

## ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ ТА ЕНЕРГІЇ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

**Олеся ДАНЬКІВ** ✉

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
dankivolesya@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-2154-8396>

**Ігор СТОЛЯРЧУК**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
i.stolyarchuk@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0001-7549-2335>

**Віталій ГОЛЬСЬКИЙ**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
hol.wit@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0009-0003-7282-8050>

**Людмила ПАНЬКІВ**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
lyuda\_pankiv@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-6900-3336>

**Юрій УГРИН**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
yuriyuhryn@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0001-8198-6462>

**Роман ЛЕШКО**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
leshkoroman@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-9072-164X>

**Віктор БРИТАН**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
vbrytan@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-4535-6129>

**Олег КУЗИК**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
olehkuzyk@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-8474-444X>

### АНОТАЦІЯ

**Формулювання проблеми.** Мотивація навчання є одним з найважливіших аспектів, який потребує уваги. Застосування традиційних методів навчання часто зменшує зацікавленість сучасних учнів у вивченні фізики. Важливу роль відіграє практичне дослідження законів збереження імпульсу та механічної енергії на уроках фізики. Однак, реалізація простих

Для цитування:	Даньків О., Столярчук І., Гольський В., Паньків Л., Угрин Ю., Лешко Р., Британ В., Кузик О. Дослідна перевірка законів збереження імпульсу та енергії у шкільному курсі фізики з використанням обчислювальних систем. <i>Фізико-математична освіта</i> , 2024. Том 39. № 5. С. 20-26. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i5-03
	Даньків, О., Столярчук, І., Гольський, В., Паньків, Л., Угрин, Ю., Лешко, Р., Британ, В., & Кузик, О. (2024). Дослідна перевірка законів збереження імпульсу та енергії у шкільному курсі фізики з використанням обчислювальних систем. <i>Фізико-математична освіта</i> , 39(5), 20-26. <a href="https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-03">https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-03</a>
For citation:	Dan'kiv, O., Stolyarchuk, I., Holskyi, V., Pan'kiv, L., Uhryn, Yu., Leshko, R., Brytan, V., & Kuzyk, O. (2024). Experimental verification of the laws of momentum and energy conservation in the school course of physics using computer systems. <i>Physical and Mathematical Education</i> , 39(5), 20-26. <a href="https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-03">https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-03</a>
	Dan'kiv, O., Stolyarchuk, I., Holskyi, V., Pan'kiv, L., Uhryn, Yu., Leshko, R., Brytan, V., & Kuzyk, O. (2024). Doslidna perevirka zakoniv zberezhennia impulsu ta enerhii u shkilnomu kursii fizyky z vykorystanniam obchysluvalnykh system [Experimental verification of the laws of momentum and energy conservation in the school course of physics using computer systems]. <i>Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education</i> , 39(5), 20-26. <a href="https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-03">https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i5-03</a>

експериментів для підтвердження цих законів іноді зустрічається з певними фізичними проблемами, зокрема, такими як складність визначення миттєвої швидкості. Традиційні методи вимірювання можуть бути недостатньо точними або обтяжливими для учнів, що ускладнює їхнє розуміння основних фізичних принципів. Розроблена у даній роботі методика ефективно поєднує реальний фізичний експеримент із сучасними комп'ютерними технологіями та покликана підвищити як ефективність навчання, так і пізнавальний інтерес учнів до вивчення фізики.

**Матеріали і методи.** Дослідження передбачало аналіз і систематизацію наукових публікацій щодо використання сучасних інформаційних технологій (смартфона та обчислювальних систем) на уроках фізики та у домашніх умовах для виконання домашніх лабораторних робіт. Також ми провели опитування вчителів фізиків та студентів (60 респондентів) щодо можливості та необхідності проведення фізичного експерименту з використанням смартфона та систем комп'ютерної математики.

**Результати.** Розроблено метод дослідної перевірки законів збереження імпульсу та механічної енергії з використанням обчислювальних систем та відеокамери смартфона, який полягає у відеофіксації механічного руху тіла (в окремих випадках у сповільненому режимі), подальшій конвертації відео у набір кадрів формату jpg та обробці отриманих рисунків засобами обчислювальних систем. Запропонований метод дозволяє визначити миттєву швидкість тіла до 60 м/с.

**Висновки.** Запропонований метод може бути використаний як на уроках фізики, так і при виконанні домашніх лабораторних робіт чи учнівських проєктів, де є необхідність визначити координати, миттєву швидкість, прискорення, імпульс та кінетичну енергію тіла.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** навчання фізики; закон збереження імпульсу; закон збереження енергії; смартфон; обчислювальні системи.

## EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE LAWS OF MOMENTUM AND ENERGY CONSERVATION IN THE SCHOOL COURSE OF PHYSICS USING COMPUTER SYSTEMS

**Olesya DAN'KIV** ✉

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
dankivolesya@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-2154-8396>

**Ihor STOLYARCHUK**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
i.stolyarchuk@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0001-7549-2335>

**Vitalij HOLSKYI**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
hol.wit@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0009-0003-7282-8050>

**Lyudmyla PAN'KIV**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
lyuda\_pankiv@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-6900-3336>

**Yuriy UHRYN**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
yuriyuhryn@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0001-8198-6462>

**Roman LESHKO**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
leshkoroman@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-9072-164X>

**Viktor BRYTAN**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
vbrytan@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-4535-6129>

**Oleh KUZYK**

*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine*  
olehkuzyk@dspu.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-8474-444X>

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** Learning motivation is one of the most important aspects that needs attention. The use of traditional teaching methods often reduces the interest of modern pupils in studying physics. The practical research of the laws of conservation of momentum and mechanical energy plays an important role in physics lessons. However, implementing simple experiments to confirm these laws sometimes encounters certain physical problems, in particular, such as the difficulty of determining instantaneous velocity. Traditional measurement methods may not be accurate enough or burdensome for pupils, making it difficult for them to understand basic physical principles. The methodology developed in this work effectively

combines a real physical experiment with modern computer technologies and is designed to increase both the effectiveness of learning and pupils' cognitive interest in studying physics.

**Materials and methods.** The research involved the analysis and systematization of scientific publications on the use of modern information technologies (smartphones and computer systems) in physics lessons and at home for performing home laboratory work. We also conducted a survey of physics teachers and students (60 respondents) regarding the possibility and necessity of conducting a physics experiment using a smartphone and computer mathematics systems.

**Results.** A method has been developed for experimentally verifying the laws of conservation of momentum and mechanical energy using computer systems and a smartphone video camera, which consists of video recording of the mechanical movement of the body (in some cases in slow motion), subsequent conversion of the video into a set of jpg format frames, and processing of the resulting drawings using computer systems. The proposed method allows determining the instantaneous velocity of a body up to 60 m/s.

**Conclusions.** The proposed method can be used both in physics lessons and when performing home laboratory work or pupil projects, where there is a need to determine the coordinates, instantaneous velocity, acceleration, momentum, and kinetic energy of a body.

**KEYWORDS:** *learning of physics; law of conservation of momentum; law of conservation of energy; smartphone; computing systems.*

## ВСТУП

**Постановка проблеми.** Важлива роль у процесі навчання належить практичному дослідженню законів збереження імпульсу та механічної енергії на уроках фізики. Проведення простих експериментів з метою підтвердити ці закони пов'язане з багатьма фізичними проблемами, такими як складність визначення швидкості тіл під час руху (миттєвої швидкості) та ін. Традиційні методи вимірювання не завжди є достатньо точними. Або ж є складними для учнів, що перешкоджає їхньому розумінню суті фізичних явищ та законів. Система сучасної природничо-математичної освіти є неможливою без активного використання цифрових технологій, онлайн-сервісів. Тому у навчання активно впроваджується нова форма наочності – віртуальна, яка може бути дуже ефективною, якщо доповнити її реальним фізичним експериментом. Однак, доволі часто використання різноманітного програмного продукту призводить до відсутності розуміння учнем фізичного змісту явища чи процесу, що вивчається. Яким би чином не імітувався фізичний процес, у більшості випадків не вдається відтворити всі частини реального експерименту і в результаті знижується ефективність навчання та, власне, й зникає зацікавленість у вивченні дисципліни. Тому на даний час існує проблема правильного ефективного впровадження інформаційних комп'ютерних технологій у шкільний курс фізики, яке б забезпечувало досягнення мети їхнього застосування на уроках, максимально поглиблювало рівень розуміння фізичних явищ, способів їх дослідження та принципів вимірювання фізичних величин. За можливості виконання реального фізичного експерименту комп'ютерне моделювання не повинно його замінити, а лише правильно доповнювати у "слабких місцях". Актуальність даного дослідження полягає у тому, що сучасні технології, зокрема, відеокамера (наприклад, смартфона) та програмне забезпечення для обробки зображень, можуть значно спростити цей процес.

**Аналіз актуальних досліджень.** У методиці навчання фізики важливе місце належить темам, пов'язаним із вивченням законів збереження енергії та імпульсу, як таким, що формують фундаментальні уявлення про фізику та фізичну картину світу (Кузьменко та ін., 2022; Halilović et al., 2021). Зокрема, в роботі (Кузьменко та ін., 2022) значну увагу приділено зв'язку законів збереження із симетрією простору та часу. Автори роботи (Halilović et al., 2021) провели ґрунтовний аналіз рівня розуміння учнями законів збереження при різних методах їх вивчення. Як одна з найважливіших компонентів у формуванні природничо-наукового мислення, навчання фізики нерідко постає перед труднощами через розрив між теоретичним підходом та практичним досвідом. Навіть у добре обладнаних навчальних закладах проведення лабораторних занять не дає учням достатнього досвіду, необхідного для майбутньої практичної діяльності (Solbes et al., 2009).

Останнє десятиліття характеризується стрімким впровадженням сучасних інформаційних технологій в освітній процес. Особливо це стосується дисциплін природничо-математичного циклу, зокрема, фізики. Використання сучасних інформаційних технологій прагне автоматизувати процес визначення фізичних величин, моделювати різноманітні фізичні явища та процеси.

На цей час існує дуже багато програмних продуктів, призначених для імітації (Erol & Oğur, 2023) та аналізу фізичних процесів, а також для статистичної обробки отриманих результатів (Ali et al., 2019). Сучасні шкільні цифрові лабораторії оснащені набором різноманітних давачів, які через інтерфейс даних дозволяють в режимі онлайн спостерігати динаміку зміни фізичних величин, будувати графіки та ін. (Флегантов, 2017). Це дозволяє модифікувати лабораторні роботи з фізики, або навіть виконувати нові, які за відсутності цифрових лабораторій було б неможливо виконати (наприклад, лабораторні роботи з ядерної фізики). Також програмний продукт, наприклад, різні системи символічної математики використовують для статистичної обробки та аналізу експериментальних даних. Таке використання сучасних інформаційних систем покликане підвищити ефективність навчання, здійснювати візуалізацію фізичних процесів для кращого їх розуміння, заощаджувати час при виконанні лабораторного практикуму (Федчишин та ін., 2023).

Використання відеозапису експериментів дозволяє учням аналізувати рух об'єктів з високою точністю, а математичні пакети, такі як Wolfram Mathematica та Matlab, надають необхідні інструменти для обробки отриманих даних. Це відкриває нові можливості для вивчення фізики, адже учні можуть звернути увагу на аналіз та інтерпретацію результатів, а не лише на проведення вимірювань.

Також особливо складним завданням є забезпечення ефективного проведення лабораторних робіт в умовах дистанційного навчання (у домашніх умовах) (Samragi et al., 2021; Larriga et al., 2021). Лабораторні роботи є ключовим елементом у вивченні фізики, адже вони дозволяють учням безпосередньо ознайомитися з фізичними явищами,

експериментально підтвердити теоретичні знання та розвинути навички роботи з фізичними приладами. Проведення цих занять у форматі домашнього навчання ставить перед вчителями та учнями низку нових завдань, пов'язаних з організацією експериментів, доступністю необхідного обладнання та забезпеченням відповідного рівня навчальної взаємодії (Santiago et al., 2022).

Огляд літератури вказує на те, що застосування комп'ютерних технологій у навчанні фізики набуває широкої популярності (Erol & Oğur, 2023; Litvinova et al., 2020; Zakaria et al., 2019), проте питання інтеграції відеоаналітики у шкільний курс фізики залишається недостатньо вивченим (Vochozka, 2024; Clerget et al., 2021). У цьому контексті дане дослідження має на меті розв'язання проблеми використання відеокамери та математичних пакетів для обробки зображень у дослідницькій діяльності учнів. Запропонований метод не лише покращить точність вимірювань, але й стане основою для реалізації складніших учнівських проєктів, де учні зможуть глибше досліджувати фізичні явища, застосовуючи отримані знання на практиці. Це, своєю чергою, сприятиме глибшому розумінню фізичних законів, підвищуючи зацікавленість учнів у навчанні.

**Мета статті.** З огляду на це, метою статті є розробка методичних рекомендацій для експериментального визначення імпульсу та кінетичної енергії тіла у будь-який момент часу  $i$ , відповідно, дослідної перевірки закону збереження імпульсу та/або механічної енергії з використанням камери смартфона та комп'ютерних обчислювальних систем. Запропонований алгоритм поєднує виконання реального фізичного експерименту з використанням інформаційних технологій.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження передбачало аналіз та систематизацію наукових публікацій щодо використання сучасних інформаційних технологій, зокрема, смартфона та обчислювальних систем на уроках фізики та у домашніх умовах для виконання домашніх лабораторних робіт. Також було проведено опитування вчителів фізики та студентів, які вже проходили педагогічну практику як вчителі фізики, щодо можливості та доцільності проведення фізичного експерименту з використанням смартфона та систем комп'ютерної математики. Опитування проводилося з 60 респондентами після ознайомлення їх з розробленою методикою. Зокрема, протягом травня 2024 року було опитано 27 вчителів фізики (під час проходження ними курсів підвищення кваліфікації) та 33 студенти, які здобувають фах вчителя фізики. Респондентам було задано 4 запитання: 1) Чи знаєте Ви, що смартфон використовують для проведення фізичного експерименту? 2) Чи знаєте Ви, що системи комп'ютерної математики відкривають широкі можливості у проведенні фізичних експериментів на якісно вищому рівні? 3) Чи вважаєте Ви, що розроблена методика (дослідна перевірка законів збереження імпульсу та енергії з використанням обчислювальних систем) має перспективу використання при вивченні шкільного курсу фізики? 4) Зазначте основні переваги та недоліки цієї методики.

Робота має як методичне, так і прикладне спрямування. Розроблений алгоритм дослідної перевірки законів збереження використовує метод відеоаналізу фізичних процесів, який можна розділити на 4 етапи: 1) проведення відеофіксації експерименту; 2) розкадрування відзнятого файлу; 3) імпорт отриманих зображень та їх початкова обробка (визначення координати рухомого тіла) засобами обчислювальних систем (MatLab, Wolfram Mathematica); 4) статистична обробка отриманих результатів (розрахунок швидкості, імпульсу, кінетичної енергії, побудова відповідних графіків та ін.) засобами обчислювальних систем.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для фізичного експерименту використовується лава з обмежувачами, вздовж якої можуть рухатися два візки, зазначаючи пружного зіткнення. Маса візків можна змінювати (використовуючи додаткові важки). Процес руху візків та їх зіткнення фіксується за допомогою смартфона з камерою. Обробка відеофайлу здійснювалася з використанням системи комп'ютерної математики Wolfram Mathematica. Також потрібен доступ до інтернету для здійснення конвертації відеофайлу у набір кадрів. Бажаною вимогою (але не обов'язковою у даному експерименті) до смартфона є здатність вести відеофіксацію з частотою 120 або 240 кадрів за секунду (стандартна частота, з якою здійснюється відеозйомка, – це 30 кадрів за секунду).

Пропонується наступний порядок виконання експериментального дослідження щодо експериментальної перевірки законів збереження імпульсу та енергії.

1. На відстані (2-3) м на штативі закріпити смартфон. При цьому, камера повинна бути спрямована перпендикулярно до лави. Далі слід відзняти на камеру процес руху та зіткнення візків.

2. За допомогою одного з онлайн конвертерів здійснити розкадрування відзнятого відео, тобто перетворити відеофайл у набір кадрів формату jpg. Також деякі обчислювальні системи, наприклад, Wolfram Mathematica 11 чи MATLAB R2012b (та вищі версії), дозволяють виконати таку функцію. У цьому випадку потреби в онлайн конвертері немає. У більшості випадків такі конвертери проводять розкадрування з періодом 0,1 с, хоча може бути й менший. Тривалість руху візків у нашому експерименті становила орієнтовно 1 с (рух до удару, зіткнення та рух після удару). Тому, при здійсненні конвертації відео, ми змогли отримати 10-12 кадрів. У даному досліді цього достатньо, щоб визначити швидкість візків до удару та після удару. Візки звичайно рухаються нерівномірно, через наявність сили тертя, але зміна швидкості за цей час несуттєва. Тому швидкості візків до удару ( $u_{1,2}$ ) та після удару ( $u_{1,2}$ ) можуть бути визначені за формулами:

$$u_{1,2} = \frac{x_{1,2}^{(i+1)} - x_{1,2}^{(i)}}{t_0}, \quad u_{1,2} = \frac{x_{1,2}'^{(i+1)} - x_{1,2}'^{(i)}}{t_0}, \quad (1)$$

де  $t_0$  – інтервал часу між двома кадрами (у нашому випадку  $t_0 = 0,1$  с),  $x_{1,2}^{(i)}$  – координата першого чи другого візка на  $i$ -му кадрі до зіткнення;  $x_{1,2}'^{(i)}$  – відповідно, координата першого чи другого візка на  $i$ -му кадрі після зіткнення.

За необхідності (за більшої швидкості руху тіла або при нерівномірному русі) відеофіксацію можна здійснити у режимі більшої частоти кадрів (сповільненому режимі). У цьому випадку частота становитиме 240 кадрів за секунду, що у 8 разів більше, ніж у звичайному режимі. Це дозволяє визначити миттєву швидкість до 60 м/с.

3. Зберегти папку з набором кадрів руху візка на комп'ютері.

4. Здійснити обробку зображень за допомогою обчислювальних систем, наприклад, Wolfram Mathematica. У даній роботі був використаний програмний код, який представлений у роботі (Kuzuk et al., 2023). Ця програма дозволяє імпортувати (завантажувати) отримані кадри, визначати на кожному з них координати потрібної точки (у нашому випадку візка). Це здійснюється за допомогою "локаторів" (областей, які можна легко переміщувати мишею у потрібну точку кадру, та миттєво отримувати її координати клацанням мишею по цій області). Кожна точка позначається, наприклад, червоним кругом для випадку руху візків до зіткнення та синім – при їхньому русі після зіткнення (рис. 1). Після цього програма дозволяє побудувати об'єднаний рисунок, де зображені всі проміжні положення візків (рис. 2). Також виводяться масиви координат візків.

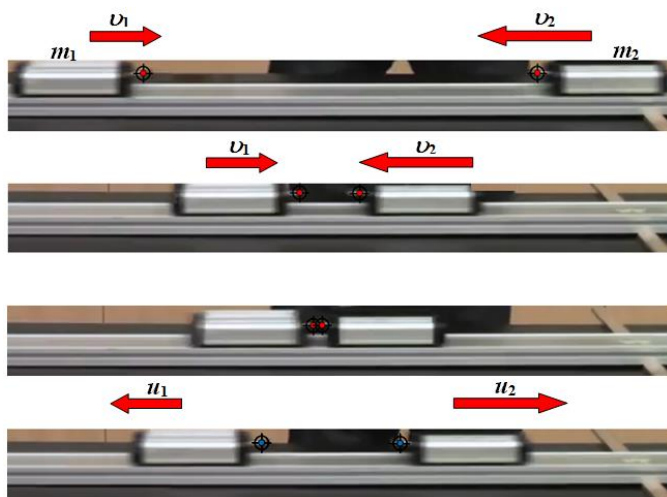


Рис. 1. Кадри руху візків з ідентифікованими їх положеннями за допомогою "локатора" засобами обчислювальної системи Wolfram Mathematica

Джерело: авторська розробка.



Рис. 2. Об'єднаний рисунок зі всіма проміжними положеннями візків, отриманий засобами Wolfram Mathematica: круг меншого розміру відповідає положенню першого візка; круг більшого розміру – положенню другого візка; круг червоного кольору відповідає положенню візка до пружного зіткнення; круг синього кольору – положенню візка після пружного зіткнення

Джерело: авторська розробка.

5. Визначити лінійний масштаб  $k$  отриманого рисунка. Для цього визначаємо відстань між візками  $l$  у початковий момент часу на рисунку  $l = x_2^{(0)} - x_1^{(0)}$  та реальну початкову відстань між візками  $L$ . Тоді масштабний коефіцієнт обчислюється як  $k = L / l$ . Помноживши компоненти попередньо визначеного масиву координат на коефіцієнт  $k$ , отримаємо реальні координати візків у різні моменти часу.

Процес виконання експериментального завдання в оптимальному темпі, починаючи від експерименту з відеофіксацією до обробки отриманих результатів засобами Wolfram Mathematica (маючи готовий програмний код), включно з конвертацією відеофайлу, зайняв 12 хвилин. Якщо конвертацію відеофайлу у кадри здійснювати безпосередньо з використанням обчислювальних систем, а не онлайн сервісів, то можна заощадити 2-3 хвилини. Тому за час уроку з виконання такої лабораторної роботи можна провести дослідження за різних параметрів (маси візків, їх швидкості до удару), проаналізувати результати й зробити висновок. Проведені теоретичні розрахунки імпульсів та кінетичних енергій добре узгоджуються з отриманими експериментальними даними.

Для виконання таких досліджень вчитель повинен мати базові знання для роботи в одній з обчислювальних систем. Для початківців ми рекомендуємо використовувати Wolfram Programming Cloud – хмарну платформу з відкритим доступом, розроблену компанією Wolfram Research, яка надає можливості для програмування, розробки та виконання проєктів у середовищі Wolfram Language. Ви зможете писати й запускати на виконання програмний код без необхідності встановлення відповідного програмного забезпечення на своєму комп'ютері. Все виконується у браузері. Платформа дозволяє створювати інтерактивні документи, які можуть включати графіки, таблиці та інші візуалізації даних. Користувачі можуть легко ділитися своїми проєктами з іншими (вчитель з учнями, учень з іншими учнями чи вчителем), що спрощує організацію виконання роботи. Вчитель, який вже працював з іншими системами комп'ютерної математики, легко зможе адаптуватися до роботи з даним середовищем. За наявності чіткої інструкції та готового програмного коду учень 10-го класу впорається із розглянутою задачею самостійно, навіть у домашніх умовах. Щодо вимог до смартфона. Стандартна частота для більшості відеозаписів 30 кадрів/с. Вона забезпечує плавне відтворення та є достатньою для більшості



повсякденних відео. Як уже зазначалося, у розглянутому прикладі цього є цілком достатньо. У випадку, якщо буде розглядатися, наприклад, нерівномірний рух (або рух зі значно більшими швидкостями), необхідно використати смартфон, який має режим сповільненої зйомки, в якому частота кадрів може досягати 120 чи 240 кадрів/с. Це дозволяє створювати ефект сповільненої зйомки і визначити миттєву швидкість до 60 м/с при рівномірному русі та досліджувати нерівномірний рух, наприклад, вільне падіння.

Результати опитування вчителів фізики та студентів, які вже проходили педагогічну практику як вчителів фізики, були наступними. 63% опитуваних знають про використання смартфона та тільки 30% – про використання обчислювальних систем в експериментальних фізичних дослідженнях. Більшість респондентів (82%) ствердно відповіли на запитання про перспективність використання розробленої методики у шкільному курсі фізики. Причому, на думку опитаних, така методика істотно підвищить мотивацію навчання школярів, – важливий аспект, який потребує сьогодня особливої уваги. Адже сучасні учні часто пасивно сприймають традиційні методи навчання, що зменшує їхню зацікавленість у вивченні фізики. На думку респондентів, впровадження сучасних технологій, таких як відеоаналітика, значно підвищить мотивацію учнів, оскільки дозволить їм брати активну участь у дослідницькому процесі, експериментувати та отримувати наочні результати. Взаємодія у навчанні з технологіями, які вони використовують у повсякденному житті, зробить процес засвоєння нових знань цікавішим та результативнішим.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Розроблена методика визначення координати, миттєвої швидкості та, відповідно, імпульсу, механічної енергії може бути використана як на уроках фізики, так і при виконанні домашніх лабораторних робіт чи учнівських проєктів, де є необхідність визначити ці фізичні величини як елемент складнішого завдання. Даний метод є органічним поєднанням традиційних методів реалізації процесу навчання фізики з новими методами його інтенсифікації та актуалізації, який не потребує додаткового обладнання, окрім смартфона та програмного забезпечення, яким можна скористатися онлайн. Даний підхід для визначення імпульсу, кінетичної енергії не обмежується лише дослідою перевіркою законів збереження. Ще однією позитивною стороною запропонованого методу є можливість його використання учнями у домашніх умовах. А це, своєю чергою, розширює тематику STEM-проєктів, які на даний час є ефективним інструментом навчання фізики та розвитку критичного мислення. Наприклад, з'являється можливість дослідження руху тіла у в'язкому середовищі навіть у домашніх умовах. Таким чином, розроблена методика, з одного боку, є інструментом для вимірювання ряду фізичних величин на уроках фізики або у домашніх умовах, а з іншого – сприятиме підвищенню рівня мотивації навчання фізики та засвоєння матеріалу, стимулюванню розвитку творчого мислення учнів, готуючи їх до розв'язування складних завдань у майбутній професійній діяльності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ali, S. H., Al-Zuky, A. A. D., Al-Saleh, A. H., & Mohamad, H. J. (2019). Measure liquid viscosity by tracking falling ball Automatically depending on image processing algorithm. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1294, 022002. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1294/2/022002>
2. Campari, E. G., Barbetta, M., Braibant, S., Cuzzuol, N., Gesuato, A., Maggiore, L., & Vignali, C. (2021). Physics Laboratory at Home During the COVID-19 Pandemic. *The Physics Teacher*, 59(1), 68–71. <https://doi.org/10.1119/5.0020515>
3. Clerget, M., Delvert, A., Courbin, L., & Panizza, P. (2021). Different scenarios of shrinking surface soap bubbles. *American Journal of Physics*, 89(3), 244–252. <https://dx.doi.org/10.1119/10.0002348>
4. Erol, M., & Oğur, M. (2023). Teaching large angle pendulum via Arduino based STEM education material. *Physics Education*, 58, 045001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/accef4>
5. Halilović, A., Mešić, V., Hasović, E., & Vidak, A. (2021). Teaching uppersecondary students about conservation of mechanical energy: two variants of the system approach to energy analysis. *Journal of Baltic Science Education*, 20(2), 223–236. <http://dx.doi.org/10.33225/jbse/21.20.223>
6. Kuzyk, O., Dan'kiv, O., & Stolyarchuk, I. (2023). Using the Wolfram Mathematica Software Product and the Smartphone to Determine Kinematic Quantities in Physics Laboratory Workshop. *2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CSIT61576.2023.10324257>
7. Larriba, M., Rodríguez-Llorente, D., Cañada-Barcala, A., Sanz-Santos, E., Gutiérrez-Sánchez, P., Pascual-Muñoz, G., Álvarez-Torrellas, S., Águeda, V. I., Delgado, J. A., & García, J. (2021). Lab at home: 3D printed and low-cost experiments for thermal engineering and separation processes in COVID-19 time. *Education for Chemical Engineers*, 36, 24–37. <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2021.02.001>
8. Litvinova, M., Dudchenko, O., Shtanko, O., & Karpova, S. (2020). Using the technical experiment in the computer simulation training for prospecting software engineers. *International Journal of Computing*, 19(2), 216–223. <https://www.computingonline.net/computing/article/download/1764/908>
9. Santiago, D. E., Melián, E. P., & Reboso, J.V. (2022). Lab at home in distance learning: A case study. *Education for Chemical Engineers*, 40, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.05.001>
10. Solbes, J., Guisasola, J., & Tarín, F. (2009). Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics. *J Sci Educ Technol*, 18, 265–274. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9149-3>
11. Vochozka, V. (2024). Using a Mobile Phone as a Measurement Tool for Illuminance in Physics Education. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2693, 012016. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2693/1/012016>
12. Zakaria, N. H., Phang, F. A., & Puspanathan, J. (2019). Physics on the Go: A Mobile Computer-Based Physics Laboratory for Learning Forces and Motion. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 14(24), 167–183. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i24.12063>
13. Кузьменко, О. С., Савченко, І. М., & Дем'яненко, В. Б. (2022). Методичні особливості реалізації взаємозв'язку симетрії та асиметрії на засадах STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України*, 2(24), 58–66. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2022-24-07>
14. Федчишин, О., Мохун, С., & Чопик, П. (2023). Віртуальний фізичний експеримент як засіб удосконалення фахових компетентностей здобувачів освіти в умовах дистанційного навчання. *Фізико-математична освіта*, 38(2), 50–55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-2-008>
15. Флегантов, Л. (2017). Комп'ютерне моделювання механічного руху тіла засобами MATHCAD. *Збірник наукових праць "Information Technologies in Education" (ITE)*, 30, 097–109. <https://doi.org/10.14308/ite000622>

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Ali, S. H., Al-Zuky, A. A. D., Al-Saleh, A. H., & Mohamad, H. J. (2019). Measure liquid viscosity by tracking falling ball Automatically depending on image processing algorithm. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1294, 022002. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1294/2/022002>
2. Campari, E. G., Barbetta, M., Braibant, S., Cuzzuol, N., Gesuato, A., Maggiore, L., & Vignali, C. (2021). Physics Laboratory at Home During the COVID-19 Pandemic. *The Physics Teacher*, 59(1), 68–71. <https://doi.org/10.1119/5.0020515>
3. Clerget, M., Delvert, A., Courbin, L., & Panizza, P. (2021). Different scenarios of shrinking surface soap bubbles. *American Journal of Physics*, 89(3), 244–252. <https://dx.doi.org/10.1119/10.0002348>
4. Erol, M., & Oğur, M. (2023). Teaching large angle pendulum via Arduino based STEM education material. *Physics Education*, 58, 045001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/accef4>
5. Halilović, A., Mešić, V., Hasović, E., & Vidak, A. (2021). Teaching uppersecondary students about conservation of mechanical energy: two variants of the system approach to energy analysis. *Journal of Baltic Science Education*, 20(2), 223–236. <http://dx.doi.org/10.33225/jbse/21.20.223>
6. Kuzyk, O., Dan'kiv, O., & Stolyarchuk, I. (2023). Using the Wolfram Mathematica Software Product and the Smartphone to Determine Kinematic Quantities in Physics Laboratory Workshop. *2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 1-4. <https://doi.org/10.1109/CSIT61576.2023.10324257>
7. Larriba, M., Rodríguez-Llorente, D., Cañada-Barcala, A., Sanz-Santos, E., Gutiérrez-Sánchez, P., Pascual-Muñoz, G., Álvarez-Torrellas, S., Águeda, V. I., Delgado, J. A., & García, J. (2021). Lab at home: 3D printed and low-cost experiments for thermal engineering and separation processes in COVID-19 time. *Education for Chemical Engineers*, 36, 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.ECE.2021.02.001>
8. Litvinova, M., Dudchenko, O., Shtanko, O., & Karpova, S. (2020). Using the technical experiment in the computer simulation training for prospecting software engineers. *International Journal of Computing*, 19(2), 216–223. <https://www.computingonline.net/computing/article/download/1764/908>
9. Santiago, D. E., Melián, E. P., & Reboso, J.V. (2022). Lab at home in distance learning: A case study. *Education for Chemical Engineers*, 40, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.05.001>
10. Solbes, J., Guisasola, J., & Tarín, F. (2009). Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics. *J Sci Educ Technol*, 18, 265–274. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9149-3>
11. Vochozka, V. (2024). Using a Mobile Phone as a Measurement Tool for Illuminance in Physics Education. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2693, 012016. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2693/1/012016>
12. Zakaria, N. H., Phang, F. A., & Pusppanathan, J. (2019). Physics on the Go: A Mobile Computer-Based Physics Laboratory for Learning Forces and Motion. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 14(24), 167–183. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i24.12063>
13. Kuzmenko, O. S., Savchenko, I. M., & Demianenko, V. B. (2022). Metodichni osoblyvosti realizatsii vzaemozv'yazku symetrii ta asymetrii na zasadakh STEM-osvity [Methodical features of implementation of the relationship between symmetry and asymmetry based on STEM education]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy – Scientific Notes of Junior Academy of Sciences of Ukraine*, 2(24), 58–66. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2022-24-07> (In Ukrainian)
14. Fedchyshyn, O., Mokhun, S., & Chopyk, P. (2023). Virtualnyi fizychnyi eksperyment yak zasib udoskonalennia fakhovykh kompetentnosti zdozvuchiv osvity v umovakh dystantsiinoho navchannia [A virtual physic experiment as a means of improving the professional competencies of students in the conditions of distance education]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(2), 50–55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-2-008> (In Ukrainian)
15. Flehantov, L. (2017). Kompyuterne modelyuvannya mekhanichnoho rukhu tila zasobamy MATHCAD [Computer simulation the mechanical movement body by means of MATHCAD]. *Zbirnyk naukovykh prats "Information Technologies in Education" (ITE) – Journal of Information Technologies in Education (ITE)*, 30, 097–109. <https://doi.org/10.14308/ite000622> (In Ukrainian)

Матеріал надійшов до редакції 03.11.2024р.

