



UDC 378.147:53:37.015.3

DOI 10.35433/pedagogy.3(122).2025.17

THE USE OF PHYSICAL PARADOXES AS A DIDACTIC RESOURCE FOR THE DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING IN FUTURE PHYSICS TEACHERS

R. Yu. Vasileva*, D. A. Stepanchikov**

The article considers the didactic potential of physical paradoxes as a means of developing critical thinking of future physics teachers in the context of the transformation of the modern educational paradigm. The authors substantiate the feasibility of using physical paradoxes in the educational process as an effective tool for activating cognitive activity, forming skills of analysis, logical thinking and arguing one's own position. Critical thinking is considered as an integral quality that includes the ability to evaluate information, pose problems, test hypotheses and make informed decisions, which is especially relevant for the professional training of teachers. It is noted that traditional methods of teaching physics often do not provide the proper level of motivation and active cognitive activity of students, while the use of physical paradoxes creates situations of cognitive contradiction that stimulate the rethinking of existing knowledge and the search for logically justified explanations. It is determined that the effective implementation of paradoxes in the professional training of future physics teachers requires adherence to the principles of consistency, scientificity, variability and reflection. The paper outlines methods and organizational forms of introducing physical paradoxes into the educational process: as a motivational element at the beginning of the topic, as a basis for discussions, as a means of organizing independent research activities and as a component of the case method. It is noted that physical paradoxes contribute to the integration of knowledge from different fields, the development of research and communication competencies, as well as increasing motivation for learning. It is noted that the key role in the implementation of this approach is played by the teacher, who acts as a moderator of students' intellectual activity, leads the discussion and creates favorable conditions for the formation of critical thinking.

Keywords: critical thinking; physical paradoxes; teacher professional training; cognitive engagement; didactic tools; analytical thinking; problem-based learning; educational process.

* Candidate of Pedagogical Sciences (PhD in Pedagogy), Docent
(Zhytomyr Ivan Franko State University)
regvasil@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8190-0048

** Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD in Physic and Mathematic), Docent
(Zhytomyr Ivan Franko State University);
dstep123@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-2460-512X

ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАДОКСІВ ЯК ДИДАКТИЧНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ У МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ

Р. Ю. Васильєва, Д. А. Степанчиков

У статті розглянуто дидактичний потенціал фізичних парадоксів як засобу розвитку критичного мислення майбутніх учителів фізики в умовах трансформації сучасної освітньої парадигми. Авторами обґрунтовано доцільність використання фізичних парадоксів у навчальному процесі як ефективного інструменту активізації пізнавальної діяльності, формування навичок аналізу, логічного мислення та аргументованого відстоювання власної позиції. Критичне мислення розглянуто як інтегральна якість, що включає здатність до оцінювання інформації, постановки проблем, перевірки гіпотез і прийняття обґрунтованих рішень, що є особливо актуальним для професійної підготовки педагогів. Зазначено, що традиційні методи викладання фізики часто не забезпечують належного рівня мотивації та активної пізнавальної діяльності студентів, тоді як використання фізичних парадоксів створює ситуації пізнавального протиріччя, які стимулюють переосмислення наявних знань і пошук логічно обґрунтованих пояснень. Визначено, що ефективно впровадження парадоксів у професійну підготовку майбутніх учителів фізики потребує дотримання принципів послідовності, науковості, варіативності та рефлексії. У роботі окреслено методи та організаційні форми впровадження фізичних парадоксів у навчальний процес: як мотиваційного елемента на початку теми, як основи для дискусій, як засобу організації самостійної дослідницької діяльності та як складової кейс-методу. Відмічено, що фізичні парадокси сприяють інтеграції знань з різних галузей, розвитку дослідницьких і комунікативних компетентностей, а також підвищенню мотивації до навчання. Зазначено, що ключову роль у реалізації цього підходу відіграє викладач, який виступає модератором інтелектуальної діяльності студентів, керує обговоренням та створює сприятливі умови для формування критичного мислення.

Ключові слова: критичне мислення; фізичні парадокси; професійна підготовка вчителів; пізнавальна активність; дидактичні інструменти; аналітичне мислення; проблемне навчання; освітній процес.

Introduction of the issue. Reforming education in Ukraine requires teachers not only to transfer knowledge, but also to develop in students the ability to think analytically, model situations, articulate and substantiate their point of view. In the context of the transformation of the educational sphere, the development of critical thinking as one of the main competencies becomes an important component of the professional training of future physics teachers. Critical thinking contributes not only to a deeper understanding of the subject material, but also to the development of the ability to analyze, evaluate information, form reasoned judgments, and make rational decisions. At the same time, traditional methods of teaching physics often do not provide sufficient motivation for active cognition and the development of students' analytical skills.

One of the effective didactic tools that contribute to the formation and

Постановка проблеми. Реформування освіти в Україні вимагає від викладачів не лише трансляції знань, а й формування у здобувачів освіти здатності до аналітичного мислення, моделювання ситуацій та аргументованого відстоювання позицій. В умовах трансформації освітньої сфери важливою складовою професійної підготовки майбутніх учителів фізики стає розвиток критичного мислення як однієї з основних компетентностей. Критичне мислення сприяє не лише глибшому розумінню предметного матеріалу, а й розвитку здатності аналізувати, оцінювати інформацію, формувати обґрунтовані судження та приймати раціональні рішення. Водночас традиційні методи викладання фізики часто не забезпечують достатньої мотивації для активного пізнання та розвитку аналітичних навичок студентів.

Одним із ефективних дидактичних інструментів, що сприяє формуванню та

development of critical thinking of students is physical paradoxes. Their use in the educational process leads to the emergence of contradictions in knowledge, which stimulate the rethinking of existing ideas about physical phenomena and activate the process of searching for logically justified explanations. This approach not only increases the level of cognitive activity of students but also contributes to the development of the skills of reasoned thinking, analysis and interpretation of information, which is especially important in preparing future teachers for professional activity in the conditions of the modern educational paradigm.

Current state of the issue. The use of physical paradoxes in the educational process of higher education institutions in the training of physics teachers has been reflected in the research of both domestic and foreign scientists. In particular, the works of Kuzmenko O.S., Salnyk I.V. emphasize the importance of including physical paradoxes in the content of educational material for the development of the ability to independently analyze, formulate problems and find non-standard solutions [6].

Kobus O.S., Bondarenko S.Yu. in their studies emphasize that physical paradoxes, being an effective tool for implementing the problem-based teaching method, can simultaneously contribute to both in-depth understanding and the formation of misconceptions if oversimplified. In their opinion, the focus of the analysis of physical paradoxes is the search for a balance between cognitive accessibility and the preservation of conceptual and theoretical integrity [4].

Ivchenko V.V. in his publications substantiates that solving paradoxes contributes to the formation of critical thinking, a deeper understanding of the educational material and an increase in motivation to learn. He proposes a methodology for introducing paradoxical situations into the educational process as one of the effective methods of active learning, which involves the phased formulation of the problem, its

розвитку критичного мислення здобувачів освіти, є фізичні парадокси. Їх використання у навчальному процесі зумовлює виникнення протиріччя у знаннях, які стимулюють переосмислення наявних уявлень про фізичні явища та активізують процес пошуку логічно обґрунтованих пояснень. Такий підхід не лише підвищує рівень пізнавальної активності студентів, а й сприяє розвитку умінь аргументованого мислення, аналізу й інтерпретації інформації, що є особливо важливим у підготовці майбутніх педагогів до професійної діяльності в умовах сучасної освітньої парадигми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання фізичних парадоксів в навчальному процесі закладів вищої освіти при підготовці вчителів фізики знайшли своє відображення в дослідженнях як вітчизняних так і зарубіжних вчених. Зокрема, в роботах Кузьменко О.С., Сальник І.В. підкреслюється важливість включення фізичних парадоксів до змісту навчального матеріалу для розвитку здатності до самостійного аналізу, постановки проблем і пошуку нестандартних розв'язків [6].

Кобус О.С., Бондаренко С.Ю. у своїх дослідженнях наголошують, що фізичні парадокси, будучи ефективним інструментом реалізації проблемного методу навчання, водночас можуть сприяти як поглибленому розумінню, так і формуванню хибних уявлень за умови надмірного спрощення. На їх думку, у центрі аналізу фізичних парадоксів – пошук балансу між пізнавальною доступністю та збереженням концептуальної й теоретичної цілісності [4].

Івченко В.В. у своїх публікаціях обґрунтовує, що розв'язання парадоксів сприяє формуванню критичного мислення, глибшому розумінню навчального матеріалу та підвищенню мотивації до навчання. Він пропонує методiku впровадження парадоксальних ситуацій у навчальний процес як одного з ефективних методів активного навчання, що передбачає поетапне формулювання проблеми, її обговорення, висунення гіпотез і пошук нових моделей для

discussion, the putting forward of hypotheses and the search for new models to explain the phenomenon. The author notes that the use of scientific paradoxes in physical education not only enriches the content of education, but also contributes to the development of independence, flexibility and creativity of future specialists [3].

The research by Sergeieva O.E. reveals the problem of stimulating interest in knowledge in the process of teaching students and demonstrating new aspects of the material studied. The most effective way to solve it, according to the author, is to create problem situations during practical classes in physics, using physical paradoxes, sophism, as well as experimental and interesting tasks [7].

Despite the significant interest in the problems of developing critical thinking in scientific research, the issues of systematic implementation of physical paradoxes as a didactic tool in the professional training of physics teachers remain insufficiently studied.

Aim of the research is to substantiate didactic potential of physical paradoxes in forming critical thinking of future physics teachers and determining effective forms and methods of their use in the educational process of professional training of teachers.

Results and discussion. Physics as a science based on logic, evidence and experimental testing of hypotheses opens up wide opportunities for the development of critical thinking. In the context of our work, critical thinking is considered as a person's ability to analyze, evaluate and interpret information from the point of view of rationality, evidence and objectivity [2; 9]. In the process of professional training of future physics teachers, critical thinking is interpreted as an integral ability to deeply analyze physical phenomena, formulate logically justified conclusions based on empirical observations, identify internal contradictions and inaccuracies in scientific statements, as well as argue for one's own position on complex physical issues [2; 8]. It should be noted that critical thinking as a purposeful, logically

пояснення явища. Автор зазначає, що використання наукових парадоксів у фізичній освіті не лише збагачує зміст навчання, а й сприяє розвитку самостійності, гнучкості та творчості майбутніх фахівців [3].

В дослідженнях Сергєєвої О.Є. розкрито проблему стимулювання інтересу до знань у процесі навчання студентів і демонстрації нових аспектів вивченого матеріалу. Найефективнішим способом її розв'язання, на думку автора, є створення проблемних ситуацій під час практичних занять з фізики, використовуючи фізичні парадокси, софізми, а також експериментальні та цікаві завдання [7].

Незважаючи на значний інтерес до проблем розвитку критичного мислення в наукових дослідженнях, питання системного впровадження фізичних парадоксів як дидактичного інструменту у професійну підготовку вчителів фізики залишаються недостатньо вивченими.

Мета статті. Метою роботи є обґрунтування дидактичного потенціалу фізичних парадоксів у формуванні критичного мислення майбутніх учителів фізики та визначенні ефективних форм та методів їх використання в освітньому процесі професійної підготовки педагогів.

Виклад основного матеріалу. Фізика як наука, що спирається на логіку, докази і експериментальну перевірку гіпотез, відкриває широкі можливості для розвитку критичного мислення. В контексті нашої роботи критичне мислення розглядається як вміння людини аналізувати, оцінювати та інтерпретувати інформацію з точки зору раціональності, доказовості та об'єктивності [2; 9]. У процесі професійної підготовки майбутніх учителів фізики критичне мислення трактується як інтегральна здатність до глибокого аналізу фізичних явищ, формулювання логічно обґрунтованих висновків на основі емпіричних спостережень, виявлення внутрішніх суперечностей і неточностей у наукових твердженнях, а також аргументованого відстоювання власної позиції щодо складних фізичних питань [2; 8]. Зазначимо, що критичне мислення як цілеспрямований, логічно впорядкований

ordered process of mental activity should be carried out in accordance with certain logical principles. Among the basic criteria that regulate its implementation, the fundamental laws of logic are distinguished: the law of identity, the law of non-contradiction, the law of the excluded middle, and the law of sufficient reason. Accordingly, the technology for forming students' critical thinking should be characterized by the presence of the following structural components:

1. Defined learning objectives.
2. Conceptual frameworks reflecting the theoretical foundations of the approach.
3. Organizational forms of pedagogical interaction.
4. Methods and techniques of educational activity.
5. Means of diagnostics and evaluation of the results of the educational process [9].

However, the effective development of critical thinking requires a specially organized educational process that includes elements of problematization that encourage mental activity.

One of the didactic resources for the development of critical thinking is physical paradoxes. A physical paradox is understood as a phenomenon or statement that contradicts intuitive ideas or established scientific knowledge, without violating the fundamental laws of nature [1]. Such paradoxes arise because of logical analysis, experimental research or mathematical modeling of physical processes. Their essence lies in questioning familiar ideas, which requires a more thorough rethinking of the theoretical foundations of physics.

It should be noted that physical paradoxes create situations of cognitive contradiction in which the familiar idea of a physical phenomenon or law contradicts the results of observation or logical analysis. Such situations activate mental activity, encourage students to seek new solutions, test assumptions, and rethink knowledge.

For the effective use of paradoxes in the professional training of future physics teachers, it is advisable to adhere to the

process of rational activity, has to be carried out in accordance with certain logical principles. Among the basic criteria that regulate its implementation, the fundamental laws of logic are distinguished: the law of identity, the law of non-contradiction, the law of the excluded middle, and the law of sufficient reason. Accordingly, the technology for forming students' critical thinking should be characterized by the presence of the following structural components:

1. Defined learning objectives;
2. Conceptual foundations, which reflect the theoretical principles of the approach;
3. Organizational forms of pedagogical interaction;
4. Methods and techniques of educational activity;
5. Means of diagnostics and evaluation of the results of the educational process [9].

However, the effective development of critical thinking requires a specially organized educational process, which includes elements of problematization, which encourages mental activity.

One of the didactic resources for the development of critical thinking is physical paradoxes. A physical paradox is understood as a phenomenon or statement that contradicts intuitive ideas or established scientific knowledge, without violating the fundamental laws of nature [1]. Such paradoxes arise because of logical analysis, experimental research or mathematical modeling of physical processes. Their essence lies in questioning familiar ideas, which requires a more thorough rethinking of the theoretical foundations of physics.

It should be noted that physical paradoxes create situations of cognitive contradiction in which the familiar idea of a physical phenomenon or law contradicts the results of observation or logical analysis. Such situations activate mental activity, encourage students to seek new solutions, test assumptions, and rethink knowledge.

For the effective use of paradoxes in the professional training of future physics teachers, it is advisable to adhere to the

following principles: consistency – paradoxes should logically fit into the structure of the educational course; scientificity – explanations should correspond to the modern level of science; variability – the involvement of paradoxes of various natures (logical, empirical, semantic); reflection – after analyzing the paradox, a discussion should be organized regarding the causes of the contradiction, ways to overcome it, and their significance for understanding the topic. It should be noted that the professional activity of the teacher plays a significant role in the process of using physical paradoxes during teaching physics disciplines. He not only conveys ready-made information to students but also acts as a moderator of the cognitive process, which directs students' learning towards active research, critical thinking, and independent interpretation of knowledge. Its main functions are to create a problem situation based on a physical paradox, to form cognitive interest, and to manage activity. The teacher selects a physical paradox that corresponds to the topic of the lesson, the level of training of students, and causes an internal contradiction. It is important to present the paradox in the form of a question or task that seems contradictory, but at the same time arouses intellectual interest. With the help of physical paradoxes or unexpected results of demonstrations, the teacher strengthens the motivation to find an answer. This helps to involve students in a deeper understanding of the material.

In the process of working on the paradox, the teacher guides the discussion: asks clarifying questions, helps to structure the course of thinking, encourages logical analysis, and compares theoretical propositions with experimental facts. One of the key pedagogical tasks is to form in students a readiness to perceive ambiguity, the ability to consider several hypotheses without fear of mistakes [10]. The teacher's task is to create an atmosphere of trust where each idea deserves consideration. The teacher also organizes a discussion of physical paradoxes in

дотримуватись наступних принципів: *послідовності* - парадокси мають логічно вписуватись у структуру навчального курсу; *науковості* - пояснення мають відповідати сучасному рівню науки; *варіативності* - залучення парадоксів різної природи (логічні, емпіричні, семантичні); *рефлексії* - після аналізу парадоксу слід організувати обговорення щодо причин виникнення суперечності, шляхів її подолання та значення для розуміння теми.

Слід зазначити, що суттєву роль у процесі використання фізичних парадоксів під час викладання фізичних дисциплін відіграє професійна діяльність викладача. Він не лише доносить до студентів готову інформацію, а виступає модератором пізнавального процесу, що спрямовує навчання студентів на активне дослідження, критичне мислення та самостійну інтерпретацію знань. Його основні функції полягають у створенні проблемної ситуації на основі фізичного парадоксу, формуванні пізнавального інтересу, керуванні діяльністю. Викладач добирає фізичний парадокс, який відповідає темі заняття, рівню підготовки студентів та викликає внутрішнє протиріччя. Важливо подати парадокс у формі питання або завдання, яке здається суперечливим, але водночас викликає інтелектуальну зацікавленість. За допомогою фізичних парадоксів або несподіваних результатів демонстрацій викладач підсилює мотивацію до пошуку відповіді. Це сприяє залученню студентів до глибшого осмислення матеріалу.

У процесі роботи над парадоксом викладач спрямовує обговорення: ставить уточнювальні запитання, допомагає структурувати хід мислення, заохочує до логічного аналізу, співставлення теоретичних положень з експериментальними фактами. Однією з ключових педагогічних задач є формування в студентів готовності до сприйняття неоднозначності, вміння розглядати кілька гіпотез, не боячись помилок [10]. Завдання викладача створити атмосферу довіри, де кожна ідея заслуговує на розгляд. Також викладач організовує обговорення фізичних парадоксів в малих групах. По-перше, він

small groups. First, he coordinates group work, delicately intervening if necessary. Second, after the students independently search for an answer and formulate a hypothesis, the teacher summarizes the results, reveals the scientific essence of the paradox, points out errors of thinking or interpretation, thereby contributing to a deeper understanding of the physical content. Third, at the end of group work on the paradox, the teacher stimulates students to reflect by asking questions. For example: "How has your understanding of the topic changed? What was unexpected? What skills helped in resolving the contradiction?"

In the process of organizing a lesson with students, the teacher can use physical paradoxes such as:

- introduction to a new topic to motivate students;
- problem situation when organizing problem-based learning;
- means/tools of organizing a discussion or debate;
- means/tools of independent research activity;
- a learning case;
- means/tools of reflection.

The use of physical paradoxes at the stage of introduction to a new topic is based on the creation of a problem situation. As emphasized, physical paradoxes cause cognitive contradictions in students, since they contradict their previous knowledge or internal understanding. Such contradictions stimulate motivation for learning, activate cognitive activity and contribute to the formation of interest in studying a new topic. It should be noted that motivation through paradoxes is based on the activation of mechanisms of curiosity and the search for explanations, which are key for the effective assimilation of complex physical concepts. Thus, paradoxes create a problem situation, which is the starting point of the creative cognitive process. In this case, one should consider the need for careful selection of a physical paradox, which should correspond to the content of the new topic and correspond as much as possible to the level of students' training. The selected paradox

координує групову роботу, делікатно втручаючись у разі потреби. По-друге, після самостійного пошуку відповіді студентами і формулювання ними гіпотези викладач узагальнює результати, розкриває наукову суть парадоксу, вказує на помилки мислення або інтерпретації, тим самим сприяючи поглибленню розуміння фізичного змісту. По-третє, на завершення групової роботи з парадоксом викладач стимулює студентів до рефлексії задаючи питання. Наприклад: "Як змінилося ваше розуміння теми? Що було несподіваним? Які навички допомогли у вирішенні суперечності?".

В процесі організації заняття із студентами викладач може використовувати фізичні парадокси як:

- вступ до нової теми для мотивації студентів;
- проблемна ситуація при організації проблемного навчання;
- засіб організації дискусії чи дебатів;
- засіб самостійної науково-дослідної діяльності;
- навчальний кейс;
- засіб рефлексії.

Використання фізичних парадоксів на етапі вступу до нової теми ґрунтується на створенні проблемної ситуації. Як було підкреслено, фізичні парадокси викликають у студентів пізнавальні протиріччя, оскільки суперечать їхнім попереднім знанням або внутрішньому розумінню. Таки протиріччя стимулюють мотивацію до навчання, активізують пізнавальну діяльність і сприяють формуванню зацікавленості у вивченні нової теми. Зазначимо, що мотивація через парадокси заснована на активації механізмів допитливості та пошуку пояснень, що є ключовими для ефективного засвоєння складних фізичних понять. Таким чином, парадокси створюють проблемну ситуацію, яка є початковою точкою творчого пізнавального процесу. При цьому слід враховувати необхідність ретельного добору фізичного парадоксу, який має відповідати змісту нової теми та максимально відповідати рівню підготовки студентів. Вибраний парадокс повинен містити явну суперечність між внутрішніми уявленнями студентів і

should contain a clear contradiction between the students' internal ideas and scientific facts or laws. To be effective, the physical paradox should directly relate to the key concepts that will be considered in the new topic. This will allow a logical transition from a problem situation to an explanation of theoretical material. It should also be formulated in such a way that students can understand its essence, even if it contradicts their life experience or previous knowledge. It is important that the physical paradox can be supported by an experiment, demonstration or illustrative example. The chosen paradox should stimulate students to analyze, compare, formulate hypotheses and search for rational explanations, which develops critical thinking.

Problem-based learning, in which physical paradoxes act as key problem situations, activates logical thinking and analytical abilities of students. A paradoxical situation requires students not just to memorize facts, but to independently search for cause-and-effect relationships, form hypotheses and test them. This corresponds to the basic laws of the creative cognitive process, where students go through the stages of posing a problem, actively searching for a solution and understanding the results. This approach provides a deeper understanding of physical phenomena and contributes to the development of scientific thinking skills.

Representing a physical paradox in the form of a problem situation also contributes to the integration of knowledge from different fields, in particular mathematics, chemistry and computer science. This approach allows you to consider the problem from different angles, which increases the depth of its understanding. The effectiveness of the study is ensured by organizing work in small groups with the active support of the teacher, which stimulates communication and interaction between participants. Step-by-step discussion of hypotheses, analysis of evidence and formation of conclusions create a structured process of cognition, which

науковими фактами або законами. Для ефективності фізичний парадокс повинен безпосередньо стосуватися ключових понять, які будуть розглядатися у новій темі. Це дозволить логічно перейти від проблемної ситуації до пояснення теоретичного матеріалу. Також він має бути сформульований так, щоб студенти могли усвідомити його суть, навіть якщо він суперечить їхньому життєвому досвіду або попереднім знанням. Важливо щоб фізичний парадокс можна було б підкріпити експериментом, демонстрацією або наочним прикладом. Обраний парадокс повинен стимулювати студентів до аналізу, порівняння, формулювання гіпотез і пошуку раціональних пояснень, що розвиває критичне мислення.

Проблемне навчання, у якому фізичні парадокси виступають як ключові проблемні ситуації, активізує логічне мислення та аналітичні здібності студентів. Парадоксальна ситуація вимагає від студентів не просто запам'ятовування фактів, а самостійного пошуку причинно-наслідкових зв'язків, формування гіпотез і їх перевірку. Це відповідає основним закономірностям творчого пізнавального процесу, де студенти проходять етапи постановки проблеми, активного пошуку розв'язку і осмислення результатів. Такий підхід забезпечує глибше розуміння фізичних явищ і сприяє розвитку навичок наукового мислення.

Представлення фізичного парадоксу у вигляді проблемної ситуації також сприяє інтеграції знань із різних галузей, зокрема математики, хімії та інформатики. Такий підхід дозволяє розглядати проблему з різних сторін, що підвищує глибину її осмислення. Ефективність дослідження забезпечується організацією роботи в малих групах за активної підтримки викладача, що стимулює комунікацію та взаємодію між учасниками. Поетапне обговорення гіпотез, аналіз доказів і формування висновків створюють структурований процес пізнання, який сприяє систематичній перевірці та уточненню наукових припущень.

Використання фізичних парадоксів у форматі дискусій або дебатів є

contributes to the systematic verification and refinement of scientific assumptions.

The use of physical paradoxes in the format of discussions or debates is an effective didactic tool that promotes the development of critical thinking and communication skills. During the lesson, physical paradoxes stimulate students to actively formulate their own positions, substantiate them with arguments, as well as to analyze and evaluate alternative points of view. From a didactic point of view, this corresponds to the principles of interaction-oriented learning, when knowledge acquisition occurs through an active exchange of ideas and cooperation between participants in the educational process. This approach increases motivation for learning, since students act as active subjects of cognitive activity, which contributes to a deeper assimilation of educational material and the development of key competencies.

The use of physical paradoxes in the format of discussions or debates requires adherence to a number of methodological approaches that ensure the effectiveness of this didactic tool. Tasks should be conceptually related to the educational topic, arouse cognitive interest, but at the same time remain accessible for comprehension based on existing knowledge. The formulation of open questions that do not have a clear answer is effective, which contributes to the activation of critical thinking, the formation of argumentation and analytical thinking skills. It is also important to adhere to the stages of the discussion: familiarization with the physical paradox, formulation of positions, justification and counterargumentation, summing up. It is advisable to integrate discussions or debates with other teaching methods, in particular experimental activities, visualization of physical processes, use of digital resources and analysis of primary sources.

Physical paradoxes also contribute to the formation of research competencies. Involving students in scientific research through the use of physical paradoxes stimulates the development of the following skills and abilities: *mental*

ефективним дидактичним засобом, який сприяє розвитку критичного мислення та навичок комунікації. В процесі заняття фізичні парадокси стимулюють здобувачів освіти до активного формулювання власних позицій, аргументованого їх обґрунтування, а також до аналізу й оцінки альтернативних точок зору. З дидактичної точки зору, це відповідає принципам навчання, орієнтованого на взаємодію, коли засвоєння знань відбувається через активний обмін думками та співпрацю між учасниками освітнього процесу. Такий підхід підвищує мотивацію до навчання, оскільки студенти виступають як активні суб'єкти пізнавальної діяльності, що сприяє глибшому засвоєнню навчального матеріалу та розвитку ключових компетентностей.

Застосування фізичних парадоксів у форматі дискусій або дебатів потребує дотримання низки методичних підходів, які забезпечують ефективність цього дидактичного засобу. Завдання мають бути концептуально пов'язані з навчальною темою, викликати пізнавальний інтерес, але водночас залишатися доступними для осмислення на основі наявних знань. Ефективним є формулювання відкритих запитань, які не мають однозначної відповіді, що сприяє активізації критичного мислення, формуванню навичок аргументації та аналітичного мислення. Також важливо дотримуватися етапності дискусії: ознайомлення з фізичним парадоксом, формулювання позицій, обґрунтування й контраргументація, підбиття підсумків. Доцільним є інтегрування дискусій або дебатів з іншими методами навчання, зокрема експериментальною діяльністю, візуалізацією фізичних процесів, використанням цифрових ресурсів та аналізом першоджерел.

Фізичні парадокси також сприяють формуванню дослідницьких компетентностей. Залучення студентів до наукових досліджень через застосування фізичних парадоксів стимулює розвиток наступних умінь і навичок: *розумових* (аналіз, порівняння, узагальнення, систематизація, формулювання понять і планування дослідження), *пошукових*

(analysis, comparison, generalization, systematization, formulation of concepts and planning of research), *search* (working with various sources of information, structuring and evaluating data), *communicative* (discussion of paradoxes in groups, finding compromises, cooperation), *experimental* (setting up experiments, processing and interpreting results) [5]. With this approach, students can independently choose a physical paradox or receive it in the form of a formulated scientific problem. This activates internal motivation and responsibility for the result of the research and also develops problem-solving skills. Also, in the process of work, students carry out a comprehensive analysis of existing theoretical concepts related to the selected physical paradox. They perform calculations, modeling or experimental research, which allows them to understand the essence of the phenomenon more deeply and develop practical skills in applying the scientific method.

It should be noted that the results of the research are presented in various formats – poster presentations, oral presentations or scientific articles. This form of information presentation contributes to the development of communicative competences, the ability to structure the material and present one's own ideas in a reasoned manner. Finally, an important stage is the reflective assessment by students of the contribution of their own research to the understanding of physical phenomena. This process stimulates critical thinking, self-analysis and awareness of the significance of scientific activity. As noted above, a physical paradox can act as a learning case, which describes a real or hypothetical situation with unexpected consequences that requires explanation.

The case method in teaching physics is based on the analysis of specific examples and situations in which contradictions between theoretical propositions and actual observations may appear. It is this contradiction between knowledge and reality that is the basis of paradox, which plays an important role in the educational

(робота з різними джерелами інформації, структуризація та оцінка даних), *комунікативних* (обговорення парадоксів у групах, пошук компромісів, співпраця), *експериментальних* (постановка дослідів, обробка та інтерпретація результатів) [5]. При такому підході студенти мають можливість самостійно обирати фізичний парадокс або отримувати його у вигляді сформульованої наукової проблеми. Це активізує внутрішню мотивацію та відповідальність за результат дослідження, а також розвиває навички постановки проблеми. Також, у процесі роботи студенти здійснюють комплексний аналіз наявних теоретичних концепцій, що стосуються обраного фізичного парадокса. Вони виконують розрахунки, моделювання або експериментальні дослідження, що дозволяє глибше зрозуміти сутність явища та розвивати практичні навички застосування наукового методу.

Зазначимо, що результати дослідження презентуються у різних форматах — постерних доповідях, усних презентаціях або наукових статтях. Така форма подання інформації сприяє розвитку комунікативних компетентностей, умінню структурувати матеріал і аргументовано викладати власні ідеї. Нарешті, важливим етапом є рефлексивна оцінка студентами внеску власного дослідження у розуміння фізичних явищ. Цей процес стимулює критичне мислення, самоаналіз і усвідомлення значущості наукової діяльності.

Як було зазначено вище, фізичний парадокс може виступати у ролі *навчального кейсу*, в якому описується реальна або гіпотетична ситуація з несподіваними наслідками, що потребує пояснення.

Кейс-метод у навчанні фізики ґрунтується на аналізі конкретних прикладів і ситуацій, у яких можуть проявлятися суперечності між теоретичними положеннями та фактичними спостереженнями. Саме таке протиріччя між знаннями і реальністю є основою парадоксальності, що відіграє важливу роль у навчальному процесі. Завдяки цьому студенти мають змогу глибше осмислювати фізичні

process. Thanks to this, students can more deeply understand physical laws, are actively involved in cognitive activity, and develop the ability to analyze and make informed decisions.

The main functions of the physical paradox within the case method in the study of physics include:

Creating a cognitive problem situation that does not have an obvious or unique solution, which encourages discussion and the search for non-standard approaches;

Increasing learning motivation and interest due to contact with non-trivial aspects of physical science;

Developing critical thinking and analytical skills, as well as the ability to work with ambiguous information;

Integrating theory with practice through the analysis of examples close to real or simulated scientific situations;

Developing research and professional competencies that are important for further scientific or applied activities.

It is worth noting that the case should contain elements of practical activity or history of physical science, questions for analyzing the situation, the possibility of using physical modeling or computer simulation tools.

Another effective approach is to use a physical paradox after completing the study of the topic in order to diagnose the level of knowledge acquisition, develop reflection skills and stimulate rethinking of the studied material. This approach allows not only to identify the level of formation of subject competencies, but also to activate critical thinking processes.

Along with physical paradoxes, it is advisable to use the following methodological techniques: brainstorming, pair work, creating diagrams and tables for analyzing different points of view. In our practice, we use the following combinations of methodological techniques and physical paradox:

*Conversation method with different wording of questions: **Ladder paradox*** (relativistic reduction of length) – at the beginning we ask the question: "Can a ladder longer than a garage fit inside?", in

закономірності, активно залучаються до пізнавальної діяльності, розвивають уміння аналізувати й приймати обґрунтовані рішення.

Основні функції фізичного парадоксу в межах кейс-методу під час вивчення фізики включають:

створення пізнавальної проблемної ситуації, яка не має очевидного або єдиного рішення, що спонукає до обговорення та пошуку нестандартних підходів;

підвищення навчальної мотивації та зацікавленості, зумовлене зіткненням з нетривіальними аспектами фізичної науки;

формування критичного мислення та аналітичних навичок, а також здатності працювати з неоднозначною інформацією;

інтеграція теорії з практикою через аналіз прикладів, наближених до реальних або змодельованих наукових ситуацій;

розвиток дослідницьких і професійних компетентностей, що є важливими для подальшої наукової або прикладної діяльності.

Варто зазначити, що кейс має містити елементи практичної діяльності або історії фізичної науки, запитання для аналізу ситуації, можливість використання інструментів фізичного моделювання або комп'ютерної симуляції.

Іншим ефективним підходом є використання фізичного парадоксу після завершення вивчення теми з метою для діагностики рівня засвоєння знань, формування умінь рефлексії та стимулювання переосмислення вивченого матеріалу. Такий підхід дозволяє не лише виявити рівень сформованості предметних компетентностей, а й активізувати процеси критичного мислення.

Разом із фізичними парадоксами доцільно застосовувати наступні методичні прийоми: мозковий штурм, роботу в парах, створення схем і таблиць для аналізу різних точок зору. В нашій практиці ми використовуємо наступні поєднання методичних прийомів і фізичного парадоксу

Метод бесіди з різними формулюваннями запитань: парадокс

the process of discussion: "How does motion affect the perception of the length of objects?" This stimulates a deeper understanding of relativistic effects.

Demonstrations with discussion in pairs: **Mpemba's paradox** (hot water freezes faster than cold water). Work in pairs begins with a demonstration of an experiment or video, and then students discuss possible causes and contradictions in pairs, which develop critical analysis skills.

Hypothesis generation: **Maxwell's paradox** (a demon that violates the second law of thermodynamics) students formulate hypotheses on how this paradox can be explained or solved, which develops scientific thinking.

Problem formulation: **Zeno's arrow paradox** (students state a problem that illustrates the issue of continuity of motion and time, which helps to better understand the concepts of infinity and the division of time).

Using digital technology: **The submarine paradox**. In a virtual lab, students must simulate the motion of a submarine diving into water at high speed and observe the characteristics of the experiment.

Conclusions and research perspectives. Thus, the use of physical paradoxes in the process of professional training of future physics teachers is an effective didactic tool for the formation of critical thinking. Paradoxical situations create a cognitive conflict that stimulates students to analyze, reflect, reassess existing knowledge, form new ideas and defend positions with reason. This approach contributes to increasing cognitive activity, developing scientific thinking skills and forming the ability to make rational decisions based on evidence.

The use of physical paradoxes in the educational process acts as a motivational tool for introducing a new topic, as a problem task during the assimilation of the material, as a basis for organizing discussions and debates, as a means of independent research activity, as an element of the case method and as a tool for reflection.

драбини (релятивістське скорочення довжини) – на початку ставимо запитання: "Чи може драбина, довша за гараж, поміститися всередину?", в процесі обговорення: "Як впливає рух на сприйняття довжини об'єктів?" Це стимулює глибше осмислення релятивістських ефектів.

Демонстрації з обговоренням у парах: парадокс Мпемби (гаряча вода замерзає швидше за холодну). Робота у парах починається з демонстрації експерименту або відео, а потім студенти обговорюють в парах можливі причини і протиріччя, що розвиває навички критичного аналізу.

Висунення гіпотез: парадокс Максвелла (демон, що порушує другий закон термодинаміки) - студенти формулюють гіпотези, як цей парадокс можна пояснити або розв'язати, що розвиває наукове мислення.

Складання задач: парадокс стріли Зенона - студенти створюють задачі, які ілюструють проблему безперервності руху і часу, що допомагає краще зрозуміти концепції нескінченності і поділу часу.

Використання цифрових технологій: парадокс субмарини. У віртуальній лабораторії студенти повинні змоделювати рух субмарини, що занурюється у воду з великою швидкістю та спостерігати за характеристиками досліду.

Висновки та перспективи досліджень. Отже, використання фізичних парадоксів у процесі професійної підготовки майбутніх учителів фізики є ефективним дидактичним інструментом для формування критичного мислення. Парадоксальні ситуації створюють пізнавальний конфлікт, що стимулює здобувачів освіти до аналізу, осмислення, переоцінки наявних знань, формування нових уявлень і аргументованого відстоювання позицій. Такий підхід сприяє підвищенню пізнавальної активності, розвитку навичок наукового мислення та формуванню здатності до прийняття раціональних рішень на основі доказів.

Використання фізичних парадоксів у навчальному процесі виступає як мотиваційний інструмент для введення нової теми, як проблемне завдання під час засвоєння матеріалу, як основа для організації дискусій та дебатів, як засіб

The use of physical paradoxes in the system of training pedagogical personnel not only contributes to a deeper assimilation of subject content, but also forms the key competencies of a modern teacher – criticality, flexibility of thinking, independence and the ability to constantly search. This approach meets the objectives of the modern educational paradigm, focused on personal development, research-based learning and interdisciplinary integration. Prospects for further research include the development of systematic methodological support for the use of physical paradoxes in the educational process, the creation of didactic materials, cases and digital simulations, as well as conducting empirical research on the impact of the use of physical paradoxes on the dynamics of the development of students' critical thinking.

самостійної дослідницької діяльності, як елемента кейс-методу та як інструменту рефлексії.

Застосування фізичних парадоксів у системі підготовки педагогічних кадрів не лише сприяє глибшому засвоєнню предметного змісту, а й формує ключові компетентності сучасного вчителя – критичність, гнучкість мислення, самостійність і здатність до постійного пошуку. Такий підхід відповідає завданням сучасної освітньої парадигми, орієнтованої на особистісний розвиток, дослідницьке навчання та міждисциплінарну інтеграцію.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці систематизованого методичного забезпечення з використання фізичних парадоксів у навчальному процесі, створенні дидактичних матеріалів, кейсів та цифрових симуляцій, а також у проведенні емпіричних досліджень щодо впливу використання фізичних парадоксів на динаміку розвитку критичного мислення студентів.

REFERENCES (TRANSLATED & TRANSLITERATED)

1. Avator, O., & Prymakov, A. (2009). Rozviazuvannia navchalnykh fizychnykh paradoksiv [Solving educational physical paradoxes]. *Zbirnyk naukovykh prats vykladachiv, aspirantiv, mahistrantiv i studentiv fizyko-matematychnoho fakultetu (do 95-richchia zasnuvannia Poltavskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni V.H. Korolenka)* – Collection of scientific works of lecturers, postgraduates, masters and students of the Faculty of Physics and Mathematics (until the 1995 founding of the Poltava State Pedagogical University named after V.H. Korolenko). Poltava: ASMI, 150-151 [in Ukrainian].
2. Vasylieva, R., Semenets, L., & Stepanychov, D. (2020). Formuvannia krytychnoho myslennia uchniv pry pidhotovtsi do intelektualnykh zmahan z fizyky [Developing students' critical thinking in preparation for intellectual competitions in physics]. *Novi tekhnologii navchannia – New technologies of science*, № 3 (94), 44-49 [in Ukrainian].
3. Ivchenko, V.V. (2021). The role of the paradoxes arising from the limited applicability of the scientific models in Physics Education. *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 15, no. 4, 4307-1–4307-4 [in English].
4. Kobus, O.S., & Bondarenko, S.Yu. (2024). Paradoks sproshchennia v naukovo-populiarnii komunikatsii: etychni ta pedahohichni dylemy v predstavleni skladnosti matematychnykh i fizychnykh teorii [The Paradox of Simplification in Popular Science Communication: Ethical and Pedagogical Dilemmas in Presenting the Complexity of Mathematical and Physical Theories]. *Innovatsiini praktyky naukovoï osvity – Innovative teaching practices: materialy IV Vseukr. nauk.-prakt. konf. (Kyiv, 11-16 hrudnia 2024 roku)*. Kyiv: Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy, 396-402 [in Ukrainian].
5. Konoval, O.A., & Kasperskyi, A.V. (2013). Oznaiomlennia studentiv z naukovo-metodychnymy superechnostiamy pry vyvchenni elektrodynamiky, yak umova efektyvnosti samostiinoi roboty [Familiarizing students with scientific and methodological contradictions in the study of electrodynamics as a condition for the effectiveness of

independent work]. *Naukovi zapysky KDPU. Seria: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity – Scientific notes of KSPU. Series: Problems of the methodology of physical-mathematical and technological education*. Kirovohrad: KDPU, vyp. 4, ch. 2, 132-139 [in Ukrainian].

6. Salnyk, I.V., & Kuzmenko, O.S. (2007). Fizychni paradoksy yak zasib problemnoho navchannia [Physical paradoxes as a means of problem-based learning]. *Naukovi zapysky KDPU. Seria: Pedahohichni nauky – Scientific notes of KSPU. Series: Pedagogical sciences*. Kirovohrad: KDPU im. V. Vynnychenka, vyp. 72, ch. 2, 171-175 [in Ukrainian].

7. Serhieieva, O.Ye. (2017). Zastosuvannia sofizmiv i paradoksiv u navchanni studentiv fizytsi [The use of sophisms and paradoxes in teaching physics students]. *Rozvytok metodolohichnykh osnov vyshchoi osvity v ONAKhT – Development of methodological foundations of higher education in ONAKhT: materialy 48-yi nauk.-metod. konf., Odesa, 12-13 kvit. 2017 r. Odes. nats. akad. kharch. tekhnolohii*. Odesa, 291 [in Ukrainian].

8. Solomenko, A., Konoval, O., & Turkot, T. (2017). Dydaktychnyi potentsial fizyky u rozvytku krytychnoho myslennia [The didactic potential of physics in the development of critical thinking]. *Pedahohika vyshchoi ta serednoi shkoly – Pedagogy of high and middle schools: zb. nauk. prats. Kryvyi Rih, vyp. 1 (50)*, 147-155 [in Ukrainian].

9. Tereshchuk, S.I. (2022). Tekhnolohii rozvytku krytychnoho myslennia u navchanni fizyky [Technologies for developing critical thinking in teaching physics]. *Ukrainski studii v yevropeiskomu konteksti – Ukrainian Studies in the European Context*, № 5, 214-227 [in Ukrainian].

10. Shevchuck, O.V. (2012). Osobystisno oriientovane navchannia uchniv rozviazuvanniu fizychnykh paradoksiv i sofizmiv [Personally oriented teaching of students to solve physical paradoxes and sophisms]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Seria pedahohichna – Collection of scientific works of the Kamianets-Podilskyi National University named after Ivan Ohienko. Pedagogical series*, vyp. 18, 97-99 [in Ukrainian].

Received: July 18, 2025
Accepted: August 05, 2025