

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРПРИКЛАДІВ У ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ

Стаття присвячена аналізу актуальних для нової української школи інноваційних технологій, теоретичному обґрунтуванню та створенню інноваційних методів і прийомів, спрямованих на ефективне формування компетентностей у школярів. Розроблено технологію контрприкладів та запропоновано шляхи впровадження її при вивченні спеціальної теорії відносності та фізики елементарних частинок. Використання контрприкладів базується на діалектичному принципі єдності і боротьби протилежностей, а саме протилежності (протиріччя) виступають головними чинниками набуття школярами компетентностей.

Ключові слова: компетентності, інноваційні технології, технологія контрприкладів.

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Імплементація закону України "Про освіту" – довгий і складний шлях до нової української школи (НУШ). Очевидно, що сучасна освіта вимагає реалізації активного характеру навчання, впровадження інноваційних технологій та мобілізації процесу набуття соціально та особистісно необхідних інтелектуальних і технологічних знань. Тому сучасні інноваційні методи навчання, що ґрунтуються на активних формах здобуття знань і самостійній роботі з інформацією, поволи витісняють демонстраційні та ілюстративно-пояснювальні методи.

Аналіз актуальних досліджень і публікацій. Теоретико-методичні засади використання інноваційних технологій у навчальному процесі з фізики розглянуто в роботах П. С. Атаманчука, В. Ф. Заболотного, Є. В. Коршака, О. С. Мартинюка, А. І. Павленка, В. Ф. Савченка, М. І. Садового, [1], [2], [3]. Серед великого різноманіття інноваційних технологій мало дослідженою залишаються залишається технологія контрприкладів.

Мета даного дослідження полягає в розробці інноваційної технології контрприкладів при навчанні фізики, яка надасть можливість ефективного формування компетентностей у школярів нової української школи.

Відповідно до мети дослідження було поставлено завдання: теоретично обґрунтувати, розробити і впровадити у практику навчання фізики технологію контрприкладів при вивченні спеціальної теорії відносності та фізики елементарних частинок.

На всіх етапах дослідження відповідно до задач застосовувались відповідні **методи дослідження:** *аналіз* психолого-педагогічної, навчально-методичної, наукової літератури з проблеми дослідження; педагогічного досвіду застосування інноваційних технологій у процесі навчання; *моделювання* – для створення інноваційних моделей застосування технології контрприкладів у навчанні фізики; *спостереження* навчально-виховного процесу з фізики.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стрімке зростання кількості інформації вимагає сучасних методів навчання, що ґрунтуються на активних формах здобуття знань і самостійній роботі з інформацією. Науковцям при пошуку істини необхідно постійно користуватися тезами і антитезами (контрприкладами) та залучати аргументи на обидві сторони. Такий же підхід було б логічно використовувати і в навчанні. Тези та антитези можуть приймати в залежності від ситуації наступні форми: апорію, антиномію, софізм, парадокс та спостереження (експеримент), який є кінцевим і вирішальним фактором справедливості наукової теорії. Методично доцільно при викладанні фізики як у курсі середньої школи, так і у вищих навчальних закладах, використовувати контрприклади, як окрему педагогічну технологію [1]. Технологія контрприкладів має важливе значення, бо дає змогу застосовувати її як основу для створення програм STEM-освіти, проблемних ситуацій та корекції знань [4].

Пошук заперечуючого прикладу цінний тим, що примушує учнів та студентів проводити своєрідний експеримент, стимулює накопичення реально-практичного змісту в розумінні суті запитання.

Розглянемо контрприклади (антитези) до класичної механіки, які одночасно є тезами спеціальної теорії відносності Ейнштейна.

Першим контрприкладом стало виявлення У. Левер'є у 1859 році того, що рух найближчої до Сонця планети Меркурія дещо відрізняється від передбаченого механікою Ньютона. Виявилось, що перигелій – найближча до Сонця точка орбіти планети – повертається з кутовою швидкістю, яка на 43 кутових секунди у сторіччя відрізняється від тієї, яку слід було б чекати при врахуванні всіх відомих збурень від інших планет і їх супутників. Ще раніше Урбан Левер'є і Уолтер Адамс зіткнулися з аналогічною, по суті справи, ситуацією при аналізі руху Урану – найбільш віддаленої від Сонця планети серед відомих на той час. І вони пояснили розходження розрахунків зі спостереженнями, припустивши, що на рух Урану чинить вплив ще більш віддалений об'єкт, який назвали Нептуном. У 1846 році Нептун дійсно був знайдений у передбаченому місці, і ця подія вважається тріумфом Ньютонівської механіки. Звичайно, що Левер'є намагався пояснити згадану аномалію Меркурія існуванням невідомої планети, в даному випадку деякої планети Вулкан, яка знаходилась ще ближче до Сонця. Але виявилось, що ніякого Вулкана не існує, і тоді почали намагатися змінити ньютонівський закон всесвітнього тяжіння, згідно з яким гравітаційна сила при застосуванні до системи Сонце-планета змінюється за законом $F = \frac{m G M_o}{r^2}$,

де $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ – гравітаційна стала, m – маса частинки (планети), $M_o = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ – маса Сонця і r – відстань від центра Сонця до планети. Зміни зводились, у першу чергу, до спроб використання закону

$F \sim \frac{1}{r^{2+\varepsilon}}$, де ε – деяка невелика величина. До речі, аналогічний прийом використовують (щоправда без успіху) і в нашій епоху для пояснення деяких незрозумілих питань астрономії (мова йде про проблему прихованої маси). Цього нікому не вдалося і питання про поворот перигелію Меркурія залишався відкритим до 1915 року. Саме тоді, у розпалі першої світової війни, коли тільки деяких учених цікавили абстрактні проблеми фізики і астрономії, Ейнштейн завершив (після приблизно 8 років напружених зусиль) створення загальної теорії відносності (ЗТВ). У ній Ейнштейн розрахував додатковий, порівняно з ньютонівським, поворот перигелію Меркурія, який виявився рівним (у радіанах за один оберт планети навколо Сонця)

$$\psi = \frac{6\pi G M_o}{c^2 a(1-e^2)} = \frac{24\pi^2 a^2}{c^2 T^2(1-e^2)}. \quad (1)$$

Крім величин G і M_o , зміст і значення котрих зазначені вище, a – велика піввісь орбіти планети, $e = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{a}$ – ексцентриситет орбіти (b – її мала піввісь) і $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ – швидкість поширення світла у вакуумі. При переході до останнього виразу (1.20) використано третій закон Кеплера $a^3 = \frac{G M_o T^2}{4\pi^2}$, де T – період обертання планети. Якщо у формулу (1) підставити найкращі відомі значення усіх величин, а також провести елементарний перерахунок від радіанів за оберт до повороту у кутових секундах за сторіччя, то отримаємо значення $\psi = 42,98''$ / сторіччя. Спостереження співпадають з цим результатом з точністю близько $\pm 0,1''$ / сторіччя і цей результат став справжнім тріумфом ЗТВ (Ейнштейн у своїй першій роботі використав менш точні дані, але у межах помилок отримав повну відповідність теорії і спостережень).

У 1914 р. Ейнштейн зробив важливе передбачення: промені світла, проходячи поблизу Сонця, повинні викривлятися, причому їх відхилення повинно складати

$$\alpha = \frac{4 G M_o}{c^2 r} = 1,75 \frac{r_o}{r} \quad (2)$$

де r – найближча відстань між променем і центром Сонця, а $r_o = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$ – радіус Сонця (точніше, радіус сонячної фотосфери); таким чином, максимальне відхилення, яке можна спостерігати, складає 1,75 кутової секунди.

Яким би малим не був такий кут (приблизно під таким кутом видно дорослу людину на відстані 200 км), він міг вже тоді бути вимірним оптичним методом, шляхом фотографування зір на небі в околі Сонця. Саме такі спостереження були проведені двома англійськими експедиціями під час повного сонячного затемнення 29 травня 1919 року. Ефект відхилення променів в околі Сонця, який був установлений, узгоджувався з формулою (2), хоча точність вимірювань, у зв'язку з малим ефектом, була

невелика. Однак відхилення вдвічі менше, ніж згідно з (2), тобто на $0,87''$, було виключене. Останнє дуже важливе, бо відхилення на $0,87''$ (при $r = r_o$) можна отримати вже з ньютонівської теорії (сама можливість відхилення світла в полі тяжіння була помічена ще Ньютоном, а вираз для кута відхилення вдвічі меншого ніж за формулою (2), було отримано ще у 1801 році).

Після оприлюднення отриманих результатів експедиції на сумісному засіданні Королівського товариства і Королівського астрономічного товариства 6 листопада 1919 року, відомий вчений Дж. Дж. Томсон сказав: "Це найважливіший результат, одержаний у зв'язку з теорією гравітації з часів Ньютона ... Він являє собою одне з найвеличніших досягнень людської думки".

Ефекти ЗТВ у Сонячній системі, як ми бачили, дуже малі. Пояснюється це тим, що гравітаційне поле Сонця (не кажучи вже про планети) є досить слабким. Останнє означає, що ньютонівський гравітаційний потенціал Сонця $\varphi_o = -\frac{GM_o}{r}$ за абсолютним значенням малий порівняно з квадратом

швидкості світла c^2 . Так, навіть при $r = r_o$ (тобто на фотосфері Сонця) $|\varphi_o|/c^2 = \frac{GM_o}{c^2 r_o} = 2,12 \cdot 10^{-6}$.

Нагадаємо тепер результат, відомий зі шкільного курсу фізики: для колових орбіт планет $|\varphi_o| = v^2$, де v – швидкість планети. Тому слабкість гравітаційного поля можна характеризувати більш наочним

параметром $\frac{v^2}{c^2}$, який для Сонячної системи, як ми бачили, не перевищує значення $2,12 \cdot 10^{-6}$. На земній

орбіті $v = 3 \cdot 10^4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і $\frac{v^2}{c^2} = 10^{-8}$, для близьких супутників Землі $v = 8 \cdot 10^5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і $\frac{v^2}{c^2} = 7 \cdot 10^{-10}$.

Перевірка згаданих ефектів ЗТВ навіть з досягнутою зараз точністю 0,1%, тобто з похибкою, не переважаючою 10^{-3} від вимірювальної величини (відхилення світлових променів у гравітаційному полі

Сонця), ще не дає можливості перевірити ЗТВ з точністю до членів порядку $(\varphi_o / c^2)^2 = \frac{v^4}{c^4} \leq 4 \cdot 10^{-12}$. Про

вимірювання з потрібною точністю, наприклад, відхилення променів у межах Сонячної системи, можна тільки мріяти, хоча проекти відповідних експериментів вже обговорюються. У зв'язку зі сказаним фізики говорять, що ЗТВ перевірена лише для слабого гравітаційного поля.

Третій контрприклад до класичної механіки та доведення теорії відносності безпосередньо взаємопов'язаний з двома попередніми. Його називають так званим "ефектом Ейнштейна" – це зміщення спектральних ліній випромінювання зірок. Із загальної теорії випливає, що світло втрачає енергію на подолання гравітаційного тяжіння тіла, яке його випромінює. Очевидно, що зі зменшенням енергії фотонів, збільшується його довжина хвилі. Цей факт називають гравітаційним червоним зміщенням, яке спостерігається в спектральних лініях Сонця та важких зірок. Також загальна теорія відносності передбачала, що всі годинники в полі тяжіння мають сповільнювати свій хід, і оскільки коливальний рух можна порівняти з часом, то теорія передбачає зменшення частоти світового випромінювання у присутності поля сили тяжіння. Звідси випливає, що спектральні лінії світла, що випромінюються зірками, повинні бути зміщені до червоного кольору порівняно з існуючими лініями у спектрах земних джерел. Цей факт був підтверджений у дослідженнях спектра світла карликових зірок, відповідно до нього було доведено, що середня густина зірок в 10 тисяч разів більша густини води. Безпосередньо це було підтверджено багатьма іншими експериментами різних учених, наприклад, у 1925 р. У. Адамс, фотографуючи спектри Сіріуса і його супутника Сіріуса В, спостерігав відносно них червоне зміщення. Початок досліджень таких зміщень було проаналізовано ще у 1919 р. англійським вченим В. Слайфером. Виходячи з ефекту Доплера, вчений зробив відкриття, яке привело до зовсім нових уявлень про Всесвіт. Його вимірювання червоних зміщень у спектрах ряду туманностей показали, що всі вони віддаляються від Землі з величезною швидкістю – 1800 км/с. Також у 1928 р. американськими астрономами Е. Хабблом і М. Хьюмасоном було виявлено істотне червоне зміщення при вивченні спектра галактики NGC 7619, а деякі галактики в межах Великої Ведмедиці рухаються зі швидкістю 40 000 км/с, а швидкість віддалених галактик досягла 65 000 км/с і більше. Е. Хаббл пояснив це червоне зміщення в спектрах галактик їх розбіганням. І у 1929 р. він пов'язав збільшення швидкостей галактик зі збільшенням віддалі їх від Землі:

$$v = Hr,$$

де H – стала Хаббла. Е. Хаббл передбачив, а експерименти підтвердили, що більш віддалені галактики мають більше червоне зміщення. Для галактик, що розміщуються від Землі на відстані до одного мільярда світових років, швидкість віддалення на 10 000 км/с перевищуватиме ту швидкість, яка має бути у випадку справедливості лінійної залежності. Але за теорією відносності ніяке тіло не може рухатись зі швидкістю, більшою від швидкості поширення світла у вакуумі. Тому зі збільшенням

відстані швидкість має зростати повільніше, якщо закон Хаббла справедливий для таких великих ділянок Всесвіту. Зміщення спектральних ліній випромінювання зірок у бік червоного зміщення вдалося підтвердити завдяки ефекту Мессбауера, який дає змогу досягти високої точності вимірювання частоти.

Четверте доведення теорії відносності можна отримати при дослідженні елементарних частинок, насамперед мезонів. При вивченні космічних променів були відкриті частинки, які називаються μ -мезонами. Існує два типи μ -мезонів, які відрізняються електричним зарядом: позитивно заряджені μ^+ , та негативно заряджені μ^- . Мюони (μ -мезони) розпадаються на електрон (позитрон) і два нейтрино, їх власний час життя складає у середньому приблизно 2 мкс. Тому мюони, рухаючись зі швидкістю, яка мало відрізняється від c , можуть пройти лише шлях, рівний $3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 600$ м. Однак мюони, які утворюються в космічних променях на висоті 20-30 км, досягають поверхні Землі. Ця суперечність пояснюється тим, що їх час життя у системі експериментатора, який пов'язаний із Землею, значно більший і визначається формулою:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Іншою важливою темою, якій на жаль недостатньо приділяється уваги в шкільному курсі фізики, є фізика елементарних частинок. Наведемо приклад використання тез і антитез в цій темі за допомогою розв'язування задач, в яких використовуються поняття фізики елементарних частинок.

Задача 1. У 1897 році Дж. Томсон виконав досліди щодо відхилення частинок катодних променів у електричному та магнітному полях. Напруженість електричного $E = 1$ кВ/м та індукція магнітного $B = 1$ мТл полів підбирались таким чином, щоб дія полів на потік електронів компенсувалась. При вимкненні електричного поля, під дією тільки магнітного поля, частинка рухалась по колу радіусом $R = 5,7 \cdot 10^{-3}$ м. Визначити питомий заряд електрона.

Задача 2. Р. Міллікен у сконструйованому власноруч пристрої, міг утримувати крапельку масла масою 10^{-12} г у рівновазі між пластинами конденсатора протягом 6 годин, використовуючи для цього іонізуючу властивість рентгенівського випромінювання. Визначте, скільки надлишкових електронів міститься у краплі, якщо відстань між пластинами конденсатора 1,47 см, а різниця потенціалів між ними 1 кВ.

Задача 3. Розрахувати енергію, яку необхідно затратити для забезпечення цілісності позитивно зарядженого "тіста" моделі атома Резерфорда. Розрахунки проводяться, вважаючи об'ємну густину позитивного заряду "тіста" рівною ρ та нехтуючи взаємодією з електронами.

Задача 4. Використовуючи класичну теорію випромінювання Максвелла-Лоренца та планетарну модель атома Резерфорда, знайти час падіння слабо зв'язаного електрона на ядро атома Гідрогену.

Задача 5. В електронно-променевої трубки (ЕПТ) електрон влітає до відхиляючої системи, що має вигляд плоского конденсатора, між пластинами якого підтримується постійна різниця потенціалів $U = 40$ В. Кінетична енергія електрона $T = 10$ кеВ. Відстань між пластинами конденсатора $d = 1$ см, а їх довжина $l = 10$ см. На відстані $L = 20$ см від конденсатора знаходиться екран. Початкова швидкість електрона спрямована паралельно пластинам. Знайти зміщення x електрона на екрані. Як зміниться відповідь, якщо замість електрона взяти протон тієї ж енергії? Силою тяжіння знехтувати.

Поглибити знання учнів з фізики елементарних частинок можна також шляхом використання можливостей, які надає Європейська організація з ядерних досліджень (CERN). CERN пропонує викладачам та вчителям взяти участь у спеціальних програмах, які дадуть можливість підтримати професійний розвиток викладачів у галузі фізики частинок, побачити атмосферу сучасних досліджень у Великому адронному колайдері, зустрітися зі вченими з усього світу, а також знайти нові ідеї щодо введення сучасної фізики до шкільної та університетської програми з фізики [5]. Крім того CERN надає вільний доступ до ресурсів усіх учительських програм, в яких містяться лекційні матеріали та відеозаписи вибраних лекцій. Такий унікальний ресурс сприяє викладанню фізики частинок, обміну знаннями та досвідом серед учителів різних національностей, стимулює діяльність із популяризації фізики всередині та за межами класу [6].

Висновки та перспективи подальших розвідок напряму. Розроблено технологію контрприкладів, яка забезпечує ефективне засвоєння компетентностей учнів НУШ. Пошук заперечуючого прикладу цінний тому, що потребує від учнів та студентів вдумливого підходу навчального матеріалу і стимулює накопичення реально-практичного змісту в розумінні фізичної суті. Тому використання технології контрприкладів є надзвичайно доцільним і корисним при вивченні спеціальної теорії відносності та фізики елементарних частинок. Подальші дослідження даної теми полягають в експериментальній перевірці її ефективності.

Використані джерела

1. Бендес Ю. П. Використання інформаційних технологій у процесі навчання фізики в технічних навчальних закладах: [монографія] / Бендес Ю. П. – Полтава: Видавець Шевченко Р. В., 2011. – 357 с.
2. Мартинюк О. С. Нові інформаційні технології в навчальному фізичному експерименті // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – №4. – С. 44–46.
3. Садовий М. І., Вовкотруб В. П., Трифонова О. М. Вибрані питання загальної методики навчання фізики: навчальний посібник [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.]. – Кіровоград: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард", 2013. – 252 с.
4. Charpak G., Lena P., Quere Y. L'enfant et la Science. L'aventure de la main à la pâte: Odile Jacob, 2005. – 234 p.
5. Teacher Programmes. URL: <https://home.cern/students-educators/teacher-programmes> (дата звернення: 15.05.2018).
6. The Ukrainian Teacher Programme 2018. URL: <https://indico.cern.ch/event/594498/timetable> (дата звернення: 15.05.2018).

Bendes Yu.

**USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES
FOR EFFECTIVE FORMATION
OF COMPETENCIES OF SCHOOL STUDENT**

The urgent problem of socio-economic and scientific and technological development of society is to increase the efficiency of information processes, which requires the correspondence of educational and cultural level with modern advances in science and technology.

The article is devoted to the analysis of topical for the new Ukrainian school of innovative technologies, theoretical substantiation and creation of innovative methods and techniques aimed at forming competences in schoolchildren. The counterexamples technology is developed and implemented, which is based on the activity approach and the theory of developmental training. Learning with counterexamples:

- stimulates the manifestations of autonomy, activity, initiative and creativity;*
- develops intuition, discursive (penetration into the essence), convergence (discovery), divergence (creation), critical thinking;*
- gives experience of creative solution of various scientific and practical problems.*

The use of counterexamples is based on the dialectical principle of unity and the struggle of opposites, namely opposites (contradictions), which are the main factors for pupils' acquisition of competences. It is also possible to improve student knowledge of elementary particle physics through the use of opportunities provided by the European Organization for Nuclear Research (CERN). CERN offers teachers and teachers the opportunity to take part in special programs that will support the professional development of faculty members in particle physics, to see the atmosphere of modern research in the Large Hadron Collider, meet scientists from around the world, and find new ideas for introducing modern physics to school and the university program in physics.

The use of counterexamples technology is extremely useful and useful in studying the special theory of relativity and elementary particle physics.

Key words: *competence, innovative technologies, technology counterexamples*

Стаття надійшла до редакції 18.05.2018