

МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ СИМЕТРІЇ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК У ЗВО

Ольга Кузьменко¹, orcid.org/0000-0003-4514-3032, e-mail: Kuzimenko12@gmail.com

1. Донецький державний університет внутрішніх справ, Кропивницький

У статті розглянуто актуальну проблему вивчення симетрії елементарних частинок у ЗВО технічного профілю. Вивчення симетрії елементарних частинок відіграє важливу роль у розумінні студентами основних законів природи та властивостей фундаментальних частинок. Однак симетрія - це складна концепція, яка вимагає глибокого розуміння та аналізу. Для успішного опанування цієї складної теми в навчальному середовищі необхідно розробити ефективні методичні підходи та засоби навчання. Сучасні студенти вимагають активного та залучаючого підходу до навчання, а тому використання інноваційних методів стає критично важливим.

Наведено аналіз сучасних підходів до вивчення симетрії елементарних частинок в ЗВО. Основна увага приділяється інноваційним методикам, які допомагають студентам зрозуміти складні концепції симетрії в фізиці. Зокрема, обговорюються використання сучасних педагогічних технологій, інтерактивних інструментів, віртуальних лабораторій та комп'ютерних симуляцій. Розглядаються практичні аспекти проведення лабораторних робіт та експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення симетрії.

Розглянуто можливі шляхи підвищення результативності навчання в цій галузі. Важливою частиною статті є аналіз впливу навчання симетрії на професійну підготовку майбутніх фахівців у галузі фізики та суміжних наук. Досягнення у вивченні симетрії також потребують ефективного оцінювання. Важливо враховувати здобуті знання та навички студентів у цій галузі, щоб вони могли самостійно аналізувати та застосовувати симетричні принципи у подальших дослідженнях.

Перспективами подальших наукових пошуків є дослідження сучасних підходів до навчання фізики, що включає в себе використання комп'ютерних симуляцій, віртуальних лабораторій та інтерактивних засобів навчання, які сприяють кращому розумінню складних концепцій симетрії.

Ключові слова: фахова підготовка, професійна освіта, симетрія, фундаментальні взаємодії, елементарні частинки, фізика, освітній процес.

Постановка проблеми. Фізика елементарних часток – це важлива та актуальна галузь фізичної науки, яка спрямована на дослідження фундаментальних частинок матерії, таких як електрони, протони, нейтрони та мезони. Основною метою фізики завжди було розкриття законів руху та взаємодії цих частинок, а також вивчення простору і часу.

Дослідження атомних ядер, які мають величезне технічне застосування, також входить до області фізики елементарних частинок. Крім того, релятивістська квантова теорія є важливою складовою цієї галузі науки. Вона пов'язана з вивченням елементарних частинок, таких як мезони та гіперони. Оскільки класична квантова механіка та квантова електродинаміка спочатку були розроблені для опису руху електронів і електромагнітного поля, дослідження більш складних частинок вимагає релятивістської квантової теорії.

Незважаючи на впровадження нових методів навчання з фізики та використання сучасного обладнання в освітньому процесі, це не призвело до досягнення нових фізичних результатів у вивченні елементарних частинок впродовж останнього часу. Тому дослідження теорії елементарних частинок завжди залишається актуальною проблемою і продовжує бути важливою для науки. Однією з основних причин цього може бути складність та глибина самої теми. Вивчення елементарних частинок потребує високої математичної та фізичної підготовки, а також доступу до дороговартісного обладнання та великих наукових експериментів. Крім того, багато фізичних явищ на рівні елементарних частинок ще не розгадані повністю, що робить цю науку вельми викликуючою і захоплюючою для вчених. Відтак, дослідження в області фізики елементарних частинок має великий потенціал для нових відкриттів і розширення нашого розуміння фундаментальних законів природи.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Проблема пошуку ефективних методів вивчення фізики у ЗВО в цілому та фізики елементарних частинок зокрема є досить актуальною, про що свідчить наявність низки наукових публікацій із зазначеного напрямку. Так, в публікації О. Полупан та Г. Подус

(2015) було проведено аналіз сучасних методів викладання фізики з використанням комп'ютерних технологій. В результаті впровадження розробленого авторського методу, який передбачає узгоджене проведення занять з розв'язання задач і лабораторних робіт, базоване на підході до навчання як послідовності навчальних моделей наукових досліджень, зафіксовано покращення якості знань, умінь і навичок студентів у сфері розв'язання задач і виконання лабораторних робіт.

Проблему оновлення змісту навчальних програм з фізики у руслі сучасних досягнень схарактеризував О. Шамшин (2021). Науковець зауважив, що розвиток фізики протягом минулого століття призвів до суттєвих технологічних проривів у промисловості та створенню нових наукових дисциплін, які з'явилися на перетині різних наук. Цей процес поступово витісняє класичну фізику з освітнього процесу і вимагає включення в навчальні плани розділів сучасної фізики, яка є фундаментом для розвитку нових технологій та неонаук. Також вказано на доцільність вивчення мікро- та макрофізики як трьох складових сучасної фізики, оскільки вони мають важливе значення для майбутніх фахівців. Запропоновані теми можуть стосуватися технічного використання сучасних фізичних понять та явищ у певних розділах фізики, які вивчаються студентами.

О. Кошова, О. Фомкіна та Л. Мироненко (2020) окреслили окремі шляхи реалізації прикладної спрямованості в навчанні фізики у ЗВО. Виділили шляхи вдосконалення лекцій за рахунок включення до їх змісту прикладних задач, демонстрацій та використання інтерактивних технологій. Також надано приклади завдань, пов'язаних з майбутньою професійною діяльністю студентів. Проблеми вивчення сучасної фізики та нанотехнологій відображені в публікації О. Завражної, Л. Однодворець, О. Пасько та А. Салтикової (2018). Проблеми інтегрованого навчання фізики висвітлені в праці В. Федоренко (2019). Окремі питання методичного та методологічного спрямування відображені у публікаціях О. Лозовенко (2014), П. Атаманчука, О. Ляшенка (2014) та інших.

Мета статті – розгляд та аналіз методів і підходів до вивчення симетрії елементарних частинок у закладах вищої освіти.

Виклад основного матеріалу. Під час вивчення загального курсу фізики, зокрема квантової фізики, студентам корисно розкрити класифікацію елементарних частинок і їх взаємодій. Окрім самих частинок, існують також античастки, які були вперше передбачені Полем Діраком. Однією з характерних особливостей частинок і античастинок є їх взаємодія, під час якої вони можуть аннігілювати, перетворюючись у фотони. Важливо підкреслити перед студентами, що однією з перших відомих елементарних частинок є електрон, а пізніше фізики почали працювати з поняттям фотону. На початку ХХ століття були вже відомі такі елементарні частинки, як протон, нейтрон і позитрон. Під час вивчення теми про елементарні частинки важливо зазначити, що їх можна розділити на три головних класи: адрони, лептони та фотони. Ця класифікація визначається типами взаємодій, які вони досліджують у природі. Загалом, існують чотири види взаємодій в природі:

- 1) Сильні взаємодії, які мають місце лише серед адронів.
- 2) Електромагнітні взаємодії, які відбуваються між всіма елементарними частинками з електричним зарядом, а також між фотонами, які не мають електричного заряду, але виступають як переносники електромагнітних взаємодій.
- 3) Слабкі взаємодії, які визначають повільні розпади частинок і включають нейтрино.
- 4) Гравітаційні взаємодії, які проявляються у взаємодії між масами об'єктів.

Отже, навчання про елементарні частинки включає розгляд їх класифікації та взаємодій, що допомагає студентам краще зрозуміти цю складну тему.

Перш ніж здійснити опис кожного класу елементарних частинок, розглянемо одну з них - фотон. Концепція фотона привернула увагу фізиків починаючи з 1905 року, коли Ейнштейн вперше запропонував використовувати кванти світла для пояснення феномену фотоефекту. Поняття фотона отримало своє визначення в рамках квантової теорії випромінювання. Саме електромагнітні явища, а точніше два з них з безлічі можливих, стали основою для розвитку двох визначальних теорій ХХ століття: спеціальної теорії відносності та квантової механіки.

Експерименти Майкельсона і Морлі, які призвели до відкриття того, що швидкість світла не залежить від руху джерела чи приймача світла, стали одним з кроків у створенні спеціальної теорії відносності. Дослідження природи випромінювання "чорного тіла" та розгляд ультрафіолетової катастрофи також сприяли розвитку квантової механіки. Після створення основ квантової механіки, таких як рівняння Шредінгера і принципи невизначеності Гейзенберга, фізики знову звернули увагу на фотон. У 1927 році, Поль Дірак квантував електромагнітне поле випромінювання. Одним з найбільших досягнень концепції фотона стало пояснення явища зсуву рівнів, такого як лембовський зсув, наприклад, між $2s_{1/2}$ рівня відносно $2p_{1/2}$ рівня в атомі водню, що було розглянуто німецьким фізиком

Р. Бете. З урахуванням взаємодії електрона в атомі водню з квантами електромагнітного поля, відповідного "нульового коливання" вакууму, можливе зсування між зазначеними рівнями. Концепція фотона в сучасній квантовій теорії випромінювання надає базу для пояснення всіх відомих електромагнітних явищ, включаючи явища хвильового характеру, такі як інтерференція, дифракція та поляризація, а також квантові явища.

У 1919 році були відкриті частинки, що були менші за самі атомні ядра, і вони входили до їх складу. Зокрема, виявлено протони, а в 1932 році – нейтрони. У 1936 році було відкрито ще одну частинку - мюони. Зараз ми маємо вже досить чітке уявлення про великий клас елементарних частинок, відомий як адрони. Адрони поділяються на дві основні категорії: баріони і мезони. Баріони включають нуклони (протони і нейтрони, які складають ядро) і гіперони. Всі адрони відрізняються тим, що вони піддаються сильній взаємодії. Таблиця 1 наводить різноманітні властивості елементарних частинок, і важливою є концепція симетрії елементарних частинок, яку студенти повинні розглядати під час вивчення загального курсу фізики згідно з навчальною програмою.

Таблиця 1 – Властивості лептонів і андронів

Клас	Назва частинки	Символ		Енергія спокою (МеВ)	Час життя, с	Схема розпаду
		частинка	античастинка			
	Електрон	e^-	e^+	0,511	Стаб.	
	Мюон	μ^-	μ^+	105,7	$2,240 \cdot 10^{-6}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
	Тау	τ^-	τ^+	1784	$2,240 \cdot 10^{-13}$	$\tau^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
Нейтрино		ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	Стаб.	
		ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	Стаб.	
		ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	Стаб.	
Мезони	Піон	π^+	π^-	139,6	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
	Каон	π^0	π^0	135,0	$0,83 \cdot 10^{-16}$	$\pi^+ \rightarrow \gamma + \gamma$
		k^+	k^-	493,7	$1,34 \cdot 10^{-8}$	$k^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$
		k_i^0	\bar{k}_i^0	497,7	$0,9 \cdot 10^{-10}$	$k_i^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$
		k_L^0	\bar{k}_L^0	497,7	$5,2 \cdot 10^{-10}$	$k_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$
Ета	η^0	η^0	548,8	$7 \cdot 10^{-19}$	$\eta^0 \rightarrow \gamma + \gamma$	
Баріони	протон	p	\bar{p}	938,3	Стаб.	
	нейтрон	n	\bar{n}	939,6	900	$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$
Гіперони	лямбда	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	1115	$2,6 \times 10^{-10}$	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$
	сігма	Σ^+	$\bar{\Sigma}^-$	1899	$0,8 \times 10^{-10}$	$\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$
		Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	1192	6×10^{-20}	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$
		Σ^-	$\bar{\Sigma}^+$	1197	$0,8 \times 10^{-10}$	$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$
	ксі	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	1315	$2,9 \times 10^{-20}$	$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$
		Ξ^-	$\bar{\Lambda}^+$	1321	$1,6 \times 10^{-10}$	$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$
омега	Ω^-	Ω^+	1672	$0,8 \times 10^{-10}$	$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$	

Симетрія – це поняття, яке походить від грецького слова "συμμετρεῖν", що означає "міряти разом". Воно використовується для опису процесу наявності та формування ідентичних елементів в певних умовах та відносинах між різними та протилежними станами явищ у світі. Симетрія в контексті елементарних частинок також може означати властивість, за якої певні фізичні процеси, включаючи взаємодії та властивості частинок, залишаються незмінними або мають певні закономірності під час перетворень. У квантовій фізиці та теорії елементарних частинок, симетрія є важливим поняттям і визначає, які обмінні властивості мають частинки і як вони взаємодіють одна з одною.

Симетрію можна визначити як властивість, яка притаманна всім відомим атрибутам матерії. Ця властивість відображає взаємні зв'язки між атрибутами матерії. Симетрія також ґрунтується на діалектиці співвідношення тотожності та відмінності, що існує як між атрибутами матерії, так і між їх станами і ознаками.

Прикладами види симетрії і відповідних законів збереження є фундаментальні принципи в фізиці, що визначають основні закони руху фізичних систем:

1) симетрія перенесень в часі (однорідність часу) породжує закон збереження енергії, що вказує на те, що у фізичних системах сума енергії залишається сталою з часом;

2) симетрія перенесень в просторі (однорідність простору) породжує закон збереження імпульсу, що означає, що у фізичних системах сума імпульсів залишається сталою при зміні положення системи в просторі;

3) симетрія поворотів або обертів в просторі (ізотропність простору) породжує закон збереження моменту імпульсу, що вказує на те, що у фізичних системах сума моментів імпульсу залишається сталою при обертанні системи в просторі.

Ці закони є ключовими для розуміння різноманітних фізичних явищ і мають велике значення в розвитку фізичної науки. Дзеркальна симетрія, яка існує в мікросвіті, має ліву та праву тотожність і породжує збереження властивості, відомої як парність. Парність приписується кожному мікрооб'єкту, подібно до електричного заряду. Це означає, що у мікросвіті можна виконувати операцію заміни об'єктів на їхні дзеркальні відображення (ліворуч на праворуч і навпаки), і це не змінює закони природи. Якщо в мікросвіті виконати операцію зарядового сполучення, що означає уявити світ електронів як світ позитронів, це також не змінює законів природи. Зарядове сполучення вказує на можливість заміни частинок з певним зарядом на їхні античастинки з протилежним зарядом і навпаки. Проте слабкі взаємодії, які виникають при розпаді більшості мікрооб'єктів, порушують як дзеркальну, так і зарядову симетрію. Це означає, що під впливом слабких взаємодій дзеркальна та зарядова симетрії можуть бути порушені, і цей феномен вивчається в фізиці елементарних частинок.

Симетрії в мікросвіті обмежені і відображаються в їхній ієрархії. Ось деякі з цих обмежень та законів збереження, які в них відображаються:

1. Електричний заряд зберігається під час взаємодій мікрооб'єктів. Це означає, що сума зарядів після взаємодії залишається незмінною.

2. Сильні взаємодії зберігають баріонний заряд для важких часток, відомих як баріони. Баріони можуть народжуватися та зникають у парах під впливом сильних взаємодій.

3. Той самий закон збереження існує і для лептонів, які є легкими частками.

4. У ядрі атома нейтрони і протони інтерпретуються як однакові частинки (але лише в межах ядра), що має назву ізотопічна інваріантність.

Ці обмеження та закони збереження грають важливу роль у фізиці елементарних частинок та є важливими властивостями мікросвіту.

У другій половині ХХ століття в теоретичній фізиці активно розвивалася калібрувальна інваріантність, яка представляла собою особливу форму симетрії. Ця інваріантність відображала особливу властивість взаємодії частинок із полями, такими як електромагнітне та гравітаційне поля, а також пов'язані з ними частинки, такі як фотони.

Суть калібрувальної інваріантності полягала в тому, що взаємодію між частинками і цими полями можна було описати за допомогою певних математичних взаємозв'язків. Ця особливість взаємодії виявилася загальною та універсальною для різних видів взаємодій. У результаті пошуків нових симетрій були виявлені "елементарні" частинки, такі як кварки і глюони, які є фундаментальними складовими сучасної фізики мікросвіту. Ці відкриття легли в основу нового напрямку у фізиці, відомого як квантова хромодинаміка, яка досліджує взаємодії кварків та глюонів і розкриває багато загадкових явищ у фізиці елементарних частинок. Приклади методичних прийомів щодо вивчення зазначених властивостей наведені в публікаціях О. Kuzmenko, S. Dembitska (2021), О. Кузьменко, С. Дембіцька, С.В. (2019а, 2019b) та О. Kuzmenko, S. Dembitska, S. Radul (2020).

Висновки та перспективи подальших наукових досліджень. Після проведених досліджень, підкреслимо важливість включення фундаментальних понять, зокрема симетрії, до навчального матеріалу з фізики. Це базове поняття виявляється в багатьох розділах фізики та відображає загальні закони та принципи у природі. Симетрія є ключовим елементом сучасної фізичної теорії, і вона визначає розуміння фундаментальних взаємодій між частинками та властивостями фізичних систем. Поняття симетрії допомагає студентам впоратися зі складними концепціями та відносинами у фізиці, такими як закони збереження та рівняння руху. Розуміння симетрії покращує аналітичні та проблемно-розв'язувальні навички студентів, що є важливими в їхній подальшій науковій та професійній діяльності.

Крім того, розробка методики вивчення фізики з використанням поняття симетрії може значно полегшити процес навчання та зробити його більш доступним для студентів. Відтак, перспективними вважаємо дослідження сучасних підходів до навчання фізики, що включає в себе використання

комп'ютерних симуляцій, віртуальних лабораторій та інтерактивних засобів навчання, які сприяють кращому розумінню складних концепцій симетрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Атаманчук, П. С. & Ляшенко, О. І. (2011). Якість освіти як проблема дидактики фізики. *Педагогіка і психологія*, 4, 8–12.
- Завражна, О. М., Однорець, Л. П., Пасько, О. О., & Салтикова, А. І. (2018). Методика формування у студентів знань про стан сучасної фізики та нанотехнологій. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, 1(75), 196–208.
- Кошова, О. П., Фомкіна, О. Г., & Мироненко, Л. М. (2020). Прикладна спрямованість курсу «Фізика» для студентів ЗВО. *Збірник наукових праць «Актуальні питання природничо-математичної освіти»*, 2(16), 68–75.
- Кузьменко, О. С., & Дембіцька, С. В. (2019а). Трансформація фундаментальних дисциплін в умовах розвитку STEM-освіти в технічних закладах вищої освіти. Proceedings of International scientific conference «Universum N VIII». Raleigh, Jan 24, 2019. Morrisville, Lulu Press, 45–48.
- Кузьменко, О. С., & Дембіцька, С. В. (2019б). Формування STEM-компетентностей студентів під час розв'язування фізичних задач з поєднанням принципу симетрії в вищих технічних навчальних закладах. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*, 23, 20–22.
- Лозовенко, О. А. (2014). Дивні траєкторії або як перетворити задачу на цікаве індивідуальне завдання. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету*, 116, 77–82.
- Полупан, О., Подус, Г., & Омеляненко, І. (2015). Сучасний підхід до викладання курсу “Загальна фізика” у ВНЗ. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики*, 13 (3), 129–135. <https://doi.org/10.55056/tmn.v13i3.993>.
- Федоренко, В. П., & Величко, С. П. (Ред.) (2019). *Інтегроване навчання фізики при вивченні теми «основи біомеханіки, біоакустики, біореології та гемодинаміки» в медичних коледжах*. Засоби і технології сучасного навчального середовища: Матеріали XV (XXV) міжнародної науково-практичної конференції, м. Кропивницький, 17-18 травня 2019 року. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем». (63–66).
- Шамшин, О.П. (2021). Фізика 21 сторіччя в технічному ЗВО. *Фізико-математична освіта*, 3(29), 119–126. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-018>.
- Kuzmenko, O., & Dembitska, S. (2021). Improvement of self-educational activity of students of technical specialties based on innovative society development (on the example of studying physics). *Knowledge, Education, Law, Management*, 2 (38), vol. 1, 24–30.
- Kuzmenko, O., Dembitska, S., & Radul, S. (2020). Implementation of STEM-education elements in the process of teaching professional subjects in technical institutions of higher education. *Modern approaches to knowledge management development*. Collective monograph. Ljubljana, Slovenia (85–95).

REFERENCES

- Atamanchuk, P. S. & Liashenko, O. I. (2011). Yakist osvity yak problema dydaktyky fizyky [The quality of education as a problem of didactics of physics]. *Pedahohika i psykholohiia*, 4, 8–12. [in Ukrainian].
- Fedorenko, V. P., & Velychko, S. P. (Red.) (2019). *Intehrovane navchannia fizyky pry vyvchenni temy «osnovy biomekhaniky, bioakustyky, bioreolohii ta hemodynamiky» v medychnykh koledzhakh* [Integrated teaching of physics when studying the topic "basics of biomechanics, bioacoustics, biorheology and hemodynamics" in medical colleges]. Zasoby i tekhnolohii suchasnoho navchalnoho seredovyschcha: Materialy XV (XXV) mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Kropyvnytskyi, 17-18 travnia 2019 roku. Kropyvnytskyi: PP «Ekskluzyv-System». (63–66). [in Ukrainian].
- Koshova, O. P., Fomkina, O. H., & Myronenko, L. M. (2020). Prykladna spriamovanist kursu «Fizyka» dlia studentiv ZVO [Applied orientation of the course "Physics" for students of higher education institutions]. *Zbirnyk naukovykh prats «Aktualni pytannia pryrodnycho-matematychnoi osvity»*, 2(16), 68–75. [in Ukrainian].
- Kuzmenko, O. S., & Dembitska, S. V. (2019a). *Transformatsiia fundamentalnykh dystsyplin v umovakh rozvytku STEM-osvity v tekhnichnykh zakladakh vyshchoi osvity* [Transformation of fundamental disciplines in the context of the development of STEM education in technical institutions of higher education]. Proceedings of International scientific conference «Universum N VIII». Raleigh, Jan 24, 2019. Morrisville, Lulu Press, 45–48. [in Ukrainian].

- Kuzmenko, O. S., & Dembitska, S. V. (2019b). Formuvannia STEM-kompetentnosti studentiv pid chas rozviazuvannia fizychnykh zadach z poiednanniam pryntsypu symetrii v vyshchykh tekhnichnykh navchalnykh zakladakh [Formation of STEM-competencies of students when solving physical problems with a combination of the principle of symmetry in higher technical educational institutions]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnogo universytetu imeni Ivana Ohienka. Seriiia pedahohichna*, 23, 20–22. [in Ukrainian].
- Kuzmenko, O., & Dembitska, S. (2021). Improvement of self-educational activity of students of technical specialties based on innovative society development (on the example of studying physics). *Knowledge, Education, Law, Management*, 2 (38), vol. 1, 24–30. [in English].
- Kuzmenko, O., Dembitska, S., & Radul, S. (2020). Implementation of STEM-education elements in the process of teaching professional subjects in technical institutions of higher education. *Modern approaches to knowledge management development*. Collective monograph. Ljubljana, Slovenia (85–95). [in English].
- Lozovenko, O. A. (2014). Dyvni traiektorii abo yak peretvoryty zadachu na tsikave indyvidualne zavdannia [Strange trajectories or how to turn a task into an interesting individual task]. *Visnyk Chernihivskoho natsionalnogo pedahohichnogo universytetu*, 116, 77–82. [in Ukrainian].
- Polupan, O., Podus, H., & Omelianenko, I. (2015). Suchasnyi pidkhid do vykladannia kursu "Zahalna fizyka" u VNZ [A modern approach to teaching the "General Physics" course at a university]. *Teoriia ta metodyka navchannia matematyky, fizyky, informatyky*, 13 (3), 129–135. <https://doi.org/10.55056/tmn.v13i3.993>. [in Ukrainian].
- Shamshyn, O.P. (2021). Fizyka 21 storichchia v tekhnichnomu ZVO [Physics of the 21st century in the technical ZVO]. *Fizyko-matematychna osvita*, 3(29), 119–126. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-018>. [in Ukrainian].
- Zavrazhna, O. M., Odnodvoret, L. P., Pasko, O. O., & Saltykova, A. I. (2018). Metodyka formuvannia u studentiv znan pro stan suchasnoi fizyky ta nanotekhnolohii [Methods of forming students' knowledge about the state of modern physics and nanotechnologies]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii*, 1(75), 196–208. [in Ukrainian].

Ольга Кузьменко – д. пед. н., професор, учений секретар секретаріату Вченої ради Донецького державного університету внутрішніх справ, провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання Національного центру «Мала академія наук України», Кропивницький, e-mail: Kuzimenko12@gmail.com

METHODS OF STUDYING THE SYMMETRY OF ELEMENTARY PARTICLES IN HIGHER EDUCATION

Olga Kuzmenko, Doctor of Sciences, Professor, Secretary of the Scientific Council Secretariat at Donetsk State University of Internal Affairs, Senior Researcher at the Department of Information and Didactic Modeling of the National Center "Small Academy of Sciences of Ukraine," Kropyvnytskyi, Email: Kuzimenko12@gmail.com

The article addresses the current issue of teaching symmetry in elementary particles within technical higher education institutions. The study of symmetry in elementary particles plays a vital role in helping students understand the fundamental laws of nature and the properties of fundamental particles. However, symmetry is a complex concept that requires deep understanding and analysis. To successfully master this intricate topic in an educational environment, effective teaching methods and tools need to be developed. Modern students demand an active and engaging approach to learning, making the use of innovative methods critically important.

The article presents an analysis of contemporary approaches to teaching symmetry in elementary particles within higher education institutions. It places significant emphasis on innovative methodologies designed to help students grasp complex symmetry concepts in physics. Specifically, it discusses the utilization of modern pedagogical technologies, interactive tools, virtual laboratories, and computer simulations. The practical aspects of conducting laboratory work and experimental research focused on studying symmetry are also explored.

The article explores possible ways to enhance the effectiveness of teaching in this field. An essential part of the article involves analyzing the impact of symmetry education on the professional training of future experts in the field of physics and related sciences. Achievements in the study of symmetry also necessitate an

effective assessment system. It is crucial to consider the knowledge and skills acquired by students in this field so that they can independently analyze and apply symmetrical principles in their further research.

The prospects for further scientific research involve the investigation of modern approaches to physics education, including the use of computer simulations, virtual laboratories, and interactive learning tools. These innovations contribute to a better understanding of complex symmetry concepts. Research in this direction can help develop effective pedagogical approaches and tools that support students in the process of studying symmetry in elementary particles and enhance the quality of physics education.

Key words: professional training, vocational education, symmetry, fundamental interactions, elementary particles, physics, educational process.

Дата надходження статті до редакції: 07 жовтня 2021 р.