



УДК 373.5.016

[https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-11\(29\)-910-920](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-11(29)-910-920)

Лешко Роман Ярославович кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-9072-164X>

Кузик Олег Васильович кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-8474-444X>

Даньків Олеся Омелянівна кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-2154-8396>

Столярчук Ігор Дмитрович доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74 <https://orcid.org/0000-0001-7549-2335>

Гольський Віталій Богданович кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0009-0003-7282-8050>

Британ Віктор Богданович кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-4535-6129>

Угрин Юрій Орестович кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0001-8198-6462>

Паньків Людмила Іванівна кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інформаційних систем, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, м. Дрогобич, 82100, тел.: (03-24) 41-04-74



ПРО МОЖЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ У КУРСІ ШКІЛЬНОЇ ФІЗИКИ

Анотація. У статті приділено увагу моделюванню коливань з використанням засобів комп'ютерної математики, що є ефективним інструментом для вивчення динаміки складних фізичних процесів та їхньої візуалізації. Сучасні підходи до навчання фізики потребують інтеграції цифрових технологій, щоб зробити засвоєння теоретичних знань більш цікавим і доступним для учнів та студентів. Використання комп'ютерного моделювання дає змогу не лише бачити статичні схеми та графіки, а й працювати з динамічними системами, що візуалізують процеси, які відбуваються у реальному часі. Одним із найбільш популярних прикладів є модель маятника, яка дозволяє відтворити динаміку його коливань із високим ступенем точності. Завдяки цій моделі можна спостерігати зміну положення маятника, його швидкості, прискорення та енергії на кожному етапі руху, що дає можливість візуально зрозуміти взаємозв'язок між різними фізичними величинами.

Використання засобів комп'ютерної математики дозволяє здійснювати симуляції, які демонструють, як різні початкові умови впливають на поведінку системи. Це дуже корисно для пояснення концепцій, що стосуються законів збереження енергії та імпульсу, оскільки учні можуть легко побачити, як енергія переходить із потенціальної у кінетичну та навпаки. Завдяки цьому стає можливим глибше усвідомлення принципів фізики, що в традиційному навчанні може бути обмеженим через складність уявлення абстрактних процесів.

Комп'ютерне моделювання базується на використанні потужних математичних бібліотек та графічних інструментів, що значно підвищують ефективність навчального процесу та дозволяють більш глибоко вивчати фізичні явища. За допомогою Python та Wolfram Mathematica, можна створювати точні й деталізовані моделі коливальних рухів, що демонструють усі аспекти системи. Це дає учням можливість змінювати параметри моделі, такі як маса маятника, амплітуда коливань, жорсткість пружини та інші змінні, для дослідження їхнього впливу на результати.

Інтеграція таких підходів у навчання сприяє розвитку навичок роботи з комп'ютерними технологіями та програмуванням, що є важливою частиною STEM-освіти. Учні не тільки засвоюють теоретичні знання з фізики, а й набувають практичних умінь у використанні програмного забезпечення для наукових досліджень. Залучення до роботи з такими інструментами формує навички аналізу й обробки даних, що є необхідними у сучасному світі, де наукові та інженерні дисципліни відіграють ключову роль.

Ключові слова: коливання, моделювання коливань, Python.



Leshko Roman Yaroslavovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-9072-164X>

Kuzyk Oleh Vasylovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-8474-444X>

Dankiv Olesya Omelyanivna Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-2154-8396>

Stolyarchuk Ihor Dmytrovych Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0001-7549-2335>

Holskyi Vitalii Bohdanovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0009-0003-7282-8050>

Brytan Viktor Bohdanovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0002-4535-6129>

Uhryn Yuriy Orestovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74, <https://orcid.org/0000-0001-8198-6462>

Pankiv Lyudmyla Ivanivna Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Information Systems, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Stryiska St., 3, Drohobych, 82100, tel.: (03-24) 41-04-74



ON THE POSSIBILITIES OF MODELING MECHANICAL OSCILLATIONS IN THE SCHOOL PHYSICS COURSE

Abstract. The article focuses on the modeling of oscillations using computer mathematics tools, which serve as an effective instrument for studying the dynamics of complex physical processes and their visualization. Modern approaches to teaching physics require the integration of digital technologies to make the assimilation of theoretical knowledge more engaging and accessible for students. The use of computer modeling allows not only the observation of static schemes and graphs but also the interaction with dynamic systems that visualize processes occurring in real time. One of the most popular examples is the pendulum model, which makes it possible to reproduce the dynamics of its oscillations with a high degree of accuracy. This model enables observation of changes in the pendulum's position, velocity, acceleration, and energy at each stage of motion, offering a visual understanding of the interrelationship between different physical quantities.

The use of computer mathematics tools enables simulations that show how different initial conditions affect the behavior of a system. This is highly beneficial for explaining concepts related to the laws of conservation of energy and momentum, as students can easily observe how energy transitions from potential to kinetic and vice versa. This approach facilitates a deeper comprehension of physical principles, which can be limited in traditional education due to the complexity of visualizing abstract processes.

Computer modeling relies on powerful mathematical libraries and graphical tools that significantly enhance the educational process and allow for a more thorough study of physical phenomena. Using Python and Wolfram Mathematica, it is possible to create precise and detailed models of oscillatory motions that illustrate all aspects of the system. This enables students to modify model parameters such as the pendulum's mass, amplitude of oscillation, spring stiffness, and other variables to explore their impact on the results.

The integration of such approaches into education fosters the development of skills in working with computer technologies and programming, which are crucial components of STEM education. Students not only acquire theoretical knowledge of physics but also gain practical skills in using software for scientific research. Engagement with such tools cultivates data analysis and processing skills, which are essential in the modern world where scientific and engineering disciplines play a key role.

Keywords: Oscillations, oscillation modeling, Python.

Постановка проблеми. Тема «Механічні коливання» є однією центральних тем у курсі фізики в школі, оскільки вона формує основу для розуміння багатьох природних та інженерних явищ. Коливальні рухи зустрічаються



повсюдно: від маятника годинника до хвиль на поверхні води. Усвідомлення цієї теми допомагає учням краще сприймати явища навколо себе та готує до вивчення складніших розділів, таких як хвильова оптика та електромагнітні коливання.

Використання комп'ютерного моделювання для вивчення коливань — це продуктивний спосіб засвоїти основні принципи дії коливальних систем і пов'язаних із ними фізичних законів особливо в умовах дистанційного навчання. Математичні моделі та графічна візуалізація руху стимулюють абстрактне мислення й дають можливість застосовувати знання на практиці. Одночасно моделювання формує навички роботи з комп'ютерними програмами, що стає важливим аспектом сучасної освіти та допомагає вчителям створювати більш зрозумілі й доступні навчальні матеріали.

Засвоєння основ коливальних процесів надає учням знання, які стануть корисними у майбутньому для інженерних, наукових та технологічних професій. Розуміння механіки коливань сприяє формуванню критичного мислення, вміння аналізувати складні процеси та наукового світогляду. Вивчення цієї теми є важливим етапом у розвитку як академічних, так і прикладних навичок.

Моделювання коливань також відкриває можливості для міждисциплінарних проектів, що об'єднують фізику, математику й інформатику в рамках STEM-освіти [1]. Використання програм для симуляцій сприяє розвитку програмування та математичних знань, особливо в алгебрі та тригонометрії. Такі завдання не лише закріплюють знання, але й показують учням практичну важливість зв'язків між різними науками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тематика коливань і методика їх викладання неодноразово порушувалася різними методистами, педагогами та іншими науковими дослідниками. Останнім часом у зв'язку з дистанційним навчанням, зумовленим епідемією Covid, а пізніше воєнним станом, питання вивчення коливних процесів за допомогою симуляції чи моделювання стає актуальним завданням. Наприклад, методичні основи використання phet-симуляцій [2] при вивченні фізики розглянуто в [3]. Також пропонується організувати середовище для впровадження віртуального фізичного експерименту [4]. Ці та інші речі є важливими для покращення вивчення фізики, зокрема і коливних процесів. Однак важливим на нашу думку є у можливість організації самостійних симуляцій учнями у рамках виконання проектних завдань, які передбачені програмами з фізики [5]. А для цього ми пропонуємо використовувати Wolfram Demonstrations Project і Python, бо відповідна мова програмування досить часто вивчається учнями у школі. А поєднання фізики та програмування відбуватиметься у рамках STEM-освіти.



Мета статті – є аналіз коливань і надання рекомендацій щодо створення комп'ютерних моделей механічних коливань, які вивчають у шкільній фізиці.

Виклад основного матеріалу. Малі коливання – це найпоширеніший вид руху. Механічні системи часто проявляють саме такі коливання. Вони виникають при незначних зміщеннях системи від положення стійкої рівноваги. Також такий рух з'являється при малих відхиленнях. Теорія малих коливань має велике значення. Вона широко використовується у різних дослідженнях. Її застосовують для механічних та немеханічних систем, зокрема в акустиці, в аналізі молекулярних спектрів, у дослідженні коливань в електричних колах.

Для аналізу теми коливань у шкільному курсі фізики було переглянуто багато підручників. Розглянуто видання як профільного рівня, так і стандарту. Аналіз охопив підручники для 10 та 11 класів [6-19]. Виявлено, що механічні коливання часто вводяться через аналіз періодичних рухів та експерименти.

У деяких підручниках, наприклад, [13], тема починається з основних характеристик коливань. Вводяться поняття зміщення, амплітуда, період і частота. Окремо класифікуються типи коливань: затухаючі, незатухаючі, вільні та вимушені. Також розглядаються автоколивання та гармонічні коливання.

Майже всі підручники детально пояснюють коливання маятників. Відображається математична сторона, вводяться формули та розглядаються сили, що діють на тіла. Пояснюється енергія, швидкість і прискорення руху. Резонанс представлений з прикладами у техніці та повсякденному житті.

Теми електромагнітних коливань знову повертаються в 11 класі. Це актуалізує знання про механічні коливання, дозволяючи перенести їх на інші приклади. Однак можливе дублювання матеріалу 10 класу. Використання аналогій і демонстрацій допомагає зв'язати ці теми та розширює можливості вивчення.

Однією з цікавих платформ, що дає змогу віртуально досліджувати коливання є "Wolfram Demonstrations Project" [20] — це інноваційна онлайн-платформа, створена компанією Wolfram Research для візуалізації та вивчення наукових і математичних концепцій. Завдяки інтерактивності, користувачі можуть змінювати вхідні параметри, спостерігаючи вплив цих змін на результат, що дозволяє глибше розуміти складні теми без необхідності знання програмування. Платформа є особливо корисною для викладачів і вчителів, які інтегрують готові демонстрації у свої уроки або створюють власні, адаптовані до потреб учнів. Це допомагає робити навчання більш динамічним, що підвищує інтерес студентів до дослідження науки.

Окрім великої кількості матеріалів з фізики, які охоплюють від базових до університетських тем, на платформі доступні демонстрації з інших природ-



ничих наук: хімії, біології та геології. Учні можуть вивчати хімічні реакції, структуру ДНК або навіть досліджувати геологічні явища, такі як вулкани. Математичні моделі, представлені на сайті, варіюються від простих геометричних фігур до систем диференціальних рівнянь, що дає змогу проводити міждисциплінарні дослідження. Завдяки безкоштовному доступу до всіх демонстрацій, платформа стає цінним інструментом не лише для академічних кіл, а й для широкого загалу, зацікавленого у вивченні світу через інтерактивні візуалізації.

Після ознайомлення з готовими проектами "Wolfram Demonstrations Project" перейдемо до створення власного — програми для моделювання коливань математичного маятника за допомогою бібліотеки для побудови графіків і анімації у Python [21]. Це безкоштовне і доступне програмне забезпечення, що вивчається в шкільному курсі інформатики. Суть підходу полягає в тому, щоб розділити рух маятника на невеликі проміжки часу та для кожного з них розраховувати нове положення вантажу. Програма містить дві основні функції: ініціалізацію графіки та оновлення положення маятника на кожному кроці. Спочатку створюються порожні графічні елементи для стрижня маятника і вантажу, які потім постійно оновлюються під час анімації. На кожному етапі обчислюється новий кут відхилення, а координати на графіку змінюються відповідно до цього кута. Завдяки цьому забезпечується плавне та безперервне відображення руху маятника. Координати кожної точки передаються у вигляді списків для правильного відображення на графіку. Нижче ми наводимо лістинг програми, яка дає змогу моделювати коливання.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation
# Визначаємо параметри маятника
g = 9.81 # Прискорення вільного падіння
L = 1.0 # Довжина маятника
theta0 = np.pi / 6 # Початковий кут (45 градусів)
omega0 = 0.0 # Початкова кутова швидкість
# Функція для розрахунку кута маятника в будь-який момент часу
def pendulum_eq(t, theta0, omega0, g, L):
    omega = omega0
    theta = theta0 * np.cos(np.sqrt(g / L) * t)
    return theta
# Налаштування графіки
fig, ax = plt.subplots()
ax.set_xlim(-L, L) # Залишаємо межі для X
ax.set_ylim(-L, 0.5 * L) # Більше простору над точкою підвісу
rod, = ax.plot([], [], 'k-', lw=2) # Чорна лінія стрижня
```



```
bob, = ax.plot([], [], 'bo', markersize=10) # Синя кулька маятника
pivot, = ax.plot(0, 0.5 * L, 'ro', markersize=8) # Точка підвісу зміщена вгору
# Функція ініціалізації
def init():
    rod.set_data([], [])
    bob.set_data([], [])
    return rod, bob
# Функція оновлення позиції маятника
def update(frame):
    t = frame / 50 # Час для розрахунку
    theta = pendulum_eq(t, theta0, omega0, g, L)
    # Координати кульки маятника
    x = L * np.sin(theta)
    y = 0.5 * L - L * np.cos(theta) # Точка підвісу на висоті 0.5 * L
    rod.set_data([0, x], [0.5 * L, y]) # Лінія від точки підвісу до кульки
    bob.set_data([x], [y]) # Кулька в точці (x, y), координати подаємо як списки
    return rod, bob
# Анімація маятника
ani = animation.FuncAnimation(fig, update, frames=500, init_func=init,
interval=20, blit=True)
plt.show()
```

Програму можна інтегрувати в складніші системи, де маятник взаємодіє з іншими об'єктами, як-от системи з двома маятниками або з опором середовища. Це дає змогу учням вивчати складніші явища та розвивати аналітичне мислення, вирішуючи завдання з фізики. Можливість запису результатів експериментів допомагає порівнювати їх із теорією чи роботами інших. Це візуалізує процес навчання, показуючи вплив зміни параметрів на систему.

Зразок програми може стати основою для освітніх проєктів, зокрема в рамках STEM-освіти для 10 класу. Викладачі можуть використовувати її для лабораторних робіт або завдань, де учні моделюють системи, змінюють параметри та аналізують дані. Це дозволяє вивчати закони Ньютона, коливання та енергію на практиці. Інтерактивність підвищує зацікавленість, сприяючи навчанню через дослідження.

Висновки. У цій статті розглянуто підручники з фізики, змодельовано коливання маятника засобами комп'ютерної математики. Комп'ютерна анімація дозволяє візуалізувати динаміку та спостерігати енергію маятника. Використання математичних бібліотек робить моделювання наочним та ефективним для учнів. Це допомагає поєднати теорію з практикою у STEM-освіті.



Література:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України: Про затвердження плану заходів щодо реалізації Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) до 2027 року від 13 січня 2021 року № 131-р.
2. Інтерактивні симуляції для природничих наук і математики. URL : <https://phet.colorado.edu/uk/>.
3. Федчишин О. Методичні основи використання phet-симуляцій у процесі вивчення фізики / О. Федчишин, С. Мохун, П. Чопик // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. №1 2022, с. 16-24.
4. Федчишин О. Віртуальний фізичний експеримент як засіб удосконалення фахових компетентностей здобувачів освіти в умовах дистанційного навчання / О. Федчишин, С. Мохун, П. Чопик // Фізико-математична освіта. Т. 38, №2. 2023, с. 50-55.
5. Фізика. Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів. URL: <https://mon.gov.ua/osvita-2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv>
6. Генденштейн Л. Е. Фізика. 10 кл. : підруч. для загальноосвіт. Навч. закладів : рівень стандарту / Л. Е. Генденштейн, І. Ю. Ненашев. — Х. : Гімназія, 2010, — 272 с.
7. Коршак Є. В. Фізика. 10 кл. : підруч. для загальноосвіт. Навч. закладів : рівень стандарту / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко – К. : Генеза, 2010. – 191 с.
8. Головка М. В. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою ав- Ф50 торського колективу під керівництвом Ляшенка О.І.) підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти / М. В. Головка, Ю. С. Мельник, Л. В. Непорожня, В. В. Сіпій — Київ: Педагогічна думка, 2018. – 256 с.
9. Засекіна Т. М. Фізика і астрономія (профільний рівень) : підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2018. — 304 с.
10. Засекіна Т. М. Фізика (профільний рівень) : підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін.— К. : УОВЦ «Оріон», 2018. — 304 с.
11. Засекіна Т. М. Фізика (рівень стандарту): підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2018. — 208 с.
12. Сиروتюк В.Д. Фізика (рівень стандарту, за навч. програмою авт. колективу під керівництвом Ляшенка О.І.) : підруч. для 10-го кл. закл. заг. серед. освіти / В.Д. Сиروتюк. — Київ : Генеза, 2018. — 256 с.
13. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018. — 272 с.
14. Коршак Є. В. Фізика : 11 кл. : підруч. для загальноосвіт. навч. закл. : рівень стандарту / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. : Генеза, 2011. - 256 с.
15. Сиروتюк В. Фізика і астрономія (рівень стандарту, за навч. програмою авт. кол. під керівництвом Ляшенка О. І.) : підруч. для 11-го кл. закл. заг. серед. освіти / Володимир Сиروتюк, Юрій Мирошніченко. — Київ : Генеза, 2019. — 368 с.
16. Головка М. В. Фізика і астрономія (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом О.І. Ляшенка) підруч. для 11 класу закладів загальної середньої освіти / М. В. Головка, І. П. Крячко, Ю. С. Мельник, Л. В. Непорожня, В. В. Сіпій — Київ : Педагогічна думка, 2019. — 288 с.



17. Засекіна Т. М. Фізика і астрономія (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Ляшенка О. І.) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2019. — 304 с.
18. Засекіна Т. М. Фізика і астрономія (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Ляшенка О. І.) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2019. — 272 с.
19. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.] ; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — 272 с.
20. WOLFRAM Demonstrations Project [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://demonstrations.wolfram.com>.
21. Welcome to Python.org [Електронний ресурс] — Режим доступу: URL : <https://www.python.org/>.

References:

1. Rozporjadzhennja Kabinetu Ministriv Ukraïni: Pro zatverdzhennja planu zahodiv shhodo realizacii Konceptii rozvitku prirodnicHO-matematichnoï osviti (STEM-osviti) do 2027 roku [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine: On the approval of the plan of measures for the implementation of the Concept for the Development of Science and Mathematics Education (STEM-education) until 2027]. [in Ukrainian].
2. Interaktivni simuljacii dlja prirodnicHih nauk i matematiki [Interactive simulations for natural sciences and mathematics]. *phet.colorado.edu* Retrieved from <https://phet.colorado.edu/uk/>. [in Ukrainian].
3. Fedchishin, O. (2022). Metodichni osnovi vikoristannja phet-simuljacij u procesi vivchennja fiziki [Methodical bases of using phet-simulations in the process of studying physics]. *Naukovi zapiski Ternopil's'kogo nacional'nogo pedagogicHnogo universitetu imeni Volodimira Gnatjuka. Serija: pedagogika - Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: pedagogy*, 1 2022, 16-24 [in Ukrainian].
4. Fedchishin, O. (2023). Virtual'nij fizicHnij eksperiment jak zasib udoskonalennja fahovih kompetentnostej zdobuvacHiv osviti v umovah distancijnogo navchannja [Virtual physical experiment as a means of improving the professional competences of students in the conditions of distance learning]. *Fiziko-matematichna osvita - Physical and mathematical education*, 38, 2. 2023, 50-55 [in Ukrainian].
5. Fizika [Physics]. *mon.gov.ua* Retrieved from <https://mon.gov.ua/osvita-2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv> [in Ukrainian].
6. Gendenshtejn, L. E. (2010). *Fizika [Physics]*. H. : Gimnazija [in Ukrainian].
7. Korshak, E. V. (2010). *Fizika [Physics]*. K. : Geneza [in Ukrainian].
8. Golovko, M. V. (2018). *Fizika (riven' standartu, za navchal'noju programoju av- F50 tors'kogo kolektivu pid kerivnictvom Ljashenka O.I.) [Physics (standard level, according to the F50 curriculum of the author's team under the leadership of O. I. Lyashenko)]*. Kiiiv: PedagogicHna dumka [in Ukrainian].
9. Zasekina, T. M. (2018). *Fizika i astronomija (profil'nij riven') [Physics and astronomy (professional level)]*. K. : UOVC «Orion» [in Ukrainian].
10. Zasekina, T. M. (2018). *Fizika (profil'nij riven') [Physics (professional level)]*. K. : UOVC «Orion» [in Ukrainian].



11. Zasekina, T. M. (2018). *Fizika (riven' standartu) [Physics (standard level)]*. K. : UOVC «Orion» [in Ukrainian].
12. Sirotjuk, V.D. (2018). *Fizika (riven' standartu, za navch. programoju avt. kolektivu pid kerivnictwom Ljashenka O.I.) [Physics (standard level, according to the curriculum of the author's team under the leadership of O.I. Lyashenko)]*. Kiïv : Geneza [in Ukrainian].
13. Bar'jahtar, V. G. , Dovgij, S. O. , Bozhinova, F. Ja. , Kirjuhina, O. O. (2018). *Fizika (riven' standartu, za navchal'noju programoju avtors'kogo kolektivu pid kerivnictwom Lokteva V. M.) [Physics (standard level, according to the curriculum of the author's team under the leadership of V. M. Loktev)]*. Harkiv : Vid-vo «Ranok» [in Ukrainian].
14. Korshak, Є. V. (2011). *Fizika : 11 kl. [Physics: 11th grade]*. K. : Geneza [in Ukrainian].
15. Sirotjuk, V. (2019). *Fizika i astronomija (riven' standartu, za navch. programoju avt. kol. pid kerivnictwom Ljashenka O. I.) [Physics and astronomy (standard level, according to the curriculum of the author's college under the supervision of O.I. Lyashenko)]*. Kiïv : Geneza [in Ukrainian].
16. Golovko, M. V. (2019). *Fizika i astronomija (riven' standartu, za navchal'noju programoju avtors'kogo kolektivu pid kerivnictwom O.I. Ljashenka) [Physics and astronomy (standard level, according to the curriculum of the author's team under the leadership of O.I. Lyashenko)]*. Kiïv : Pedagogichna dumka [in Ukrainian].
17. Zasekina, T. M. (2019). *Fizika i astronomija (profil'nij riven', za navchal'noju programoju avtors'kogo kolektivu pid kerivnictwom Ljashenka O. I.) [Physics and astronomy (professional level, according to the curriculum of the author's team under the leadership of O. I. Lyashenko)]*. K. : UOVC «Orion» [in Ukrainian].
18. Zasekina ,T. M. (2019). *Fizika i astronomija (riven' standartu, za navchal'noju programoju avtors'kogo kolektivu pid kerivnictwom Ljashenka O. I.) [Physics and astronomy (standard level, according to the curriculum of the author's team under the leadership of O.I. Lyashenko)]*. K. : UOVC «Orion» [in Ukrainian].
19. Bar'jahtar, V. G., Dovgij, S. O., Bozhinova, F. Ja., Kirjuhina, O. O. (2019). *Fizika (riven' standartu, za navchal'noju programoju avtors'kogo kolektivu pid kerivnictwom Lokteva V. M.) [Physics (standard level, according to the curriculum of the author's team under the leadership of V. M. Loktev)]*. Harkiv : Vid-vo «Ranok» [in Ukrainian].
20. WOLFRAM Demonstrations Project. *demonstrations.wolfram.com* Retrieved from <https://demonstrations.wolfram.com>. [in English].
21. Welcome to Python.org . *www.python.org* Retrieved from <https://www.python.org/>. [in English].