DOI: https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-6-82-25
УДК 37.025.7:530.12

Соломенко А.О.
Криворізька загальноосвітня школа № 89

АНАЛІЗ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ НА ЗАСАДАХ ПРИНЦИПІВ МЕТОДИКИ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Анотація. Стаття присвячена висвітленню особливостей аналізу фізичної задачі (з курсу «Спеціальна теорія відносності) на засадах принципів методики розвитку критичного мислення здобувачів вищої освіти. Наведений короткий огляд проблеми розвитку критичного мислення, доведена її актуальність в руслі реформування системи освіти загалом, і природничо-математичної освіти зокрема. На основі узагальнення результатів попередніх науково-методичних, психолого-педагогічних досліджень уточнено поняття критичного мислення. Проаналізовано наукові підходи до вирішення проблеми, доведено потребу пошуку нових методик розвитку критичного мислення здобувачів освіти, зокрема й з використанням дидактичного потенціалу фізики як науки та навчальної дисципліни. На засадах аналізу та узагальнення теоретичних джерел, результатів дослідно-експериментальної роботи та педагогічного досвіду, автори пропонують власну методику розвитку критичного стилю мислення, яка може бути творчо використана у процесі вивчення дисциплін природничо-математичного циклу студентами вищої школи, а при певній адаптації й учнями середньої школи. Пропонована методика схарактеризована на рівні визначення дидактичних цілей, функцій, методів на кожному з її етапів, конкретизована на прикладі задачі про рух частинок в різних системах відліку.

Ключові слова: вища освіта, дидактика, методика розвитку критичного мислення, теоретична фізика, спеціальна теорія відносності, фізична задача.

Solomenko Artem
Kryvyi Rih Secondary School No. 89

ANALYSIS OF THE PHYSICAL PROBLEM IN THE FRAMEWORK OF THE METHODOLOGY OF THE DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING

Summary. The article is devoted to the method of developing the critical thinking of the students of higher education. A brief overview of the problem of the development of critical thinking is offered. The concept of critical thinking is presented on scientific and methodological searches. The approach to the implementation of the method of development of critical thinking is analyzed. The essence of the three-step methodology is shown to develop critical thinking. Other methodological systems are also discussed. The four stage structures of critical thinking development are analyzed. In generalizing methodological approaches, the authors propose their own five-structure method of developing a critical style of thinking, which can be actively used in subjects of the natural-mathematical cycle. The authors identify the following structural steps of the methodology: challenge, awareness, generalization, reflection, organization of extracurricular individual work. Theoretical physics with its discussion questions can be used as a tool that develops critical thinking. The didactic potential of theoretical physics is realized in the work. For the first time, the scientific and methodical problem of particle motion in different reference systems is considered. The solution of the problem is given by the proposed method. Harnessing the potential of theoretical physics, namely the special theory of relativity, which has many contradictions, teaching students a critical approach to their elimination, will contribute: a deeper understanding of the essence of the special theory of relativity, mastering the peculiarities of teaching of the special theory of relativity, as well as strategies and methods for developing critical thinking for creative use in contemporary educational practice. The proposed technique is characterized at the level of determining didactic goals, functions, methods at each of its stages, specified on the example of the problem of particle motion in different reference frames. The importance of this methodology also lies in the fact that it can be translated into other sections of theoretical physics in a higher educational institution, as well as successfully used in school education.

Keywords: higher education, didactics, methods of development of critical thinking, theoretical physics, special theory of relativity.

Постановка проблеми. Сучасний рівень розвитку української освіти, її активне реформування в напрямі досягнення європейських стандартів висуває перед випускниками педагогічних вищих навчальних закладів досить високі вимоги, зокрема до уміння педагога формувати високоінтелектуальну, конкурентоспроможну особистість з добре розвиненим критичним мисленням [22]. Ці актуалітети окреслені Концепцією української освітньої програми «Національна стратегія розвитку освіти в Україні на період до 2021 року», Державним стандартом вищої освіти, які пріоритетними визначають підвищення якості навчання, формування компетентної самостійної особистості, здібної до критичного осмислення інновацій та їх творчої реалізації в професійній діяльності. Відтак, перед вищою педагогічною школою постає завдання формувати та розвивати критичність думки студентів – майбутніх учителів. Саме такий вектор діяльності «Alma mater», на наш погляд, наразі можна вважати стратегічним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розвитку критичного мислення суб'єктів навчальної діяльності за своєї теоретичної та праксеологічної значущості перебували і перебувають в полі дослідницьких інтересів багатьох науковців. Так, сучасний стан

© Соломенко А.О., 2020

проблеми аналізується в роботах І. Батрун [16], А. Бугри, С. Гамільярова [7], О. Пометун [1], М. Варлакова [5]. Окремі аспекти формування та розвиткукритичногомисленнярозкритівроботах Дж. Брауза, М. Брауна, В. Буряка, С. Векслера, Д. Вуда, С. Заїр-Бека, М. Калбалі, О. Коновала, А. Кроуфорда, Н. Кірпоти, С. Майерза, О. Марченко, С. Метьюза, К. Міредіт, Д. Муна, Н. Нечепельскої, Л. Пилипчатіна, В. Попкова, Г. Соріної, Д. Стіла, Ч. Темпла, С. Терно, Т. Туркот, О. Тягло, Дж. Чеффі, М. Шеремет.

Зазначимо, що останніми роками видрукувано чимало праць, присвячених як з'ясуванні розумінню сутності критичного мислення, так і проблемі його розвитку під час освітнього процесу. Наприклад, досить вагомими є праці вітчизняного науковця С. Терно, який вказує на можливість розвитку критичного мислення здобувачів освіти, використовуючи історію, як навчальний предмет [17]. Зазначимо, що має місце певна кількість досліджень [14; 15; 16; 17; 18; 19], зорієнтованих на з'ясування логіки критичного мислення. Між тим важливо звернути увагу на таку закономірність: скільки дослідників – стільки й інтерпретацій цього феномену. Характерно також, що зовсім незначною є кількість дисертаційних робіт, присвячених проблемам формування та розвитку критичності думки суб'єктів навчальної діяльності засобами природничо-математичних наук [5; 6].

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Високо оцінюючи попередні науково-методичні дослідження, слід однак констатувати, що теперішнього часу немає достатньо повного теоретичного обґрунтування механізмів розвитку критичного мислення студентів вищої педагогічної школи на засадах використання могутнього дидактичного потенціалу природничо-математичних наук, і зокрема теоретичної фізики з її дискусійними питаннями у змістовому і методичному аспектах, зокрема, в електродинаміці та спеціальній теорії відносності (СТО).

Так, дослідженнями професора О. Коновала [23; 24] констатовано, що розвиток цих якостей уможливлюється у процесі аналізу фізичних явищ і процесів, з'ясування суперечностей, які мають місце в електродинаміці, СТО та методиці їх навчання. Зокрема, науковець зауважує, що обговорення і спростування цих суперечностей дозволяє майбутнім учителям фізики обґрунтовувати і обстоювати власну наукову позицію, аргументувати свої погляди, аналізувати власні ідеї тощо. Проте, на його думку, яку ми поділяємо, дидактичний потенціал теоретичної фізики в сучасній педагогічній практиці, не маючи достатнього науково-методичного обґрунтування, реалізується не в повній мірі [23; 24]. Це насамперед стосується недостатнього використання цього могутнього потенціалу у розвитку критичного мислення здобувачів вищої освіти. Відтак, об'єктивною постає потреба здійснити аналіз дидактичних можливостей теоретичної фізики для розвитку критичного мислення студентів – майбутніх учителів фізики.

Мета статті. З огляду на викладене метою статті визначаємо висвітлення особливостей методики розвитку критичного мислення (МРКМ) студентів-фізиків на прикладі аналізу задачі з курсу «Спеціальна теорія відносності».

Викладення основного матеріалу. Аналіз науково-методичної літератури [1–21 та ін.] дозволив нам дійти висновку, що під критичним мисленням слід розуміти «інтелектуально впорядкований процес активного й умілого аналізу, концептуалізації, синтезуванні й об'єктивної оцінки інформації, отриманої або породженої спостереженням, експериментом, досвідом, розмірковування або комунікацією, як орієнтир для переконання і дій» [23, с. 19]. Тобто, у найбільш загальному вигляді критичне мислення – система таких когнітивних операцій, які ведуть до коректної оцінки суджень, ідей, процесів.

Переважна більшість як вітчизняних так і закордонних дослідників [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 20 та ін.] при побудові методики розвитку критичного мислення схиляються до використання її триетапної структури, яка складається з послідовних та взаємообумовлених стадій: виклик → осмислення → рефлексія. На етапі виклику діяльність викладача (вчителя) полягає в активізації наявних знань з теми, мотивації до вивчення проблемного питання, допомагає студенту (учню) вибудувати власні цілі навчання. Етап осмислення характеризується рухом від знань «старих» до «нових»; здобувач освіти накопичує інформацію, осмислює її в руслі проблемного питання. Відбувається коригування отриманих знань. Завершальним етапом виступає стадія рефлексії, на якій суб'єкти навчального процесу розмірковують над висновками, породжують нове знання, зіставляють «стару» інформацію з «новою», висловлюють власні думки, аналізують результати діяльності.

Триетапна структура методики розвитку критичного мислення може застосуватися для вирішення багатьох дидактичних завдань при вивченні фізики в закладі загальної середньої освіти (ЗЗСО). В такій структурі чітко прослідковується постановка проблемного питання, аналіз інформації та висновки, що дуже нагадує традиційну трикомпонентну структуру традиційного уроку: вступ (мотивація до вивчення матеріалу → вивчення нового матеріалу → підведення підсумків). «Якщо подивитись на три описані вище етапи [етапи МРКМ – наше зауваження] з точки зору традиційного уроку, то очевидно, що вони не представляють виняткової новизни для вчителя» [1, с. 50]. Проте іноді необхідно розмежувати формулювання завдання уроку та створення проблемної ситуації, що важливо для МРКМ.

Іншу структуру методики розвитку критичного мислення пропонує С. Терно [17]. Дослідник виокремлює такі структурні елементи методики розвитку критичного мислення:

1. Породження або зіткнення з проблемою (усвідомлення).
2. Проблемне запитання. яке створює перешкоду у досягненні мети (блокада).
3. Переструктурування знань, пошук правильної ідеї розв'язку (осяяння).
4. Обґрунтування віднайденого рішення та об'єктивізація думки (розв'язок) [17, с. 44].

Окрім того автором визначається певний набір рівнів мислення і пропонується їх поєднання і комбінування з кожним етапом пропонованої методики. Такими рівнями мислення на думку науковця є: операційний, предметний, рефлексивний, особистісний, комунікативний [17, с. 44].

Так, на етапі усвідомлення діють особистісний та рефлексивні рівні мислення, на етапі блокади – предметний та операційний, на етапі осяяння знову – особистісний та рефлексивний, і на останньому етапі відбувається розгортання усіх рівнів мислення (операційного, предметного, рефлексивного, особистісного, комунікативного) [17, с. 45].

Ми розглядаємо пропоновану модель як більш розширену версію триетапного (класичного) підходу до побудови методики розвитку критичного мислення. Однак нам не зовсім зрозуміла принципова різниця між першим та другим етапом. Припускаємо, що з такими труднощами на етапі реалізації методики можуть зіткнутися і викладачі вищої школи. Тому доцільним уважаємо звернутися до чотириетапної структури методики розвитку критичного мислення Д. Шакірової, яка пропонує такі етапи формування критичного мислення:

1. Актуалізація знань, пробудження інтересу, з'ясування мети вивчення матеріалу.
2. Осмислення нової інформації, критичне читання та письмо.
3. Розмірковування та рефлексія, формування особистої думки.
4. Узагальнення інформації, оцінка проблеми та визначення шляхів її усунення [18; 19, с. 288].

На нашу думку, чотириетапна структура має більший дидактичний потенціал, адже спроможна вирішити більшу кількість дидактичних завдань. Між тим, з тезами Д.М. Шакірової ми не зовсім погоджуємося. Можливим уважаємо проблему спочатку розв'язувати, узагальнювати інформацію, а вже потім оцінювати результати та здійснювати рефлексію. Аргументуючи свою позицію, вважаємо доречним звернутись до організації проблемного навчання, яке за розгортанням етапів вирішення проблемних питань має спільне з процесом розвитку критичного мислення: «…формулювання проблеми; пошук шляхів її розв'язку; розв'язок проблеми; формулювання висновків; підбиття підсумків» [21, с. 135].

Ураховуючи специфіку теоретичної фізики, зокрема спеціальної теорії відносності, пропонуємо послуговуватись при її вивченні п'ятикроковою методикою розвитку критичного мислення. Так, зміст спеціальної теорії відносності та електродинаміки з її суперечливими та поліваріантними підходами має науково-методичне підґрунтя для розвитку критичності думки студентів-фізиків – майбутніх учителів фізики. В п'ятиетапній структурі ми вбачаємо можливість для більш ширшої диференціації проблемного поля, що уможливлює певну гнучкість та можливість коригування дидактичних цілей. У процесі організації освітнього процесу за методикою розвитку критичного мислення вважаємо доцільним використовувати такі послідовні етапи: виклик → осмислення → узагальнення → рефлексія → поглиблення знань в процесі позааудиторної самостійної роботи здобувачів освіти (рис.1):

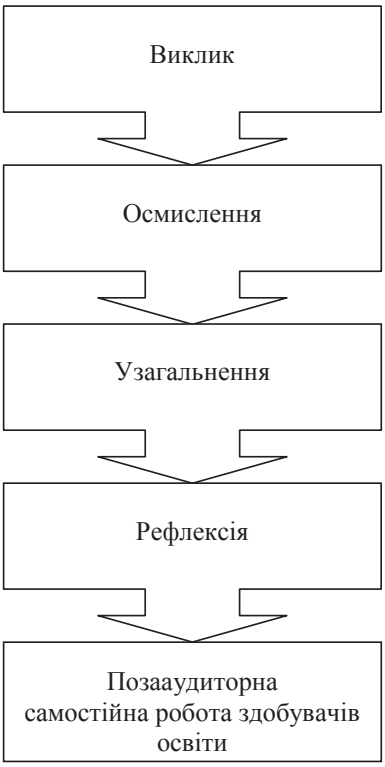

Рис. 1. П'ятиетапна методика розвитку критичного мислення

Зупинимося детальніше на характеристиці кожного з етапів.

Етап виклику має на меті залучення здобувачів до з'ясування сутності проблемного питання, яке поставлене викладачем або самостійно визначене студентами. Мотиваційна частина створюється зверненням уваги на важливості проблеми, її значущості для професійного зростання. Бажано, щоб здобувачі освіти самостійно або під керівництвом викладача вибудовували власний план дій щодо вирішення проблеми.

На етапі осмислення відбувається актуалізація наявних знань, зіставлення їх із отримуваною інформацією. Відсутність або неточність фактів, протиріччя в ідеях, наукових поглядах має стимулювати студентів до вивчення нового, що уможливлює розв'язок проблемного або суперечливого питання. Окрім того на другому етапі відбувається уточнення проблемного питання, його аналіз з різних дослідницьких позицій. Студенти мають акумулювати накопичені факти з метою їх зіставлення та узагальнення, щоб дійти певних висновків, розпочати почати аналізувати своє рішення, верифікувати його.

Третім етапом є колективний аналіз отриманих результатів з метою удосконалення, зіставлення, порівняння ідей, їх узагальнення. Важливо, щоб думка кожного учасника обговорення була врахована, сприйнята або аргументовано не сприйнята в процесі аналізу.

Оцінно-результативний етап або етап дидактичної рефлексії є передостаннім кроком МРКМ. Він передбачає завершальний аналіз не лише наявних результатів, але й безпосередньо самого процесу мислення. Важливо, щоб під керівництвом викладача здобувачі освіти дійшли висновку, що критичне мислення – це не пошук недоліків у міркуваннях інших, а насамперед об'єктивна оцінка пропонованих ідей, їх позитивних та суперечливих сторін.

Завершальним етапом пропонованої методики є організація поза аудиторної самостійної роботи здобувачів освіти, орієнтованої на подаль-

ший розвиток критичного мислення. Завдання викладача дібрати такий матеріал для самостійного опрацювання та осмислення здобувачами освіти, який в основі має проблемне питання, наукові або науково-методичні суперечності.

Для більш розлогої характеристики змісту МКРМ схарактеризуємо загальнодидактичні функції, які реалізується в процесі розгортання освітнього процесу за цією методикою. Зокрема, це:

1. Регулятивна функція, орієнтована на формування вмінь обдумано діяти і спрямовувати дії відповідно до об'єктивних умов. Вона здійснює перехід від попереднього рішення задачі або проблеми до остаточного рішенням.

2. Оцінна функція передбачає оцінку своїх і чужих думок і дій.

3. Функція ініціації має на меті виявлення і виправлення пізнавального протиріччя. За наявності суперечливих даних, конкретної проблеми ця функція може допомогти віднайти необхідну інформацію та вирішити проблему.

4. Коригувальна функція спрямована на раціональний відбір необхідного матеріалу, пошук інформації. Здобувач освіти також має коригувати свої дії за допомогою вчителя або викладача, адже його усвідомлене ставлення до отриманих результатів повинно стати стимулом до майбутньої діяльності.

5. Прогнозуюча функція передбачає орієнтацію на майбутні дії, на перспективу. Студент, здатний заздалегідь передбачати процес вирішення завдання, прогнозувати розвиток ситуації, має високий рівень критичного мислення.

6. Моделююча функція передбачає створення моделі дій і результатів. Стосовно теоретичної фізики ця функція передбачає створення математичних моделей об'єктів вивчення; орієнтує мисленнєві процеси здобувача освіти на абстрагування й ідеалізацію.

7. Інформаційна функція передбачає одержання та осмислення інформації.

8. Комунікативна функція орієнтована на конструктивний обмін думками щодо особливостей вивчення теми та отриманих результатів.

9. Мотиваційна функція передбачає з'ясування важливості інформації, пробудження і стимулювання інтересу до вивчення теми.

10. Систематизуюча функція спрямована на аналіз, осмислення та систематизацію, універсалізацію отриманих знань, їх вибудовування в певну систему.

На кожному з етапів провідними є ті функції, які відповідають провідній меті етапу. Наприклад, етап рефлексії, мета якого здійснити кінцевий аналіз висунутих ідей та діяльності, оцінку власних когнітивних дій, а також усвідомлення сутності критичного підходу, і визначають такі функції етапу рефлексії, як оцінна та комунікативна.

Узагальнимо викладене таблицею 1.

Як приклад реалізації пропонованої методики розвитку критичного мислення розглянемо її використання під час аналізу задачі про рух частинок у різних системах відліку (СТО). Зазначимо, що задача не зустрічається в науково-методичній літературі, і її розв'язок слід вважати авторським.

Будемо звертати увагу на особливості етапів методики розвитку критичного мислення під час вирішення цієї задачі.

1. Виклик. Формулюємо проблемне питання.

У СВ K дві частинки рухаються в одному напрямі зі швидкостями υ_1 та υ_2 (рис. 2). Знайти швидкість СВ K', відносно якої ці дві частинки рухаються в протилежних напрямках з однаковими за величиною, але протилежними за напрямками швидкостями $\upsilon_1' = -\upsilon_2'$.

Якщо задача розглядається методами класичної фізики, то питання не має особливого науково-методичного інтересу. Дійсно, нехай частинка 2 знаходиться в спокої. Тоді швидкість СВ K', відносно якої частинка 1 і частинка 2 рухаються в протилежних напрямках (вздовж вісі OX), але з однаковою за величиною швидкістю, легко отримати із класичного закону додавання швидкостей, для проекції швидкості маємо: $\upsilon = \upsilon' + V$. За умовою $\upsilon' = V$, тоді $\upsilon_1 = 2 \cdot V$, звідки $V = \frac{\upsilon_1}{2}$.

Таблиця 1

Етапи МРКМ, мета та функції

Назва етапу	Мета етапу	Функції етапу
Виклик	Повідомлення проблемного питання, створення мотивації до навчально-пошукової діяльності	1. інформаційна; 2. комунікаційна; 3. мотиваційна.
Осмислення	Актуалізація наявних знань, усвідомлення проблеми, акумуляція фактичного матеріалу	1. інформаційна; 2. систематизуюча; 3. мотиваційна; 4. ініціації; 5. моделююча 6. регулятивна
Узагальнення	Колективний аналіз думок, ідей з метою покращення, зіставлення, порівняння	1. узагальнююча; 2. комунікативна; 3. коригувальна; 4. регулятивна;
Рефлексія	Завершальний аналіз як ідей так і пізнавальних процесів; розуміння здобувачами сутності критичного мислення як оцінки результативності ідей	1. оцінна; 2. комунікативна;
Самостійна позааудиторна робота	Організація позааудиторної роботи, орієнтованої на подальший розвиток критичного мислення	1. інформаційна; 2. систематизуюча; 3. мотиваційна; 4. ініціації; 5. моделююча 6. регулятивна.

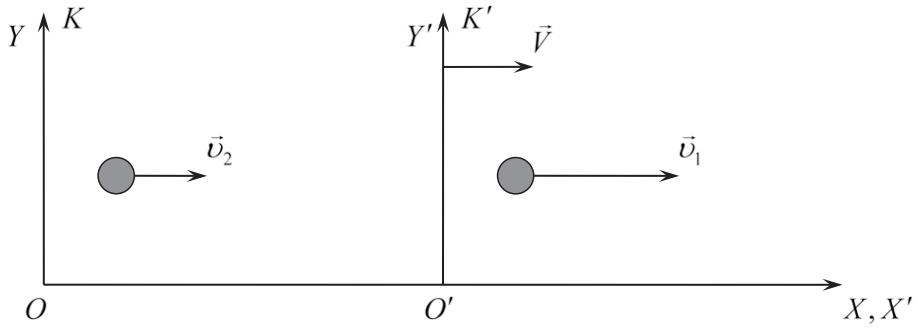

Рис. 2. У СВ K дві частинки рухаються в одному напрямі зі швидкостями υ_1 та υ_2

В межах першого етапу МРКМ, визначаємо сутність проблеми, підсилюючи мотивацію та висуваючи суттєве науково-методичне питання, суть якого полягає в тому, що отриманий результат – це наближення, а точне значення швидкості V СВ K' дає релятивістський закон додавання швидкостей. Тому бажано зорієнтувати студентів більш критично підійти до розгляду цієї задачі, розв'язати її в найбільш загальному вигляді, і як наслідок отримати класичний вираз.

2. Осмислення. Актуалізуємо вже наявні знання. Здійснюємо пошук шляхів розв'язання проблеми.

Для розв'язання цього завдання слід правильно використати релятивістський закон додавання швидкостей для двох тіл.

Коротко нагадаємо зміст релятивістської формули додавання швидкостей (РФДШ), обмежившись випадком руху вздовж осі OX:

$$\upsilon_x = \frac{\upsilon'_x + V}{1 + \frac{\upsilon'_x \cdot V}{c^2}} \text{ або } \upsilon'_x = \frac{\upsilon_x - V}{1 - \frac{\upsilon_x \cdot V}{c^2}},$$

де υ_x – проекція швидкості руху тіла відносно нерухомої СВ K; υ'_x – проекція швидкості руху тіла відносно рухомої СВ K'; V – проекція швидкості рухомої СВ K' відносно нерухомої СВ K.

Почергово застосовуючи релятивістську формулу додавання швидкостей (РФДШ) для першого, а потом для другого тіла, знаходимо їх швидкості відносно рухомої СВ K'.

$$\upsilon'_1 = \frac{\upsilon_1 - V}{1 - \frac{\upsilon_1 V}{c^2}} \text{ та } \upsilon'_2 = \frac{V - \upsilon_2}{1 - \frac{V\upsilon_2}{c^2}}.$$

Згідно умови задачі $\upsilon'_1 = -\upsilon'_2$, отже:

$$\frac{\upsilon_1 - V}{1 - \frac{\upsilon_1 V}{c^2}} = -\frac{V - \upsilon_2}{1 - \frac{V\upsilon_2}{c^2}}$$

або, що те саме $\frac{\upsilon_1 - V}{c^2 - V\upsilon_1} = \frac{-V + \upsilon_2}{-c^2 + V\upsilon_2}$.

Переписуємо вираз у більш зручному вигляді:

$$(\upsilon_1 - V)(-c^2 + V\upsilon_2) = (-V + \upsilon_2)(c^2 - V\upsilon_1)$$

Розкриваючи дужки, записуємо квадратне рівняння:

$$-V^2(\upsilon_2 + \upsilon_1) + 2V(\upsilon_2\upsilon_1 + c^2) + c^2(-\upsilon_1 - \upsilon_2) = 0$$

Розв'язком цього квадратного рівняння відносно V буде вираз:

$$V_{1,2} = \frac{-(\upsilon_1\upsilon_2 + c^2) \pm \sqrt{\upsilon_1^2\upsilon_2^2 + c^4 - c^2\upsilon_2^2 - c^2\upsilon_1^2}}{-(\upsilon_2 + \upsilon_1)} \quad (1)$$

Після математичних перетворень можна записати формулу (1) у вигляді:

$$V_{1,2} = \frac{c^2}{\upsilon_1 + \upsilon_2}\left[\left(1 + \frac{\upsilon_1 \cdot \upsilon_2}{c^2}\right) \pm \sqrt{(1 - \beta_1^2)\cdot(1 - \beta_1^2)}\right] \quad (2)$$

3. Узагальнення. Отриманий вище результат, слід піддати колективному аналізу з метою уточнення.

Для зручного аналізу формули (2) припустимо, що друга частинка нерухома ($\upsilon_2 = 0$), тоді для швидкості V можна записати:

$$V_{1,2} = \frac{c^2}{\upsilon_1}\left[1 \pm \sqrt{1 - \beta_1^2}\right].$$

Пропонуємо до обговорення питання: Яке з двох рішень буде правильним, з «+» чи з «–»? Для відповіді на запитання пропонуємо звернутися до принципу відповідності. Враховуючи, що $\beta_1 = \frac{\upsilon_1}{c} << 1$ та розкладаючи доданок $\sqrt{1 - \beta_1^2}$ в степеневий ряд, по малому параметру β^2:

$$\sqrt{1 - \beta_1^2} \approx 1 - \frac{1}{2}\beta_1^2 - \frac{3}{8}\beta_1^4 - \ldots \approx 1 - \frac{1}{2}\beta_1^2,$$

отримуємо:

$$V_{1,2} = \frac{c^2}{\upsilon_1}\left[1 \pm \sqrt{1 - \beta_1^2}\right] = \frac{c^2}{\upsilon_1}\cdot\left[1 \pm \left(1 - \frac{\beta_1^2}{2}\right)\right].$$

Урахуємо наразі, що $\beta_1 = \frac{\upsilon_1}{c} << 1$:

$V_1 = \frac{c^2}{\upsilon_1}\cdot\left[1 + \left(1 - \frac{\beta_1^2}{2}\right)\right] = \frac{2c^2}{\upsilon_1} - \frac{\upsilon_1}{2}$ – розв'язок не має фізичного змісту, адже отримуємо швидкість більшу за швидкість світла c.

$V_2 = \frac{c^2}{\upsilon_1}\cdot\left[1 - \left(1 - \frac{\beta_1^2}{2}\right)\right] = \frac{\upsilon_1}{2}$, що повністю збігається з класичним виразом для υ'_1 та υ'_2 при $\upsilon_2 = 0$.

$$\upsilon'_1 = \upsilon_1 - V = \upsilon_1 - \frac{\upsilon_1}{2} = \frac{\upsilon_1}{2}.$$

Отже, з урахуванням принципу відповідності формулу (2) слід записувати так:

$$V = \frac{c^2}{\upsilon_1 + \upsilon_2}\left[\left(1 + \frac{\upsilon_1 \cdot \upsilon_2}{c^2}\right) - \sqrt{(1 - \beta_1^2)\cdot(1 - \beta_1^2)}\right]. \quad (3)$$

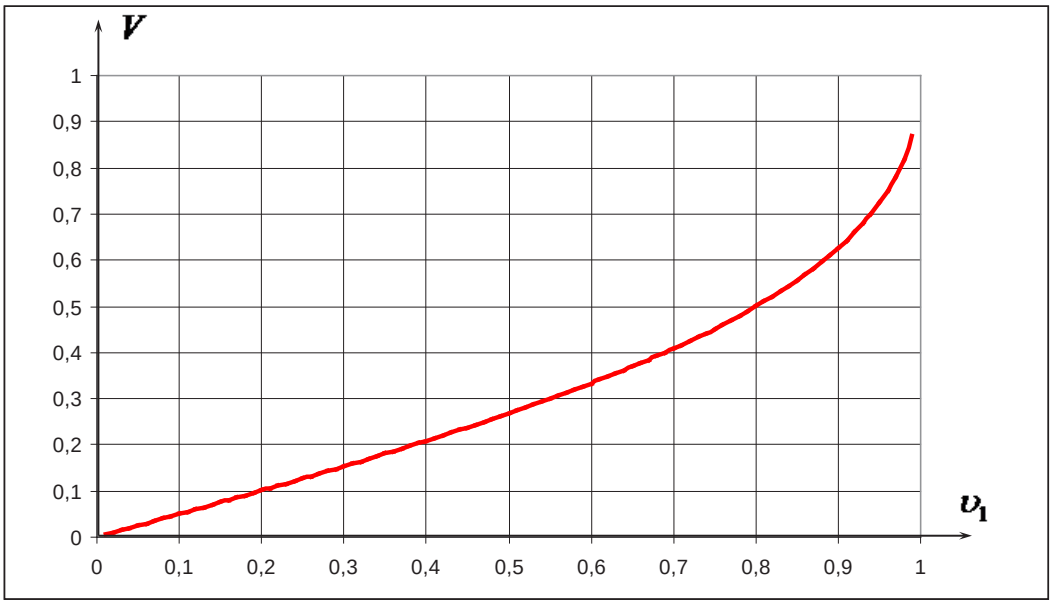

Рис. 3. Графік функції рівняння (3) в діапазоні швидкостей 0.1 – 0.98 *c*

4. Рефлексія. Обговорюючи результати, слід стимулювати здобувачів до обговорення загальнодидактичних та фізичних питань:

– які нові знання та досвід Ви отримали при вирішенні цієї задачі?

– які методи роботи були Вами використані?

– у процесі обговорення результатів, були різні думки. Чому? Які з них сприймалися Вами критично?

– які знання та дидактичні прийоми можуть бути Вами використані в професійній діяльності, зокрема при вивченні основ СТВ в профільних класах ЗЗСО?

– як зміниться ситуація, коли друга частинка рухома ($\upsilon_2 \neq 0$)?

5. Організація позааудиторної самостійної роботи. Можна запропонувати здобувачам самостійно переконатись в об'єктивності формули (3) з використанням графічного аналізу результатів.

Для більш глибокого усвідомлення, пропонуємо здобувачам освіти самостійно побудувати графік функції рівняння (3) та коротко проаналізувати його. Знов розглянемо випадок, коли частинка 2 нерухома ($\upsilon_2 = 0$).

Побудуємо два графіки у різних діапазонах швидкостей руху частинки 1. Вісі абсцис відповідатиме швидкість руху частинки 1 $\vec{\upsilon}_1$, вісь ординат матиме значення швидкості руху СВ K' $\vec{V}$.

Рисунку 3 відповідає графік швидкості СВ K' в діапазоні швидкостей $0.1 - 0,98\,c$. Очевидно, що залежність швидкості $\vec{V}$ СВ K' від швидкості руху $\vec{\upsilon}_1$ частинки 1, коли частинка 2 нерухома ($\vec{\upsilon}_2 = 0$), є нелінійною. Особливо це проявляється при швидкостях близьких до швидкості світла $\vec{c}$. Це і є яскравим проявом відмінності класичного та релятивістського законів додавання швидкостей.

Рисунок 4 відображає графік швидкості $\vec{V}$ СВ K' від швидкості руху $\vec{\upsilon}_1$ частинки 1, коли час-

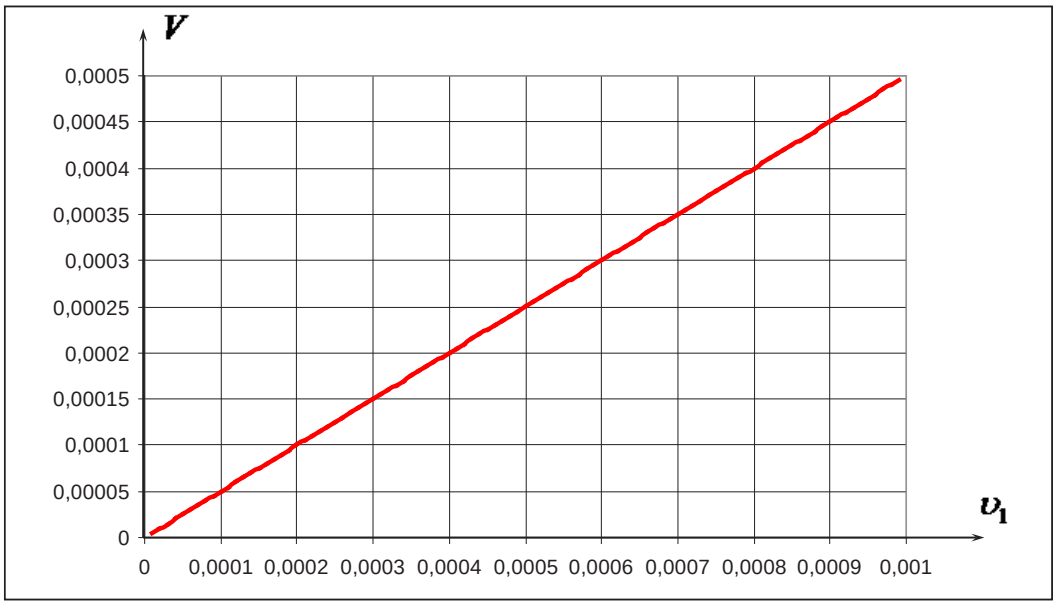

Рис. 4. Графік функції рівняння (3) для швидкостей $\upsilon_1 << c$

тинка 2 нерухома ($\vec{\upsilon}_2 = 0$) при швидкостях значно менших від швидкості світла $\vec{c}$. Примітно, що залежність є лінійною, і співпадає з класичним виразом для нерелятивістських випадків ($\upsilon_1 << c$), тобто $V = \frac{\upsilon_1}{2}$ з великою точністю. На 5-му етапі МКРМ важливо досягти самостійного використання студентами знань та вмінь, отриманих на аудиторних заняттях.

Висновки і пропозиції. У статті схарактеризовано методику розвитку критичного мислення, яку можна використовувати під час аудиторних занять та при організації самостійної роботи майбутніх учителів-фізиків у процесі вивчення теоретичної фізики. На конкретному прикладі продемонстровано зміст кожного етапу МКРМ. Зручність методики полягає в її універсальності та можливості застосування під час вивчення інших тем теоретичної і загальної фізики, що і визначає перспективу наших подальших наукових пошуків.

Список літератури:

1. Пометун О., Сущенко І. Навчаємо мислити критично : посібник для вчителів. Дніпропетровськ : ЛІРА, 2016. 144 с.
2. Заир-Бек С., Муштавинская И. Развитие критического мышления на уроке : пособ. для учителя. Москва : Просвещение, 2004. 173 с.
3. Попков В., Коржуев А., Рязанова Е. Критическое мышление в контексте задач высшего профессионального образования. Москва : изд-во МГУ, 2001. 166 с.
4. Темпл Ч., Стил Дж., Мередит К. Критическое мышление: углубленная методика. Москва : Открытое общество, 1998. 237 с.
5. Варлакова М. Развитие критического мышления учащихся в процессе обучения физике : дисс. … канд. пед. наук : 13.00.01 / Курганский государственный университет. Курган, 2016. 194 с.
6. Почтовюк С. Розвиток критичного мислення студентів технічних коледжів у процесі навчання інформатики : дис. … канд. пед. наук : 13.00.02 / Нац. пед. ун-т. ім. М.П. Драгоманова. Київ, 2013. 225 с.
7. Гильмиярова С., Даутова К., Шамигулова Ю. К вопросу о формировании критического мышления у студентов педагогических вузов. *Наука и школа*. 2016. № 3. С. 201–206.
8. Ткаченко В. Розвиток критичного мислення учнів на уроках історії як умова їхньої успішної соціалізації. *Таврійський вісник освіти*. 2014. № 1(45). Ч. 2. С. 141–150.
9. Бутенко А., Ходос Е. Критическое мышление: метод, теория, практика : учеб.-метод. пособие. Москва : Мирос, 2002. 173 с.
10. Темпл Ч. Критическое мышление и критическая грамотность. *Перемена*. 2005. № 2. С. 15–20.
11. Темпл Ч., Стил Дж., Мередит К. Критическое мышление: углубленная методика. Москва : Изд-во «ИОО», 1997. 55 с.
12. Chaffee J. Thinking critically. Belmont, CA, United States, 2014. 592 p.
13. Zhao C., Pandian A., Kaur Mehar Singh M. Instructional Strategies for Developing Critical Thinking in EFL Classrooms: *English Language Teaching*. 2016, vol. 9, no. 10, pp. 17–24.
14. Тягло О. Критичне мислення : навч. посіб. Харків : Основа, 2008. 192 с.
15. Тягло О. Чи буде культура критичного мислення в новій українській школі? URL: https://life.pravda.com.ua/columns/2017/02/9/222533/ (дата звернення: 9.02.2019).
16. Батрун І. Технологія розвитку критичного мислення і сучасний освітній процес. *Завучу. Усе для роботи*. 2018. № 5/6. С. 7–14.
17. Терно С. Теорія розвитку критичного мислення (на прикладі навчання історії) : посібник для вчителя. Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2011. 105 с.
18. Шакирова Д. Теоретические основания концепции формирования критического мышления. *Педагогика*. 2006. № 9. С. 96–98.
19. Шакирова Д. Формирование критического мышления учащихся и студентов: модель и технология. *Народное образование. Педагогика*. 2006. № 9(4). С. 284–292.
20. Синич-Кондратенко В. Критичне мислення й аналітичні здібності учнів. *Директор школи*. 2012. № 7. С. 50–52.
21. Бугаев А. Методика преподавания физики в средней школе: теорет. основы : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. Москва : Просвещение, 1981. 288 с.
22. Про вищу освіту : Закон України від 09.08.2019 року No 1556-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18
23. Коновал О., Туркот Т., Соломенко А. Методика розвитку критичного мислення здобувачів освіти (на прикладі вивчення спеціальної теорії відносності та електродинаміки) : навчально-методичній посібник / за ред. О.А. Коновала. Кривий Ріг : Видавець Роман Козлов, 2019. 232 с.
24. Коновал О. Основи спеціальної теорії відносності : навч.-метод. посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів / Криворізький державний педагогічний університет. Кривий Ріг : Видавець Роман Козлов, 2014. 271 с.

References:

1. Pometun, O., & Sushhenko, I. (2016). Navchajemo myslyty krytychno: posibnyk dlja vchyteliv [We teach to think critically: a guide for teachers]. Dnipropetrovsjk: LIRA.
2. Zayr-Bek, S., & Mushtavynskaja, Y. (2004). Razvytye krytycheskogho myshlenyja na uroke: posob. dlja uchytelja [Developing Critical Thinking in the Lesson: A Teacher's Guide]. Moskva: Prosveshhenye.
3. Popkov, V., Korzhuev, A., & Rjazanova, E. (2001). Krytycheskoe myshlenye v kontekste zadach vusshegho professyonaljnogho obrazovanyja [Critical Thinking in the Context of the Problems of Higher Professional Education]. Moskva: izd-vo MGhU.
4. Templ, Ch., Styl, Dzh., & Meredyt, K. (1998). Krytycheskoe myshlenye: ughlublennaja metodyka [Critical Thinking: An Advanced Technique]. Moskva: Otkrytoe obshhestvo.
5. Varlakova, M. (2016). Razvytye krytycheskogho myshlenyja uchashhykhsja v processe obuchenyja fyzyke [The development of critical thinking of students in the process of teaching physics] (PhD Thesis), Kurghan: Kurghanskyj ghosudarstvennyj unyversytet.
6. Pochtovjuk, S. (2013). Rozvytok krytychnogho myslennja studentiv tekhnichnykh koledzhiv u procesi navchannja informatyky [Development of critical thinking of students of technical colleges in the process of teaching computer science] (PhD Thesis), Kyiv: Nac. ped. un-t. im. M.P. Draghomanova.

7. Ghyljmyjarova, S., Dautova, K., & Shamyghulova, Ju. (2016). K voprosu o formyrovanyy krytycheskogho myshlenyja u studentov pedaghoghycheskykh vuzov [To the question of the formation of critical thinking among students of pedagogical universities]. Nauka y shkola, no. 3, pp. 201–206.
8. Tkachenko, V. (2014). Rozvytok krytychnogho myslennja uchniv na urokakh istoriji jak umova jikhnjoji uspishnoji socializaciji [Development of students' critical thinking in history lessons as a condition for their successful socialization]. *Tavrijsjkyj visnyk osvity*, no. 1(45), ch. 2, pp. 141–150.
9. Butenko, A., & Khodos, E. (2002). Krytycheskoe myshlenye: metod, teoryja, praktyka: ucheb.-metod. Posobye [Critical thinking: method, theory, practice: textbook.-method. allowance]. Moskva: Myros.
10. Templ, Ch. (2005). Krytycheskoe myshlenye y krytycheskaja ghramotnostj [Critical thinking and critical literacy]. *Peremena*. 2005, no. 2, pp. 15–20.
11. Templ, Ch., Styl, Dzh., & Meredyt, K. (1997). Krytycheskoe myshlenye: ughlublennaja metodyka [Critical Thinking: An Advanced Technique]. Moskva: Izd-vo «YOO», 1997.
12. Chaffee, J. (2014). Thinking critically. Belmont, CA, United States.
13. Zhao, C., Pandian, A., & Kaur Mehar Singh, M. (2016). Instructional Strategies for Developing Critical Thinking in EFL Classrooms: *English Language Teaching*, vol. 9, no. 10, pp. 17–24.
14. Tjaghlo, O. (2008). Krytychne myslennja: navch. Posib [Critical thinking: a textbook]. Kharkiv: Osnova.
15. Tjaghlo, O. (2019). Chy bude kuljtura krytychnogho myslennja v novij ukrajinsjkij shkoli [Will there be a culture of critical thinking in the new Ukrainian school]? Available at: https://life.pravda.com.ua/columns/2017/02/9/222533/ (accessed: 9 February 2019).
16. Batrun, I. (2018). Tekhnologhija rozvytku krytychnogho myslennja i suchasnyj osvitnij process [Technology of development of critical thinking and modern educational process]. *Zavuchu. Use dlja roboty*, no. 5/6, pp. 7–14.
17. Terno, S. (2011). Teorija rozvytku krytychnogho myslennja (na prykladi navchannja istoriji): posibnyk dlja vchytelja [Theory of the development of critical thinking (on the example of teaching history): a guide for teachers]. Zaporizhzhja: Zaporizjkyj nacionaljnyj universytet.
18. Shakyrova, D. (2006). Teoretycheskye osnovanyja koncepcyy formyrovanyja krytycheskogho myshlenyja [Theoretical bases of the concept of formation of critical thinking]. *Pedaghoghyka*, no. 9, pp. 96–98.
19. Shakyrova, D. (2006). Formyrovanye krytycheskogho myshlenyja uchashhykhsja y studentov: modelj y tekhnologhyja [Formation of critical thinking of pupils and students: model and technology]. *Narodnoe obrazovanye. Pedaghoghyka*, no. 9(4), pp. 284–292.
20. Synych-Kondratenko, V. (2012). Krytychne myslennja j analitychni zdibnosti uchniv [Critical thinking and analytical abilities of students]. *Dyrektor shkoly*, no. 7, pp. 50–52.
21. Bughaev, A. (1981). Metodyka prepodavanyja fyzyky v srednej shkole: teoret. osnovy: ucheb. posobye dlja studentov ped. yn-tov po fyz.-mat. spec. [Methods of teaching physics in high school: theoretical foundations]. Moskva: Prosveshhenye.
22. Pro vyshhu osvitu: Zakon Ukrajiny vid 09.08.2019 roku No 1556-VII. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18
23. Konoval, O., Turkot, T., & Solomenko, A. (2019). Metodyka rozvytku krytychnogho myslennja zdobuvachiv osvity (na prykladi vyvchennja specialjnoji teoriji vidnosnosti ta elektrodynamiky): navchaljno-metodychnij posibnyk, ed. O.A. Konoval [Methods for the development of critical thinking of students (on the example of studying the special theory of relativity and electrodynamics): a textbook]. Kryvyj Righ: Vydavecj Roman Kozlov.
24. Konoval, O. (2014). Osnovy specialjnoji teoriji vidnosnosti: navch.-metod. posibnyk dlja studentiv fizychnykh specialjnostej pedaghoghichnykh universytetiv [Fundamentals of special theory of relativity: a textbook for students of physical specialties of pedagogical universities]. Kryvyj Righ: Kryvorizjkyj derzhavnyj pedaghoghichnyj universytet: Vydavecj Roman Kozlov.