МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра загальної та прикладної фізики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: **«РОЗВИТОК В УЧНІВ УМІННЯ ЗАСТОСОВУВАТИ МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПІД ЧАС РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ»**

Виконала студентка: 2 курсу, групи 8.0144-ф.з
спеціальності 014 Середня освіта
(шифр і назва спеціальності)
предметної спеціальності 014.08 Середня освіта (Фізика і астрономія)
освітньої програми Середня освіта (Фізика і астрономія)
Я. В. Кукулевська
(ініціали та прізвище)

Керівник завідувач кафедри загальної та прикладної фізики, професор, доктор педагогічних наук Андрєєв А. М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент вчитель фізики та астрономії Запорізького ліцею «ОРТ-Алєф» Запорізької міської ради, кандидат педагогічних наук, доцент Філіпенко І. І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Математичний

Кафедра загальної та прикладної фізики

Рівень вищої освіти Магістр

Спеціальність 014 Середня освіта

Освітня програма Середня освіта (Фізика і астрономія)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
загальної та прикладної фізики,
професор, доктор пед. н.
_____ **Андрєєв А. М.**
(підпис)

« ____ » _____ 2025р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кукулевській Яні Володимирівні
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Розвиток в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії

керівник роботи Андрєєв Андрій Миколайович, д. пед. наук, професор
(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 28 » лютого 2025 року № 327-С

2. Строк подання студентом роботи 17.11.2025

3. Вихідні дані до роботи 1. Постановка задачі.
2. Перелік літератури.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Основні теоретичні відомості;
2. Матеріали та методи дослідження;
3. Результати та їх обговорення;
4. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 03.03.2025

К А Л Е Н Д А Р Н И Й П Л А Н

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка плану роботи	10.03.2025	
2.	Збір вихідних даних	01.05.2025	
3.	Обробка методичних та теоретичних	02.06.2025	
	джерел		
4.	Розробка першого та другого розділу	01.07.2025	
5.	Розробка третього розділу	01.09.2025	
6.	Оформлення та нормоконтроль	17.11.2025	
	кваліфікаційної роботи		
7.	Захист кваліфікаційної роботи	10.12.2025	

Студент _____ Я. В. Кукулевська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ А. М. Андрєєв
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ А. М. Андрєєв
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра «Розвиток в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії»: 52 с., 15 рис., 6 табл., 47 джерел.

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, РОЗВ’ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ, ПРОБЛЕМА ЗАСТОСУВАННЯ, МІЖПРЕДМЕТНІ ЗВ'ЯЗКИ, ТИПОВІ ПОМИЛКИ, СТАНДАРТНИЙ ВИГЛЯД ЧИСЕЛ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМУЛ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ.

Об’єкт дослідження: освітній процес з фізики у закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження: методичні засади формування в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії.

Метою роботи є розроблення методичних засад формування в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії.

Методи дослідження: аналітичний, емпіричний, експериментальний.

У роботі пропонується методики формування в учнів вміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні, розробленні та експериментальному підтвердженні ефективності методичних засад цілеспрямованого формування в учнів уміння застосовувати математичні методи на всіх етапах розв’язування задач з фізики та астрономії.

Практичне значення дослідження визначається тим, що розроблені методичні засади та рекомендації щодо використання стандартного вигляду чисел та перетворення формул можуть бути використані в освітньому процесі з фізики та астрономії вчителями для підвищення якості знань учнів.

SUMMARY

Master's thesis «Development of Students' Ability to apply Mathematical Methods when Solving Problems in Physics and Astronomy»: 52 pages, 15 figures, 6 tables, 47 references.

MATHEMATICAL METHODS, PROBLEM SOLVING, APPLICATION PROBLEM, INTERDISCIPLINARY CONNECTIONS, TYPICAL ERRORS, SCIENTIFIC NOTATION (STANDARD FORM OF NUMBERS), FORMULA TRANSFORMATION, VISUALIZATION.

The object of research: the educational process in physics in general secondary education institutions.

The subject of the study: methodological principles of forming students' ability to apply mathematical methods when solving problems in physics and astronomy.

The goal of the work is the development of methodological principles for forming students' ability to apply mathematical methods when solving problems in physics and astronomy.

Research methods: analytical, empirical, experimental.

The work proposes methods for forming students' ability to apply mathematical methods when solving problems in physics and astronomy.

The scientific novelty of the obtained results lies in the theoretical substantiation, development, and experimental confirmation of the effectiveness of the methodological principles for the purposeful formation of students' ability to apply mathematical methods at all stages of solving problems in physics and astronomy.

The practical significance of the research is determined by the fact that the developed methodological principles and recommendations on the use of scientific notation (standard form of numbers) and formula transformation can be used in the educational process in physics and astronomy by teachers to improve the quality of students' knowledge.

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу…….2

Реферат……..4

Summary……5

Вступ……..7

1 Сучасні підходи до формування вміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії…….....9

1.1 Вміння застосовувати математичні методи до розв'язування задач як важлива складова освітнього процесу вивчення фізики та астрономії…….9

1.2 Проблеми формування вміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії……...……...13

2 Методичні підходи до формування вміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії ….....18

2.1 Методика використання стандартного вигляду числа при вивченні фізики та астрономії ……..18

2.2 Формування математичних навичок перетворення формул та виведення невідомих величин під час розв'язування задач з фізики та астрономії……..…….....25

3 Експериментальна перевірка результатів дослідження……33

3.1 Особливості проведення педагогічного експерименту……33

3.2 Аналіз результатів педагогічного експерименту……...39

Висновки……..46

Список використаних джерел……48

ВСТУП

Одним з важливих завдань вивчення фізики та астрономії є набуття учнями інтегративної природничо-математичної компетентності, що передбачає вміння генерувати нові ідеї, аналізувати фізичні явища та ухвалювати оптимальні рішення шляхом застосування математичних методів. Це завдання відображене у Державному стандарті базової і повної середньої освіти. В освітньому процесі з фізики та астрономії розв'язування задач є ключовим інструментом формування такого вміння, оскільки вимагає переведення фізичної ситуації у математичну модель, її розв'язання та інтерпретації кількісного результату. Проте, аналіз освітньої практики виявив проблему, пов'язану з низьким рівнем сформованості цих інтегративних умінь. Зокрема, учні часто відчувають значні труднощі на етапах перетворення формул, роботи з числовими даними (особливо стандартним виглядом чисел) та аналізу розмірності результатів. Отже, постає проблема розроблення та впровадження ефективних методичних засад, спрямованих на цілеспрямований розвиток в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач.

Об'єкт дослідження: освітній процес з фізики у закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження: методичні засади формування в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії.

Метою роботи є розроблення методичних засад формування в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі завдання:

1. Виокремити основні проблеми та типові помилки, що виникають в учнів під час застосування математичних методів на етапах розв'язування задач з фізики та астрономії.

2. Розробити методичні засади формування в учнів навичок використання ключових математичних прийомів, включаючи методику використання стандартного вигляду чисел та навички перетворення формул.

3. Експериментально дослідити ефективність запропонованих методичних засад для підвищення рівня сформованості вміння застосовувати математичні методи у закладах загальної середньої освіти.

Методи дослідження: аналітичний, емпіричний, експериментальний.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні, розробленні та експериментальному підтвердженні ефективності методичних засад цілеспрямованого формування в учнів уміння застосовувати математичні методи на всіх етапах розв'язування задач з фізики та астрономії.

Практичне значення дослідження визначається тим, що розроблені методичні засади та рекомендації щодо використання стандартного вигляду чисел та перетворення формул можуть бути використані в освітньому процесі з фізики та астрономії вчителями для підвищення якості знань учнів.

Результати дослідження були апробовані на університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука – 2025» 14-18 квітня [46], а також на науково-методичному семінарі кафедри загальної та прикладної фізики ЗНУ (протокол №5 від 24. 11. 2025 р.).

Кваліфікаційна робота магістра містить: вступ, три розділи, висновки, перелік посилань (47 джерел), 15 рисунків, 6 таблиць.

1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОВЕДЕННЯ УЧНІВСЬКИХ КОНКУРСІВ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОГО СПРЯМУВАННЯ

1.1 Вміння застосовувати математичні методи до розв'язування задач як важлива складова освітнього процесу вивчення фізики та астрономії

Внаслідок довготривалих карантинних обмежень через COVID-19 та воєнного стану, більша частина закладів освіти була змушена перейти на дистанційну та змішану форми навчання. Згідно з дослідженням Українського центру оцінювання якості освіти, освітня система України постраждала серйозніше, ніж освітні системи більшості інших країн [1]. Найбільш суттєві освітні втрати властиві математичним та природничим наукам.

Успішне вивчення природничо-математичних дисциплін, зокрема фізики та астрономії, нерозривно пов'язане з математичним апаратом. Це зумовлює необхідність чіткого визначення ключових понять, що становлять основу даного дослідження.

Фізика та астрономія – науки, в яких світ описується за допомогою математичних моделей. Це дозволяє нам:

- аналізувати дані: результати експериментів часто подаються у вигляді числових даних, таблиць чи графіків. Математичні методи дають змогу систематизувати та проаналізувати їх;
- описувати явища та процеси: за допомогою математичних формули та рівняння описують багато фізичних та астрономічних процесів;
- розв'язувати задачі: багато задач з фізики та астрономії потребують не тільки застосування математичних формул, а й вміння працювати з ними, робити необхідні перетворення та обчислення;
- прогнозувати результати: за допомогою математичних методів можна спрогнозувати результати експериментів, особливо таких, які з різних причин не можливо відтворити в реальних чи лабораторних умовах.

Ефективне оволодіння знаннями з фізики та астрономії потребує вміння застосовувати їх на практиці, бачити фізичні процеси в реальному житті та вміти розв’язувати різні види фізичних задач. Відповідно зниження рівня математичних знань учнів впливає на рівень вмінь розв’язувати фізичні та астрономічні задачі.

Фізична (або астрономічна) задача – це навчальна проблема, яка вимагає від учня встановлення кількісних і/або якісних закономірностей, що описують реальні фізичні явища, процеси або об’єкти (включно з небесними тілами та Всесвітом), шляхом аналізу умов та застосування відповідних фізичних законів і математичних методів [2].

Кожна фізична чи астрономічна задача є відображенням певного явища (або сукупності явищ), в якому невідомі й підлягають визначенню деякі зв’язки між фізичними величинами або якісь з цих величин.

У фізиці навіть для схожих задач не існує єдиного алгоритму розв’язування. Кожна задача потребує індивідуального підходу. Проте існують певні правила організації самого процесу розв’язування та оформлення розв’язку, які допомагають у роботі над задачами будь-якого розділу.

Розв’язання будь-якої задачі можна поділити на наступні етапи:

- вивчення умови задачі;
- розв’язування в загальному вигляді;
- аналіз вірогідності розв’язку;
- отримання кінцевої відповіді [3].

Математичний метод у контексті вивчення фізики та астрономії визначається як сукупність математичних прийомів, операцій та алгоритмів, що застосовуються для:

1. Формалізації (переведення фізичної ситуації у математичну модель, виражену рівняннями, функціями, графіками).
2. Розв’язання отриманої математичної моделі.
3. Аналізу та інтерпретації отриманого кількісного результату.

Вміння застосовувати математичні методи є інтегративною компетентністю, що включає знання математичних засобів, навички їх використання та здатність адекватно інтерпретувати математичний результат з погляду фізичного змісту. Це вміння формується на основі міжпредметних зв'язків – дидактичної категорії, яка віддзеркалює взаємодію елементів змісту, методів та форм організації навчання різних навчальних предметів (зокрема, фізики, астрономії та математики) [4].

Математика у викладанні фізики та астрономії виконує критично важливу триєдину функцію:

1. Мова опису. Вона слугує універсальною мовою для точного, лаконічного та однозначного формулювання фізичних законів і принципів. Усі кількісні закономірності (від законів Ньютона до рівнянь електромагнітного поля) виражаються математично [2].

2. Інструмент пізнання. Завдяки математичному апарату стає можливим не лише описати відомі явища, але й прогнозувати нові. Математичні перетворення та аналіз моделей дозволяють виявити приховані зв'язки та закономірності (наприклад, передбачення існування деяких елементарних частинок або гравітаційних хвиль).

3. Метод розв'язування. Математика надає алгоритми для кількісного розрахунку конкретних ситуацій, заданих фізичними умовами.

У сучасній освіті акцент робиться на компетентнісному підході, де вміння застосовувати математичні методи розглядається як ключова складова природничо-наукової компетентності [5].

Процес розв'язування фізичної (або астрономічної) задачі є не просто арифметичною операцією, а комплексною діяльністю, що вимагає послідовного застосування як фізичних, так і математичних знань. Загалом, структура розв'язування задачі поділяється на такі основні етапи [6]:

1. Фізичний (або якісний) аналіз та моделювання:

- аналіз умови, виявлення фізичного явища чи об'єкта;
- побудова фізичної моделі (ідеалізація об'єкта, нехтування несуттєвими

факторами, виконання схематичного малюнка, векторної діаграми);

• запис фізичних законів і принципів, які описують дану модель.

2. Математична формалізація та розв’язання:

• складання математичної моделі – переведення записаних фізичних законів у систему рівнянь або функціональних залежностей;

• вибір найбільш раціонального математичного методу для розв’язання цієї системи (алгебраїчні перетворення, диференціювання, інтегрування, графічний метод);

• чисельний розрахунок та визначення результату.

3. Аналіз та інтерпретація результату:

• фізична перевірка – аналіз розмірності (одиниць вимірювання) отриманого результату;

• рефлексія – оцінка правдоподібності та відповідності результату фізичному змісту задачі (наприклад, чи не перевищує швидкість швидкості світла).

З наведеної структури очевидно, що етап математичної формалізації та розв’язання є критичним моментом, який вимагає від учня не лише механічного володіння математичними навичками, але й глибокого розуміння фізичного змісту математичних операцій [7]. Це вміння є основою для подальшого успішного навчання у природничих і технічних галузях.

Чинні навчальні програми з фізики та астрономії, розроблені відповідно до Закону України «Про освіту» [5], чітко орієнтують педагогів на розвиток в учнів здатності до застосування знань на практиці, що є суттю компетентнісного підходу. Програми вимагають від учнів:

• вміння розв’язувати розрахункові та якісні задачі різного рівня складності;

• здійснювати математичні обчислення, використовуючи формули, функції, графіки, а також виконувати необхідні алгебраїчні перетворення;

• використовувати методи математичної статистики для обробки результатів експерименту.

Отже, формування вміння застосовувати математичні методи є прямою вимогою освітнього стандарту та ключовою дидактичною задачею у процесі викладання фізики та астрономії.

1.2 Проблеми формування вміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії

Формування в учнів вміння застосовувати математичні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач є ключовою дидактичною метою, однак цей процес супроводжується низкою суттєвих проблем, які знижують ефективність навчальної діяльності та засвоєння природничих наук. Ці проблеми лежать як у площині змісту освіти та організації навчання, так і в особливостях мислення самих учнів.

Часто учні сприймають фізику та математику як окремі дисципліни. Вони можуть добре виконувати математичні операції, але не вміють розпізнавати фізичний зміст рівнянь і, навпаки, знати фізичний закон, але не вміти формалізувати його в математичну модель. Це свідчить про низький рівень сформованості інтегративної природничо-математичної компетентності [8].

У фізичних задачах перехід від якісного аналізу до кількісного розрахунку є фундаментальним етапом. Він дозволяє перейти від загального розуміння фізичного процесу до точного математичного опису, що робить можливим прогнозування результатів і точне розв'язання задачі [9]. Основні етапи переходу:

1. Якісний аналіз. На цьому етапі вивчається сама фізична ситуація. Визначаються всі тіла, що беруть участь у процесі, їх властивості, початкових умов (наприклад, початкова швидкість, положення) та кінцевих станів. Встановлюються, які фізичні закони та принципи керують процесом (наприклад, закон збереження енергії, другий закон Ньютона, закони Кеплера). Відбувається спрощення реальної ситуації до ідеалізованої моделі, з якою можна працювати математично (наприклад, розгляд тіла як матеріальної точки, ігнорування опору

повітря).

2. Кількісний розрахунок. На цьому етапі якісні ідеї перетворюються на математичні вирази. Вводяться літерні позначення для всіх фізичних величин (швидкість, маса, сила, час тощо), складання та запис математичних рівнянь, що відображають фізичні закони, виявлені на етапі якісного аналізу. Розв'язання отриманої системи рівнянь, підстановка числових значень та отримання чисельної відповіді.

Застосування переходу від якісного аналізу до кількісного розрахунку дає змогу:

1. Перевіряти гіпотези: кількісні розрахунки дозволяють підтвердити або спростувати якісні гіпотези за допомогою вимірювань і експериментів.

2. Точні розрахунки дозволяють робити надійні прогнози щодо поведінки фізичних систем, що є основою сучасної науки та інженерії.

3. Розвивати фізичне мислення. Спочатку учень вчиться міркувати про фізичний процес (якісний аналіз), а потім перетворювати ці міркування на математичну модель (кількісний розрахунок), що є ключовим у розвитку наукового підходу.

На цьому етапі виділяють декілька проблем, що неминуче призводить до помилок у математичній моделі:

1. Помилковий вибір закону. Учень вибирає формулу, що описує інший фізичний процес, або ігнорує умови застосування закону (наприклад, застосування законів Ньютона в неінерціальній СВ) [7].

2. Невміння ідеалізувати. Нездатність відкинути несуттєві деталі для побудови простої моделі (наприклад, малювання реального об'єкта замість матеріальної точки) або неправильне зображення векторів сил [10].

3. Проблеми з одиницями СІ. Нездатність перевести всі величини в систему СІ на початку розв'язку, що ускладнює подальший математичний розрахунок і перевірку розмірності [2].

На етапі математичної формалізації та розв'язання виникають проблеми, що безпосередньо стосуються недоліків у математичній підготовці учнів та

вміння працювати з рівняннями:

1. Неправильна формалізація. Помилки при складанні системи рівнянь: неправильне проєктування векторів, помилки у знаках або індексуванні змінних [6].

2. Математичні помилки. Елементарні арифметичні, алгебраїчні або тригонометричні помилки при розв'язуванні рівнянь (наприклад, неправильне розкриття дужок, помилки з логарифмами, квадратними коренями) [11].

3. Нераціональний вибір методу. Використання складних математичних перетворень замість більш простих (наприклад, чисельне обчислення проміжних значень замість розв'язання в загальному вигляді) [12].

На етапі аналізу та інтерпретації результатів виникають проблеми, що свідчать про відсутність фізичного розуміння:

1. Ігнорування розмірності. Учень не перевіряє кінцевий результат за одиницями вимірювання (наприклад, швидкість вийшла у [кг]), що є найпростішою формою самоконтролю [7].

2. Відсутність фізичної рефлексії. Нездатність оцінити правдоподібність результату (наприклад, швидкість космічного корабля перевищує швидкість світла) [6].

3. Невміння інтерпретувати графіки. Учень не може перекласти математичний графік (наприклад, залежність $S = vt$ на мову фізичних процесів (наприклад, рівноприскорений рух, стан спокою) [4].

Педагогічні дослідження вказують на низку психологічних факторів, що ускладнюють формування цього вміння застосовувати математичні методи [13]:

1. формалізм знань: значна частина учнів має схильність до механічного запам'ятовування формул і алгоритмів розв'язування типових задач без розуміння фізичного змісту математичних операцій;

2. відсутність навичок моделювання: нездатність абстрагуватися від несуттєвих факторів і побудувати ідеальну фізичну модель (наприклад, матеріальна точка, нехтування опором);

3. страх перед обчисленнями: невпевненість у власних математичних навичках, особливо при роботі з дробами, ступенями, графіками чи системами рівнянь;

4. виникають труднощі під час інтерпретації отриманого числового результату з погляду фізичної реальності (наприклад, нездатність оцінити правдоподібність результату);

5. розрив між предметними знаннями (фізикою та математикою), коли знання існують ізольовано і не інтегруються у єдину компетентність [5].

Також, розв'язування задач вимагає комплексного аналізу (вміння виділяти суттєве і відкидати другорядне, будувати причинно-наслідкові зв'язки), що є складним для значної частини школярів. Проблема поглиблюється:

1. слабкою візуалізацією фізичних процесів, що ускладнює побудову адекватної фізичної моделі та перехід до схематичного малюнка чи діаграми [4];

2. несформованістю навичок самоконтролю та рефлексії на етапі аналізу результату, що призводить до ігнорування помилок у розрахунках або неправдоподібних відповідей [7].

Незважаючи на те, що міжпредметні зв'язки є дидактичною вимогою, на практиці вони часто залишаються нереалізованими. Це проявляється у:

1. незлагодженості програм з математики та фізики, коли необхідний математичний апарат (наприклад, елементи диференціального числення або робота з логарифмами) вивчається після того, як він уже потрібен для розв'язування фізичних задач;

2. використанні математичних понять у фізиці без належного повторення та актуалізації їхнього змісту. Внаслідок цього, математика виступає не як інструмент, а як бар'єр для вивчення фізики [4].

Недосконаліть в системі оцінювання (наприклад, використання тестових контрольних та самостійних робіт) часто орієнтована лише на числовий результат, а не на процес розв'язування. Це демотивує учнів до детального фізичного аналізу та ретельного математичного обґрунтування, оскільки основна увага зміщується на швидке отримання правильної відповіді.

Отже, подолання цих проблем вимагає розробки та впровадження інтегрованої методики навчання, яка б забезпечувала тісний зв’язок між фізикою та математикою, фокусуючись на змістовному, а не формальному засвоєнні знань та розвитку аналітичних навичок.

2 МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ВМІННЯ ЗАСТОСОВУВАТИ МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПІД ЧАС РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ

2.1 Методика використання стандартного вигляду числа чисел при вивченні фізики та астрономії

Використання стандартного вигляду чисел займає важливе місце у вивченні фізики та астрономії, оскільки ці науки оперують надзвичайно великими (наприклад, астрономічні відстані, маса зірок) та надзвичайно малими (наприклад, розмір атома, маса електрона) величинами. Ефективне засвоєння цієї методики учнями чи студентами вимагає системного та послідовного підходу, інтегрованого у відповідні розділи навчальних дисциплін [12, 14].

Методика вивчення стандартного вигляду чисел повинна включати кілька ключових етапів, спрямованих на формування як обчислювальних навичок, так і розуміння фізичного сенсу.

На початковому етапі знайомства з фізичними величинами, доцільно розпочати з прикладів реальних фізичних та астрономічних даних (швидкість світла, маса електрону та протону, сила тяжіння тощо). Для демонстрації можна використати таблиці з значеннями деяких фізичних величин, запропонувати учням порахувати кількість розрядів та назвати ці числа. Обов'язково поруч вказати стандартний вигляд числа. Це дасть змогу продемонструвати непрактичність і громіздкість повного запису та створить мотивацію до вивчення компактнішого і зручнішого стандартного вигляду (табл. 2.1) [15].

На цьому етапі, також, потрібно формально ввести поняття стандартного вигляду числа $a \cdot 10^n$, де $1 \leq |a| < 10$, n – ціле число. Провести роз'яснення правил перетворення звичайного числа до стандартного вигляду і навпаки.

Таблиця 2.1 – Значення деяких фізичних сталих

Фізична стала	Значення	Значення в стандартному вигляді
Швидкість світла у вакуумі	299792458 м/с	$3 \cdot 10^8$ м/с
Заряд електрона	0,000000000000000000001602176634 Кл	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Гравітаційна стала	0,0000000000667430 $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$	$6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Число Авогадро	602214076000000000000000 моль^{-1}	$6{,}023 \cdot 10^{23}$ моль^{-1}
Маса електрона	0,000000000000000000000000000009109383 7 кг	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Маса протона	0,000000000000000000000000000016726219 кг	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг
Стала Больцмана	0,000000000000000000000001380649 $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Світловий рік	9460730472580800 м	$9{,}46 \cdot 10^{15}$ м
Астрономічна одиниця	149597870700 м	$1{,}5 \cdot 10^{11}$ м

На етапі формування навичок перетворення та порівняння, варто розглянути приклади переведення чисел в стандартний вигляд (як великих, так і малих) і навпаки. Особлива увага приділяється правильному визначенню показника степеня n. Для цього можна використати різні інтерактивні сервіси, наприклад, Wordwall (рис. 2.1) [16], Learning.Apps (рис. 2.2) [17] та інші.



Рисунок 2.1 – Фрагмент інтерактивної вправи «Стандартний вигляд числа»

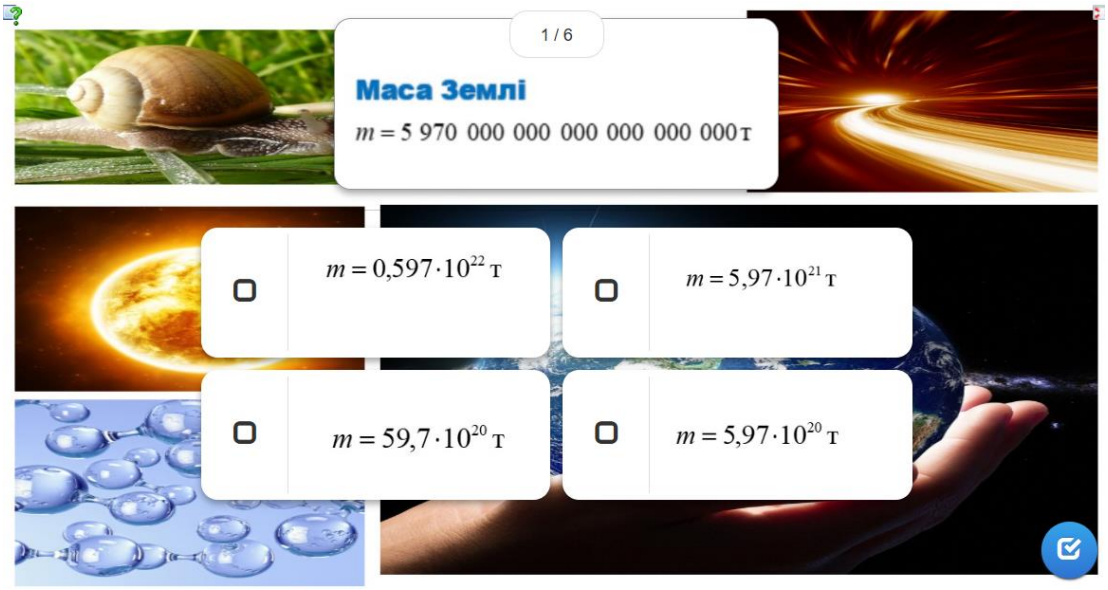


Рисунок 2.2 – Фрагмент інтерактивної вправи «Стандартний вигляд числа»

Використання показника степеня n для швидкого порівняння порядків величин (наприклад, порівняння діаметрів планет або мас елементарних частинок). Для ефективного порівняння потрібно наочно показати, як величина показника степеня впливає на значення величини. Для цього доцільно скористатися ресурсом «Scale of the Universe» (Масштаб Всесвіту) [18]. «Scale of the Universe» (Масштаб Всесвіту) – це високоінформативний візуально-інтерактивний освітній інструмент, який слугує потужним засобом для

демонстрації та порівняння показників степеня (порядків величин) об’єктів у фізичному світі (рис. 2.3).

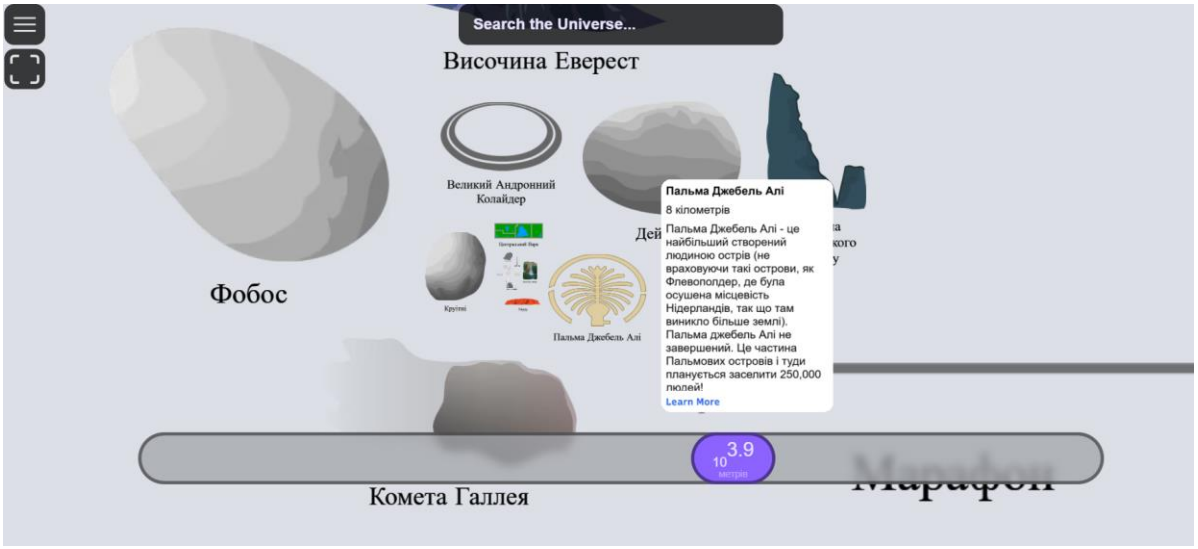


Рисунок 2.3 – Ресурс «Scale of the Universe» (Масштаб Всесвіту)

Ресурс ефективно ілюструє практичне застосування наукової нотації, охоплюючи неймовірний діапазон від приблизно 10^{27} метрів (масштаб видимого Всесвіту) 10^{-35} метрів (розмір, близький до планківської довжини). Для порівняння показників степеня цей ресурс дозволяє:

1. Показати наочність експонент: інтерактивна шкала дозволяє користувачеві безпосередньо співвіднести кожен крок зміни масштабу з відповідною зміною показника степеня 10.

2. Порівнювати порядки степеня. Ресурс дає змогу швидко візуалізувати різницю в порядку величини між об’єктами, що належать до різних світів (наприклад, між мікроорганізмом і людиною, або між планетою і зіркою).

3. Логарифмічна шкала. По суті, інструмент моделює логарифмічну шкалу Всесвіту, перетворюючи абстрактне поняття експоненціального масштабування на інтуїтивно зрозумілий та запам’ятовуваний досвід.

Для розв’язування фізичних та астрономічних задач потрібно відпрацювати практичні навички дій з числами, представленими у стандартному вигляді. При множення та діленні таких чисел, варто продемонструвати, що дії

зводяться до множення чи ділення значущих частин та додавання (при множенні) чи віднімання (при діленні) показників степеня [19]. Слід підкрестити, що перед виконанням додавання чи віднімання, необхідно звести числа до одного порядку степеня, а потім виконувати дії зі значущими частинами [20].

Використання простих онлайн-конвертерів наукового запису, дозволяє працювати з числами та бачити результат миттєво. Учні можуть швидко перевірити свої перетворення та бачити, як зміна положення коми впливає на показник степеня (рис. 2.4) [21].

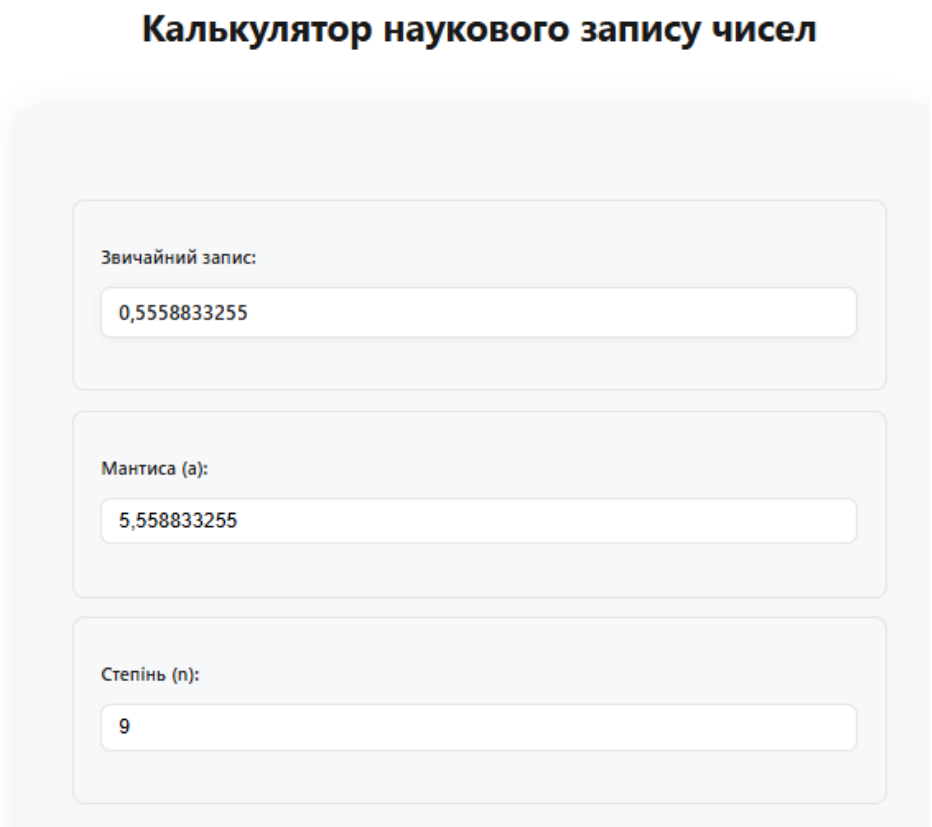


Рисунок 2.4 – Ресурс «Калькулятор стандартного вигляду чисел»

Здатність вільно оперувати числами, представленими у стандартному вигляді, є нерозривно пов’язаною з грамотним використанням префіксів Міжнародної системи одиниць (СІ). Цей зв’язок виходить за межі простого скорочення запису і є фундаментальним для стандартизації та уніфікації вимірювань у світовому науково-технічному співтоваристві. Як зазначають

М. І. Жалдак та Ю. О. Жук [22], префікси СІ є стандартизованими, міжнародно визнаними символами для позначення певних цілих степенів числа десять. Таким чином, кожен префікс є прямим, уніфікованим еквівалентом певного показника степеня n у науковому записі. Теоретичне та прикладне значення:

1. Універсальність комунікації: володіння цим зв’язком дозволяє фахівцям миттєво ідентифікувати порядок величини без необхідності читати довгі ряди нулів, що критично важливо у галузях, де оперують екстремальними масштабами [23].

2. Запобігання помилкам: використання префіксів є ефективним методом мінімізації обчислювальних помилок, пов'язаних із неправильним розташуванням десяткової крапки. Наприклад, замість того, щоб оперувати 12 000 000 000 Гц, використовують 12 Гігагерц (ГГц), де «Гіга» чітко інформує про множник 10^9.

3. Дидактична цінність: для здобувачів освіти зв’язок «науковий запис – префікс» слугує інтуїтивним мостом між абстрактною математичною концепцією експонент і практичним вимірюванням фізичних величин. Це забезпечує глибинне розуміння принципу логарифмічного масштабування та відносності розмірів [24].

Таким чином, тверді навички переходу між науковим записом та префіксами СІ є не просто технічним прийомом, а ключовою передумовою для точного, ефективного та стандартизованого представлення результатів вимірювань та розрахунків.

Приклади завдань з фізики 7 класу, які допоможуть сформувати та перевірити вміння використовувати стандартний вигляд чисел:

Вправа 1. Перетворення чисел (формування навичок).

Мета: Навчити учнів коректно переводити фізичні величини в стандартний вигляд та використовувати префікси СІ.

Завдання (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Завдання до вправи 1

Тема	Завдання	Очікувана відповідь
Маса	Запишіть масу Землі, 597000000000000000000000 кг, у стандартному вигляді	$5{,}97 \cdot 10^{24}$ кг
Розмір атома	Переведіть діаметр атома Гідрогену, 0,000000000106 м у стандартний вигляд	$1{,}06 \cdot 10^{-10}$ м
Густина	Запишіть густину заліза, 7800 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, використовуючи префікс Мега	$7{,}8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Час	Вкажіть, який префікс відповідає значенню 10^{-6} с	Мікро- (мікросекунда)

Вправа 2. Порівняння порядків величин (Використання показника степеня n).

Мета: Розвиток уміння швидко оцінювати відносну величину об’єктів або процесів, ґрунтуючись лише на показнику степеня.

Завдання. Дано такі маси планет Сонячної системи у кілограмах:

Маса Юпітера: $1{,}9 \cdot 10^{27}$ кг.

Маса Урана: $8{,}7 \cdot 10^{25}$ кг.

Маса Марса: $6{,}4 \cdot 10^{23}$ кг.

Запитання: У скільки приблизно разів Юпітер важчий за Марс? (Орієнтуйтеся лише на показники степеня).

Очікувана відповідь: Різниця показників:$27 - 23 = 4$. Юпітер важчий приблизно у 10^4 (десять тисяч) разів.

Вправа 3.Обчислювальні операції.

Мета: Демонстрація того, як множення чи ділення зводиться до дій з значущими частинами та додаванням чи відніманням показників степеня.

Завдання. Розрахуйте роботу ($A = F \cdot s$), якщо сила $F = 2{,}5 \cdot 10^4$ Н діє вздовж переміщення, а пройдена відстань $s = 2 \cdot 10^2$ м.

Очікуваний розв’язок та відповідь.

$A = (2{,}5 \cdot 2) \cdot (10^4 \cdot 10^2) = 5 \cdot 10^{4+2} = 5 \cdot 10^6$ Дж або 5 МДж.

Отже, стандартний вигляд чисел є базовим математичним апаратом для вивчення фізики та астрономії, оскільки він забезпечує єдиний, компактний та недвозначний спосіб представлення кількісних даних, що охоплюють величезний діапазон порядків величин – від субатомних до космічних масштабів.

2.2 Формування математичних навичок перетворення формул та виведення невідомих величин під час розв’язування задач з фізики та астрономії

У контексті підвищення ефективності навчання фізики та астрономії, алгебраїчна компетентність учнів є не просто допоміжним математичним умінням, а фундаментальною передумовою для формування науково-дослідницького мислення. Розв’язування фізичних задач вимагає переходу від якісного опису явища до його математичної моделі, де ключовим елементом є фізична формула.

Фізичні формули є, по суті, алгебраїчними рівняннями, які виражають кількісний зв’язок між різними фізичними величинами. Згідно з дидактичними принципами [24], метою навчання є навчити учнів не просто підставляти числові значення у формулу, а свідомо оперувати її структурою для виведення невідомої величини. Це критично важливо, оскільки у більшості практичних та екзаменаційних задач шукана величина не завжди стоїть у лівій частині рівняння.

Роль перетворення формул у фізичному мисленні:

1. Подолання когнітивного бар’єру: учні часто механічно запам'ятовують кілька похідних формул замість того, щоб зрозуміти, як вивести їх з однієї базової (наприклад, три формули швидкості, часу та відстані з формули руху $s = v \cdot t$). Методика формування алгебраїчної компетентності спрямована на подолання цієї механічності, забезпечуючи глибинне розуміння взаємозв’язку величин [26].

2. Застосування логіки пропорцій: у багатьох фізичних законах присутні відношення, що описуються пропорціями (наприклад, закони Бойля – Маріотта, Шарля, або закон всесвітнього тяжіння). Вміння оперувати пропорцією ($\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$) та правильно виводити будь-який елемент є важливим вмінням для перетворення формул у складних задачах [23].

3. Формування навичок переходу «Алгебра → Фізика»: методичні засади передбачають, що вчитель повинен постійно проводити паралелі між алгебраїчними правилами (правила розкриття дужок, перенесення доданків зі зміною знака) і фізичними формулами.

Формування навичок перетворення фізичних формул має відбуватися поетапно, забезпечуючи перехід від свідомого застосування алгебраїчних правил до їхньої автоматизації при розв'язуванні задач [24].

Етап 1. Аналіз структури та класифікація формул. На цьому етапі основний акцент робиться на усвідомленні математичної залежності між величинами. Учні повинні навчитися розрізняти, чи формула виражає пряму пропорційність (наприклад, $F = ma$) чи обернену пропорційність (наприклад, $p \sim \frac{1}{V}$ у законі Бойля – Маріотта). Це створює інтуїтивне розуміння того, яка дія (множення чи ділення) буде необхідною для виведення невідомої величини.

Етап 2. Перетворення у один крок (прості формули). Цей етап призначений для автоматизації базових перетворень, де шуканий елемент виводиться однією арифметичною дією.

Метод «Закриття» або «Трикутника». Для формул, що містять три величини та виражають множення або ділення (наприклад, густина, швидкість, потужність), застосовується графічний прийом «трикутника». Учні розміщують величини у трикутнику, і «закриваючи» шукану величину, вони візуально бачать необхідну дію (рис. 2.5) [22].

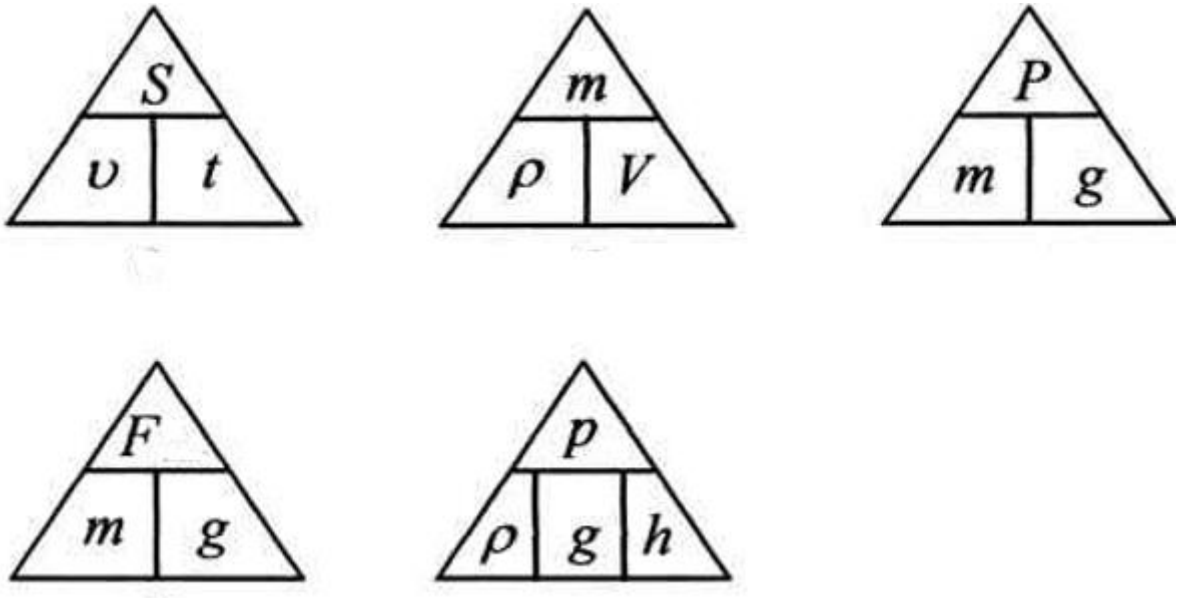


Рисунок 2.5 – Метод «Трикутника»

Застосування вправ на ідентичність: постійно підкреслюється, що фізична формула є рівнянням, і алгебраїчні правила зберігаються: щоб «позбутися» множника у правій частині, необхідно поділити обидві частини рівняння на цей множник.

Етап 3. Перетворення у два і більше кроки (складні формули). Цей етап є найскладнішим і вимагає послідовного застосування правил. Логіка звільнення: учням пропонується діяти за зворотним порядком математичних операцій: спочатку переносяться доданки, а потім позбавляються множників/дільників.

«Відновлення дужок»: використовується метод ізоляції складних членів. Якщо шукана величина знаходиться всередині дужок, або є частиною дробу, спочатку необхідно ізолювати цей вираз як єдине ціле. Це допомагає уникнути помилок, пов’язаних із неправильним застосуванням порядку дій.

Для тренування можна запропонувати інтерактивні вправи та математичні тренажери для тотожних перетворень алгебраїчних виразів (рис. 2.6, 2.7) [26,27].

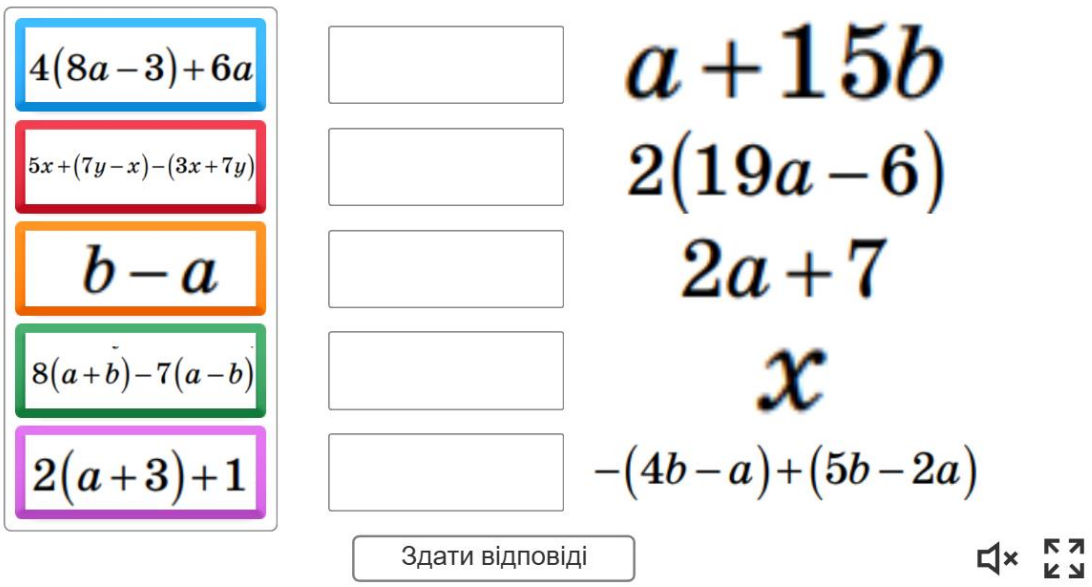


Рисунок 2.6 – Фрагмент інтерактивної вправи «Тотожні перетворення»

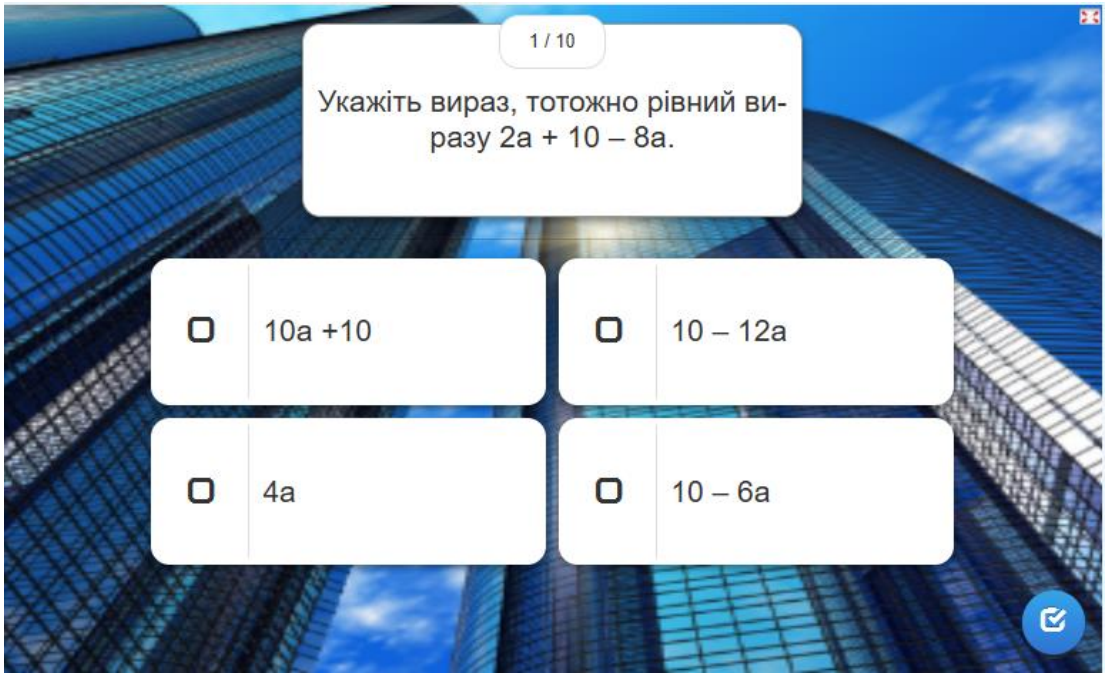


Рисунок 2.7 – Фрагмент інтерактивної вправи «Тотожності»

Використання інтерактивних тренажерів: для досягнення рівня автоматизації навичок, що виключає необхідність постійної свідомої концентрації на алгебраїчних правилах, застосовуються спеціалізовані онлайн-тренажери, які забезпечують миттєвий зворотний зв’язок.

Заключний етап формування навичок перетворення формул вимагає переведення свідомих алгебраїчних операцій на рівень автоматизованого рефлексу [24]. Якщо попередні етапи були спрямовані на розуміння логіки перетворення, то цей етап присвячений методиці контролю та тренування швидкості. Досягти цієї мети допомагає інтеграція сучасних цифрових інструментів.

Використання онлайн-сервісів, таких як Wordwall, Learning.Apps або їхніх аналогів, дозволяє реалізувати дидактичні принципи індивідуалізації та миттєвого зворотного зв’язку. Це значно ефективніше, ніж традиційні методи контролю, завдяки наступним перевагам:

1. Миттєва валідація: учень одразу отримує інформацію про правильність виконаного перетворення, що забезпечує самокорекцію та зміцнює нейронні зв'язки, пов'язані з правильною послідовністю дій.

2. Гейміфікація та мотивація: завдання, оформлені у формі вікторин, змагань чи ігор на час, підвищують внутрішню мотивацію до багаторазового повторення. Це створює сприятливі умови для досягнення натренованості, що є необхідною умовою для розв’язування задач в умовах обмеженого часу (наприклад, на іспитах).

3. Персоналізація тренувань: сучасні платформи дозволяють створювати набори завдань, сфокусовані на конкретному типі формул (наприклад, тільки формули з механіки, які потребують двох кроків перетворення), що дає змогу вчителю точково усувати прогалини в знаннях кожного учня (рис. 2.8) [28].

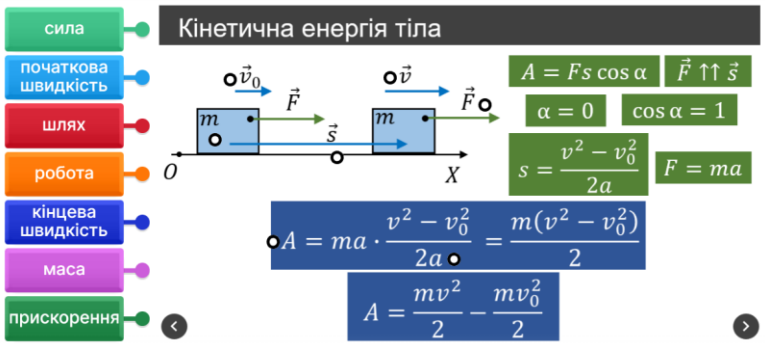


Рисунок 2.8 – Фрагмент інтерактивної вправи «Кінетична енергія тіла»

Для об’єктивної оцінки рівня сформованості навичок перетворення застосовуються такі методи:

- контроль швидкості: завдання «Виведи шукану величину за 30 секунд» дозволяють оцінити, чи відбулося переведення навички на рівень автоматизму;
- контроль складності: поступове збільшення кількості кроків, необхідних для перетворення, дає змогу діагностувати здатність учня до послідовної алгебраїчної логіки [23];
- аналіз помилок: на відміну від оцінювання кінцевого розв’язку фізичної задачі, інтерактивні тренажери дозволяють швидко ідентифікувати типові помилки перетворення (наприклад, неправильне перенесення знака або змішування операцій множення і ділення), що є основою для цілеспрямованої корекційної роботи [22].

Крім використання тренажерів для автоматизації чистих алгебраїчних навичок, критично важливою є інтеграція симуляційних засобів, таких як PhET Interactive Simulations. На відміну від Wordwall, який фокусується на швидкості математичних дій, PhET дозволяє учням контекстуалізувати результати перетворень, пов'язуючи їх з реальною фізичною динамікою [29]. Симуляції PhET дають змогу учням:

1. Візуально підтвердити перетворення: після того, як учень алгебраїчно вивів невідому величину (наприклад, $R = \frac{U}{I}$ із закону Ома), він може використовувати симуляцію (наприклад, «Конструктор електричних кіл») для експериментальної перевірки свого результату. Зміна значень U та I у симуляторі має дати те саме значення R, що було виведено математично (рис. 2.9) [30].

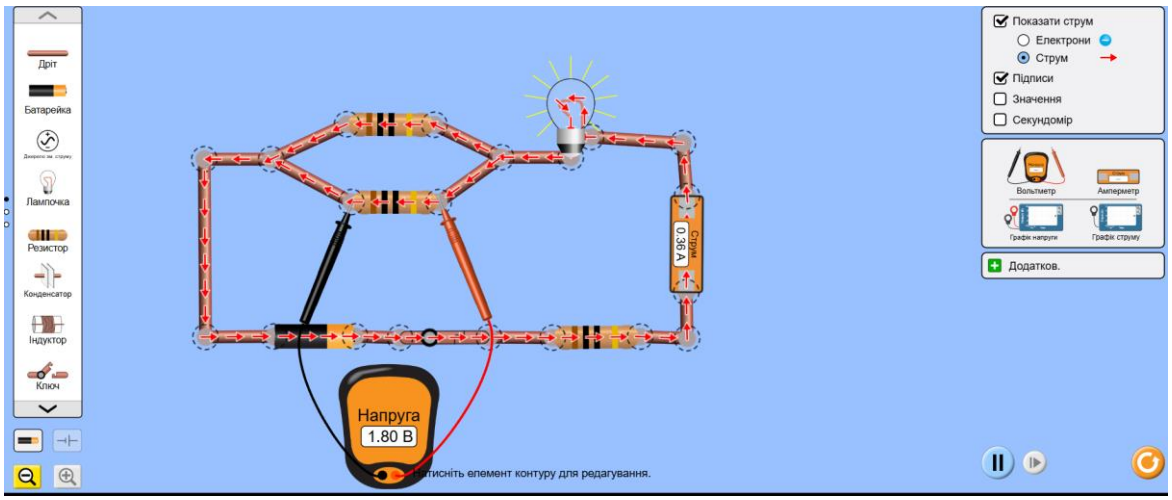


Рисунок 2.9 – Симулятор «Конструктор електричних кіл»

2. Дослідження обернених чи прямих залежностей: симуляції допомагають наочно зрозуміти, чому, наприклад, збільшення об’єму (V) у формулі $\rho = \frac{m}{V}$ (при сталій масі) призводить до зменшення густини (ρ). Цей візуальний зворотний зв’язок посилює розуміння логіки пропорцій, яка є основою перетворення формул (рис. 2.10) [31].

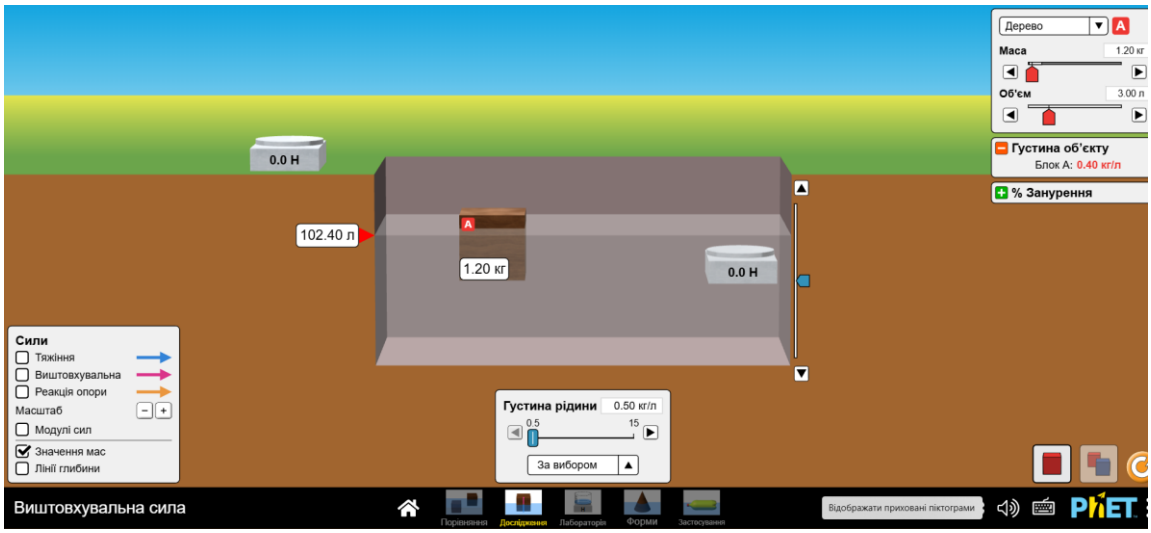


Рисунок 2.10 – Симулятор «Виштовхувальна сила»

3. Поглиблення розуміння формул із квадратичними залежностями: Наприклад, у симуляції «Сила тяжіння та орбіти» учні можуть побачити, як

залежність сили (F) від відстані (R) $(F \sim \frac{1}{R^2})$ візуально підтверджує, чому виведення із формули R гравітації вимагає алгебраїчної дії з коренем.

Таким чином, PhET виступає як інструмент верифікації та методичний міст між абстрактною алгеброю та емпіричною фізикою.

Отже, оволодіння навичками перетворення формул, підкріплене сучасними інтерактивними технологіями, є основою для формування цілісної аналітичної компетентності здобувачів освіти та їхньої готовності до подальшої освітній діяльності.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Особливості проведення педагогічного експерименту

Педагогічний експеримент проводився на базі Костянтинівського закладу загальної середньої освіти І-ІІІ ступенів Мар'їнської міської військово-цивільної адміністрації Покровського району Донецької області (далі Костянтинівський ЗЗСО) в 7 класі. Учні класу були розподілені на дві групи: *Експериментальна* група (далі ЕГ) (11 учнів) та *Контрольна* група (далі КГ) (11 учнів). Всього в експерименті взяли участь 22 здобувача освіти.

Під час проведення експерименту здобувачами освіти вивчався розділ «Повторення та систематизація навчального матеріалу за курс фізики 7 класу». Педагогічний експеримент складався з таких етапів:

1. Констатувальний етап. Учасникам були запропоновані самостійні роботи, які проводились на початку та у підсумку експерименту.
2. Пошуковий – пошук методів та форм розв'язання проблеми.
3. Формувальний – формування вміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії.
4. Контрольний – перевірка та аналіз результатів експериментального дослідження.

Метою педагогічного експерименту є з'ясування впливу методики використання наукового запису чисел та методики перетворення формул на формування вміння застосовувати математичні методи під час розв'язування задач з фізики та астрономії.

Учні ЕГ повторення навчального матеріалу за курс 7 класу, здійснювали з застосуванням інтерактивних вправ, симуляторів, сервісів з автоматичною перевіркою результатів. Учні КГ вивчали і засвоювали навчальний матеріал за стандартною програмою.

Для порівняння початкового рівня навчальних досягнень учнів у ЕГ і КГ

нами було проведено самостійну роботу на початку педагогічного експерименту. Її зміст включав навчальні теми, які було вивчено за курс 7 класу: «Методи пізнання природи. Фізика як природнича наука», «Механічний рух», «Взаємодія тіл. Сили в природі». Цю самостійну роботу було проведено на основі знань студентів за 7 клас.

Самостійна робота №1 містила 14 завдань. Завдання 1 - 8 оцінювалось в 0,5 балів, 9–12 – в 1 бал, 13–14 – в 2 бали. Максимальна кількість балів – 12. За певну набрану кількість балів учень отримує відповідний результат: 1–3 бали – низький рівень, 4–6 – середній рівень, 7–9 – достатній рівень, 10-12 – високий рівень [34–45].

Нижче наведені завдання самостійної роботи №1 «Повторення та систематизація навчального матеріалу за курс фізики 7 класу».

1. Фізика вивчає:

А. тільки механічні явища.

Б. властивості живої природи.

В. природні явища та взаємодію тіл.

Г. хімічний склад речовин.

2. Яка фізична величина є векторною?

А. Час.

Б. Маса.

В. Шлях.

Г. Швидкість.

3. Основною одиницею вимірювання сили в системі СІ є:

А. 1 кг.

Б. 1 Дж.

В. 1 Н.

Г. 1 Па.

4. Тіло знаходиться у стані спокою, якщо…

А. на нього не діють інші тіла.

Б. рівнодійна всіх сил, що діють на нього, дорівнює нулю.

В. воно рухається з постійною швидкістю.

Г. його маса дуже велика.

5. Яке явище є прикладом теплового явища?

А. Політ літака.

Б. Танення льоду.

В. Притягання магніту.

Г. Падіння м’яча.

6. Якщо тіло пройшло 360 м за 30 с, то його швидкість дорівнює:

А. $10\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Б. $12\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

В. $15\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Г. $18\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

7. Сила тяжіння завжди направлена:

А. перпендикулярно до поверхні.

Б. у напрямку руху тіла

В. вертикально вгору.

Г. вертикально вниз, до центру Землі.

8. Запишіть радіус Землі 6371 км у стандартному вигляді:

А. $6{,}371 \cdot 10^5$ м.

Б. $6{,}371 \cdot 10^6$ м.

В. $6{,}371 \cdot 10^{-6}$ м.

Г. $6{,}371 \cdot 10^7$ м.

9. Які з наведених тверджень є характерними для рівномірного прямолінійного руху? (Оберіть дві правильні відповіді).

А. Швидкість тіла змінюється з часом.

Б. За будь-які рівні проміжки часу тіло долає однаковий шлях.

В. Траєкторія руху є прямою лінією.

Г. Прискорення тіла не дорівнює нулю.

Д. Середня швидкість тіла дорівнює нулю.

10. Які сили можуть діти на тіло, що лежить на похилій площині? (Оберіть дві правильні відповіді).

А. Сила пружності.

Б. Сила тяжіння.

В. Сила Архімеда.

Г. Сила тертя ковзання.

Д. Сила Кулона.

11. Установіть відповідність між фізичною величиною та її позначенням у формулах:

1 Час	А. v
2 Шлях	Б. t
3 Швидкість	В. m
4 Маса	Г. l

12. Установіть відповідність між формулою та фізичною величиною, яку за нею можна обчислити:

1 $l = v \cdot t$	А. Сила тяжіння
2 $F = k \cdot \Delta l$	Б. Шлях
3 $F_{\text{тяж}} = m \cdot g$	В. Сила пружності
4 $v = \frac{l}{t}$	Г. Швидкість

13. Обчисліть середню швидкість пішохода, який перші 1200 м пройшов за 20 хв, а наступні 1200 м за 30 хв.

14. За формулою швидкості рівномірного руху $v = \frac{l}{t}$, виразіть час через шлях та швидкість. Використовуючи отриману формулу, обчисліть, за який час автомобіль проїде 182 км зі сталою швидкістю 60 км/год.

Для з’ясування педагогічного впливу методики використання наукового запису чисел та методики перетворення формул на формування вміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії, була проведена підсумкова самостійна робота. Вона містила 14 завдань. Завдання 1 - 8 оцінювалось в 0,5 балів, 9–12 – в 1 бал, 13–14 – в 2 бали.

Максимальна кількість балів – 12. За певну набрану кількість балів учень отримує відповідний результат: 1–3 бали – низький рівень, 4–6 – середній рівень, 7–9 – достатній рівень, 10-12 – високий рівень [34–45].

Далі наведені завдання цієї роботи.

1. Зміна положення тіла відносно інших тіл з часом називається:

А. взаємодія.

Б. механічний рух.

В. відносність

Г. траєкторія.

2. Яка з наведених величин є скалярною?

А. Переміщення.

Б. Сила.

В. Шлях.

Г. Прискорення.

3. Відстань від Землі до Сонця (1 астрономічна одиниця) становить 149600000000 м. Запишіть цю відстань у стандартному вигляді?

А. $14{,}96 \cdot 10^{10}$ м.

Б. $14{,}96 \cdot 10^{11}$ м.

В. $149{,}6 \cdot 10^{9}$ м.

Г. $1{,}496 \cdot 10^{12}$ м.

4. Якщо пружину розтягли на 1 см і сила пружності дорівнює 10 Н, то при розтягу на 3 см сила пружності становитиме (згідно закону Гука):

А. 10 Н.

Б. 20 Н.

В. 30 Н.

Г. 100 Н.

5. Який з прикладів демонструє прояв інерції?

А. Падіння краплі дощу.

Б. Рух автомобіля по колу.

В. Нахил пасажира вперед під час різкого гальмування автобуса.

Г. Деформація гумового м’яча.

6. Яка швидкість більша: 10 м/с чи 36 км/год?

А. 10 м/с.

Б. 36 км/год.

В. Швидкості однакові.

Г. Неможливо порівняти.

7. Якщо відомо силу F та прискорення a, то за якою формулою можна визначити масу m тіла?

А. $m = F \cdot a$.

Б. $m = \frac{a}{F}$.

В. $m = \frac{F}{a}$.

Г. $m = F + a$.

8. Радіус Венери $6{,}05 \cdot 10^6$ м, радіус Урану $0{,}255 \cdot 10^8$ м. Радіус якої з планет більший?

А. Венера.

Б. Уран.

В. Вони рівні.

Г. Неможливо порівняти.

9. Які умови необхідні для виникнення сили тертя? (Оберіть дві правильні відповіді).

А. Тіла мають мати електричний заряд.

Б. Тіла повинні бути притиснуті одне до одного.

В. Тіла повинні бути в русі або мати тенденцію до руху.

Г. Тіла повинні знаходитись у вакуумі.

Д. Тіла повинні мати значну масу.

10. Вкажіть правильні твердження щодо Сили тяжіння. (Оберіть дві правильні відповіді).

А. Сила тяжіння залежить від швидкості тіла.

Б. Сила тяжіння прикладена до центру мас тіла.

В. Сила тяжіння прямо пропорційна масі тіла.

Г. Сила тяжіння вимірюється в кілограмах.

Д. Сила тяжіння направлена паралельно поверхні Землі.

11. Установіть відповідність між числом та його коректним записом у стандартному вигляді:

1 1500000	А. $1{,}5 \cdot 10^{6}$.
2 0,00015	Б. $1{,}5 \cdot 10^{4}$.
3 $150 \cdot 10^{2}$	В. $1{,}5 \cdot 10^{-4}$.
4 $15 \cdot 10^{4}$	Г. $1{,}5 \cdot 10^{5}$.

12. Установіть відповідність між фізичним законом/поняттям та його математичним виразом/формулою:

1 Закон Гука	А. $P = \frac{F}{S}$
2 Визначення густини	Б. $F_{\text{тяж}} = m \cdot g$
3 Сила тяжіння	В. $F = k \cdot \Delta l$
4 Визначення тиску	Г. $\rho = \frac{m}{V}$.

13. Визначте масу, яку має речовина об’ємом $V = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3, якщо її густина $\rho = 8{,}9 \cdot 10^{3}$ кг/м^3. Відповідь запишіть у кілограмах.

14. Виразіть коефіцієнт жорсткості k із закону Гука $F = k \cdot \Delta l$. Обчисліть цей коефіцієнт, якщо відомо, що пружина під дією вантажу масою 0,5 см. Вважайте, що прискорення вільного падіння $g = 10$ Н/кг.

На виконання самостійних робіт було відведено 40 хвилин.

Отже, проведення педагогічного експерименту показало рівень знань учнів до проведення експерименту та після нього.

3.2 Аналіз результатів педагогічного експерименту

Для з’ясування педагогічного впливу застосованих методик, нами було проведено аналіз самостійних робіт, які проводились на початку та в кінці педагогічного експерименту.

Проаналізовано рівень навчальних досягнень учнів з фізики на початку педагогічного експерименту за результатами самостійної роботи №1 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Рівень навчальних досягнень студентів з фізики на початку експерименту

Рівень підготовки	**Учні КГ**	**Учні ЕГ**
Початковий	2	1
Середній	5	4
Достатній	3	4
Високий	1	2

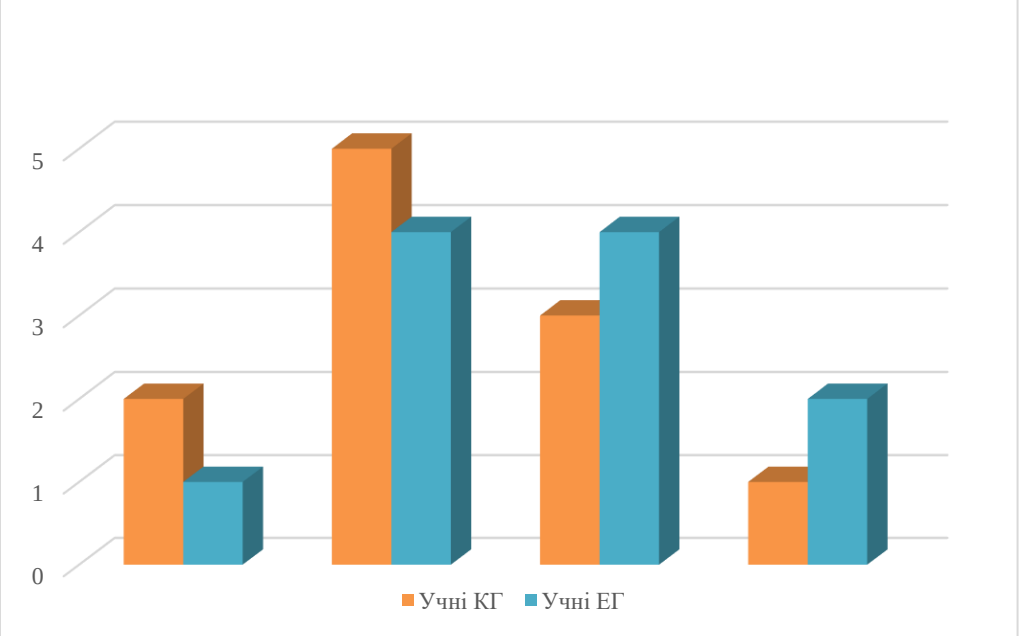


Рисунок 3.1 – Співвіднесення результатів навчальних досягнень учнів ЕГ та КГ з фізики

Як бачимо, рівень підготовки учнів з обох груп приблизно однаковий. Тому отримані результати після проведення педагогічного експерименту можна вважати досить точними.

Кількісний статистичний аналіз результатів педагогічного експерименту на початку дослідження проведено за методикою поданою у монографії

А. М. Андрєєва [34]. У табл. 3.2 наведено результати виконання самостійної роботи №1.

Таблиця 3.2 – Результати виконання учнями самостійної роботи на початку експериментального дослідження

Рівні предметної підготовленості	**Контрольна вибірка ($n_1 = 16$)**		**Експериментальна вибірка ($n_2 = 16$)**	
	n_{1i}	(n_{1i}/n_1), %	n_{2i}	(n_{2i}/n_2), %
Низький (рівень 1)	2	18,18	1	9,09
Достатній (рівень 2)	8	72,73	8	72,73
Високий (рівень 3)	1	9,09	2	18,18

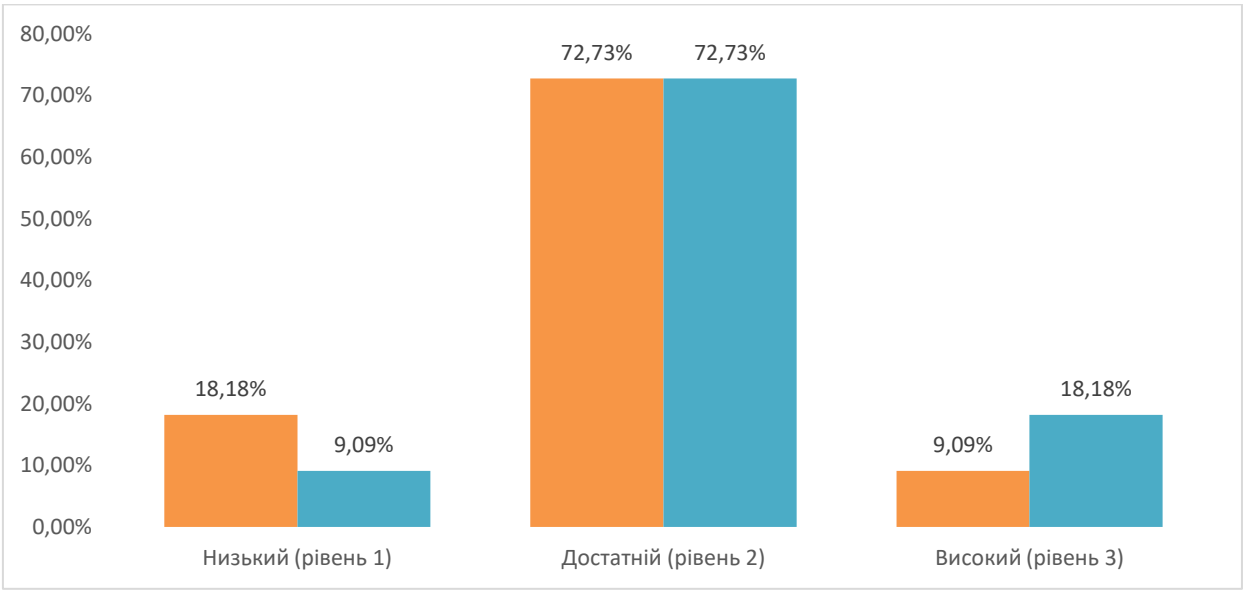


Рисунок 3.2 – Діаграма розподілу учнів контрольної та експериментальної вибірок за рівнями предметної підготовленості до початку експерименту

Для перевірки відсутності статистичної значущості відмінностей у рівнях предметної підготовленості учнів експериментальної та контрольної вибірок (на початку експериментального навчання) використано критерій однорідності χ^2 («хі квадрат»). Такий вибір критерію обумовлений тим, що розподіл індивідуальних показників предметної підготовленості представлений за допомогою порядкової шкали з малою кількістю градацій.

Характеристикою вибірок у нашому випадку є кількість (абсолютна або відносна) учнів, які мають певний рівень підготовленості. Введемо позначення: p_{1i} $(i = 1, 2, 3)$ – імовірність того, що випадково вибраний учень *контрольної* вибірки має *i*-й рівень предметної підготовленості; p_{2i} $(i = 1, 2, 3)$ – імовірність того, що учень *експериментальної* вибірки має *i*-й рівень предметної підготовленості. З урахуванням цих позначень, формулювання нульової (H_0) та альтернативної (H_1) гіпотез були подані в наступному варіанті:

H_0: $p_{1i} = p_{2i}$ для всіх рівнів підготовленості ($p_{11} = p_{21}, p_{12} = p_{22}, p_{13} = p_{23}$). Це означатиме, що учні контрольної та експериментальної вибірок не мають статистично значущих відмінностей у рівнях предметної підготовленості на початку експерименту.

H_1: $p_{1i} \neq p_{2i}$ хоча б для одного з рівнів.

Для перевірки нульової гіпотези використано дані табл. 3.2. Емпіричне значення критерію у випадку двох вибірок знаходиться за формулою:

$$\chi^2_{\text{емп}} = n_1 \cdot n_2 \sum_{i=1}^{L} \frac{\left(\frac{n_{1i}}{n_1} - \frac{n_{2i}}{n_2}\right)^2}{n_{1i} + n_{2i}}, \qquad (3.1)$$

де n_1, n_2 – обсяги контрольної та експериментальної вибірок відповідно;

n_{1i}, n_{2i} – кількість учнів контрольної та експериментальної вибірок, які мають *i*-й рівень предметної підготовленості (у нашому випадку число рівнів $L = 3, i = 1, 2, 3$);

n_{1i}/n_1, n_{2i}/n_2 – відносна кількість учнів контрольної та експериментальної вибірок, які мають *i*-й рівень предметної підготовленості.

$$\chi^2_{\text{емп}} = 11 \cdot 11 \left[\frac{(0{,}1818 - 0{,}0909)^2}{2+1} + \frac{(0{,}7273 - 0{,}7273)^2}{8+8} + \frac{(0{,}0909 - 0{,}1818)^2}{1+2}\right] = 0{,}67.$$

Критичне значення критерію при рівні значущості $\alpha = 0{,}05$ знаходимо за розподілом χ^2 з $\nu = L - 1 = 3 - 1 = 2$ ступенями вільності $\chi^2_{\text{кр}} = 5{,}99$.

Оскільки $\chi^2_{\text{емп}} < \chi^2_{\text{кр}}$ $(0{,}67 < 5{,}99)$, то згідно з правилом прийняття рішень для критерію χ^2, немає підстав для відхилення нульової гіпотези. Отже, до початку експерименту учні контрольної та експериментальної вибірок не мали статистично значущих відмінностей у рівнях предметної підготовленості. Це

засвідчило правомірність залучення цих вибірок до подальшого педагогічного дослідження.

Під час проведення педагогічного експерименту навчання відбувалось в дистанційному форматі. Учні контрольної групи здобували знання за традиційною системою, вивчали теоретичний та практичний матеріал за наданими їм матеріалами та підручниками. Експериментальна група не тільки засвоювала теоретичні знання, а й здійснювала це з застосуванням інтерактивних вправ, симуляторів, сервісів з автоматичною перевіркою результатів. Результати другої самостійної роботи наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати самостійної роботи після проведеного експерименту

Оцінка	Учні КГ	Учні ЕГ
1-3	3	0
4-6	6	2
7-9	2	5
10-12	0	4

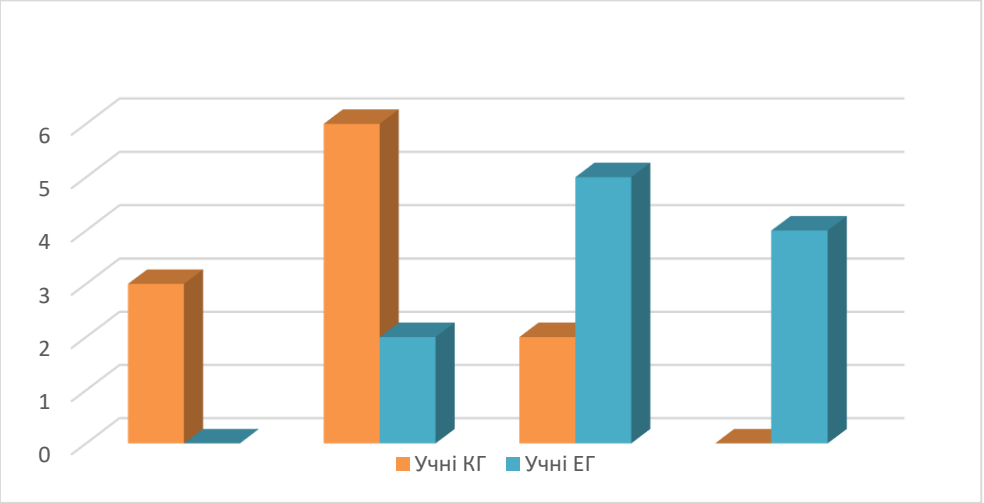


Рисунок 3.3 – Співставлення оцінок за самостійну роботу в експериментальній та контрольній групах

Аналізуючи отримані результати видно, що учні експериментальної групи впорались із виконанням другої самостійної роботи краще, ніж учні з

контрольної групи.

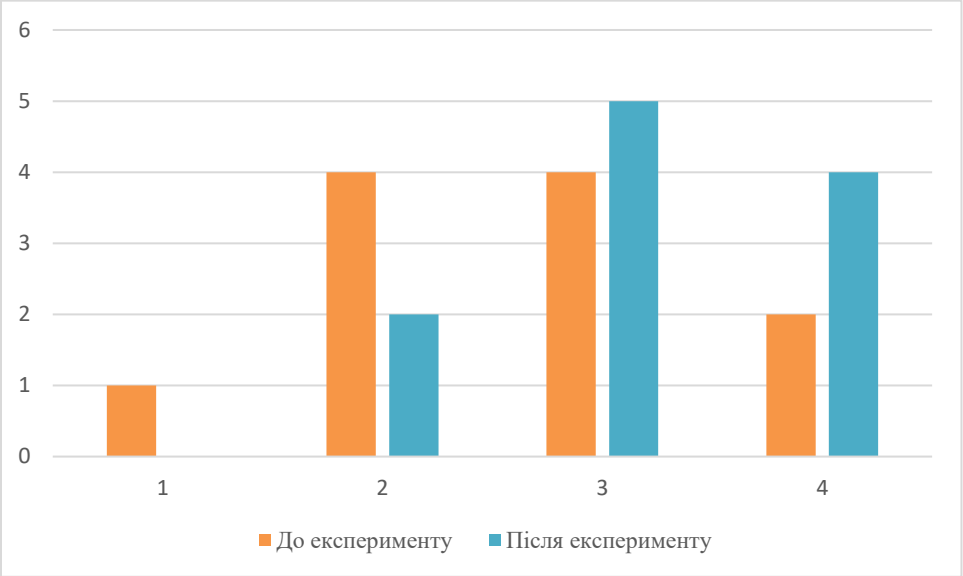


Рисунок 3.4 – Рівень знань учнів ЕГ до та після експерименту

Таблиця 3.4 – Результати виконання студентами самостійної роботи в кінці експериментального дослідження

Рівні предметної підготовленості	**Контрольна вибірка ($n_1 = 16$)**		**Експериментальна вибірка ($n_2 = 16$)**	
	n_{1i}	(n_{1i}/n_1), %	n_{2i}	$(n_{2i}/\ n_2)$, %
Низький (рівень 1)	3	27,27	0	0,0
Достатній (рівень 2)	8	72,72	7	63,64
Високий (рівень 3)	0	0,0	4	36,36

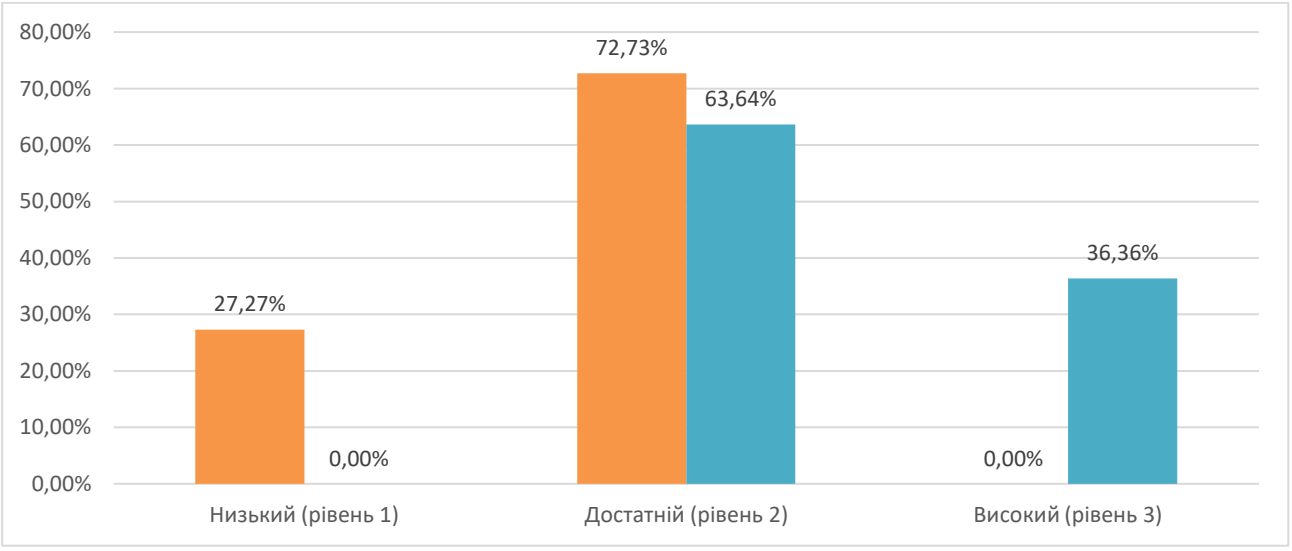


Рисунок 3.5 – Діаграма розподілу учнів контрольної та експериментальної вибірок за рівнями предметної підготовленості в кінці експерименту

Для формулювання статистичних гіпотез введено позначення: p_{1i}, p_{2i} $(i = 1, 2, 3)$ – імовірність того, що випадково вибраний учень відповідно контрольної та експериментальної вибірки має i-й рівень сформованості готовності до організації інноваційної діяльності учнів. Гіпотези:

H_0: $p_{1i} = p_{2i}$ для всіх рівнів підготовленості ($p_{11} = p_{21}$, $p_{12} = p_{22}$, $p_{13} = p_{23}$). Це означатиме, що учні контрольної та експериментальної вибірок не мають статистично значущих відмінностей у рівнях сформованості розглядуваної готовності;

H_1: $p_{1i} \neq p_{2i}$ хоча б для одного з рівнів.

Емпіричне значення критерію знайдено за формулою (3.1) з використанням даних табл. 3.4

$$\chi^2_{\text{емп}} = 11 \cdot 11 \left[\frac{(0{,}2727 - 0)^2}{3 + 0} + \frac{(0{,}7279 - 0{,}6364)^2}{8 + 7} + \frac{(0 - 0{,}3636)^2}{0 + 4} \right] = 7{,}07$$

Критичне значення критерію при рівні значущості $\alpha = 0{,}05$ знаходимо за розподілом χ^2 з $\nu = 2$ ступенями вільності $\chi^2_{\text{кр}} = 5{,}99$.

Оскільки $\chi^2_{\text{емп}} > \chi^2_{\text{кр}}$ $(7{,}07 > 5{,}99)$, нульову гіпотезу відхилено. Тобто відмінності в рівнях предметної підготовленості у учнів контрольної та експериментальної вибірок значущі. Отже, результати експериментального навчання засвідчили ефективність розроблених методичних засад розвитку математичних навичок при розв’язуванні задач з фізики та астрономії в учнів.

З наведених даних бачимо, що рівень знань учнів експериментальної групи підвищився. В межах вивчення однієї теми один учень, що мав низький рівень підвищив його до середнього, також три учні середнього рівня перейшли в достатній, а два учні з достатнім рівнем знань отримали 10-12 балів..

Отже, впроваджено в освітній процес з фізики запропоновані методики використання наукового запису чисел та методики перетворення формул позитивно вплинули на формування вміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії. Педагогічний експеримент довів ефективність цих засад, що дає підстави на подальше використання їх на інші теми шкільного курсу фізики.

ВИСНОВКИ

У роботі наведено теоретико-методичне обґрунтування та авторське вирішення проблеми формування в учнів уміння застосовувати математичні методи під час розв’язування задач з фізики та астрономії. Узагальнення результатів дослідження є підставою для таких висновків:

1. Виокремлено ключові проблеми формування інтегративної природничо-математичної компетентності, що перешкоджають успішному розв’язуванню задач. Серед них: низький рівень володіння стандартним виглядом чисел, труднощі в перетворенні формул, помилки на етапі математичного моделювання та ігнорування аналізу розмірності результату.

2. Обґрунтовано методичні засади, спрямовані на цілеспрямоване формування в учнів уміння застосовувати математичні методи на всіх етапах розв’язування задач. Запропонована методика охоплює як формалізацію (переведення фізичної ситуації у математичну модель), так і обчислювальні навички.

3. Розроблено та деталізовано методику використання стандартного вигляду чисел для операцій з фізичними величинами. Визначено прийоми для формування навичок алгебраїчного перетворення формул та виведення невідомих величин, що включають візуалізацію та застосування симуляцій.

4. Експериментальне впровадження розроблених методичних засад в освітній процес засвідчило позитивний педагогічний ефект. Статистичний аналіз результатів із застосуванням критерію Пірсона (χ^2), виявив на завершальному етапі експерименту значущі відмінності в рівнях сформованості предметної компетентності у учнів контрольної та експериментальної груп. Нульову гіпотезу про відсутність статистично значущих відмінностей було відхилено при рівні значущості $\alpha = 0{,}05$ на підставі виконання умови $\chi^2_{\text{емп}} > \chi^2_{\text{кр}}$ ($7{,}07 > 5{,}99$). Цей результат дозволяє стверджувати, що запропоновані методичні засади є придатним підґрунтям для розвитку в учнів уміння застосовувати

математичні методи та сприяють підвищенню якості знань з фізики та астрономії.

У подальшому ми плануємо розробити комплексні дидактичні матеріали та рекомендації для вчителів щодо інтеграції цієї методики в освітній процес.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бичко А., Терещенко В. Навчальні втрати: сутність, причини, наслідки та шляхи подолання. Дослідження Українського центру оцінювання якості освіти. Київ, 2023. URL: https://testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Learning-losses_Ukraine.pdf (дата звернення: 07.04.2025).

2. Гончаренко С. У. Фізика: Навчальний посібник для студентів педагогічних інститутів. Київ : Вища школа, 2003. 300 с.

3. Бригінець В. П., Подласов С. О., Матвійчук О. В. ФІЗИКА: вчимося розв'язувати задачі. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. URL: https://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=1095 (дата звернення: 15.08.2025).

4. Олійник В. І. Міжпредметні зв'язки як умова формування пізнавальних інтересів учнів. Київ : Радянська школа, 1983. 128 с.

5. Закон України «Про освіту»: від 05.09.2017 р. № 2145-VIII. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 10.09.2025).

6. Садовий М. І., Трифонова О. М. Методика навчання фізики: Теоретичні аспекти. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. 260 с.

7. Шут М. І. Теорія і практика розв'язування фізичних задач у середній школі. Київ : Радянська школа, 1989. 184 с.

8. Кремень В. Г. Філософія освіти XXI століття: проблеми і перспективи. Київ: Товариство «Знання», 2017. 327 с.

9. Micha Park. Students' problem-solving strategies in qualitative physics questions in a simulation-based formative assessment. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research.* 2(1), 2020. p. 245,

10. Зінченко В. О., Титаренко Л. В. Компетентнісний підхід у навчанні фізики. *Вісник Черкаського національного університету. Серія «Педагогічні науки»*. 2017. № 10. С. 136-141.

11. Зязюн І. А. Педагогіка. Навчальний посібник. Київ : Знання, 2006. 368 с.

12. Бугайов А. І. Методика викладання фізики в середній школі. Київ : Вища школа, 1981. 352 с.

13. Малафіїк І. В. Дидактика: навчальний посібник. Київ : Кондор, 2005. 400 с.

14. Шарко В. Д. Методика викладання фізики: Навчальний посібник. Київ : Педагогічна думка, 2002. 300 с.

15. Сірик Е. П., Сальник І. В., Соменко Д. В. Інтерактивні методи навчання у розвитку критичного мислення учнів з фізики. *Засоби і технології сучасного навчального середовища* : Матеріали XV (XXV) міжнародної науково-практичної конференції (м. Кропивницький, 17-18 травня 2019 року). Кропивницький. 2019. С. 16-18.

16. Кукулевська Я. В. Вправа «Стандартний вигляд числа». URL: https://wordwall.net/resource/64144915/алгебра/стандартний-вигляд-числа (дата звернення: 01.10.2025).

17. Кукулевська Я. В. Вправа «Стандартний вигляд числа» URL: https://learningapps.org/13828471 (дата звернення: 10.10.2025).

18. Scale of the Universe (Масштаб Всесвіту). URL: https://scaleofuniverse.com/uk (дата звернення: 15.10.2025).

19. Тижненко Л. В., Коршак Є. В. Астрономія: Підручник для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. Київ : Генеза, 2011. 192 с.

20. Істер О. С. Алгебра : підручник для 8 класу закладів загальної середньої освіти. Київ : Генеза, 2021. 256 с.

21. Конвертер наукового запису. URL: https://kalkulator.com.ua/calculators/scientific-notation-converter.html (дата звернення: 15.10.2025).

22. Жалдак М. І., Жук Ю. О. Система одиниць СІ у шкільному курсі фізики. Київ : Радянська школа, 1989. 128 с.

23. Гончаренко С. У. Фізика: підручник для 10–11 класів загальноосвітніх навчальних закладів. Київ : Освіта, 2002. 352 с.

24. Підласий І. П. Проблеми сучасної дидактики. Київ : Видавництво «Слово», 2007. 396 с.

25. Кулініч О. В. Математика для економістів: навчальний посібник. Київ : Знання, 2017. 308 с.

26. Кукулевська Я. В. Вправа «Тотожність. Тотожні перетворення виразу». URL: https://wordwall.net/uk/resource/59507370/алгебра/тотожність-тотожні-перетворення-виразу (дата звернення: 15.10.2025).

27. Кукулевська Я. В. Вправа «Тотожно рівні вирази» URL: https://learningapps.org/watch?v=pi2kof7wj24 (дата звернення: 15.10.2025).

28. Кукулевська Я. В. Вправа «Фізика. Формули». URL: https://wordwall.net/uk/resource/38015659/фізика/формули (дата звернення: 15.10.2025).

29. PhET Interactive Simulations. Physics Education Technology Project. URL: https://phet.colorado.edu/ (дата звернення: 15.10.2025).

30. Симулятор «Конструктор електричних кіл». URL: https://phet.colorado.edu/uk/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab (дата звернення: 15.11.2025).

31. Симулятор «Виштовхувальна сила». URL: https://phet.colorado.edu/sims/html/buoyancy/latest/buoyancy_all.html?locale=uk (дата звернення: 15.10.2025).

32. Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 р. №1392. Дата оновлення : 26.02.2020. 77 с. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1392-2011-%D0%BF#Text (дата звернення 15.10.2025).

33. Модельна навчальна програма «Фізика 7-9 класи» для закладів загальної середньої освіти (автори Кремінський Б. Г., Гельфгат І. М., Божинова Ф. Я., Ненашев І. Ю., Кірюхіна О. О.). Рекомендовано Міністерством освіти і науки України (наказ Міністерства освіти і науки України від

24.12.2024р. № 1787. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2024/Model.navch.prohr.5-9.klas-2024/31-12-2024/fizyka-7-9-kl-kreminskyy-ta-in-31-12-2024.pdf (дата звернення: 15.10.2025).

34. Гельфгат І. М., Генденштейн Л. Е., Кирик Л. А. 1001 задачі з відповідями, розв'язками. Вид. 5-те. Харків : Гімназія, 2014. 352 с

35. Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Довгий С. О., Кірюхіна О. О.; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. Фізика : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. Харків : Видавництво «Ранок», 2016. 240 с.

36. Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Довгий С. О., Кірюхіна О. О.; за ред. С. О. Довгого. Фізика : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. Харків : Видавництво «Ранок», 2024. 272 с.

37. Генденштейн Л. Е., Башта Т. В., Бойко О. В. та ін. Фізика : підручник для 7 класу закладів загальної середньої освіти. Харків : Гімназія, 2024.

38. Засєкіна Т. М., Засєкін Д. О. Фізика : підручник для 7 класу закладів загальної середньої освіти. Київ : Світоч, 2024.

39. Збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики. За редакцією І. Гельфгата. Харків : «Гімназія», 2002. 104 с.

40. Фізика. Комплексна підготовка до зовнішнього незалежного оцінювання / Уклад. : Н. Струж, В. Мацюк, С. Остап'юк. Тернопіль : Підручники і посібники, 2014. 432 с.

41. Фізика : комплексна підготовка до зовнішнього незалежного оцінювання / уклад. : Н. Струж, В. Мацюк, С. Остап'юк. Тернопіль : Підручники і посібники, 2024. 496 с.

42. Збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики. *За редакцією І. Гельфгата*. Харків : «Гімназія», 2002. 104 с.

43. Пришляк М. П. Астрономія (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.): підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти. Харків : Видавництво «Ранок», 2019.

44. Климишин І. А., Крячко І. П. Астрономія (рівень стандарту): підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти. Львів : Світ, 2019.

45. Сиротюк В. Г., Клименко Л. П., Побочий І. О. Астрономія (рівень стандарту): підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти. Київ : Генеза, 2019.

46. Андрєєв А. М. Підготовка майбутнього вчителя фізики до організації інноваційної діяльності учнів у навчальному процесі : монографія. Запоріжжя: Статус, 2018. 380 с.

47. Кукулевська Я. В. Розвиток в учнів уміння застосовувати математичні методи під час вивчення фізики та астрономії. *Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025»* : у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя: ЗНУ, 2025. Т. 5. С. 269-271.