей візуальний стиль відходить від традиційного шкільного дизайну освітніх платформ та апелює до естетичних уподобань сучасних підлітків, які звикли до інтерфейсів соціальних мереж та сучасних мобільних застосунків.

Кожна симуляція представлена як окрема картка з яскравим градієнтним фоном, емодзі-іконкою та описом, що робить її привабливою та зрозумілою. Використання емодзі замість статичних іконок додає емоційності та неформальності, знижуючи психологічний бар'єр між «серйозною наукою» та цікавим експериментом.

Структура ресурсу PhysicLab побудована за принципом трьох рівнів навігації, що забезпечує інтуїтивно зрозумілий шлях користувача від загального огляду до конкретного експерименту.

Головна сторінка виконує функцію «вітрини» проекту та першої точки контакту з користувачем. Вона містить короткий опис концепції ресурсу, його цілей та унікальної цінності. Основне завдання цієї сторінки – швидко донести до відвідувача суть проекту («інтерактивні симуляції з фізики прямо в браузері») та мотивувати перейти до каталогу експериментів.

Дизайн головної сторінки має «захопити» увагу протягом перших 5 секунд відвідування – саме стільки часу, за статистикою, користувач вирішує, чи залишитися на сайті. Для цього використовуються візуальні ефекти, анімації та яскраві заклики до дії (call-to-action).

Каталог симуляцій є центральним хабом ресурсу, де зібрані всі доступні інтерактивні експерименти. Він реалізований як окремий шаблон сторінки

WordPress (Template Name: Каталог симуляцій) з власною структурою та стилізацією.

Кожна симуляція представлена у вигляді картки, яка містить:

Візуальний блок: Градієнтний фон з унікальною кольоровою схемою та емодзі-іконкою, що асоціюється з темою експерименту (для теплових машин, для дифузії, для електрики)

Заголовок: Чітка назва симуляції, що відображає фізичне явище або процес

Опис: Короткий, але змістовний текст (2-3 речення), написаний неформальною мовою, що пояснює суть експерименту та його освітню цінність

Теги: Категорії, до яких належить симуляція (Термодинаміка, МКТ, Оптика тощо), що допомагають користувачу орієнтуватися в матеріалі

Кнопка переходу: Чіткий заклик до дії «Запустити симуляцію →», що веде безпосередньо до сторінки з експериментом

Структура каталогу організована за принципом «сітки» (CSS Grid), що забезпечує гнучкість відображення: на великих екранах показуються три картки в ряд, на планшетах – дві, на смартфонах – одна. Така адаптивність критично важлива для забезпечення доступності на різних пристроях.

Особливістю каталогу є наявність карток з позначкою «Незабаром» для симуляцій, що перебувають у розробці. Це вирішує кілька педагогічних завдань: демонструє учням активний розвиток ресурсу, створює відчуття «живого проєкту», а також дає можливість побачити перспективи розширення матеріалів.

Інформаційний блок у нижній частині каталогу пояснює переваги інтерактивних симуляцій через чотири ключові аспекти: візуалізація,

можливість експериментування, покращення розуміння та швидкість доступу. Цей блок виконує просвітницьку функцію, допомагаючи учням та педагогам усвідомити цінність такого підходу до навчання.

Рівень 3: Сторінки симуляцій

Кожна симуляція розміщується на окремій сторінці, що забезпечує унікальну URL-адресу для легкого поширення та посилання. Це важливо для педагогів, які можуть надсилати учням прямі посилання на конкретні експерименти як частину домашнього завдання або додаткового матеріалу.

Сторінка симуляції структурована наступним чином:

Інтерактивна зона: Основна область з Canvas-елементом, де відбувається візуалізація та взаємодія. Вона займає максимальну частину екрану для забезпечення ефекту занурення в експеримент

Панель керування: Інтуїтивні елементи управління (повзунки, кнопки, перемикачі), розміщені логічно відносно симульованого об'єкта

Інформаційна панель: Реальночасні дані про параметри системи (температура, тиск, об'єм, енергія тощо), що дозволяє учням відстежувати кількісні зміни

Теоретична довідка: Короткий блок із поясненням фізичних принципів, що лежать в основі експерименту (розміщується під симуляцією, щоб не відволікати від взаємодії)

На технічному рівні структура ресурсу побудована з використанням кастомних шаблонів WordPress та власного CSS/JavaScript коду без залежності від сторонніх плагінів.

Система шаблонів

Для каталогу симуляцій створено окремий шаблон сторінки (page-template), що починається з коментаря `<?php /* Template Name: Каталог симуляцій */ ?>`. Це дозволяє застосувати унікальну структуру та стилізацію, відмінну від стандартних сторінок WordPress.

Шаблон включає:

Виклик `header.php` для збереження єдності навігації сайту

Власну HTML-структуру з семантичними тегами

Вбудований CSS у тезі `<style>` для забезпечення швидкого завантаження без додаткових HTTP-запитів

Виклик `footer.php` для завершення структури сторінки

Такий підхід забезпечує повний контроль над відображенням контенту та дозволяє легко вносити зміни в структуру каталогу без впливу на інші сторінки сайту.

Адаптивна сітка

Сітка симуляцій реалізована через CSS Grid з автоматичним підлаштуванням:

```
.simulations-grid {  
  
    display: grid;  
  
    grid-template-columns: repeat(auto-fill, minmax(340px, 1fr));  
  
    gap: 30px;  
  
}
```

Ця конструкція автоматично визначає кількість колонок залежно від ширини екрану, підтримуючи мінімальну ширину картки 340px. Медіа-запити

додатково оптимізують відображення на малих екранах, переключаючи на одноколонковий макет.

Візуальні ефекти та інтерактивність

Для підвищення привабливості інтерфейсу використовуються CSS-анімації та трансформації:

Ефект підйому картки при наведенні (`transform: translateY(-8px)`)

Анімація плавання іконок (`@keyframes float`)

Плавні переходи кольорів та тіней (`transition: all 0.3s ease`)

Світлові ефекти на активних елементах (`box-shadow` з кольоровими відтінками)

Ці візуальні елементи створюють відчуття живого інтерфейсу та стимулюють дослідницьку поведінку користувача, заохочуючи до взаємодії з контентом.

Обрана структура забезпечує легке масштабування ресурсу в майбутньому. Додавання нових симуляцій вимагає лише створення нового блоку картки в шаблоні каталогу та окремої сторінки з експериментом. Модульна архітектура дозволяє розширювати функціонал без необхідності переробки існуючої структури.

У перспективі можливе впровадження:

Системи фільтрації симуляцій за категоріями та рівнем складності

Пошуку по ресурсу для швидкого знаходження потрібного експерименту

Розділу з теоретичними матеріалами та методичними рекомендаціями для вчителів

Інтеграції з системами дистанційного навчання (Moodle, Google Classroom)

Структура WordPress та обрана архітектура підтримують такий розвиток без необхідності фундаментальних змін у коді чи міграції на іншу платформу.

2.2. Змістове наповнення ресурсу

Змістове наповнення цифрового освітнього ресурсу PhysicLab є ключовим елементом, що визначає його педагогічну цінність та ефективність у формуванні пізнавального інтересу учнів до фізики. На відміну від простого перенесення традиційного навчального матеріалу в цифровий формат, розроблений ресурс базується на принципах інтерактивності, візуалізації та емпіричного пізнання через віртуальне експериментування [24; 25; 27]. Центральним елементом контенту є інтерактивні симуляції фізичних процесів, що дозволяють учням не просто спостерігати за явищами, а активно взаємодіяти з ними, змінюючи параметри та відстежуючи результати в реальному часі.

Методологія розробки інтерактивних симуляцій

Процес створення кожної симуляції базується на чіткій методологічній основі, що поєднує фізичну точність моделювання з педагогічною доцільністю та технічною реалізацією. Розробка починається з визначення дидактичної мети конкретного віртуального експерименту. Кожна симуляція спрямована на розкриття певного фізичного закону, демонстрацію взаємозв'язків між параметрами системи або візуалізацію абстрактних понять, які важко сприймаються в традиційному викладанні [10; 11; 27].

Наступним етапом є аналіз фізичної моделі явища. Для забезпечення науковості контенту проводиться детальне вивчення математичного апарату, що описує процес, визначаються ключові параметри, їх діапазони та взаємозалежності. Важливо знайти баланс між фізичною точністю та

простотою розуміння для цільової аудиторії. Надмірне спрощення може призвести до формування неправильних уявлень про явище, тоді як занадто детальне моделювання ускладнює сприйняття та знижує мотивацію учнів [12; 25; 30].

Технічна реалізація симуляцій здійснюється з використанням JavaScript та HTML5 Canvas API, що забезпечує універсальність доступу через веб-браузер без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Вибір цих технологій зумовлений їх кросплатформеністю, продуктивністю для реалізації складної графіки в реальному часі та широкою підтримкою сучасними пристроями [16; 18; 23]. Canvas надає можливості для створення динамічних візуалізацій з високою частотою оновлення кадрів, що критично важливо для плавного відображення руху частинок, зміни температурних полів та інших часозалежних процесів.

Кожна симуляція структурована за єдиним принципом взаємодії: головне візуальне поле з анімацією процесу, панель керування з інтуїтивними елементами управління, інформаційна панель з числовими значеннями параметрів у реальному часі та короткий текстовий блок з теоретичним поясненням [24; 27; 32]. Такий підхід забезпечує комплексне сприйняття інформації через різні канали: візуальний, кінестетичний через маніпуляцію елементами управління та вербальний через текстові пояснення.

Розроблені інтерактивні симуляції

Симуляція ідеального газу

Одним з найбільш педагогічно значущих елементів ресурсу є інтерактивна модель ідеального газу, що візуалізує молекулярно-кінетичну теорію та демонструє зв'язок між макроскопічними параметрами системи та мікроскопічною поведінкою частинок [10; 11; 13]. Симуляція відображає замкнений об'єм з рухомою стінкою-поршнем, у якому знаходиться певна

кількість молекул, представлених як маленькі кульки, що хаотично рухаються та зіштовхуються між собою та зі стінками.

Користувач може змінювати три ключові параметри: температуру системи, що впливає на середню швидкість молекул; об'єм через переміщення поршня; кількість молекул через віртуальне додавання або видалення частинок. Система в реальному часі розраховує та відображає тиск газу, яке виникає внаслідок ударів молекул об стінки контейнера. Така візуалізація дозволяє учням інтуїтивно зрозуміти природу тиску не як абстрактної величини, а як результату дії безлічі мікроскопічних зіткнень [25; 27; 30].

Особливу педагогічну цінність має можливість спостерігати за виконанням рівняння Менделєєва-Клапейрона $PV = nRT$ у динаміці. Учні можуть експериментально перевірити, як зміна одного параметра при фіксованих інших впливає на стан системи. Наприклад, збільшення температури при незмінному об'ємі призводить до зростання тиску, що одразу відображається як візуально через більш інтенсивний рух частинок, так і числово на інформаційній панелі [10; 24; 28].

Колірне кодування швидкостей молекул додає ще один вимір розуміння: частинки з різною кінетичною енергією відображаються різними відтінками, що дозволяє візуалізувати розподіл Максвелла та побачити, що навіть при певній середній температурі окремі молекули можуть рухатися значно швидше або повільніше за середнє значення [11; 25; 32].

Дифузія газів

Симуляція дифузії демонструє один з фундаментальних процесів природи – самовільне змішування речовин внаслідок хаотичного руху частинок [12; 13; 27]. Віртуальна установка складається з двох з'єднаних контейнерів, спочатку розділених перегородкою. В одному контейнері знаходяться молекули одного газу, представлені одним кольором, в іншому – молекули іншого газу іншого кольору.

При видаленні перегородки учні можуть спостерігати за поступовим проникненням молекул з однієї частини в іншу. Процес візуалізується в реальному часі з можливістю регулювання швидкості анімації для детального аналізу. Симуляція наочно демонструє, що навіть без зовнішнього впливу, суто за рахунок теплового руху, система прямує до стану максимальної ентропії – рівномірного розподілу обох типів молекул у всьому доступному об'ємі [11; 24; 30].

Важливим дидактичним аспектом є можливість змінювати температуру системи та спостерігати, як це впливає на швидкість дифузії. При вищій температурі молекули рухаються швидше, що призводить до прискореного змішування. Це дозволяє учням самостійно дійти висновку про зв'язок між температурою та інтенсивністю дифузійних процесів [25; 27; 32].

Графічне представлення концентрації кожного газу вздовж осі контейнера у вигляді динамічної діаграми додає кількісний аспект до якісного спостереження. Учні бачать, як спочатку різкий градієнт концентрації поступово згладжується, наближаючись до рівномірного розподілу, що ілюструє другий закон термодинаміки про необоротність процесів та зростання ентропії [10; 24; 28].

Цикл Карно

Цикл Карно є теоретичною моделлю ідеального теплового двигуна, що працює з максимально можливим коефіцієнтом корисної дії для заданих температур нагрівача та холодильника [11; 13; 27]. Розуміння цього циклу критично важливе для усвідомлення фундаментальних обмежень перетворення теплоти в роботу та принципів термодинаміки. Однак його вивчення традиційно викликає значні труднощі через абстрактність процесів та необхідність одночасного аналізу декількох взаємопов'язаних діаграм.

Розроблена інтерактивна симуляція вирішує цю проблему через синхронізовану візуалізацію трьох представлень процесу: анімацію

механічної роботи циліндра з поршнем, p - V діаграму (тиск-об'єм) та T - S діаграму (температура-ентропія). Користувач бачить, як під час ізотермічного розширення поршень рухається вправо, одночасно на p - V діаграмі відображається відповідна крива, а на T - S діаграмі горизонтальний відрізок при високій температурі [10; 25; 30].

Чотири етапи циклу чітко розрізняються кольоровим кодуванням: ізотермічне розширення при контакті з нагрівачем, адіабатичне розширення при теплоізоляції, ізотермічне стиснення при контакті з холодильником та адіабатичне стиснення для повернення до початкового стану. Кожен етап супроводжується текстовим поясненням фізичних процесів, що відбуваються, та зміни термодинамічних параметрів [11; 24; 32].

Панель керування дозволяє налаштовувати температури нагрівача та холодильника, після чого система автоматично розраховує теоретичний коефіцієнт корисної дії за формулою Карно та відображає його значення. Учні можуть експериментально переконатися, що ККД залежить виключно від температур джерел теплоти, а не від робочої речовини чи конструкції двигуна, що є одним з найважливіших висновків термодинаміки [12; 25; 27].

Симуляція також візуалізує площі під кривими на діаграмах, що відповідають отриманій теплоті, відданий теплоті та корисній роботі, допомагаючи сформувати геометричне розуміння термодинамічних процесів [10; 24; 30].

Цикл Отто

На відміну від ідеалізованого циклу Карно, цикл Отто описує роботу реальних бензинових двигунів внутрішнього згоряння, що робить його надзвичайно актуальним з точки зору зв'язку фізики з повсякденним досвідом учнів [11; 13; 27]. Симуляція максимально наближена до візуального представлення автомобільного двигуна з циліндром, поршнем, клапанами та свічкою запалювання.

Цикл складається з чотирьох тактів, кожен з яких детально візуалізований. Під час такту впуску впускний клапан відкривається, поршень рухається вниз, засмоктуючи паливно-повітряну суміш, яка представлена блакитним кольором. Такт стиснення показує закриття обох клапанів та рух поршня вгору, що стискає суміш, її колір змінюється на зелений, вказуючи на зростання тиску та температури. Робочий хід починається з анімації іскри від свічки, що імітує запалення суміші, після чого газ, представлений тепер червоним кольором для вказівки на високу температуру, розширюється та штовхає поршень вниз, виконуючи корисну роботу. Нарешті, такт випуску демонструє відкриття випускного клапана та рух поршня вгору, що виштовхує відпрацьовані газы [10; 25; 32].

Синхронно з анімацією відображається p - V діаграма циклу Отто, на якій чітко видно два ізохоричних процеси підведення та відведення теплоти, а також два адіабатних процеси стиснення та розширення. Учні можуть регулювати ступінь стиснення двигуна та спостерігати, як це впливає на форму циклу та розрахований ККД, експериментально підтверджуючи, що вищий ступінь стиснення призводить до більшої ефективності [11; 24; 30].

Анімація клапанів та їх синхронізація з положенням поршня допомагає зрозуміти газорозподільний механізм двигуна. Візуальне представлення моментів відкриття та закриття впускного і випускного клапанів формує цілісне розуміння роботи чотиритактного двигуна, що особливо цінно для учнів, які цікавляться автомобільною технікою [12; 25; 27].

Теплопровідність матеріалів

Теплопровідність є одним з трьох механізмів теплопередачі і має величезне практичне значення в будівництві, промисловості та побуті. Однак візуалізація цього процесу в реальних умовах проблематична через його повільність та необхідність спеціального обладнання [11; 13; 27]. Віртуальна симуляція вирішує цю проблему, дозволяючи спостерігати за

розповсюдженням тепла через різні матеріали в прискореному режимі з детальною візуалізацією температурних полів.

Симуляція представляє чотири стрижні однакової геометрії, виготовлені з різних матеріалів: міді, заліза, деревини та повітря. Один кінець кожного стрижня контактує з джерелом тепла високої температури, інший – з холодильником низької температури. Температурний розподіл вздовж стрижня візуалізується через колірний градієнт: від червоного для високих температур через жовтий, зелений до синього для низьких температур. Така теплова карта дозволяє інтуїтивно сприймати напрямок та інтенсивність теплового потоку [10; 24; 30].

Ключовою дидактичною особливістю є можливість порівняння швидкості встановлення теплової рівноваги в різних матеріалах. Учні спостерігають, що мідний стрижень практично миттєво прогрівається по всій довжині завдяки високій теплопровідності металу. Залізний стрижень нагрівається помітно повільніше, демонструючи меншу, але все ж значну теплопровідність. Дерев'яний стрижень прогрівається дуже повільно, причому температурний градієнт залишається крутим навіть після тривалого часу. Повітря демонструє мінімальну теплопровідність, що пояснює його використання як теплоізолятора [11; 25; 32].

Числові значення температур у різних точках стрижнів відображаються в реальному часі, дозволяючи не лише якісно, але й кількісно порівнювати процеси. Графік зміни температури в часі для обраної точки додає динамічний аспект аналізу [12; 24; 27].

Практична значущість симуляції посилюється поясненням повсякденних явищ: чому металеві предмети здаються холоднішими за дерев'яні при однаковій температурі, як працює теплоізоляція в будівлях, чому ручки кухонного посуду роблять з матеріалів з низькою теплопровідністю [10; 25; 30].

Педагогічні принципи створення контенту

Всі розроблені симуляції базуються на єдиних педагогічних принципах, що забезпечують їх ефективність як засобів формування пізнавального інтересу та глибокого розуміння фізичних явищ [24; 27; 32].

Принцип наочності реалізується через максимальну візуалізацію процесів, що в реальності є невидимими або важкодоступними для спостереження. Молекулярний рух, температурні поля, термодинамічні цикли перетворюються з абстрактних понять у динамічні образи, що сприймаються зоровим каналом [10; 11; 25].

Принцип активності забезпечується через інтерактивність симуляцій. Учні не є пасивними спостерігачами, а активними дослідниками, які змінюють параметри, формулюють гіпотези про результати та перевіряють їх експериментально. Така діяльність значно ефективніша для формування знань, ніж простий перегляд анімацій [24; 30; 34].

Принцип систематичності проявляється в логічній послідовності симуляцій, що охоплюють різні розділи термодинаміки: від молекулярно-кінетичної теорії через закони газів до теплових машин. Кожна наступна симуляція опирається на концепції, сформовані попередніми [12; 25; 27].

Принцип доступності реалізується через простоту інтерфейсу, відсутність необхідності попереднього навчання роботі з програмою та інтуїтивність елементів керування. Будь-який учень може почати експериментувати одразу після відкриття сторінки симуляції [24; 32; 35].

Принцип науковості забезпечується коректністю фізичних моделей, що лежать в основі симуляцій. Всі розрахунки базуються на фундаментальних законах термодинаміки та молекулярної фізики без спрощень, що можуть призвести до неправильних уявлень [10; 11; 27].

Принцип зв'язку з практикою втілюється через пояснення, як симульовані процеси проявляються в реальному житті: робота автомобільних двигунів, теплоізоляція будинків, кулінарні процеси, функціонування холодильників [12; 24; 30].

Технічна реалізація симуляцій

З технічної точки зору всі симуляції побудовані на єдиній архітектурі, що включає кілька ключових компонентів. Візуалізаційний модуль використовує HTML5 Canvas для рендерингу графіки з високою частотою оновлення кадрів. Фізичний движок реалізує математичні моделі явищ, розраховуючи стани системи на кожному кроці часу. Модуль взаємодії обробляє події від користувача та передає їх у фізичний движок. Інформаційна панель відображає числові параметри системи в зручному форматі [16; 18; 23].

Оптимізація продуктивності є критично важливою для забезпечення плавності анімацій навіть на пристроях з обмеженими ресурсами. Використовуються техніки кешування обчислень, що повторюються, векторизація операцій, оптимальні алгоритми виявлення зіткнень для симуляцій з частинками. Адаптивна якість графіки автоматично знижує деталізацію на слабких пристроях для підтримки прийнятної частоти кадрів [16; 23; 29].

Адаптивний дизайн забезпечує коректну роботу симуляцій на екранах різних розмірів та орієнтацій. На мобільних пристроях елементи керування автоматично перегруповуються для зручності сенсорного управління. Розміри Canvas динамічно підлаштовуються під доступну область екрану [18; 23; 33].

Методичні рекомендації до використання симуляцій

Кожна симуляція супроводжується короткою текстовою інструкцією, що пояснює фізичну суть процесу, ключові параметри, якими можна керувати, та рекомендації щодо експериментування. Ці матеріали розміщені

безпосередньо на сторінці симуляції, забезпечуючи швидкий доступ до необхідної інформації без потреби переходити на інші розділи [24; 27; 37].

Текстові пояснення написані доступною мовою з мінімумом спеціальної термінології, де це можливо без втрати наукової точності. Особлива увага приділяється формулюванню проблемних питань, які стимулюють учнів до самостійних досліджень. Наприклад, для симуляції ідеального газу пропонується з'ясувати, у скільки разів потрібно збільшити температуру, щоб подвоїти тиск при незмінному об'ємі [10; 24; 30].

Для кожної симуляції сформульовані типові завдання різних рівнів складності: від простого спостереження за процесом до кількісного аналізу залежностей та порівняння з теоретичними передбаченнями. Це дозволяє використовувати одну й ту саму симуляцію для учнів з різним рівнем підготовки [12; 25; 32].

Перспективи розширення контенту

Модульна архітектура ресурсу передбачає можливість поступового додавання нових симуляцій з різних розділів фізики. У плані розвитку знаходяться симуляції з механіки (балістичний рух з урахуванням опору повітря, коливання різних систем), електрики (візуалізація електричного поля та потенціалу, моделювання електричних кіл з різними компонентами), оптики (інтерференція та дифракція світла, робота оптичних приладів), магнетизму (магнітні поля провідників та постійних магнітів, електромагнітна індукція) [11; 13; 27].

Кожна нова симуляція розробляється з урахуванням досвіду попередніх, що дозволяє постійно вдосконалювати методологію створення контенту та технічні рішення. Зворотний зв'язок від користувачів-педагогів та учнів стане важливим джерелом інформації для визначення пріоритетних напрямків розвитку та покращення існуючих матеріалів [24; 30; 37].

Таким чином, змістове наповнення ресурсу PhysicLab представляє собою систему науково обґрунтованих, методично виважених та технічно якісно реалізованих інтерактивних симуляцій, що перетворюють абстрактні фізичні концепції в доступні для розуміння динамічні моделі. Поєднання візуалізації, інтерактивності та педагогічно продуманих пояснень створює потужний інструмент для формування глибокого концептуального розуміння фізики та стійкого пізнавального інтересу до цієї науки [10; 24; 27; 32].

2.3. Методичні рекомендації щодо впровадження ресурсу в освітній процес

Ефективність цифрового освітнього ресурсу визначається не лише якістю його технічної реалізації та змістового наповнення, але й методично обґрунтованим впровадженням у реальну педагогічну практику. Інтеграція інтерактивних симуляцій PhysicLab у навчальний процес вимагає розробки конкретних сценаріїв використання, які враховують специфіку різних організаційних форм навчання, вікові особливості учнів та дидактичні цілі конкретних тем курсу фізики [1; 6; 9; 20]. Даний розділ містить практичні рекомендації для вчителів фізики щодо оптимального застосування ресурсу на різних етапах освітнього процесу.

Використання ресурсу на уроках фізики

Урок залишається основною формою організації навчання в закладах загальної середньої освіти, тому інтеграція цифрового ресурсу в структуру уроку є пріоритетним напрямком методичної роботи [5; 9; 15]. Симуляції PhysicLab можуть виконувати різні дидактичні функції залежно від етапу уроку та педагогічних цілей.

Етап актуалізації знань та мотивації

На початковому етапі уроку інтерактивна симуляція може виконувати функцію проблемної ситуації, що активізує пізнавальну діяльність учнів та

створює мотивацію до вивчення нової теми [1; 8; 24]. Вчитель демонструє класу несподіваний або протиприродний результат віртуального експерименту, що викликає когнітивний дисонанс та бажання зрозуміти причини спостережуваного явища.

Наприклад, при вивченні молекулярно-кінетичної теорії газів учитель може відкрити симуляцію ідеального газу та запитати учнів: «Що станеться з тиском газу, якщо ми збільшимо об'єм контейнера вдвічі, не змінюючи температуру?». Після висловлення гіпотез учнів демонструється експеримент у симуляції, де чітко видно, як при збільшенні об'єму зменшується частота ударів молекул об стінки, що призводить до зниження тиску. Така візуалізація на мікроскопічному рівні допомагає зрозуміти природу макроскопічного закону Бойля-Маріотта [10; 11; 25].

Для теми теплових машин ефектним початком уроку може стати демонстрація циклу Отто з акцентом на етап робочого ходу, де стисла суміш вибухає та штовхає поршень. Вчитель може поставити проблемне питання: «Чому з одного літра бензину автомобіль проїжджає лише 10-15 кілометрів, хоча енергії в цьому бензині достатньо для набагато більшої відстані?». Це підводить до обговорення ефективності теплових двигунів та фундаментальних обмежень, накладених законами термодинаміки [11; 12; 27].

Етап вивчення нового матеріалу

На етапі засвоєння нових знань симуляції відіграють роль динамічних наочних посібників, що доповнюють словесні пояснення вчителя візуальними образами та дозволяють спостерігати за перебігом процесів у часі [9; 15; 24]. На відміну від статичних схем у підручнику або презентації, інтерактивні моделі показують динаміку явищ, що особливо важливо для розуміння часових залежностей та причинно-наслідкових зв'язків.

При поясненні процесу дифузії вчитель може використовувати відповідну симуляцію як центральний елемент пояснення. Спочатку

демонструється початковий стан: два гази чітко розділені в різних половинах контейнера. Під час пояснення теорії вчитель запускає процес дифузії, коментуючи кожен етап: «Бачите, молекули хаотично рухаються в усіх напрямках. Деякі молекули блакитного газу випадково потрапляють у правий контейнер, а червоного — у лівий. З часом їх стає все більше, поки розподіл не стане рівномірним». Така синхронізація вербального пояснення з візуальною демонстрацією значно підвищує ефективність засвоєння матеріалу [10; 25; 30].

Для пояснення циклу Карно, який є одним з найскладніших для розуміння розділів термодинаміки, симуляція стає незамінним інструментом. Вчитель може покроково провести учнів через чотири етапи циклу, на кожному етапі акцентуючи увагу на відповідних елементах трьох синхронізованих представлень: механічної роботи поршня, p - V діаграми та T - S діаграми. Така мультимодальна презентація, коли одна й та сама інформація подається одночасно в різних формах, сприяє формуванню міцних та глибоких знань [11; 24; 27].

Важливо, щоб під час пояснення вчитель не просто показував симуляцію, а активно залучав учнів до аналізу спостережуваного. Можна ставити прогностичні питання: «Як ви думаєте, що станеться далі?», «Чому система поводить себе саме так?», «Які параметри при цьому змінюються?». Така діалогічна форма роботи з симуляцією перетворює пасивне споглядання на активний пізнавальний процес [9; 15; 32].

Етап закріплення та застосування знань

Після первинного засвоєння теоретичного матеріалу симуляції можуть використовуватися для закріплення знань через експериментальну діяльність учнів [5; 24; 34]. На цьому етапі вже не вчитель керує симуляцією, а самі учні отримують можливість індивідуально або в малих групах провести серію віртуальних експериментів за завданнями різного рівня складності.

Для теми ідеального газу можна запропонувати систему завдань від репродуктивного до творчого рівня. Завдання репродуктивного рівня: «Встановіть температуру 300 К, об'єм 5 літрів, кількість молекул 100. Запишіть тиск. Збільште температуру до 600 К. Як змінився тиск? Чи підтверджується закон Шарля?». Завдання реконструктивного рівня: «Як потрібно змінити об'єм, щоб при подвоєнні температури тиск залишився незмінним? Перевірте експериментально». Завдання творчого рівня: «Спроектуйте експеримент, який дозволить визначити залежність тиску від кількості молекул при постійних температурі та об'ємі. Побудуйте графік цієї залежності на основі даних з симуляції» [10; 25; 47].

Робота в малих групах особливо ефективна, коли різні групи досліджують різні аспекти явища. Наприклад, при вивченні теплопровідності одна група досліджує вплив матеріалу на швидкість теплопередачі, друга — вплив температурного градієнта, третя — порівнює теплопровідність з конвекцією (якщо є відповідна симуляція). Потім кожна група презентує свої висновки класу, що створює цілісну картину явища теплопередачі [11; 12; 48].

Для старших класів доцільно пропонувати завдання з елементами дослідження, що наближаються до методології наукового експерименту. Учням пропонується сформулювати гіпотезу про залежність між параметрами, спланувати серію експериментів для її перевірки, зібрати дані, проаналізувати результати та сформулювати висновки. Наприклад: «Дослідіть, як залежить ККД циклу Карно від різниці температур нагрівача та холодильника. Сформулюйте гіпотезу, проведіть не менше п'яти експериментів з різними значеннями температур, побудуйте графік залежності та порівняйте з теоретичною формулою» [11; 24; 27].

Використання в різних типах уроків

Методика використання симуляцій залежить також від типу уроку згідно з дидактичною метою [9; 15; 20].

На уроці засвоєння нових знань симуляція інтегрується в пояснення вчителя як динамічний наочний посібник, що демонструє перебіг процесів та взаємозв'язки між параметрами. Вчитель керує симуляцією, супроводжуючи кожен крок коментарями та поясненнями [24; 30; 32].

На уроці формування вмінь та навичок учні самостійно працюють з симуляціями, виконуючи серії завдань різної складності. Вчитель виступає консультантом, надаючи допомогу лише при виникненні труднощів. Акцент робиться на практичному застосуванні теоретичних знань [5; 25; 34].

На уроці узагальнення та систематизації знань симуляції використовуються для демонстрації зв'язків між різними темами та розділами курсу. Наприклад, можна показати, як молекулярно-кінетична теорія (симуляція ідеального газу) пов'язана з макроскопічними газовими законами та застосуванням у теплових машинах (цикли Карно та Отто) [11; 12; 27].

На уроці контролю та корекції знань симуляції можуть використовуватися для практичних контрольних робіт, де учні отримують завдання провести віртуальний експеримент, зняти дані та відповісти на питання. Така форма контролю перевіряє не лише теоретичні знання, але й уміння застосовувати їх на практиці [24; 25; 47].

На комбінованому уроці, що найчастіше використовується в шкільній практиці, симуляції можуть застосовуватися на різних етапах: для актуалізації знань на початку, як наочність при поясненні нового матеріалу, для закріплення через практичну роботу [9; 15; 20].

Використання ресурсу для самостійної роботи учнів

Самостійна робота є важливою формою навчальної діяльності, що розвиває уміння здобувати знання без безпосереднього керівництва вчителя, формує відповідальність та організованість [6; 9; 48]. Цифровий ресурс

PhysicLab завдяки своїй доступності в будь-який час та з будь-якого місця створює оптимальні умови для організації різних видів самостійної роботи.

Підготовка до вивчення нової теми

В моделі «перевернутого класу», що набуває все більшої популярності в сучасній освіті, учні попередньо знайомляться з новим матеріалом вдома, а на уроці відбувається поглиблене опрацювання та практичне застосування знань [15; 20; 42]. Симуляції PhysicLab ідеально підходять для домашнього ознайомлення з темою завдяки інтуїтивності інтерфейсу та наявності текстових пояснень безпосередньо на сторінці.

Вчитель може дати завдання: «До наступного уроку зайдіть на сайт PhysicLab, відкрийте симуляцію дифузії газів. Уважно спостерігайте за процесом змішування. Спробуйте змінити температуру та описати, як це вплинуло на швидкість дифузії. Підготуйтеся відповісти на питання: що таке дифузія, чому вона відбувається, від чого залежить швидкість дифузії». Така підготовча робота дозволяє на уроці відразу перейти до глибшого аналізу явища, математичного опису та розв'язування задач, не витрачаючи час на первинне ознайомлення [10; 25; 48].

Повторення та поглиблення вивченого матеріалу

Після вивчення теми на уроці учні можуть самостійно повернутися до симуляцій для повторення та кращого розуміння матеріалу [5; 6; 24]. Особливо це актуально для тих, хто з різних причин не повністю засвоїв тему на уроці: пропустив заняття через хворобу, не встиг за темпом пояснення вчителя або потребує додаткового часу для осмислення складного матеріалу.

Можливість багаторазово повторювати експерименти, змінювати параметри в різних комбінаціях, працювати у власному темпі без часових обмежень створює комфортне середовище для індивідуального навчання. Учень може зупинити симуляцію в будь-який момент, щоб ретельно

проаналізувати стан системи, повернутися до початку та переглянути процес знову, витратити стільки часу, скільки потрібно для розуміння [24; 30; 47].

Для організації такої роботи вчитель може створити серію завдань різного рівня складності, доступних на навчальній платформі школи або в Google Classroom. Учні самостійно обирають завдання відповідно до свого рівня підготовки та прагнення до поглибленого вивчення теми [15; 20; 48].

Підготовка до контрольних робіт та тематичного оцінювання

Перед контрольною роботою з розділу термодинаміки вчитель може рекомендувати учням переглянути всі відповідні симуляції, акцентуючи увагу на ключових закономірностях та взаємозв'язках [5; 9; 24]. Можна запропонувати серію тренувальних завдань, подібних до тих, що будуть на контрольній роботі, з можливістю самоперевірки через експериментальне підтвердження відповідей за допомогою симуляцій.

Наприклад, завдання: «Газ при температурі 300 К має тиск 100 кПа. Якщо нагріти газ до 450 К при незмінному об'ємі, яким стане тиск? Після розв'язання задачі перевірте відповідь за допомогою симуляції ідеального газу». Така можливість самоперевірки не лише допомагає виявити помилки в розумінні, але й підвищує впевненість учнів у своїх знаннях [25; 30; 47].

Розвиток дослідницьких компетентностей

Для обдарованих та зацікавлених учнів симуляції можуть стати інструментом для проведення міні-досліджень у рамках самостійної роботи [6; 12; 34]. Вчитель пропонує відкриті завдання, що не мають однозначної відповіді та вимагають серії експериментів, аналізу даних та формулювання висновків.

Приклади таких завдань: «Дослідіть, як швидкість встановлення рівноваги при дифузії залежить від різниці початкових концентрацій газів. Проведіть експерименти з різними співвідношеннями кількості молекул у

контейнерах, визначте кількісну залежність»; «Проаналізуйте, чи можна створити тепловий двигун з ККД вищим за цикл Карно для тих самих температур. Спробуйте обґрунтувати свою відповідь як теоретично, так і експериментально з використанням симуляцій» [11; 24; 27].

Результати таких досліджень можуть оформлятися як звіти, презентації або навіть стати основою для учнівських наукових робіт на конкурсах МАН [12; 48; 49].

Використання ресурсу як домашнього завдання

Домашнє завдання з використанням інтерактивних симуляцій суттєво відрізняється від традиційних завдань з розв'язування задач або читання параграфа підручника [9; 15; 20]. Воно передбачає активну взаємодію з віртуальними моделями, що робить процес виконання домашньої роботи більш захоплюючим та ефективним з точки зору формування глибокого розуміння матеріалу.

Типи домашніх завдань з використанням симуляцій

Дослідницькі завдання передбачають проведення серії експериментів з подальшим аналізом результатів. Наприклад: «Використовуючи симуляцію теплопровідності, дослідіть, наскільки швидше тепло розповсюджується через мідь порівняно з залізом. Проведіть вимірювання температури у трьох точках кожного стрижня через однакові проміжки часу. Результати занесіть у таблицю та побудуйте графіки. Сформулюйте висновки» [10; 11; 47].

Завдання на перевірку гіпотез розвивають критичне мислення та навички наукового методу. «Сформулюйте три гіпотези про те, що станеться з тиском газу при одночасному збільшенні температури та зменшенні об'єму. Перевірте кожну гіпотезу за допомогою симуляції ідеального газу. Поясніть, які гіпотези підтвердилися, а які ні, та чому» [24; 25; 48].

Порівняльні завдання формують уміння аналізувати та виявляти спільне і відмінне. «Порівняйте цикли Карно та Отто, використовуючи відповідні симуляції. Складіть таблицю порівняння за такими критеріями: кількість етапів, типи процесів на кожному етапі, форма p - V діаграми, ККД для однакових температур нагрівача та холодильника, можливість практичної реалізації» [11; 12; 27].

Творчі завдання стимулюють уяву та застосування знань у нестандартних ситуаціях. «Уявіть, що ви інженер, якому потрібно спроектувати систему опалення для будинку. Використовуючи симуляцію теплопровідності, обґрунтуйте вибір матеріалів для стін, вікон, дверей. Підготуйте короткий звіт з рекомендаціями» [10; 24; 49].

Організаційні форми виконання домашніх завдань

Індивідуальна робота залишається основною формою виконання домашнього завдання. Кожен учень самостійно працює з симуляцією, що дозволяє працювати у власному темпі та рівні складності [5; 6; 9].

Парна робота може організовуватися, коли два учні спільно виконують завдання онлайн, обговорюючи результати через месенджери або відеодзвінки. Така форма розвиває комунікативні навички та вміння аргументувати свою позицію [15; 20; 48].

Групові проєкти можуть реалізовуватися, коли різні учні досліджують різні аспекти проблеми, а потім об'єднують результати. Наприклад, група з чотирьох учнів досліджує теплопровідність: кожен відповідає за один матеріал, проводить детальні вимірювання, а потім вони спільно готують порівняльну презентацію [12; 34; 49].

Оформлення результатів домашньої роботи

Важливим аспектом є форма подання результатів виконання домашнього завдання [9; 15; 47]. Можливі варіанти включають:

Письмовий звіт у зошиті з описом експериментів, таблицями даних, графіками та висновками. Традиційна форма, що розвиває навички письмового оформлення наукової інформації [24; 25; 48].

Цифровий звіт у Google Docs або Word з можливістю вставки скріншотів з симуляцій, гіперпосилань на конкретні налаштування експериментів. Сучасна форма, що відповідає цифровим компетентностям [20; 47; 49].

Презентація для демонстрації класу, якщо домашнє завдання передбачає подальший виступ учня. Розвиває навички публічної презентації результатів дослідження [12; 15; 34].

Відеозвіт, де учень записує екран під час роботи з симуляцією та коментує свої дії та спостереження. Інноваційна форма, що підвищує мотивацію учнів, які цікавляться відеоблогінгом [49; 50].

Диференціація домашніх завдань

Для забезпечення індивідуального підходу доцільно пропонувати завдання трьох рівнів складності [5; 6; 24]:

Базовий рівень для учнів, які потребують додаткового часу для засвоєння матеріалу. Завдання передбачають прості спостереження та відповіді на репродуктивні питання: «Відкрийте симуляцію циклу Отто. Перегляньте повний цикл роботи двигуна. Опишіть, що відбувається на кожному з чотирьох тактів» [10; 25; 47].

Стандартний рівень для більшості учнів. Завдання включають експериментальну перевірку закономірностей та побудову графіків: «Дослідіть залежність тиску ідеального газу від температури при постійному об'ємі. Проведіть вимірювання для п'яти різних температур, побудуйте графік, визначте характер залежності» [11; 24; 30].

Високий рівень для обдарованих та зацікавлених учнів. Завдання передбачають аналіз складних систем, порівняння теорії з експериментом, формулювання власних гіпотез: «Дослідіть, як співвідношення питомих теплоємностей газу впливає на ККД циклу Отто. Спрогнозуйте результати теоретично, перевірте експериментально, проаналізуйте розбіжності» [12; 27; 48].

Інтеграція ресурсу в змішане та дистанційне навчання

В умовах поширення змішаних та дистанційних форм навчання цифровий ресурс PhysicLab набуває особливої актуальності [15; 20; 42]. Його можна інтегрувати в систему управління навчанням школи (Google Classroom, Moodle) через пряме посилання на конкретні симуляції.

При дистанційному навчанні вчитель може проводити онлайн-урок через Zoom або Google Meet, демонструючи симуляцію з можливістю спільного перегляду екрану. Учні бачать те саме, що й вчитель, можуть ставити питання через чат або голосом, а після демонстрації самостійно відкривають симуляцію на своїх пристроях для практичної роботи [20; 47; 50].

В моделі змішаного навчання, коли частина діяльності відбувається в класі, а частина онлайн, можна організувати «ротацію станцій», де одна зі станцій передбачає роботу з інтерактивними симуляціями на комп'ютерах або планшетах. Учні переходять між станціями за графіком, на кожній виконуючи різні види діяльності [15; 42; 49].

Методичні поради для вчителів

Для максимальної ефективності використання ресурсу PhysicLab рекомендується дотримуватися наступних методичних принципів [9; 24; 47]:

Попереднє планування. Перед уроком вчитель сам ретельно опрацьовує симуляцію, перевіряє всі функції, продумує, які параметри

змінювати та в якій послідовності, готує проблемні питання для учнів [5; 15; 20].

Чіткі інструкції. Учні повинні чітко розуміти, що саме від них вимагається: які параметри змінювати, які дані фіксувати, на що звертати увагу. Для складних завдань доцільно надавати письмові інструкції або покрокові алгоритми [9; 25; 48].

Активізація мислення. Симуляція сама по собі не навчає, важлива розумова активність учня. Необхідно ставити питання, що провокують аналіз, порівняння, узагальнення, а не лише споглядання [6; 24; 30].

Зв'язок з теорією. Після практичної роботи з симуляцією обов'язково потрібно повернутися до теоретичних положень, математичних формул, закріпити зв'язок між спостереженим явищем та його науковим описом [10; 11; 27].

Обговорення результатів. Колективне обговорення висновків, зроблених учнями, виявлення помилок, порівняння різних підходів до виконання завдання значно підвищує ефективність навчання [12; 24; 32].

Врахування технічних можливостей. Необхідно заздалегідь переконатися, що в учнів є доступ до пристроїв з інтернетом, браузері підтримують необхідні технології, швидкість з'єднання достатня для плавної роботи симуляцій [16; 20; 47].

Диференційований підхід. Завдання повинні відповідати рівню підготовки. Завдання повинні відповідати рівню підготовки учнів, надавати можливість вибору складності, забезпечувати успіх для кожного [5; 6; 24].

Систематичність використання. Епізодичне застосування симуляцій менш ефективне, ніж системне впровадження в навчальний процес протягом вивчення всього розділу або курсу [9; 15; 47].

Оцінювання навчальних досягнень при використанні ресурсу

Робота учнів з інтерактивними симуляціями може бути об'єктом різних форм оцінювання [5; 9; 48].

Поточне оцінювання здійснюється під час уроку через спостереження вчителя за роботою учнів, їх відповіді на запитання, якість виконання практичних завдань. Можна використовувати короткі письмові звіти про результати експериментів [24; 25; 47].

Тематичне оцінювання може включати практичну контрольну роботу, де учні отримують завдання провести віртуальний експеримент за інструкцією, зняти дані, побудувати графік та сформулювати висновки. Така форма контролю перевіряє не лише знання, але й уміння застосовувати їх у нестандартних ситуаціях [10; 11; 30].

Оцінювання домашніх завдань залежить від типу завдання: може оцінюватися повнота опису спостережень, правильність побудови графіків, глибина аналізу результатів, оригінальність висновків [12; 15; 48].

Важливо, щоб критерії оцінювання були прозорими та зрозумілими учням заздалегідь. Можна використовувати рубрики оцінювання, де чітко прописані показники для кожного рівня [24; 47; 50].

Можливості для міжпредметної інтеграції

Інтерактивні симуляції з фізики можуть використовуватися не лише на уроках фізики, але й у міжпредметних проєктах [12; 15; 49].

Інтеграція з хімією можлива при вивченні теми агрегатних станів речовини, будови атома, хімічних реакцій. Симуляція дифузії ілюструє перемішування речовин на молекулярному рівні, що важливо для розуміння швидкості хімічних реакцій [10; 11; 47].

Зв'язок з математикою реалізується через побудову графіків залежностей, аналіз функцій, роботу з формулами. Дані, отримані з симуляцій, можуть бути основою для математичного моделювання [24; 25; 48].

Інтеграція з інформатикою включає вивчення принципів комп'ютерного моделювання, алгоритмів розрахунків, візуалізації даних. Зацікавлені учні можуть навіть спробувати створити власні прості симуляції [16; 49; 50].

Зв'язок з біологією проявляється при вивченні процесів дифузії в живих організмах, терморегуляції, теплопередачі в біологічних системах [11; 12; 47].

Практичне значення для життя можна продемонструвати через завдання типу: «Використовуючи симуляцію теплопровідності, поясніть, чому взимку краще носити кілька шарів тонкого одягу, ніж один товстий», «Як принципи роботи теплових двигунів використовуються в автомобілях, літаках, електростанціях» [10; 24; 30].

Створення банку методичних матеріалів

Для системного впровадження ресурсу доцільно створити банк методичних матеріалів, який включає [9; 15; 47]:

Плани-конспекти уроків з використанням конкретних симуляцій для кожної теми курсу фізики

Набори завдань різного рівня складності для самостійної роботи та домашніх завдань

Інструкції для учнів з покроковим описом виконання віртуальних експериментів

Критерії оцінювання практичних робіт з симуляціями

Рекомендації для батьків щодо підтримки дітей при виконанні домашніх завдань з використанням цифрових ресурсів

Такий банк може створюватися колективно методичним об'єднанням вчителів фізики школи або районного методичного центру, постійно поповнюватися та вдосконалюватися на основі накопиченого досвіду [20; 48; 50].

Рекомендації щодо подолання можливих труднощів

При впровадженні цифрового ресурсу можуть виникати певні труднощі, для подолання яких рекомендується [16; 20; 47]:

Технічні проблеми. Забезпечити резервний план уроку на випадок проблем з інтернетом або обладнанням. Заздалегідь перевіряти роботу симуляцій на різних пристроях [16; 23; 50].

Недостатня мотивація учнів. Використовувати елементи гейміфікації, змагання між групами, цікаві контекстні завдання, пов'язані з реальним життям [3; 24; 48].

Труднощі в розумінні завдань. Надавати чіткі письмові інструкції, демонструвати приклади виконання, організовувати взаємодопомогу учнів [9; 15; 47].

Різний темп роботи учнів. Готувати додаткові завдання для тих, хто швидко впорався, надавати індивідуальну підтримку тим, хто відстає [5; 6; 24].

Таким чином, методично обґрунтоване впровадження цифрового ресурсу PhysicLab у різні форми освітнього процесу – уроки, самостійну роботу, домашні завдання – створює потужний інструмент для підвищення якості навчання фізики та формування стійкого пізнавального інтересу учнів до цієї науки [9; 24; 47; 50].

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети та вирішено всі визначені завдання дослідження. Основні результати роботи полягають у наступному:

Теоретично обґрунтовано психолого-педагогічні основи формування пізнавального інтересу до фізики. Встановлено, що інтерес виступає як специфічний прояв когнітивної потреби особистості, який перетворює навчання на свідомий і захоплюючий процес. Виявлено, що формування стійкого інтересу відбувається поетапно: від ситуативного виникнення через формування спрямованості до інтеграції в структуру особистості. Визначено специфіку пізнавального інтересу до фізики, зумовлену високою абстрактністю понять, математичною основою опису явищ та віковими особливостями учнів.

Проаналізовано роль цифрових технологій у сучасному освітньому процесі та систематизовано їх можливості для викладання фізики. Встановлено, що цифрові ресурси забезпечують візуалізацію абстрактних понять, створюють умови для безпечного експериментування, дозволяють реалізувати індивідуальний підхід та забезпечують оперативний зворотний зв'язок. Здійснено критичний аналіз провідних платформ для вивчення фізики (PhET, Algodoo, Khan Academy, Labster), виявлено їх переваги та обмеження.

Розкрито дидактичний потенціал візуалізації, інтерактивності та гейміфікації як ключових компонентів ефективних цифрових освітніх ресурсів. Обґрунтовано, що візуалізація виконує компенсаторну, когнітивну, мотиваційну та дослідницьку функції; інтерактивність забезпечує активне навчання через експериментування; гейміфікація підвищує залученість через задоволення базових психологічних потреб в автономії, компетентності та приналежності.

Розроблено та технічно реалізовано інтерактивний цифровий ресурс PhysicLab на базі системи управління контентом WordPress. Обґрунтовано

вибір технологічної платформи, що забезпечує відкритість вихідного коду, модульність архітектури, простоту адміністрування та можливість масштабування. Створено структуру ресурсу з трьох рівнів навігації: головна сторінка, каталог симуляцій та окремі сторінки експериментів. Реалізовано адаптивний дизайн, що забезпечує коректне відображення на різних пристроях.

Створено змістове наповнення ресурсу у вигляді п'яти інтерактивних симуляцій фізичних процесів: модель ідеального газу з візуалізацією молекулярно-кінетичної теорії; дифузія газів з демонстрацією самовільного змішування речовин; цикл Карно з синхронізованою візуалізацією механічної роботи та термодинамічних діаграм; цикл Отто з анімацією роботи чотиритактного двигуна; теплопровідність матеріалів з порівнянням швидкості розповсюдження тепла. Всі симуляції базуються на науково коректних фізичних моделях та забезпечують можливість зміни параметрів у реальному часі.

Розроблено методичні рекомендації щодо впровадження ресурсу в освітній процес для різних організаційних форм навчання. Запропоновано сценарії використання симуляцій на різних етапах уроку (актуалізація знань, вивчення нового матеріалу, закріплення), в різних типах уроків (засвоєння нових знань, формування вмінь, узагальнення, контролю). Обґрунтовано доцільність застосування ресурсу для самостійної роботи учнів, підготовки до вивчення нових тем, повторення матеріалу та розвитку дослідницьких компетентностей. Сформульовано типи домашніх завдань (дослідницькі, на перевірку гіпотез, порівняльні, творчі) та форми оформлення результатів роботи.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що розроблений цифровий ресурс PhysicLab (<https://physiclab.in.ua/>) може бути впроваджений у практику викладання фізики в закладах загальної середньої освіти як допоміжний інструмент для підвищення пізнавального інтересу та

покращення якості засвоєння матеріалу. Використання WordPress як платформи забезпечує простоту розгортання, адміністрування та масштабування ресурсу без значних технічних витрат. Модульна архітектура дозволяє легко адаптувати та розширювати функціонал відповідно до потреб конкретного навчального закладу.

Результати дослідження можуть використовуватися вчителями фізики для урізноманітнення форм навчальної діяльності, > Dep: організації самостійної роботи учнів, проведення віртуальних лабораторних робіт та реалізації диференційованого підходу. Теоретичні положення та методичні рекомендації придатні для застосування в системі підвищення кваліфікації педагогічних працівників, а також у процесі підготовки майбутніх учителів фізики в закладах вищої педагогічної освіти. Розроблена структура та методологія створення симуляцій можуть слугувати основою для розробки аналогічних платформ з інших природничих дисциплін (хімії, біології, географії).

Перспективи подальших досліджень включають: розширення бази симуляцій за рахунок інших розділів шкільного курсу фізики (механіка, електрика, оптика, квантова фізика); впровадження системи автоматизованого оцінювання навчальних досягнень учнів; інтеграцію з популярними системами управління навчанням (Google Classroom, Moodle); проведення емпіричного дослідження ефективності ресурсу через педагогічний експеримент у реальних умовах навчального процесу; створення методичного посібника для вчителів з детальними планами-конспектами уроків із використанням розроблених симуляцій.

Таким чином, виконане дослідження підтверджує гіпотезу про те, що методично обґрунтоване використання інтерактивних цифрових ресурсів, які поєднують візуалізацію абстрактних фізичних явищ, можливість активного експериментування та елементи гейміфікації, створює ефективний інструмент для формування стійкого пізнавального інтересу учнів до вивчення фізики та сприяє глибшому розумінню фундаментальних законів природи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Формування пізнавального інтересу учнів до фізики (методичні рекомендації). URL: https://osvita.ua/school/lessons_summary/physics/interest/
2. Щукіна Г. І. Проблема пізнавального інтересу в педагогіці. К.: Радянська школа, 1973.
3. Використання цифрових технологій на уроках фізики для підвищення мотивації. Технології електронного навчання. URL: <https://texel.ddpu.edu.ua/index.php/TeXEL/article/view/15>
4. Покоління: психологічні особливості та підходи до навчання. URL: <https://buki.com.ua/news/pokolinnya-z/>
5. Інтерактивні методи навчання фізики для формування стійкого інтересу. Фізика та астрономія в рідній школі. Інститут педагогіки НАПН України. URL: <https://lib.iitta.gov.ua>
6. Друховець Н. Г. Формування мотивації навчальної діяльності учнів як засобу підвищення якості знань. URL: <https://naurok.com.ua/formuvannya-motivaci-navchalno-diyalnosti-uchniv-yak-zasobu-pidvischennya-yakosti-znan-67160.html>
7. Кодлюк Я. П. Розвиток пізнавальних інтересів молодших школярів. Молодий вчений, 2021. № 9 (97). URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/3095>
8. Вишневський О. Теоретичні основи сучасної української педагогіки. Навчальний посібник. URL: <https://pedagogy.lnu.edu.ua/departments/pedagogika/library/vyshnevsky.pdf>
9. Каменєва Т. М. Теоретичні основи навчання: навчально-методичний посібник. К.: МНУЦ, 2018. 282 с. URL: https://fpsrso.kubg.edu.ua/images/2023-2024/Studentam/CBI_ЄФВВ/Каменєва.pdf

10. Дементієвська Н. П., Соколюк О. М. Віртуальні лабораторні роботи з фізики з використанням інтерактивних комп'ютерних моделювань: збірник навчальних матеріалів. Київ: ІЦО НАПН України, 2022. 157 с. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/733495/>
11. Загребельна Н. Використання віртуальних лабораторій при вивченні фізики в школі. Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, 2015. URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/konferentsii/fizyka-tekhnohii-navchannia/>
12. Савчук-Баловсяк Г. Д. Використання інформаційних технологій та технологій мобільного навчання на уроках фізики та астрономії: методичний кейс. Чернівці, 2024. 56 с. URL: <https://naurok.com.ua/vikoristannya-informaciynih-tehnologiy-ta-tehnologiy-mobilnogo-navchannya-na-urokah-fiziki-ta-astronomii-metodichniy-keys-savchuk-balovsyak-g-d-chernivci-2024-56-s-392505.html>
13. Пучков І. Р. Використання віртуальної фізичної лабораторії під час викладання фізики в ДонНАБА. Технології електронного навчання, 2020. № 4. С. 51–55. URL: <https://texel.ddpu.edu.ua/index.php/tixel/article/view/29>
14. Цифрові інтерактивні додатки для уроку фізики. Promethean інтерактивні панелі для освіти. URL: <https://prometheanworld.com.ua/tsyfrovi-interaktyvni-dodatky-dlya-uroku-fizyky/>
15. Кузьменко О. Цифровізація навчання фізики та технічних дисциплін у підготовці фахівців авіаційної галузі. Педагогіка безпеки, 2021. Вип. 5, № 1. С. 26–34. URL: <https://pedbezpeka.vntu.edu.ua/index.php/pb/article/view/102>
16. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України. Інформаційні технології і засоби навчання, 2020. Т. 75, № 1. С. 1–26. URL: <http://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/718692/>

17. Гуревич Р. С., Кадемія М. Ю. Інформаційно-комунікаційні технології в професійній освіті майбутніх фахівців: монографія. Львів: СПОЛОМ, 2012. 502 с.
18. Морзе Н. В., Кузьмінська О. Г. Педагогічні аспекти використання хмарних обчислень. Інформаційні технології в освіті. Херсон, 2011. Вип. 9. С. 20–29.
19. Жалдак М. І., Рамський Ю. С., Рафальська М. В. Модельне середовище для навчання шкільного курсу фізики. Комп'ютер у школі та сім'ї, 2015. № 3. С. 10–14.
20. Манако А. Ф., Синиця К. М. Використання інформаційно-комунікаційних технологій на уроках фізики для активізації пізнавальної діяльності учнів. Фізико-математична освіта, 2019. Вип. 2 (20). С. 77–82. URL: <https://fmo-journal.org/index.php/fmo>
21. Величко С. П., Доценко С. О. Електронні освітні ресурси як засіб інтенсифікації навчального процесу в умовах інформатизації освіти. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання, 2013. № 14 (21). С. 3–9.
22. Слободяник О. В. Використання ІКТ-технологій на уроках фізики як засіб підвищення мотивації навчання. Фізика та астрономія в школі, 2018. № 4. С. 41–45.
23. Ткаченко О. М., Ткаченко О. В. Цифрові технології в освіті: виклики сьогодення. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету, 2020. Вип. 8. С. 109–119. URL: <https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/289>
24. Величко С. П. Візуалізація навчального матеріалу як засіб активізації пізнавальної діяльності учнів. Комп'ютер у школі та сім'ї, 2014. № 6. С. 18–22.
25. Семеріков С. О., Теплицький І. О., Юрченко А. О. Засоби комп'ютерної візуалізації у навчанні фізики. Науковий часопис НПУ

імені М.П. Драгоманова. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання, 2012. № 12 (19). С. 82–91.

26. Шут М. І., Білоус О. А. Використання цифрових технологій для підвищення мотивації до навчання фізики. Фізико-математична освіта, 2020. Вип. 1 (23). С. 94–99. URL: <https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>

27. Співак В. М. Комп'ютерна візуалізація навчального матеріалу з фізики: методичний аспект. Інформаційні технології і засоби навчання, 2013. Т. 36, № 4. С. 84–96. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt>

28. Кузьміна І. П., Морзе Н. В. Методика використання засобів візуалізації в навчальному процесі. Інформаційні технології в освіті, 2015. № 23. С. 56–68.

29. Шишкіна М. П., Попель М. В. Хмаро орієнтовані системи відкритої освіти та відкрита наука: монографія. Київ: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2016. 360 с.

30. Раков С. А. Сучасний урок фізики: інтерактивні технології навчання: науково-методичний посібник. Харків: Основа, 2015. 256 с.

31. Гончаренко С. У. Фундаменталізація змісту освіти як дидактичний принцип. Теорія і практика управління соціальними системами, 2004. № 2. С. 3–12.

32. Триус Ю. В., Герасименко І. В. Комбіноване навчання як інноваційна освітня технологія у вищій школі. Теорія та методика електронного навчання: зб. наук. пр. Вип. III. Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2012. С. 299–308.

33. Глазунова О. Г. Теоретико-методологічні засади проектування та застосування систем електронного навчання у вищій освіті: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.10. Київ, 2015. 548 с.

34. Осадчий В. В., Осадча К. П. Сучасні реалії і перспективи розвитку технологій доповненої реальності в освіті. Інформаційні технології і засоби навчання, 2016. Т. 52, № 2. С. 28–45.
35. Буров О. Ю. Технології розвитку інтелектуального потенціалу учнів в умовах інформатизації суспільства. Інформаційні технології і засоби навчання, 2011. № 1 (21). 18 с.
36. Лапінський В. В. Електронні освітні ресурси: сучасні можливості та перспективи. Комп'ютер у школі та сім'ї, 2011. № 3. С. 3–9.
37. Дементієвська Н. П. Інтерактивні інформаційні технології навчання фізики. Комп'ютер у школі та сім'ї, 2013. № 8. С. 14–18.
38. Жук Ю. О. Теоретико-методологічні проблеми формування інформаційного освітнього простору України. Інформаційні технології і засоби навчання, 2010. № 5 (19). 15 с.
39. Пінчук О. П. Синтез знань і проблемно-орієнтоване навчання у формуванні компетентностей. Інформаційні технології і засоби навчання, 2016. Т. 53, № 3. С. 20–28.
40. Грабовський П. І. Гейміфікація як інноваційний метод навчання у вищій школі. Вісник Національного університету Львівська політехніка, 2018. № 899. С. 25–30.
41. Литвинова С. Г. Використання технології гейміфікації для формування природничо-наукової компетентності. Фізико-математична освіта, 2017. Вип. 3 (13). С. 72–77. URL: <https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>
42. Кухаренко В. М. Системний підхід до змішаного навчання. Інформаційні технології в освіті, 2015. № 24. С. 53–67.
43. Войтович І. С. Гейміфікація освітнього процесу як засіб підвищення мотивації до навчання. Вісник Чернігівського національного педагогічного університету, 2016. Вип. 139. С. 42–46.

44. Шевченко Л. С., Ігнатенко Г. М. Використання ігрових технологій у навчанні фізики. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 2017. Вип. 2. С. 184–189.
45. Співаковський О. В. Інформаційні технології в курсі фізики середньої школи: теорія і практика: монографія. Херсон: Айлант, 2004. 264 с.
46. Тітова Г. В. Педагогічні аспекти використання ігрових технологій у процесі навчання фізики. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету. Серія: Педагогічна, 2016. Вип. 22. С. 140–143.
47. Коберник О. М., Коберник Г. І. Організація самостійної роботи учнів з фізики з використанням інформаційних технологій. Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка, 2019. Вип. 2 (98). С. 34–40.
48. Сальник І. В. Методика використання цифрових освітніх ресурсів при вивченні фізики в школі: навчально-методичний посібник. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2020. 128 с.
49. Величко С. П., Коломієць А. А. Проектна діяльність учнів з фізики засобами ІКТ. Фізико-математична освіта, 2018. Вип. 4 (18). С. 23–28. URL: <https://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>
50. Поліхун Н. І., Сліпухіна І. А., Онопченко Г. В. Сучасні засоби оцінювання результатів навчання: навчально-методичний посібник. Київ: ІТЗН НАПН України, 2019. 96 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А СКРІНШОТИ СТОРІНОК ЦИФРОВОГО РЕСУРСУ PhysicLab



Рис. А.1. Головна сторінка ресурсу PhysicLab (<https://physiclab.in.ua/>)



Рис. А.2. Сторінка Симуляція ідеального теплового двигуна (<https://physiclab.in.ua/carnot-engine/>)

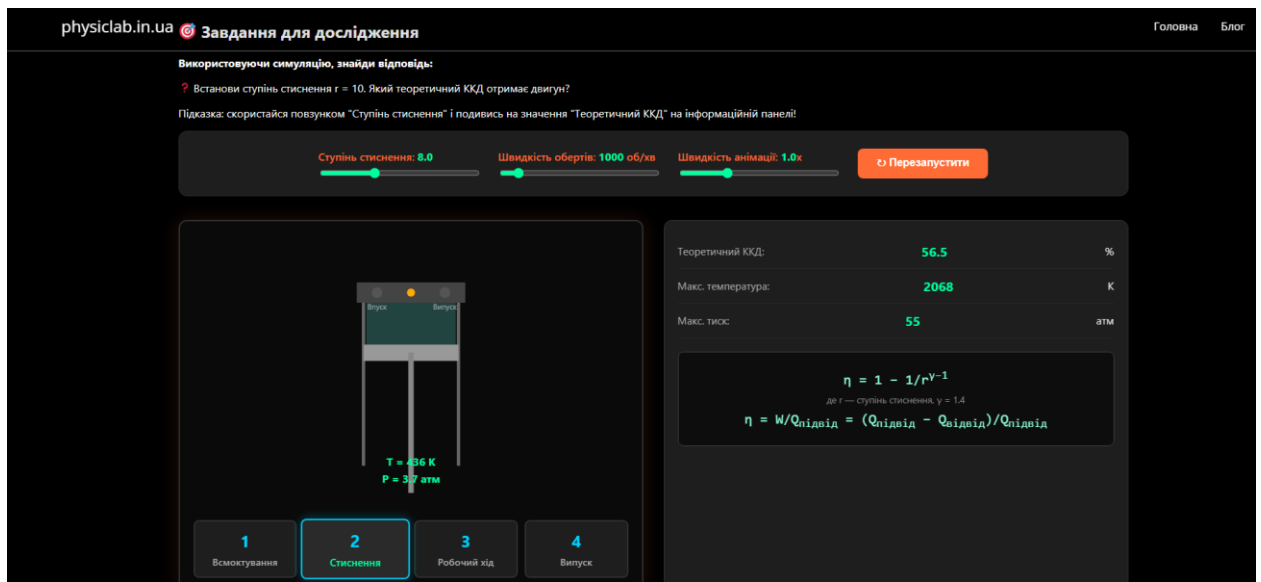


Рис. А.3. Сторінка Цикл Отто (4-тактний двигун)
[\(https://physiclab.in.ua/otto-cycle/\)](https://physiclab.in.ua/otto-cycle/)

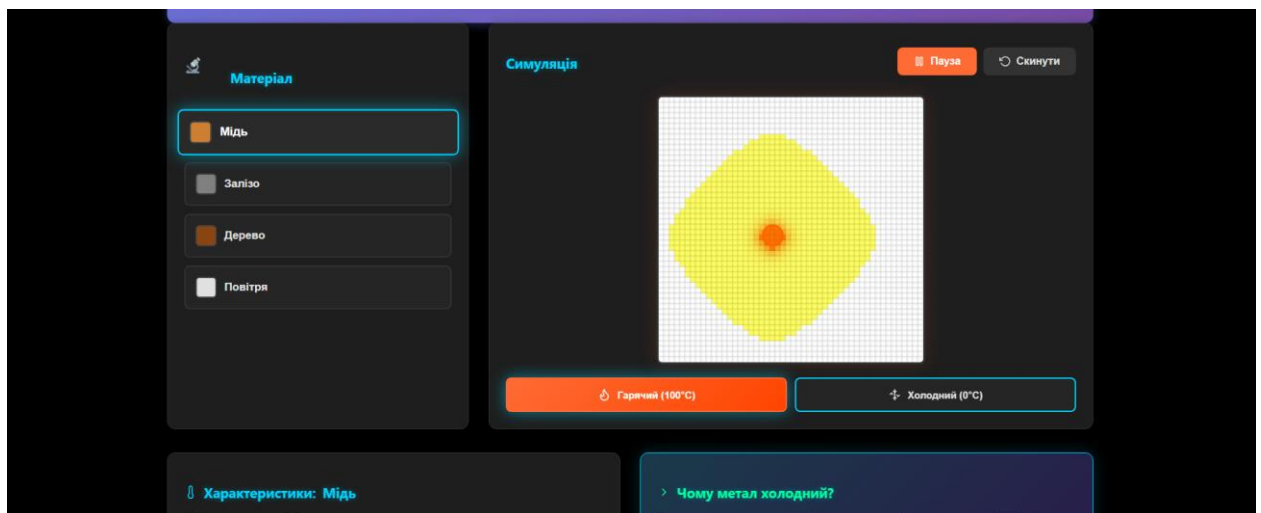


Рис. А.4. Сторінка Теплопровідність матеріалів
[\(https://physiclab.in.ua/thermal-conductivity/\)](https://physiclab.in.ua/thermal-conductivity/)

ДОДАТОК Б КАТАЛОГ ІНТЕРАКТИВНИХ СИМУЛЯЦІЙ

```
/* ===== */
/*      СИМУЛЯЦІЯ ЦИКЛУ КАРНО – ПОВНА ФІЗИКА      */
/* ===== */

// Константи
const R = 8.314; // Дж/(моль·К)
const n = 1; // 1 моль газу
const gamma = 1.4; // Показник адіабати для двоатомного газу

// Стан симуляції
let tHot = 600;
let tCold = 300;
let speed = 1.0;
let phase = 0; // 0-1-2-3 для 4 стадій
let progress = 0; // 0-1 прогрес всередині стадії
let isRunning = true;

// Точки циклу
let V1, V2, V3, V4; // Об'єми в 4 кутових точках
let P1, P2, P3, P4; // Тиски в 4 кутових точках

// Поточні значення
let currentV, currentP, currentT;

// Canvas елементи
let engineCanvas, pvCanvas;
let engineCtx, pvCtx;

// ===== ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ =====
window.addEventListener('DOMContentLoaded', () => {
  // Canvas
  engineCanvas = document.getElementById('engineCanvas');
  pvCanvas = document.getElementById('pvCanvas');

  engineCtx = engineCanvas.getContext('2d');
  pvCtx = pvCanvas.getContext('2d');

  // Встановлюємо правильну ширину для engineCanvas
  engineCanvas.width = engineCanvas.offsetWidth || 700;

  // Елементи керування
  document.getElementById('tHot').addEventListener('input', (e) => {
    tHot = parseFloat(e.target.value);
    document.getElementById('tHotValue').textContent = tHot;
    document.getElementById('t1').textContent = tHot;
    recalculateCycle();
  });
});
```

```

        updateEfficiency();
    });

    document.getElementById('tCold').addEventListener('input', (e) => {
        tCold = parseFloat(e.target.value);
        document.getElementById('tColdValue').textContent = tCold;
        document.getElementById('t2').textContent = tCold;
        recalculateCycle();
        updateEfficiency();
    });

    document.getElementById('speed').addEventListener('input', (e) => {
        speed = parseFloat(e.target.value);
        document.getElementById('speedValue').textContent = speed.toFixed(1);
    });

    document.getElementById('restart').addEventListener('click', () => {
        phase = 0;
        progress = 0;
        recalculateCycle();
    });

    // Ініціалізація
    recalculateCycle();
    updateEfficiency();

    // Анімаційний цикл
    animate();
});

// ===== ПЕРЕРАХУНОК ЦИКЛУ =====
function recalculateCycle() {
    // Вибираємо початковий об'єм V1
    V1 = 0.01; // 10 літрів

    // Точка 1: (V1, tHot)
    P1 = (n * R * tHot) / V1;

    // Вибираємо V2 для ізотермічного розширення (V2 = 2*V1)
    V2 = V1 * 2;
    P2 = (n * R * tHot) / V2;

    // Адіабатичне розширення 2→3 до температури tCold
    //  $T_2 * V_2^{(\gamma-1)} = T_3 * V_3^{(\gamma-1)}$ 
    //  $t_{Hot} * V_2^{(\gamma-1)} = t_{Cold} * V_3^{(\gamma-1)}$ 
    V3 = V2 * Math.pow(tHot / tCold, 1 / (gamma - 1));
    P3 = (n * R * tCold) / V3;

    // Ізотермічне стиснення 3→4 при tCold

```

```

// V4 визначається з умови адіабати 4→1
//  $t_{Cold} * V4^{(\gamma-1)} = t_{Hot} * V1^{(\gamma-1)}$ 
V4 = V1 * Math.pow(tHot / tCold, 1 / (gamma - 1));
P4 = (n * R * tCold) / V4;

// Початкові значення
currentV = V1;
currentP = P1;
currentT = tHot;
}

// ===== АНІМАЦІЯ =====
function animate() {
    if (isRunning) {
        // Оновлення прогресу
        progress += 0.003 * speed;
        if (progress >= 1) {
            progress = 0;
            phase = (phase + 1) % 4;
        }

        // Розрахунок поточної точки
        updateCurrentState();

        // Малювання
        drawEngine();
        drawPVDiagram();

        // Оновлення енергій (один раз за цикл)
        if (phase === 0 && progress < 0.01) {
            updateEnergies();
        }
    }

    requestAnimationFrame(animate);
}

// ===== ОНОВЛЕННЯ ПОТОЧНОГО СТАНУ =====
function updateCurrentState() {
    const t = progress;

    if (phase === 0) {
        // Ізотермічне розширення 1→2 при tHot
        currentV = V1 + (V2 - V1) * t;
        currentP = (n * R * tHot) / currentV;
        currentT = tHot;
    } else if (phase === 1) {
        // Адіабатичне розширення 2→3
    }
}

```

```

        currentV = V2 + (V3 - V2) * t;
        //  $PV^\gamma = \text{const}$ 
        currentP = P2 * Math.pow(V2 / currentV, gamma);
        currentT = (currentP * currentV) / (n * R);

    } else if (phase === 2) {
        // Ізотермічне стиснення 3→4 при tCold
        currentV = V3 + (V4 - V3) * t;
        currentP = (n * R * tCold) / currentV;
        currentT = tCold;

    } else if (phase === 3) {
        // Адіабатичне стиснення 4→1
        currentV = V4 + (V1 - V4) * t;
        currentP = P4 * Math.pow(V4 / currentV, gamma);
        currentT = (currentP * currentV) / (n * R);
    }
}

// ===== МАЛЮВАННЯ ДВИГУНА =====
function drawEngine() {
    const w = engineCanvas.width;
    const h = engineCanvas.height;

    engineCtx.clearRect(0, 0, w, h);

    // Циліндр
    const cylX = w / 2;
    const cylY = h / 2;
    const cylWidth = 120;
    const cylHeight = 200;

    // Поршень (рухається залежно від об'єму)
    const vRange = V3 - V1;
    const pistonY = cylY + cylHeight/2 - ((currentV - V1) / vRange) *
cylHeight * 0.7;

    // Стінки циліндра
    engineCtx.strokeStyle = '#555';
    engineCtx.lineWidth = 4;
    engineCtx.beginPath();
    engineCtx.moveTo(cylX - cylWidth/2, cylY - cylHeight/2);
    engineCtx.lineTo(cylX - cylWidth/2, cylY + cylHeight/2);
    engineCtx.moveTo(cylX + cylWidth/2, cylY - cylHeight/2);
    engineCtx.lineTo(cylX + cylWidth/2, cylY + cylHeight/2);
    engineCtx.stroke();

    // Газ (змінює колір залежно від температури)
    const tempRatio = (currentT - tCold) / (tHot - tCold);

```

```

const gasColor = interpolateColor('#4ecdc4', '#ff6b35', tempRatio);

engineCtx.fillStyle = gasColor + '40';
engineCtx.fillRect(
    cylX - cylWidth/2 + 4,
    pistonY,
    cylWidth - 8,
    cylY + cylHeight/2 - pistonY
);

// Поршень
engineCtx.fillStyle = '#888';
engineCtx.fillRect(cylX - cylWidth/2, pistonY - 8, cylWidth, 16);

// Шток
engineCtx.strokeStyle = '#666';
engineCtx.lineWidth = 6;
engineCtx.beginPath();
engineCtx.moveTo(cylX, pistonY);
engineCtx.lineTo(cylX, cylY - cylHeight/2 - 30);
engineCtx.stroke();

// Індикатор фази
const phaseNames = ['Ізотермічне розширення ( $T_1$ )', 'Адiabатичне
розширення',
                    'Ізотермічне стиснення ( $T_2$ )', 'Адiabатичне
стиснення'];
const phaseColors = ['#ff6b35', '#ffaa00', '#4ecdc4', '#00aaff'];

engineCtx.fillStyle = phaseColors[phase];
engineCtx.font = 'bold 14px Segoe UI';
engineCtx.textAlign = 'center';
engineCtx.fillText(phaseNames[phase], cylX, 30);

// Що відбувається зараз
const phaseDescriptions = [
    'Газ нагрівається і розширюється → отримує  $Q_1$ ',
    'Газ розширюється без теплообміну → охолоджується',
    'Газ віддає тепло  $Q_2$  → стискається',
    'Газ стискається без теплообміну → нагрівається'
];

engineCtx.fillStyle = '#aaa';
engineCtx.font = '12px Segoe UI';
engineCtx.fillText(phaseDescriptions[phase], cylX, 50);

// Температура поточна
engineCtx.fillStyle = '#00ff9d';
engineCtx.font = '16px Segoe UI';

```

```

        engineCtx.fillText(`T = ${currentT.toFixed(0)} K`, cylX, h - 20);
    }

    // ===== P-V ДІАГРАМА =====
    function drawPVDiagram() {
        const w = pvCanvas.width;
        const h = pvCanvas.height;
        const margin = 50;

        pvCtx.clearRect(0, 0, w, h);

        // Оси
        pvCtx.strokeStyle = '#555';
        pvCtx.lineWidth = 2;
        pvCtx.beginPath();
        pvCtx.moveTo(margin, h - margin);
        pvCtx.lineTo(w - 20, h - margin);
        pvCtx.moveTo(margin, h - margin);
        pvCtx.lineTo(margin, 20);
        pvCtx.stroke();

        // Підписи осей
        pvCtx.fillStyle = 'aaa';
        pvCtx.font = 'bold 16px Segoe UI';
        pvCtx.textAlign = 'center';
        pvCtx.fillText('V (об\'єм)', w / 2, h - 10);
        pvCtx.save();
        pvCtx.translate(15, h/2);
        pvCtx.rotate(-Math.PI/2);
        pvCtx.fillText('P (тиск)', 0, 0);
        pvCtx.restore();

        // Масштабування
        const vMin = V1 * 0.9;
        const vMax = V3 * 1.1;
        const pMin = Math.min(P3, P4) * 0.8;
        const pMax = P1 * 1.2;

        const scaleV = (v) => margin + ((v - vMin) / (vMax - vMin)) * (w - margin - 30);
        const scaleP = (p) => h - margin - ((p - pMin) / (pMax - pMin)) * (h - margin - 30);

        // Теоретичний цикл (товста лінія з кольорами по фазам)
        const phaseColors = ['#ff6b35', '#ffaa00', '#4ecdc4', '#00aaff'];

        // Фаза 1: 1→2 ізотерма
        pvCtx.strokeStyle = phaseColors[0];
        pvCtx.lineWidth = 4;

```

```

pvCtx.beginPath();
for (let i = 0; i <= 30; i++) {
    const v = V1 + (V2 - V1) * i / 30;
    const p = (n * R * tHot) / v;
    if (i === 0) pvCtx.moveTo(scaleV(v), scaleP(p));
    else pvCtx.lineTo(scaleV(v), scaleP(p));
}
pvCtx.stroke();

// Фаза 2: 2→3 адиабата
pvCtx.strokeStyle = phaseColors[1];
pvCtx.beginPath();
pvCtx.moveTo(scaleV(V2), scaleP(P2));
for (let i = 1; i <= 30; i++) {
    const v = V2 + (V3 - V2) * i / 30;
    const p = P2 * Math.pow(V2 / v, gamma);
    pvCtx.lineTo(scaleV(v), scaleP(p));
}
pvCtx.stroke();

// Фаза 3: 3→4 изотерма
pvCtx.strokeStyle = phaseColors[2];
pvCtx.beginPath();
pvCtx.moveTo(scaleV(V3), scaleP(P3));
for (let i = 1; i <= 30; i++) {
    const v = V3 + (V4 - V3) * i / 30;
    const p = (n * R * tCold) / v;
    pvCtx.lineTo(scaleV(v), scaleP(p));
}
pvCtx.stroke();

// Фаза 4: 4→1 адиабата
pvCtx.strokeStyle = phaseColors[3];
pvCtx.beginPath();
pvCtx.moveTo(scaleV(V4), scaleP(P4));
for (let i = 1; i <= 30; i++) {
    const v = V4 + (V1 - V4) * i / 30;
    const p = P4 * Math.pow(V4 / v, gamma);
    pvCtx.lineTo(scaleV(v), scaleP(p));
}
pvCtx.stroke();

// Поточна точка (велика зелена куля)
pvCtx.fillStyle = '#00ff9d';
pvCtx.shadowColor = '#00ff9d';
pvCtx.shadowBlur = 20;
pvCtx.beginPath();
pvCtx.arc(scaleV(currentV), scaleP(currentP), 10, 0, Math.PI * 2);
pvCtx.fill();

```

```

pvCtx.shadowBlur = 0;

// Точки 1, 2, 3, 4
pvCtx.fillStyle = '#fff';
pvCtx.font = 'bold 14px Segoe UI';
pvCtx.textAlign = 'center';
[[V1, P1, '1'], [V2, P2, '2'], [V3, P3, '3'], [V4, P4, '4']].forEach(([v,
p, label]) => {
    const x = scaleV(v);
    const y = scaleP(p);

    // Білий кружок
    pvCtx.fillStyle = '#fff';
    pvCtx.beginPath();
    pvCtx.arc(x, y, 6, 0, Math.PI * 2);
    pvCtx.fill();

    // Чорна обводка
    pvCtx.strokeStyle = '#000';
    pvCtx.lineWidth = 2;
    pvCtx.beginPath();
    pvCtx.arc(x, y, 6, 0, Math.PI * 2);
    pvCtx.stroke();

    // Номер точки
    pvCtx.fillStyle = '#00d4ff';
    pvCtx.fillText(label, x, y - 15);
});

// Підпис поточної фази
const phaseNames = ['Ізотермічне розширення', 'Адiabaticне розширення',
                    'Ізотермічне стиснення', 'Адiabaticне стиснення'];
pvCtx.fillStyle = phaseColors[phase];
pvCtx.font = 'bold 16px Segoe UI';
pvCtx.textAlign = 'center';
pvCtx.fillText(phaseNames[phase], w / 2, 25);
}

// ===== ОНОВЛЕННЯ ККД =====
function updateEfficiency() {
    const efficiency = (1 - tCold / tHot) * 100;
    document.getElementById('efficiency').textContent =
efficiency.toFixed(1);
    document.getElementById('maxKpd').textContent = efficiency.toFixed(1);
}

// ===== ОНОВЛЕННЯ ЕНЕРГІЙ =====
function updateEnergies() {
    // Q1 = nRT1 ln(V2/V1) – тепло від нагрівача

```

```

const Q1 = n * R * tHot * Math.log(V2 / V1);

// Q2 = nRT2 ln(V3/V4) – тепло холодильнику (від'ємне, виводимо модуль)
const Q2 = Math.abs(n * R * tCold * Math.log(V3 / V4));

// W = Q1 - Q2 – корисна робота
const W = Q1 - Q2;

document.getElementById('q1').textContent = Q1.toFixed(0);
document.getElementById('q2').textContent = Q2.toFixed(0);
document.getElementById('w').textContent = W.toFixed(0);
}

// ===== ДОПОМІЖНІ ФУНКЦІЇ =====
function interpolateColor(color1, color2, t) {
  const r1 = parseInt(color1.slice(1, 3), 16);
  const g1 = parseInt(color1.slice(3, 5), 16);
  const b1 = parseInt(color1.slice(5, 7), 16);

  const r2 = parseInt(color2.slice(1, 3), 16);
  const g2 = parseInt(color2.slice(3, 5), 16);
  const b2 = parseInt(color2.slice(5, 7), 16);

  const r = Math.round(r1 + (r2 - r1) * t);
  const g = Math.round(g1 + (g2 - g1) * t);
  const b = Math.round(b1 + (b2 - b1) * t);

  return `#${r.toString(16).padStart(2, '0')}${g.toString(16).padStart(2, '0')}${b.toString(16).padStart(2, '0')}`;
}

/* ===== */
/*          СИМУЛЯЦІЯ ЦИКЛУ ОТТО – 4 ТАКТИ          */
/* ===== */

// Константи
const R = 8.314;
const gamma = 1.4;
const T_intake = 300; // Температура всмоктування (К)
const P_atm = 101325; // Атмосферний тиск (Па)

// Стан симуляції
let compressionRatio = 8.0;
let rpm = 1000;
let speed = 1.0;
let stroke = 0; // 0-3 для 4 тактів
let progress = 0; // 0-1 прогрес всередині такту
let isRunning = true;

```

```

// Параметри двигуна
let V_max, V_min; // Максимальний та мінімальний об'єм
let pistonPosition = 0; // 0-1 (0=верх, 1=низ)

// Поточні значення
let currentP, currentV, currentT;

// Стан клапанів
let intakeValveOpen = false;
let exhaustValveOpen = false;

// Canvas елементи
let engineCanvas;
let engineCtx;

// ===== ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ =====
window.addEventListener('DOMContentLoaded', () => {
    engineCanvas = document.getElementById('engineCanvas');

    engineCtx = engineCanvas.getContext('2d');

    // Встановлюємо ширину
    engineCanvas.width = engineCanvas.offsetWidth || 600;

    // Елементи керування
    document.getElementById('compression').addEventListener('input', (e) => {
        compressionRatio = parseFloat(e.target.value);
        document.getElementById('compressionValue').textContent =
compressionRatio.toFixed(1);
        recalculate();
    });

    document.getElementById('rpm').addEventListener('input', (e) => {
        rpm = parseInt(e.target.value);
        document.getElementById('rpmValue').textContent = rpm;
    });

    document.getElementById('speed').addEventListener('input', (e) => {
        speed = parseFloat(e.target.value);
        document.getElementById('speedValue').textContent = speed.toFixed(1);
    });

    document.getElementById('restart').addEventListener('click', () => {
        stroke = 0;
        progress = 0;
        updateStrokeIndicator();
    });
});

```

```

        // Ініціалізація
        recalculate();
        animate();
    });

    // ===== ПЕРЕРАХУНОК =====
    function recalculate() {
        V_max = 0.0005; // 500 см³
        V_min = V_max / compressionRatio;

        // Розрахунок ККД
        const efficiency = (1 - Math.pow(1/compressionRatio, gamma - 1)) * 100;
        document.getElementById('efficiency').textContent =
efficiency.toFixed(1);

        // Максимальна температура (при вибуху)
        const T_max = T_intake * Math.pow(compressionRatio, gamma - 1) * 3; //
~3x від згоряння
        document.getElementById('maxTemp').textContent = Math.round(T_max);

        // Максимальний тиск
        const P_max = P_atm * Math.pow(compressionRatio, gamma) * 3;
        document.getElementById('maxPressure').textContent = (P_max /
101325).toFixed(0);
    }

    // ===== АНІМАЦІЯ =====
    function animate() {
        if (isRunning) {
            // Швидкість залежить від RPM та множника швидкості
            const cycleSpeed = (rpm / 60) * 0.0002 * speed;
            progress += cycleSpeed;

            if (progress >= 1) {
                progress = 0;
                stroke = (stroke + 1) % 4;
                updateStrokeIndicator();
            }

            // Оновлення стану
            updateEngineState();

            // Малювання
            drawEngine();
        }

        requestAnimationFrame(animate);
    }
}

```

```
// ===== ОНОВЛЕННЯ СТАНУ =====
function updateEngineState() {
    const t = progress;

    if (stroke === 0) {
        // Такт 1: Всмоктування (поршень вниз, впускний клапан відкритий)
        pistonPosition = t;
        currentV = V_min + (V_max - V_min) * t;
        currentP = P_atm * 0.9; // Трохи нижче атмосферного
        currentT = T_intake;
        intakeValveOpen = true;
        exhaustValveOpen = false;

    } else if (stroke === 1) {
        // Такт 2: Стиснення (поршень вгору, обидва клапани закриті)
        pistonPosition = 1 - t;
        currentV = V_max - (V_max - V_min) * t;
        // Адіабатичне стиснення
        currentP = P_atm * Math.pow(V_max / currentV, gamma);
        currentT = T_intake * Math.pow(V_max / currentV, gamma - 1);
        intakeValveOpen = false;
        exhaustValveOpen = false;

    } else if (stroke === 2) {
        // Такт 3: Робочий хід (вибух + розширення, обидва клапани закриті)
        pistonPosition = t;
        currentV = V_min + (V_max - V_min) * t;

        // Миттєвий вибух на початку
        const T_max = T_intake * Math.pow(compressionRatio, gamma - 1) * 3;
        const P_max = P_atm * Math.pow(compressionRatio, gamma) * 3;

        // Адіабатичне розширення від максимуму
        currentP = P_max * Math.pow(V_min / currentV, gamma);
        currentT = T_max * Math.pow(V_min / currentV, gamma - 1);
        intakeValveOpen = false;
        exhaustValveOpen = false;

    } else if (stroke === 3) {
        // Такт 4: Випуск (поршень вгору, випускний клапан відкритий)
        pistonPosition = 1 - t;
        currentV = V_max - (V_max - V_min) * t;
        currentP = P_atm * 1.2; // Трохи вище атмосферного
        currentT = T_intake * 2.5; // Гарячі вихлопні гази
        intakeValveOpen = false;
        exhaustValveOpen = true;
    }
}
}
```

```
// ===== МАЛЮВАННЯ ДВИГУНА =====
function drawEngine() {
    const w = engineCanvas.width;
    const h = engineCanvas.height;

    engineCtx.clearRect(0, 0, w, h);

    const cylX = w / 2;
    const cylY = h / 2 + 20;
    const cylWidth = 140;
    const cylHeight = 240;

    // Позиція поршня
    const pistonY = cylY - cylHeight/2 + cylHeight * pistonPosition;

    // Газ всередині (колір залежить від температури)
    const tempRatio = Math.min((currentT - T_intake) / (2500 - T_intake), 1);
    const gasColor = interpolateColor('#4ecdc4', '#ff6b35', tempRatio);

    engineCtx.fillStyle = gasColor + '50';
    engineCtx.fillRect(
        cylX - cylWidth/2 + 4,
        cylY - cylHeight/2,
        cylWidth - 8,
        pistonY - (cylY - cylHeight/2)
    );

    // Стінки циліндра
    engineCtx.strokeStyle = '#666';
    engineCtx.lineWidth = 5;
    engineCtx.beginPath();
    engineCtx.moveTo(cylX - cylWidth/2, cylY - cylHeight/2);
    engineCtx.lineTo(cylX - cylWidth/2, cylY + cylHeight/2);
    engineCtx.moveTo(cylX + cylWidth/2, cylY - cylHeight/2);
    engineCtx.lineTo(cylX + cylWidth/2, cylY + cylHeight/2);
    engineCtx.stroke();

    // Головка циліндра
    engineCtx.fillStyle = '#444';
    engineCtx.fillRect(cylX - cylWidth/2 - 10, cylY - cylHeight/2 - 30,
        cylWidth + 20, 30);

    // Поршень
    engineCtx.fillStyle = '#999';
    engineCtx.fillRect(cylX - cylWidth/2, pistonY - 12, cylWidth, 24);

    // Шток поршня
    engineCtx.strokeStyle = '#888';
    engineCtx.lineWidth = 8;

```

```

engineCtx.beginPath();
engineCtx.moveTo(cylX, pistonY);
engineCtx.lineTo(cylX, cylY + cylHeight/2 + 40);
engineCtx.stroke();

// Впускний клапан (ліворуч)
drawValve(cylX - 50, cylY - cylHeight/2 - 15, intakeValveOpen, '#4ecdc4',
'Впуск');

// Випускний клапан (праворуч)
drawValve(cylX + 50, cylY - cylHeight/2 - 15, exhaustValveOpen,
'ff6b35', 'Випуск');

// Свічка запалювання
engineCtx.fillStyle = 'ffaa00';
engineCtx.beginPath();
engineCtx.arc(cylX, cylY - cylHeight/2 - 15, 6, 0, Math.PI * 2);
engineCtx.fill();

// Іскра при вибуху
if (stroke === 2 && progress < 0.1) {
    engineCtx.strokeStyle = 'ffff00';
    engineCtx.lineWidth = 3;
    for (let i = 0; i < 5; i++) {
        const angle = (Math.PI * 2 * i) / 5;
        const len = 20 + Math.random() * 10;
        engineCtx.beginPath();
        engineCtx.moveTo(cylX, cylY - cylHeight/2 - 15);
        engineCtx.lineTo(
            cylX + Math.cos(angle) * len,
            cylY - cylHeight/2 - 15 + Math.sin(angle) * len
        );
        engineCtx.stroke();
    }
}

// Температура та тиск
engineCtx.fillStyle = '#00ff9d';
engineCtx.font = 'bold 16px Segoe UI';
engineCtx.textAlign = 'center';
engineCtx.fillText(`T = ${Math.round(currentT)} K`, cylX, h - 60);
engineCtx.fillText(`P = ${(currentP / P_atm).toFixed(1)} атм`, cylX, h -
35);
}

function drawValve(x, y, isOpen, color, label) {
    // Клапан
    engineCtx.fillStyle = isOpen ? color : '#555';
    engineCtx.beginPath();

```

```

    if (isOpen) {
        engineCtx.arc(x, y - 8, 8, 0, Math.PI * 2);
    } else {
        engineCtx.arc(x, y, 8, 0, Math.PI * 2);
    }
    engineCtx.fill();

    // Шток клапана
    engineCtx.strokeStyle = isOpen ? color : '#555';
    engineCtx.lineWidth = 3;
    engineCtx.beginPath();
    engineCtx.moveTo(x, y);
    engineCtx.lineTo(x, y - (isOpen ? 15 : 5));
    engineCtx.stroke();

    // Підпис
    engineCtx.fillStyle = '#aaa';
    engineCtx.font = '11px Segoe UI';
    engineCtx.textAlign = 'center';
    engineCtx.fillText(label, x, y + 25);
}

// ===== ІНДИКАТОР ТАКТИВ =====
function updateStrokeIndicator() {
    for (let i = 0; i < 4; i++) {
        const el = document.getElementById(`stroke${i + 1}`);
        if (i === stroke) {
            el.classList.add('active');
        } else {
            el.classList.remove('active');
        }
    }
}

// ===== ДОПОМІЖНІ =====
function interpolateColor(color1, color2, t) {
    const r1 = parseInt(color1.slice(1, 3), 16);
    const g1 = parseInt(color1.slice(3, 5), 16);
    const b1 = parseInt(color1.slice(5, 7), 16);

    const r2 = parseInt(color2.slice(1, 3), 16);
    const g2 = parseInt(color2.slice(3, 5), 16);
    const b2 = parseInt(color2.slice(5, 7), 16);

    const r = Math.round(r1 + (r2 - r1) * t);
    const g = Math.round(g1 + (g2 - g1) * t);
    const b = Math.round(b1 + (b2 - b1) * t);

```

```
        return `#${r.toString(16).padStart(2, '0')}${g.toString(16).padStart(2,
'0')}${b.toString(16).padStart(2, '0')}`;
    }
```