

УДК 373.5.015.31:53

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-6>

Юрій МІНАЄВ

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної та прикладної фізики, Запорізький національний університет, вул. Жуковського 66, м. Запоріжжя, Україна, 69600

ORCID ID: 0000-0003-1371-6545

Наталія ТИХОНСЬКА

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної фізики, Запорізький національний університет, вул. Жуковського 66, м. Запоріжжя, Україна, 69600

ORCID ID: 0000-0002-9331-2091

Денис ШАЛАТОВ

магістрант I курсу спеціальності Середня освіта (Фізика), Запорізький національний університет, вул. Жуковського 66, м. Запоріжжя, Україна, 69600

ORCID ID: 0000-0002-0153-1546

Бібліографічний опис статті: Мінаєв, Ю., Тихонська, Н., Шалатов, Д. (2022). Навчання старшокласників прийомів критичного мислення на прикладі аналізу статті про розрахунок періоду коливань маятника у випадку довільних амплітуд. *Фізика та освітні технології*, 1, 48–55, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-6>

НАВЧАННЯ СТАРШОКЛАСНИКІВ ПРИЙОМІВ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ НА ПРИКЛАДІ АНАЛІЗУ СТАТТІ ПРО РОЗРАХУНОК ПЕРІОДУ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА У ВИПАДКУ ДОВІЛЬНИХ АМПЛІТУД

Дана стаття присвячена проблемі розвитку критичного мислення в учнів старшої школи. **Актуальність** проблеми підтверджується збільшенням останнім часом кількості науково-методичних публікацій з цієї теми, закріпленням словосполучення «критичне мислення» в нормативних документах, що стосуються організації освіти в Україні, появою низки дисертаційних досліджень, пов'язаних з розвитком критичного мислення засобами різних навчальних предметів. Безпосередня **мета даної статті** полягає в тому, щоб показати на конкретному прикладі, як знання та навички, отримані на уроках математики, інформатики і фізики, а також на заняттях гуртка закладу позашкільної освіти, можуть ставати знаряддям критичного мислення при аналізі фізичного тексту. Як приклад обрано статтю, опубліковану в науковому журналі.

Новизна нашої розвідки полягає, перш за все, в тому, що нам вдалося знайти доволі вдалу для наших цілей статтю, опубліковану в науковому виданні, яка і стала предметом критичного аналізу на заняттях фізико-математичного гуртка. Унікальність цієї статті в тому, що вона дозволила старшокласникам у реальній ситуації застосувати цілу низку прийомів критичного мислення, з якими вони знайомилися на попередніх заняттях гуртка, використовуючи спеціально сконструйовані вправи. З використанням цих прийомів була проаналізована не лише кінцева формула для періоду коливань, а й одна з ключових проміжних формул. Крім того, гуртківці познайомилися з новими для них прийомами критичного мислення. Найцікавішим було те, що вдалося довести хибність самого методу, який запропонували автори аналізованої статті для виведення формули періоду коливань математичного маятника у випадку довільних амплітуд.

Із проведеного дослідження ми зробили **висновок**, що має сенс продовжувати пошуки опублікованих фізичних текстів, які були б цікавими з точки зору використання їх як методичного матеріалу для навчання старшокласників прийомів критичного мислення на основі інтеграції знань з фізики, математики та інформатики.

Ключові слова: критичне мислення, математичний маятник, амплітуда коливань, період коливань, середня швидкість, середнє значення функції.

Yurii MINAIEV

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at General and Applied Physics Department, Zaporizhzhia National University, 66 Zhukovskoho Street, Zaporizhzhia, Ukraine, 69600

ORCID ID: 0000-0003-1371-6545

Nataliia TIHONSKA

Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor at General and Applied Physics Department, Zaporizhzhia National University, 66 Zhukovskoho Street, Zaporizhzhia, Ukraine, 69600

ORCID ID: 0000-0002-9331-2091

Denys SHALATOV

Master's student in Secondary Education (Physics), Zaporizhzhia National University, 66 Zhukovskoho Street, Zaporizhzhia, Ukraine, 69600

ORCID ID: 0000-0002-0153-1546

To cite this article: Minaiev, Yu., Tihonska, N., Shalатов, D. (2022). Teaching high school students critical thinking techniques using analysis of an article about calculating the period of pendulum oscillations in the case of arbitrary amplitudes. *Physics and Educational Technology*, 1, 48–55, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-6>

TEACHING HIGH SCHOOL STUDENTS CRITICAL THINKING TECHNIQUES USING ANALYSIS OF AN ARTICLE ABOUT CALCULATING THE PERIOD OF PENDULUM OSCILLATIONS IN THE CASE OF ARBITRARY AMPLITUDES

This article is devoted to the problem of developing critical thinking in high school students. The relevance of the problem is confirmed by the recent increase in the number of scientific and methodical publications on this topic, the consolidation of the phrase “critical thinking” in normative documents related to the organization of education in Ukraine, the appearance of a number of dissertation studies related to the development of critical thinking by means of various educational subjects. The purpose of this article is to show on an example how the knowledge and skills acquired in mathematics, computer science and physics lessons, as well as in extracurricular classes, can become a tool for critical thinking in the analysis of a text on physics. An article published in a scientific journal was chosen as an example.

The novelty of our investigation consists, first of all, in the fact that we managed to find a rather successful article for our purposes, published as a scientific publication, which became the subject of critical analysis in extracurricular classes. The uniqueness of this article is that it allowed high school students in a real situation to apply a number of critical thinking techniques, which they were introduced to in previous classes, using specially designed exercises. Using these techniques, not only the final formula for the oscillation period, but also one of the key intermediate formulae was analyzed. In addition, the students will get to know the techniques of critical thinking that are new to them. The most interesting thing is that it is possible to prove the falsity of the very method proposed by the authors of the analyzed article for deriving the formula for the oscillation period of a mathematical pendulum in the case of arbitrary amplitudes.

From the conducted research, we concluded that it makes sense to continue the search for published texts on physics that would be interesting from the point of view of using them as methodical material for teaching high school students critical thinking techniques based on the integration of knowledge from physics, mathematics, and computer science.

Key words: critical thinking, mathematical pendulum, amplitude of oscillations, period of oscillations, average velocity, average value of the function.

Актуальність проблеми. Словосполучення «критичне мислення», як психолого-педагогічний термін, прийшло до України зі Сполучених Штатів Америки (Facione, 1990; Lipman, 1988). У тому, що в Україні визнається актуальність проблеми розвитку у підростаючого покоління критичного мислення, можна переконатися з тексту закону «Про Освіту» (Про Освіту, 2017). Останнім часом розвитку критичного мислення здобувачів освіти присвячуються кандидатські й докторські дисертаційні дослідження. Для прикладу обмежимося посиланням лише на дві захищені в Україні дисертації: одну кандидатську (Цьома, 2020) та одну докторську (Починкова, 2021).

Звернемо увагу на те, що детальний аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних психоло-

гів і педагогів, наведений у статті (Даценко, Лозовенко, Мінаєв, 2016), дозволив помітити фактичний збіг у різних дослідників емпіричних характеристик вищого рівня мислення. Відмінність назв для цього рівня мислення (формальне, понятійне, теоретичне, критичне) пов'язана з емпіричним характером проведених досліджень. Приклади прояву критичного та некритичного мислення збігаються з основними емпіричними характеристиками понятійного та допонятійного мислення в теорії Л. Веккера.

Фіксація факту виведення характеристик більш високого рівня мислення з психічної структури поняття дозволяє зробити теоретично більш усвідомленою практичну роботу

зі створення та вдосконалення технології розвитку критичного мислення. Зокрема, з цього випливає, що, крім загальних прийомів критичного мислення, для кожної галузі знань мають існувати свої специфічні. Якщо хтось навчався критичного мислення на матеріалі історії (Терно, 2011), то це не гарантує йому, що він зможе критично мислити в галузі фізики, або навпаки.

Крім того, необхідно враховувати, що в Україні розвитком критичного мислення учнів на матеріалі конкретного навчального предмета вчителі займалися і до того, як відповідний термін набув у нас поширення. Наприклад, у статті (Мінаєв, Тихонська, Циганок, 1999) розповідається про досвід організації роботи учнів з порівняльного критичного аналізу альтернативних підручників фізики. Йшлося про доволі складну тему молекулярної фізики, пов'язану з властивостями реального газу. Під керівництвом учителя старшокласники знайшли шість змістовних помилок у двох параграфах одного з аналізованих підручників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Увага до проблеми розвитку критичного мислення у здобувачів освіти посилилася після поширення відповідного терміна в Україні та закріплення його в офіційних документах, що стосуються освіти. Наведемо лише декілька прикладів, які безпосередньо пов'язані з фізикою як навчальним предметом.

Суть критичного мислення як наскрізного вміння учнів, що формується в процесі навчання різних шкільних предметів, зокрема фізики, розкрито у статті (Ляшенко, Терещук, 2017). Наведено опис найбільш поширених концепцій критичного мислення і структурні компоненти відповідних моделей. У методичному аспекті на прикладі навчання квантової фізики показано можливості реалізації компетентісно орієнтованої технології критичного мислення в навчанні фізики.

У статті (Терещук, Мартинюк, 2021) на підставі проведених досліджень показано, що при вивченні фізики у ліцеї ефективною моделлю розвитку критичного мислення є така, що відповідає гіпотетико-дедуктивному спрямуванню освітнього процесу. Наголошується, що у контексті методології навчання слід замінити індуктивно-емпіричний підхід на гіпотетико-дедуктивний. З'ясовано, що це дозво-

ляє значно покращити результати навчання на уроках фізики в 10-11 класах. Розвиток в учнів навичок критичного мислення надає їм упевненості у власних силах під час виконання STEM-проектів.

Теоретичні та методичні основи організації діяльності учнів з фізики на основі використання технологій критичного мислення в процесі вивчення теми «Основи спеціальної теорії відносності» розкриваються у статті (Сальник, Томашевська, 2017).

Опубліковано статтю, яка присвячена розвитку критичного мислення вчителів фізико-технічного профілю (Орлянський, 2017). Як зазначає автор цієї статті, існує проблема наявності великої кількості помилок у фізичних виданнях різного рівня: від інтернет-видань до рекомендацій МОН України. Помилки з фізики або недбалість при підготовці матеріалів, на думку автора, знижують авторитет фізичної освіти і демотивують студентів. Запропоновано використовувати подібні помилки для розвитку критичного мислення майбутніх учителів фізико-технічного профілю. Важливо, на наш погляд, що це твердження проілюстровано розбором конкретних прикладів.

Зазначимо, що у деяких випадках критичний аналіз різноманітного фізичного контенту спонукає здобувачів фізичної освіти та їхніх наукових керівників до власних досліджень тих проблем, які залишилися невирішеними через помилки, яких припустилися автори аналізованого контенту. Приклади таких досліджень наведено у статтях (Datsenko, Lozovenko, Minaiev, Zadoian, 2019; Мінаєв, Тихонська, Шалатов, 2022; Lozovenko, Minaiev, Lutai, 2022).

Мета нашого дослідження полягала, у першу чергу, в пошуку опублікованої статті з фізичним змістом, щоб вона стала вдалим об'єктом для демонстрації вихованцям фізико-математичного гуртка того, як для аналізу тексту, що містить непомітні для філологів помилки, застосовуються прийоми критичного мислення, які спираються на знання з математики та інформатики. Після знаходження такої статті перед нами постало завдання підготовки та проведення занять гуртка, які були б спеціально присвячені критичному аналізу цієї статті. Вважаємо, що знайомство з матеріалами цих занять було б корисним для вчителів фізики і керівників гуртків відповідного профілю.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Навчання старшокласників прийомів критичного мислення в галузі фізики має включати роботу з уже опублікованими текстами. Якщо йдеться про тексти наукових статей, то доволі складно знайти такі, зміст яких був би зрозумілим навіть для дуже підготовлених старшокласників. У цьому сенсі вдачею було натрапити на статтю (Талалай, Кочетков, Федотов, Талалай, 2016), опубліковану в науковому інтернет-журналі.

Автори зазначеної публікації, серед яких був і доктор технічних наук, стверджували, що вони винайшли формулу періоду коливань маятника, яка містить лише елементарні функції, але її можна застосовувати не тільки для малих амплітуд коливань. У вихованців фізико-математичного гуртка, яким ми про це розповіли, виник природний інтерес, бо у школі вони вивчали формулу періоду математичного маятника, але на лабораторних роботах їх попереджали, що не треба сильно відхиляти нитку маятника, оскільки для великих амплітуд ця формула не працює.

Звернувшись до Вікіпедії, старшокласники дізналися, що зі збільшенням амплітуди період збільшується, але у формулах, які там наводяться, містяться явно не елементарні функції. Виникло запитання: чи автори статті зробили відкриття, яке поки що не знайшло відображення у відомій онлайн-енциклопедії, чи необхідно шукати помилку в тексті статті? Оскільки вихованці фізико-математичного гуртка Запорізького обласного центру науково-технічної творчості учнівської молоді «Грані» були доволі підготовленими з точки зору знання деяких прийомів критичного мислення, ми вирішили присвятити декілька занять критичному аналізу вище згаданої статті. Зазначимо, що ці заняття проводилися в онлайн-режимі, і на них крім старшокласників були присутніми двоє студентів, які навчаються у Запорізькому національному університеті за спеціальністю «Середня освіта (Фізика)».

Перевірка кінцевої формули для періоду коливань маятника на випадок малих амплітуд. Розпочали ми з критичного аналізу кінцевої формули, яку отримали автори зазначеної статті. Вони презентували її як таку, що можна використовувати для знаходження періоду коливань математичного маятника для макси-

мальних кутів відхилення нитки від вертикалі до $\pi/2$ включно:

$$T = \frac{\alpha_{\max} \sqrt{2R}}{\sqrt{g} (\sqrt{1 + \sin \alpha_{\max}} - 1)}. \quad (1)$$

Тут ми зберегли авторське позначення R для довжини нитки.

Вихованці гуртка без проблем могли впевнитися в тому, що з одиницями вимірювання у формулі (1) все в порядку. А чи витримає вона перевірку на випадок малих амплітуд? Значення періоду у цьому випадку мало б збігатися з відомим зі шкільних підручників: $T_0 = 2\pi\sqrt{R/g}$.

Перепишемо формулу (1) у вигляді $T = 2\pi\sqrt{R/g} \cdot \tau(\alpha_{\max})$, де «зведений» період коливань буде такою функцією максимального кута відхилення нитки:

$$\tau(\alpha_{\max}) = \frac{\alpha_{\max}}{\sqrt{2\pi} (\sqrt{1 + \sin \alpha_{\max}} - 1)}.$$

Очевидно, що ця функція мала б прямувати до одиниці за умови, що α_{\max} прямує до нуля. Щоб з'ясувати, чи виправдовується таке очікування, помножимо чисельник та знаменник на вираз $\sqrt{1 + \sin \alpha_{\max}} + 1$, спряжений до того виразу, який у знаменнику стоїть у дужках. Такий крок дозволяє, після застосування у знаменнику однієї з відомих зі шкільної математики формул скороченого множення, без проблем знайти шукану границю для $\tau(\alpha_{\max})$:

$$\lim_{\alpha_{\max} \rightarrow 0} \left(\frac{\alpha_{\max}}{\sin \alpha_{\max}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \sin \alpha_{\max}} + 1}{\sqrt{2\pi}} \right) = \frac{\sqrt{2}}{\pi}.$$

Тут ми скористалися тим, що $\sin \alpha_{\max} \approx \alpha_{\max}$ при малих α_{\max} . Як бачимо, виведена авторами аналізованої статті кінцева формула не пройшла перевірку на випадок малих амплітуд. Цікаво було дізнатися, де автори статті, опублікованої у науковому інтернет-журналі, припустилися помилки.

Доведення хибності методу знаходження періоду коливань, запропонованого авторами аналізованої статті. Наведемо цитату з анотації до аналізованої нами статті: «Метод розв'язування, використаний для розв'язування великих коливань маятника, може бути розширеним на будь-які нелінійні коливальні системи. На відміну від наближених методів, що наводяться в сучасній літературі, запропоно-

ваний метод, за наявності вихідної інформації, дозволяє отримати точні розв'язки нелінійних коливань будь-якого типу» (Талалай, Кочетков, Федотов, Талалай, 2016).

У чому ж головна ідея цього методу? Період коливань маятника вчетверо більший за той час, протягом якого кут відхилення нитки від вертикалі збільшується від нуля до α_{\max} . Із цим твердженням складно не погодитися, якщо йдеться про незгасаючі коливання математичного маятника в однорідному гравітаційному полі. Час збільшення кута від нуля до α_{\max} пропонується знаходити, поділивши довжину $R\alpha_{\max}$ дуги, яку проходить тягарець маятника, на його середню швидкість. Здавалося б, все правильно. Щоправда, виникає природне запитання: з яких міркувань знайти середню швидкість?

Для визначення середнього значення швидкості автори аналізованої статті запропонували скористатися добре відомою з курсу математики формулою для середнього інтегрального значення функції:

$$\bar{f} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx. \quad (2)$$

У розглядуваній ситуації руху тягарця маятника цю математичну формулу (2) було переписано в такому вигляді:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} v(\alpha) d\alpha. \quad (2^*)$$

Ось і вся ідея.

Навіть у тому випадку, якщо б так можна було робити, то не факт, що інтеграл у формулі (2*) для будь-яких нелінійних коливань виражається в елементарних функціях. Отож, сподівання на поширення запропонованого методу, про яке йшлося в анотації до аналізованої статті, одразу мало б сенс поставити під сумнів. Але, як буде показано, необхідно вести мову не про обмеження в поширенні методу на будь-які нелінійні коливання, а про цілковиту його хибність.

Застосуємо головну ідею авторів аналізованої статті щодо середньої швидкості до падіння тіла без початкової швидкості з висоти H із прискоренням g . Очевидно, що час падіння буде дорівнювати $\sqrt{2H/g}$. Але спробуємо знайти час падіння способом, який за своєю ідеєю збігається із запропонованим авторами аналізованої статті.

Для початку виразимо із закону збереження повної механічної енергії залежність швидкості від висоти: $v(h) = \sqrt{2g(H-h)}$. Потім знайдемо «середню» (в лапках) швидкість за формулою, подібною до формули (2*):

$$v_{\text{сеп}} = \frac{1}{H} \int_0^H v(h) dh = \frac{\sqrt{2g}}{H} \left[-\frac{2}{3}(H-h)^{\frac{3}{2}} \right]_0^H = \frac{2}{3} \sqrt{2gH}.$$

Насамкінець, отримаємо «час падіння»:

$$\tau = \frac{H}{v_{\text{сеп}}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{H}{2g}} = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

який, як можна впевнитись, не збігається з очікуваною відповіддю $(\sqrt{2H/g})$.

У чому ж причина? Вона криється в тому, що помилковою є ключова ідея авторів аналізованої статті. Не можна бездумно використовувати математичні формули. У фізиці середня швидкість визначається як $\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$, де t – це час, а не кут відхилення α , чи висота h , або інша узагальнена координата.

Автори аналізованої статті звертали увагу читачів на те, що формулу для середнього значення швидкості тягарця вони виводили декількома способами. Їхнє твердження про це супроводжувалося посиланням на статтю, яку нам не вдалося знайти, але нещодавно ми відшукали її англійський переклад (Kochetkov, Chelpanov, Fedotov, 2016). Як з'ясувалося, там наведено той самий спосіб, що й у статті, критичний аналіз якої ми проводили з гуртківцями. Ось цей вираз для «середньої» швидкості проходження тягарцем шляху від положення максимального відхилення нитки до точки рівноваги:

$$v_{\text{сеп}} = 2\sqrt{2gR} \left(\sqrt{1 + \sin \alpha_{\max}} - 1 \right). \quad (3)$$

Хоча формула для «середньої» швидкості стоїть за один крок від формули для періоду, ми все ж таки вирішили її також використати для відпрацювання у старшокласників прийомів критичного мислення.

Критичний аналіз виразу для середньої швидкості тягарця. Перед тим, як звернутися до формули (3), варто було подумати про вимоги, яким вона мала б задовольняти, якби була правильною. Можна порівняти вираз, апроксимуючий цю формулу у випадку малих коливань, з тим, який нескладно отримати, поділивши шлях $S = 4R\alpha_{\max}$, який проходить

тягарець за період малих коливань, на відоме зі школи значення цього періоду $T_0 = 2\pi\sqrt{R/g}$. Зрозуміло, що збігу цих виразів ми не отримаємо, бо ми вже порівнювати період T_0 з апроксимуючим при малих амплітудах виразом для періоду, обчисленого за формулою (1), яка безпосередньо пов'язана з формулою (3).

Новою є така ідея. Цілком очевидно, що середня швидкість не може бути більшою за максимальну, якої тягарець набуває, коли проходить положення рівноваги. Знайти залежність максимальної швидкості від амплітуди коливань маятника можна без проблем із закону збереження енергії:

$$v_{\max} = \sqrt{2gR(1 - \cos \alpha_{\max})}. \quad (4)$$

За будь-яких значень амплітуди коливань максимальна швидкість тягарця маятника, обчислена за формулою (4), мала б бути більшою за середню швидкість, яка обчислена за формулою (3). Якщо ж знайдеться значення α_{\max} , за якого співвідношення виявиться протилежним, то можна буде стверджувати, що формула (3) для середньої швидкості тягарця є неправильною.

Як показове значення амплітуди можна взяти $\alpha_{\max} = \pi/4$. Нескладно впевнитись, що за формулою (3) маємо $v_{\text{ср}}(\pi/4) \approx 0,61 \cdot \sqrt{2gR}$, а це більше за $v_{\max}(\pi/4) \approx 0,54 \cdot \sqrt{2gR}$, чого не мало би бути. Якщо ж скористатися навичками, отриманими на уроках інформатики, можна побудувати графіки порівнюваних функцій для всього діапазону зміни амплітуди коливань, попередньо звівши їх до безрозмірного вигляду (рис. 1).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Завдання навчати старшокласників прийомів критичного мислення є актуальним. У випадку аналізу фізичних текстів помітна частина таких прийомів пов'язана з використанням математики та інформатики. Для розвитку

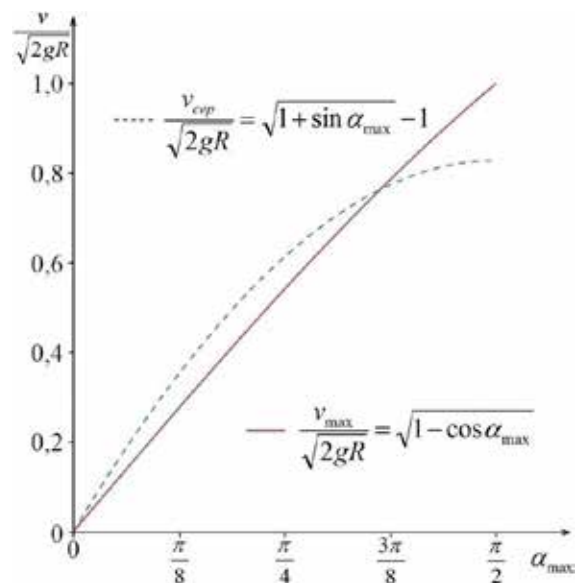


Рис. 1. Наочна демонстрація того, що формула (3) є хибною

критичного мислення учнів виявляється корисним не лише відпрацювання відповідних навичок із застосуванням спеціально розроблених текстів, автори яких ненавмисно припустилися помилок, а рецензенти і редактори з якихось причин цих помилок також не помітили. Не виключенням є тексти статей з фізики, опубліковані у наукових виданнях. Оскільки не так вже часто бувають випадки, коли старшокласникам вистачає власної фізико-математичної освіти, щоб самостійно розібратися зі змістом таких статей, їм потрібна допомога досвідчених дослідників, яка може бути надана на заняттях гуртків закладів позашкільної освіти. Ми вважаємо за потрібне продовжити пошук наукових і науково-методичних статей з фізичним змістом, корисних з точки зору прикладів реальних помилок, яких можна було уникнути, користуючись прийомами критичного мислення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Даценко І.П., Лозовенко О.А., Мінаєв Ю.П. Критичне і понятійне мислення: чи не є це різними назвами для вищого рівня розвитку мислення? *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна.* 2016. Вип. 22. С. 131–134.
2. Ляшенко О.І., Терещук С.І. Критичне мислення як технологія компетентнісного навчання фізики. *Збірник наукових праць Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна.* 2017. Вип. 23. С. 162–166.
3. Мінаєв Ю.П., Тихонская Н.И., Цыганок М.Н. Углубление знаний о свойствах реальных газов при работе с альтернативными учебниками. *Физика в школе.* 1999. № 5. С. 43–46.
4. Мінаєв Ю.П., Тихонська Н.І., Шалатов Д.С. Організація навчального дослідження залежності періоду коливань математичного маятника від амплітуди: *The XXVI International Scientific and Practical Conference «Problems of science and practice, tasks and ways to solve them».* July 05-08, 2022, Helsinki, Finland. P. 261–267.

5. Орлянський О.Ю. Розвиток критичного мислення учителя фізико-технічного профілю на аналізі помилок у завданнях з фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія : Педагогічна.* 2017. Вип. 23. С. 66–70.
6. Починкова М.М. Формування критичного мислення майбутніх учителів початкової школи у процесі професійної підготовки : дис. ... доктора пед. наук : 13.00.04. Старобільськ, 2021. 572 с.
7. Про Освіту : Закон України від 05 вересня 2017 р. № 2145-VIII / *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 20.07.2022).
8. Сальник І.В., Томашевська Г.П. Розвиток критичного мислення учнів у процесі вивчення сучасних питань фізики. *Наукові записки. Серія : Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 12(III). С. 129–136.
9. Талалай В.В., Кочетков А.В., Федотов П.В., Талалай М.В. Определение периода больших колебаний маятника (до 90°). *Интернет-журнал «Науковедение»*. Том 8. № 5(2016).
10. Терещук С.І., Мартинюк О.С. Розвиток критичного мислення при вивченні фізики у ліцеї. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія : Педагогічна.* 2021. Вип. 27. С. 84–87.
11. Терно С.О. Розвиток критичного мислення старшокласників у процесі навчання історії. Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2011. 275 с.
12. Цьбома Н.С. Розвиток критичного мислення майбутніх кваліфікованих робітників у процесі вивчення інформаційних дисциплін : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Суми, 2020. 22 с.
13. Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction. Executive Summary «The Delphi Report». By Dr. Peter A. Facione, California Academic Press, 1990.
14. Datsenko I., Lozovenko O., Minaiev Yu. and Zadoian M. Paradoxes of Stiff Springs. *Physics Education*, 2019, 54, 065003.
15. Kochetkov A. V., Chelpanov I. B., Fedotov P. V. Determination of the period of large vibrations of a pendulum in elementary functions. *Measurement Techniques*, Vol. 59, No. 6, September, 2016. P. 610–613.
16. Lipman, M. Critical thinking: What can it be? *Educational Leadership*, 1988. P. 38–43.
17. Lozovenko O., Minaiev Yu., Lutai R. Dzhani-bekov effect in a physics classroom. *Physics Education*, 2022, 57, 015019.

REFERENCES:

1. Datsenko I. P., Lozovenko O. A., Minaiev Yu. P. (2016) Krytychne i ponyatiyne myslennya: chy ne ye tse riznymy nazvamy dlya vyshchoho rivnya rozvytku myslennya? [Critical and concept thinking: if they are just different names for the highest order of thinking?] *Collection of scientific works of the Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University. Series : Pedagogical.* 22, 131-134. [in Ukrainian].
2. Lyashenko O. I., Tereshchuk S. I. (2017) Krytychne myslennya yak tekhnolohiya kompetentnisnoho navchannya fizyky. [Critical thinking as a technology of competence-based teaching of physics.] *Collection of scientific works of the Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University. Series : Pedagogical.* 23, 162-166. [in Ukrainian].
3. Minaiev Yu. P., Tikhonskaya N. I., Tsyganok M. N. (1999) Uglubleniye znaniy o svoystvakh real'nykh gazov pri rabote s al'ternativnymi uchebnikami. [Deepening knowledge about the properties of real gases when working with alternative textbooks.] *Fizika v shkole – Physics at school*, 5, 43-46. [in Russian].
4. Minaiev Y. P., Tikhonska N. I., Shalotov D. S. (2022) Orhanizatsiya navchal'noho doslidzhennya zalezhnosti periodu kolyvan' matematychnoho mayatnyka vid amplitudy [Organization of an educational study of the dependence of the oscillation period of a mathematical pendulum on the amplitude] : *The XXVI International Scientific and Practical Conference «Problems of science and practice, tasks and ways to solve them»*, Helsinki, Finland. (pp. 261-267). [in Ukrainian].
5. Orlyanskyi O. Yu. (2017) Rozvytok krytychnoho myslennya uchyatelya fizyko-tekhnichnoho profilyu na analizi pomylok u zavdanniyakh z fizyky. [Development of critical thinking of physico-technological profile teacher using analysis of errors in physics] *Collection of scientific works of the Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University. Series : Pedagogical.* 23, 66-70. [in Ukrainian].
6. Pochynkova M. M. (2021) Formuvannya krytychnoho myslennya maybutnikh uchyteliv pochatkovoyi shkoly u protsesi profesiynoyi pidhotovky. [Formation of critical thinking of future primary school teachers in the process of professional training.] *Candidate's thesis*. Starobilsk, [in Ukrainian].
7. Zakon Ukrayiny «Pro Osvit» [Law of Ukraine «About Education»] (n.d.). zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> [in Ukrainian].
8. Salnyk I. V., Tomashevskaya G. P. (2017) Rozvytok krytychnoho myslennya uchniv u protsesi vyvchennya suchasnykh pytan' fizyky. [Development of students' critical thinking in the process of studying modern physics issues.]

Naukovi zapysky. Seriya : Problemy metodyky fizyko-matematychnoyi i tekhnolohichnoyi osvity. – Proceedings. Series : Problems of the methodology of physical, mathematical and technological education. Kropyvnytskyi, Vol. 12 (III). 129-136. [in Ukrainian].

9. Talalay V. V., Kochetkov A. V., Fedotov P. V., Talalay M. V. (2016) Opredeleniye perioda bol'shikh kolebaniy mayatnika (do 90°). [Determination of the period of large pendulum oscillations (up to 90°).] *Internet-zhurnal «Naukovedeniye».* – *Internet journal "Science of science"*. Vol. 8. No 5. [in Russian].

10. Tereshchuk S. I., Martyniuk O. S. (2021) Rozvytok krytychnoho myslennya pry vyvchenni fizyky u litseyi. [Development of critical thinking when studying physics at the lyceum.] *Collection of scientific works of the Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University. Series : Pedagogical.* 27. P. 84-87. [in Ukrainian].

11. Terno S. O. (2011) Rozvytok krytychnoho myslennya starshoklasnykiv u protsesi navchannya istoriyi. [Development of critical thinking of high school students in the process of learning history.] *Zaporizhzhia : Zaporizhzhia National University*, 275 p. [in Ukrainian].

12. Tsyoma N. S. (2020) Rozvytok krytychnoho myslennya maybutnikh kvalifikovanykh robitnykiv u protsesi vyvchennya informatsiynykh dystsyplin. [Development of critical thinking of future skilled workers in the process of learning informational disciplines]. *Extended abstract of Doctor's thesis.* Sumy, [in Ukrainian].

13. Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction. Executive Summary «The Delphi Report». By Dr. Peter A. Facione, California Academic Press, 1990.

14. Datsenko I., Lozovenko O., Minaiev Yu. and Zadoian M. (2019) Paradoxes of Stiff Springs. *Physics Education*, 54, 065003.

15. Kochetkov A. V., Chelpanov I. B., Fedotov P. V. (2016) Determination of the period of large vibrations of a pendulum in elementary functions. *Measurement Techniques*, Vol. 59, 6, 610-613.

16. Lipman, M. (1988) Critical thinking: What can it be? *Educational Leadership*, P. 38-43.

17. Lozovenko O., Minaiev Yu., Lutai R. (2022) Dzhaniybekov effect in a physics classroom. *Physics Education*, 57, 015019.